



УДК 004.94:681.5

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕВАТОРНИМ КОМПЛЕКСОМ З ФУНКЦІЄЮ МОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ СІТОК ПЕТРІ

Кашкаръов А.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: 0619-42-57-97

Анотація - запропоновано спосіб синтезу системи керування елеваторним комплексом на основі сіток Петрі, який забезпечує реалізацію функцій моніторингу та діагностування; наведено приклад моделі АСК елеваторним комплексом; розглянуто пристрої вводу інформації про стан датчиків та роботу виконавчих механізмів на основі безконтактних логічних вимірювачів напруги та струму.

Ключові слова – елеватор, система керування, моніторинг, алгоритм, сітки Петрі.

Постановка проблеми. Сучасне сільськогосподарське виробництва має тенденцію до постійного зростання потужностей, підвищення кількості і якості проміжної та кінцевої продукції, прогресуючого дефіциту та консерватизму робітників, сумісного функціонування систем керування різних поколінь. Найпопулярнішим, а не рідко єдиним, способом вирішення цих проблем – комплексна механізація, електрифікація та автоматизації виробництва [8]. Вітчизняна та зарубіжна наука дозволила розробити засоби для повної механізації та електрифікації технологічних процесів (ТП) елеваторних комплексів [5, 8]. В свою чергу, самі технологічні процеси характеризуються послідовністю, яка визначається на етапі проектування.

Принципові схеми елеваторних комплексів (ЕК) відбивають взаємний зв'язок основних машин, оперативних бункерів та силосів для зберігання зерна [5]. Оперативні бункери використовують для включення у потік обладнання періодичної дії (ваги), або для обладнання, яке відрізняється по продуктивності від основного (рис. 1). Технологічні схеми ЕК характеризуються великою кількістю транспортних маршрутів, що призводить до необхідності розв'язання низки транспортних задач, які потребують динамічної зміни вагових коефіцієнтів в залежності від вхідних даних (власник, призначення партії, вид, культура та ін.). Необхідно підкреслити, що отриманий розв'язок цих за-

дач повинен узгоджуватись із АСК, яка забезпечить реалізацію маршруту, його контроль, моніторинг технологічного процесу та стану технологічного обладнання. Тому постає задача, обґрунтування математичного та функціонального забезпечення системи керування елеваторним комплексом.

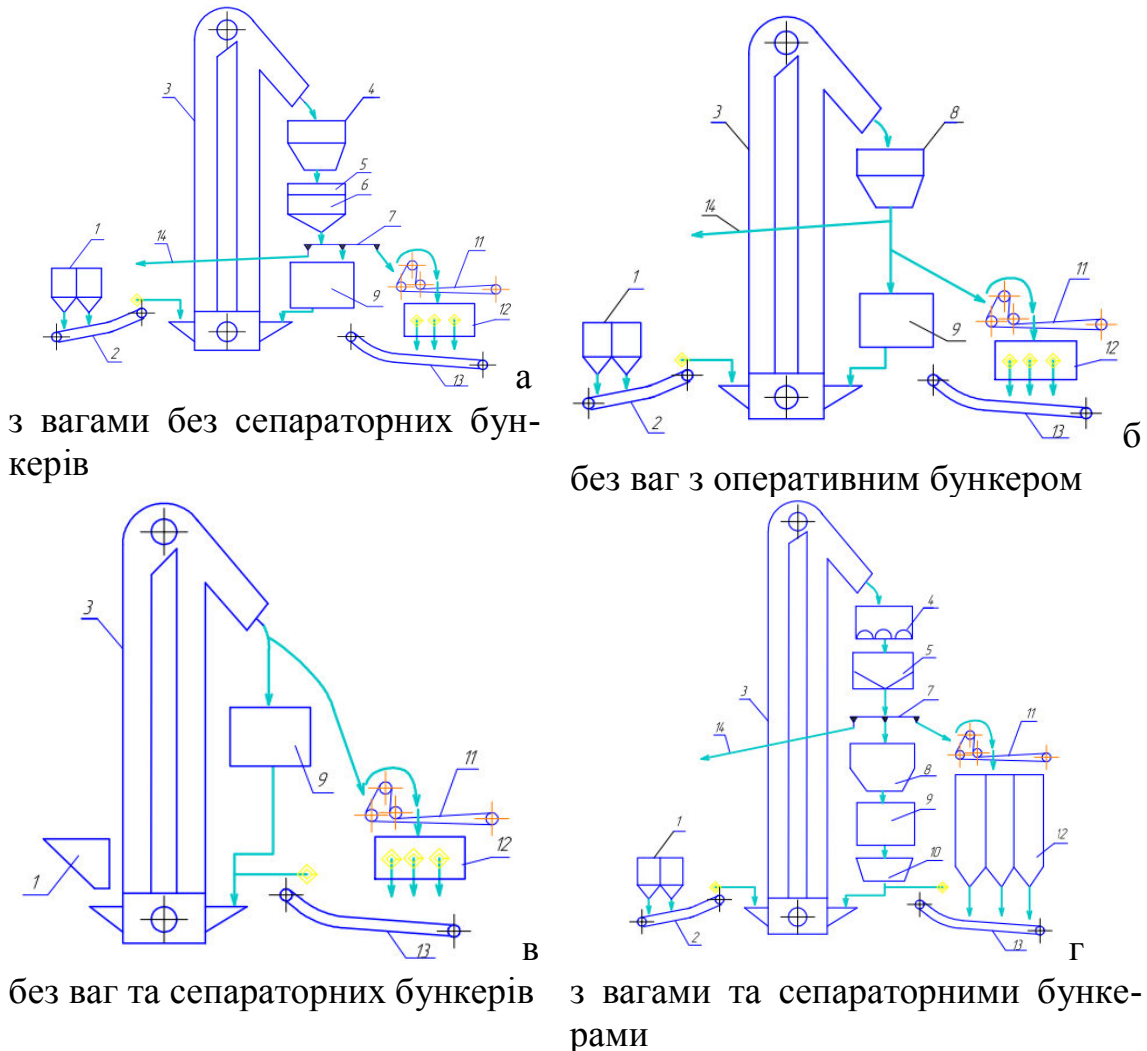


Рис. 1. Поширені технологічні схеми елеваторних комплексів: 1 – приймальні бункери; 2 – приймальний транспортер; 3 – норія; 4, 8, 10 – оперативний бункер; 5 – ваги; 6 – оперативний бункер; 7 – розподільник; 9 – сепаратор; 11 – над силосний транспортер; 12 – склад; 13 – під силосний транспортер; 14 – відпускний пристрій

Аналіз останніх досліджень. Сумісно з Діордієвим В.Т., автором була опублікована серія робіт, в яких засобами інформаційного забезпечення системи керування організаційно-технічним комплексом виробництва комбікормів розширено функції моніторингу, забезпечено керуваність комплексу за рахунок чого підвищено його надійність роботи та продуктивність, а також знижено питомі витрати ресурсів [1-3, 9].



В основу розробленої системи керування покладено математичний апарат сіток Петрі (СП). Досягнення поставлених завдань відбулося за рахунок розробки та впровадження АСК організаційно-технічним комплексом виробництва комбікормів на основі еталонної мережної моделі, а реалізація функції моніторингу – протоколюванням керуючих впливів та процесів часовими діаграмами та розміткою мережної моделі, оцінка яких виконувалась математичним апаратом гармонійного аналізу [6]. Останнє дозволило реалізувати гнучкий алгоритм ідентифікації потенційно-аварійних ситуацій [6, 9].

Діючі елеваторні комплекси, які використовують застарілі принципи керування виробництвом, мають АСК, котрі не дозволяють реалізувати сервісні функції для ефективного ведення економічної діяльності (облік ресурсів та товару, моніторинг стану обладнання, звітність). В свою чергу, господарства, які використовують часткову автоматизацію на основі сучасних технічних засобів не завжди у повному обсязі освоюють їх інформаційний та сервісний потенціал [1], що пов'язано із експлуатацією систем керування різних поколінь [9]. Отже, розробка системи керування елеваторним комплексом, у контексті кризного алгоритму керування та поєднання систем керування різних поколінь стає актуальною задачею. Крім того, використанні СП, на стадії проектних робіт та при експлуатації АСК, дозволить реалізувати функції моніторингу на базі контролю часу спрацювання здавачів, тривалості роботи виконавчих механізмів технологічного комплексу та розмітки еталонної моделі.

Мета статті. Забезпечити реалізацію функцій моніторингу та діагностування системи керування елеваторним комплексом на основі єдиного математичного апарату сіток Петрі.

Основні матеріали дослідження. СП є зручним та наочним засобом опису процесів, які взаємодіють. Виконання процесу відповідає послідовності спрацювання переходів, що викликає пересування маркерів по сітці. Беззаперечною перевагою сіток Петрі є математичний апарат, який дозволяє здійснювати їх автоматичне проектування та аналіз. У загальному випадку СП, при моделюванні ТП, можна розглядати, як множину [7]

$$N=(P, T, F, W, M_0), \quad (1)$$

де P – не порожня множина елементів мережі - вузли (в залежності від рівня деталізації ТП вузли відповідають стану дискретних датчиків, етапу технологічного процесу чи режиму роботи окремого технологічного модулю);

T – не порожня множина елементів мережі, які називають переходами (умови, синхронізація ТП);

$W: F \rightarrow N \setminus \{0\}$ – кратність дуг.



$M_0: P \rightarrow N$ – початкова розмітка (початковий стан технологічного модулю у ТП). Кожному вузлу $p \in P$ відповідає задана кількість маркерів $M_0(p) \in N$, що відображає стан.

$F \subseteq P \times T \cup T \times P$ – відношення інцидентності, для (P, T, F) наступні умови:

1. $P \cap T = \emptyset$ (множина вузлів та переходів не перетинаються: датчики, ТМ та інше обладнання мають своє походження; умови спрацювання ТМ чи переходу на новий технологічний етап мають різне походження);

2. $(F \neq \emptyset) \wedge (\forall x \in P \cup T, \exists y \in P \cup T: xFy \vee yFx)$ (будь-який елемент мережі інцидентний хоча б одному елементу іншого типу, тобто перехід на новий технологічний етап виконується тільки при виконанні умов, які фіксують спрацюванням датчиків, і будь-який датчик в ТП впливає його виконання);

3. для довільного елемента мережі (датчика, ТМ) $x \in X$ позначити через x^* множини вхідних елементів $\{y \mid yFx\}$, а через x^* - множини вихідних елементів $\{y \mid xFy\}$, то $\forall p_1, p_2 \in P: (p_1^* = p_2^*) \wedge (p_1^* = p_2^*) \Rightarrow (p_1 = p_2)$ (мережа не містить пари вузлів, котрі інцидентні однієї і тій же множині переходів).

За раніше представленою методикою [6, 9], стає можливим розробка автоматичної системи керування елеваторним комплексом на основі сіток Петрі (рис. 2). Представлена модель включає наступні функції системи керування: пошук порожнього бункеру; керування маршрутом; попередня обробка зернового матеріалу. Представлена модель (рис. 2) є моделлю верхнього рівня, яка не здійснює керування технологічними машинами та виконавчими механізмами. На ній представлено лише етапи ТП. Для представлення послідовності спрацювання виконавчих механізмів та реакції датчиків достатньо використовувати прості нерозгалужені моделі. Для автоматичної побудови системи керування на основі СП пропонується використовувати об'єктно-орієнтовну технологію [4, 12]. Такий підхід обумовлено наступними обставинами:

- однотипне технологічне обладнання (транспортери, заслінки) та елементи технологічної схеми (бункери різного призначення) здебільшого мають дискретний характер роботи;

- Петрі-об'єкти володіють усіма властивостями звичайного об'єкту (як елемента об'єктно-орієнтованого програмування): імітують функціонування об'єкту на основі сіток Петрі; виступають в якості конструктивних елементів, з котрих складається складна модель.

Зв'язок Петрі-об'єктів здійснюється двома способами [12]:

1. за допомогою загальних вузлів (загальний вузол є вузлом сітки Петрі кількох різних Петрі-об'єктів);

2. за допомогою ініціалізації подій (з переходу сітки Петрі об'єкту O_N при кожному виході маркерів з переходу передаються маркери у вершину об'єкта O_j у визначеній кількості).

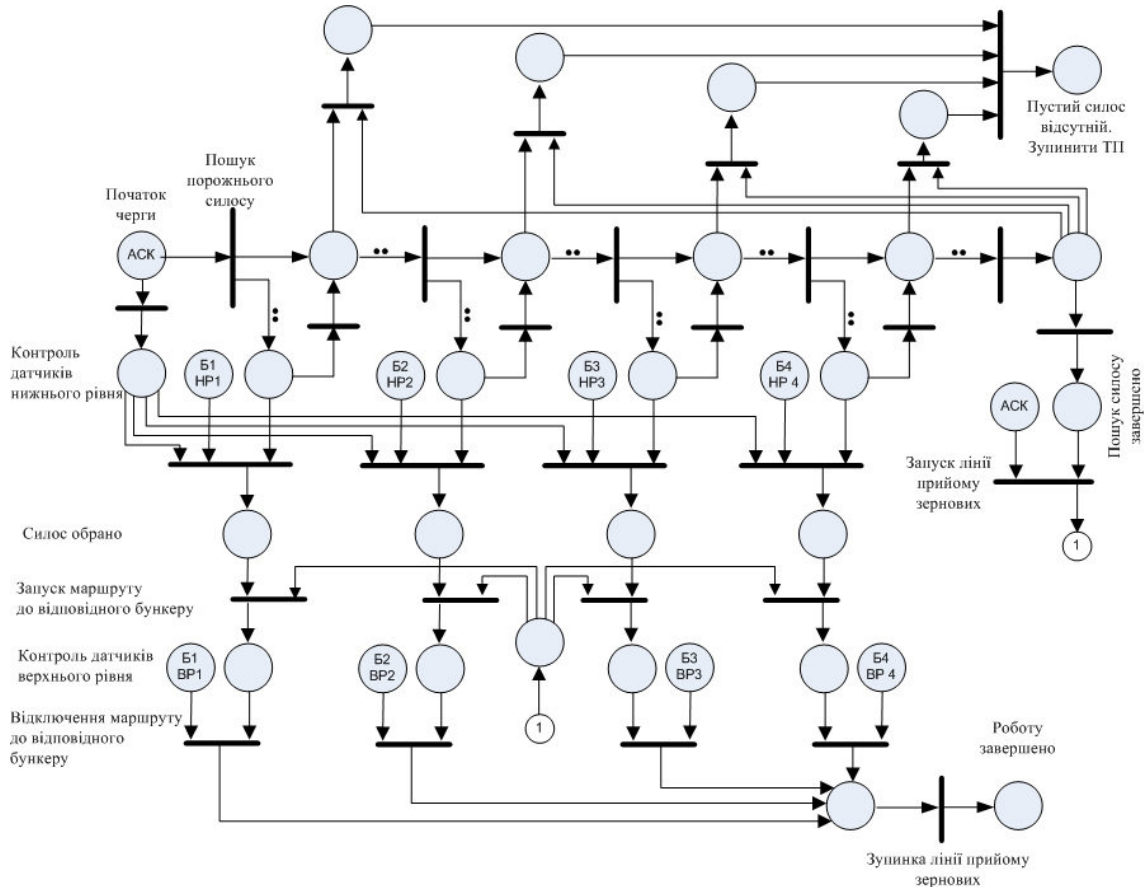


Рис. 2. АСК елеваторним комплексом на основі сіток Петрі.

Стан часової сітки Петрі, як це вказується у роботі [4], у кожний момент часу t описується станом її позицій $P(t)$ та станом її переходів $T(t)$: $S_N(t) = (P(t), T(t))$. Враховуючи дискретність подій та режимів роботи елементів елеваторного комплексу доцільно повернутись до дискретного опису стану СП: $S_N(n) = (P(n), T(n))$, де n – цілі не від'ємні числа, які характеризують крок перетворення СП.

Стан Петрі-об'єктів моделі, який є результатом виходу маркерів з переходів сітки Петрі-об'єктної моделі, можна описати станом її Петрі-об'єктів

$$S^+(n) = D^+(S(n-1)) = \begin{pmatrix} D^+(\tilde{S}_1(n-1)) \\ \dots \\ D^+(\tilde{S}_N(n-1)) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{S}^+(n) \\ \dots \\ \tilde{S}^+(n) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

де D^+ - опис стану СП при виході маркерів з переходів.

$$D^+: T(n-1) \times P(n-1) \rightarrow T(n) \times P(n). \quad (3)$$



Стан Петрі-об'єктів моделі, який є результатом входу маркерів у переходи сітки Петрі-об'єктної моделі, можна описати станом її Петрі-об'єктів

$$S(n) = D^-(S(n-1)) = \begin{pmatrix} D^-(\tilde{S}_1^+(n-1)) \\ \dots \\ D^+(\tilde{S}_N^+(n-1)) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{S}^+(n) \\ \dots \\ \tilde{S}^+(n) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

де D^- - математичний опис стану СП при вході маркерів у перехід.

$$D^-: T(n) \times P(n) \rightarrow T(n) \times P(n). \quad (5)$$

З урахуванням рівнянь стану входу та виходу маркерів (2, 4) матимемо рівняння стану Петрі-об'єктної моделі, яка виступатиме повним формальним її описом

$$S(n) = \begin{pmatrix} (D^-)^m (D^+(\tilde{S}_1^+(n-1))) \\ \dots \\ (D^-)^m (D^+(\tilde{S}_N^+(n-1))) \end{pmatrix}, \quad \forall \tilde{S}_N^+(n): \bigvee_{n \in M_N} Z(T, n) = 0 \quad (6)$$

де m – кількість перетворень D^- , які здійснюються до досягнення стану Петрі-об'єкта, при якому жоден перехід не спрацює;
 $Z(T, n)$ – предикат, який визначає виконання умови для входу маркерів у перехід T на кроці n .

З алгоритмічної точки зору розбиття на Петрі-об'єкти дозволяє значно скоротити кількість елементарних операцій, необхідних для здійснення перетворення та регулювати кількість контрольованих елементів в залежності від рівня деталізації ТП. Отримане рівняння стану дає змогу отримати еталонні розмітки на різних кроках перетворення. Отримані дані можна використовувати для керування виробничим процесом та моніторингу його стану. Необхідно зазначити, що на практиці можливо впровадити лише рекомендації щодо тривалості роботи певних технічних та технологічних процесів. До підприємства можливо передати таблиці еталонного часу роботи обладнання та етапів ТП. У такому випадку економічний ефект полягатиме у зниженні капітальних вкладень на впровадження функцій моніторингу елеваторного комплексу (ЕК), зменшені часу реагування на несправності обладнання, попередження аварійної ситуації, яка може викликати тривале простоювання обладнання [6].

Для реалізації функції моніторингу та прийняття рішень про значимість події, яка може призвести до аварійної ситуації, пропонується контролювати час зміни станів моделі ЕК, що відповідає тривалості роботи виконавчих механізмів та технологічних машин, а також часу



спрацювання датчиків [2, 6]. Оцінка стаціонарності спрацювання окремого переходу імітаційної моделі ЕК виконується за критерієм згоди Колмогорова (7). Використання цього критерію значно спрощує обробку отриманих даних, оскільки виключається обчислення середнього арифметичного, дисперсії та інших статистичних характеристик вибіркових розподілів.

$$\lambda_p = \left| \sum_{i=0}^p t_i - \sum_{j=0}^p t_j \right|_{\max} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot N}}, \quad (7)$$

де t_i, t_j - час отримання маркера у кожній вершині;
 i, j - кількість вершин (P) сіток Петрі;
 N - об'єм БЕД ділянки мережної моделі ТП.

З огляду на зручність застосування, данні досліджень доцільно представляти у відносних одиницях - нормовані данні відносно середнього арифметичного (еталонні дані при проектування або експертні дані під час експлуатації комплексу) [6]

$$x_{ni} = \frac{x_i}{\bar{X}}, \quad (8)$$

де x_i - поточні значення вибірки даних;
 \bar{X} - середнє арифметичне вибірки.

Подальша робота у даному напрямку полягатиме у визначенні критеріального значення, яке буде відповідати аварійним ситуаціям, або таких, що можуть призвести до них. При виконанні теоретичних та експериментальних досліджень необхідно акцентувати увагу на необхідності розробки засобів вводу інформації при використанні сумісно з діючими системами керування. Особливо гостро дане питання постає на ЕК, які одночасно експлуатують системи керування різних поколінь.

В результаті огляду літературних джерел та патентних фондів була зосереджена увага на безконтактних логічних вимірювачів напруги та струму [10, 11]. Це обумовлено різноманіттям інтерфейсів керування силового обладнання та засобів зв'язку з об'єктом.

Для визначення «фази» традиційно використовують індикаторні викрутки з різнотипними індикаторами [10]. Такий пристрій містить неонову лампу або індикатор іншого типу й послідовно приєднаний резистор з опором не менш 0,5 МОм. Подібні індикатори дозволяють контролювати наявність напруг, що перевищують напругу запалювання неонові лампи, тобто 60...90 В та не можуть бути використані для визначення полярності у колах постійного струму. Недоліком такого способу є необхідність гальванічного з'єднання зі струмопровід-

ною жилою проведення або кабелю, необхідність заземлення й потенційне однофазне коротке замикання на землю (у випадку пробоя об'єкту міжуючого резистора).

У межах поставлених завдань доцільна індикація небезпечних рівнів електричного поля, для визначення якого найчастіше використовують найпростіші безконтактні індикатори. Дані пристрої можуть визначати наявність електростатичних потенціалів. Ці потенціали небезпечні для багатьох напівпровідникових приладів (мікросхем, польових транзисторів); найменша іскра від статичної електрики може викликати вибух пилового або аерозольної хмари. Індикатори також можуть дистанційно визначати наявність електричних полів високої напруженості (високовольтні й високочастотні установки, електросилове високовольтне встаткування). Останнє актуально в аспекті впровадження електротехнологій у ВК.

Чутливим елементом таких пристроїв є напівпровідникові елементи (польові транзистори), електричний опір яких залежить від напруги на їхньому керуючому електроді – затворі [11]. З появою потенціалу на керуючому електроді польового транзистора його опір стік – джерело суттєво змінюється. Відповідно, змінюється й величина струму, що протікає через польовий транзистор.

Зміну струму через польовий транзистор відбиває стан оптопар. Індикатор (рис. 3, а) містить три деталі: польовий транзистор VT1 – датчик електричного поля; стабілітрон VD1 – елемент захисту польового транзистора; VD2 – логічний вихід; R1 – регулятор чутливості. Відрізок товстого ізоляованого проводу є антеною WA1 (довжина 10...15 мм).

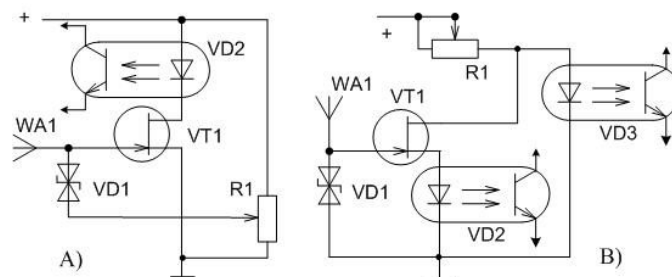


Рис. 3. Схема індикатору електричного поля з регульованою чутливістю на спрацювання (а) та очікування (в)

У давачі (рис. 3, б) використано дві оптопари. При відсутності електричного поля, опір каналу джерело-стік VT1 великий. Струм протікає через VD3 (гілка може мати додатковий опір). При збільшенні напруженості поля опір каналу джерело-стік VT1 спадає. Відбувається переключення на оптопару VD2.

Підвищити чутливість індикаторів електричного поля можна використанням підсилюючих каскадів.

Для давачів АСК інтерфейсах, що працюють, на зниженій напрузі і слабкострумовими сигналами застосовуємо датчики Холу з логічним виходом [10].

Логічні давачі Холу (ЛДХ) використовуються для вимірювання струму в межах від до тисяч амперів. Найважливішою їх перевагою є відсутність електричного зв'язку з колами керування.

Забезпечити високу чутливість та знизити зовнішні впливи дозволяє магнітопровід у формі тороїду з прорізом, в який встановлюється ЛДХ (рис. 4). При цьому все поле зосереджується у прорізі, а зовнішні впливи майже відсутні.

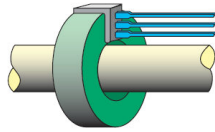


Рис. 4. Конструкція давача малих струмів на основі ефекту Хола

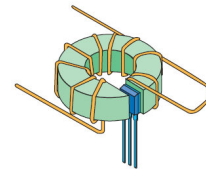


Рис. 5. Багатовиткова конструкція логічного давача Холу

Індукцію у прорізі можна орієнтовно визначити за співвідношенням [7]

$$B \approx 6,9 \left[\frac{\text{Гаус}}{\text{А}} \right] \cdot I$$

де I – струм спрацювання давача, А.

Дана конструкція (рис. 4) не дозволяє вимірювати малі значення струмів, що пов'язано з обмеженою чутливістю ЛДХ по вхідному шуму. Чутливість давачів може бути чутливо збільшена використанням підсилювача вхідного не фільтрованого сигналу, або багатовитковою конструкцією (рис. 5). У першому випадку ускладнюється будова схемного рішення, а у другому – зростає інерційність показань та індуктивність чутливого елемента (для спрацювання давача при струмі 10 мА необхідно намотати 150 витків). Тому, визначати тип виконання давачів необхідно у кожному випадку окремо, залежно віта діапазону д задач вимірювання і умов експлуатації.

У багатовитковому ЛДХ (рис. 4) B дорівнює [10]

$$B \approx 6,9 \cdot n \cdot I,$$
$$B \approx 12,57 \cdot 10^{-7} \cdot n \cdot I / d,$$

де n – кількість витків, шт.;

d - відстань до центру чутливого елемента давача Хола, м.

Висновки. Для забезпечення економічної привабливості результатів досліджень з розширення функцій моніторингу та діагностування ЕК та спрощення і уніфікації практичного впровадження доцільно використовувати безконтактні давачі електричного поля та струму. Це



дозволить реалізувати пропоновані функції, а й знизити ушкодження обладнання статичною напругою та ураження персоналу струмом.

Список використаних джерел.

1. *Діордієв В. Т.* АСК технологічними комплексами виробництва комбікормів у контексті наскрізного алгоритму керування виробництвом [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 117. – С. 125-128.
2. *Діордієв В. Т.* Ідентифікація режиму роботи елементів технологічних комплексів виробництва комбікормів [Електронний ресурс] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 1, Т. 1. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau>
3. *Діордієв В. Т.* Функціональність АСК технологічним комплексом виробництва комбікормів [Електронний ресурс] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 1, Т. 2. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau>
4. *Зайцев Д. А.* Инварианты временных сетей Петри / *Д. А. Зайцев* // Кибернетика и системный анализ. – 2004. – № 2. – С. 92 – 106.
5. *Камінський В. Д.* Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції / *В. Д. Каменський, М. Б. Бабич.* – Одеса: Аспект, 2000. – 460 с.
6. *Кашкарьов А. О.* Удосконалення інформаційного забезпечення системи керування організаційно-технічним комплексом виробництва комбікормів на основі еталонної моделі: дис. ... кандидата техн. наук : 05.13.07 / *Кашкарьов Антон Олександрович.* - К.: 2012. - 195 с
7. *Лескин А. А.* Сети Петри в моделировании и управлении [Текст] / *Лескин А. А., Мальцев П. А., Спиридонов А. М.* – Л.: «Наука», 1989. – 135 с.
8. *Мартиненко І. І.* Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК / *І. І. Мартиненко, В. П. Лисенко, Л. П. Тищенко, І. М. Болот, П. В. Олійник.* – К., 2008. – 330 с.
9. Пат. №54511 Україна. МПК⁹ A23N 17/00, G06Q 10/00 . Спосіб автоматизованого керування технологічним процесом виробництва комбікорму / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* / Заявник ТДАТУ. - № u201006332; заявл. 25.05.2010; бюл. №21/2010.
10. *Полищук А.* Некоторые применения линейных интегральных датчиков Холла [Электронный ресурс] / *А. Полищук* // Компоненты и технологии. – 2006, - №7. – Режим доступа: http://www.kite.ru/articles/sensor/2006_7_96.php



11. Самоучитель по схемотехнике [Электронный ресурс] // Техническая библиотека lib.qrz.ru. – Режим доступа: <http://lib.qrz.ru/node/1000>.
12. *Стеценко И. В.* Теоретические основы Петри-объектного моделирования систем / *И. В. Стеценко* // Математичні машини і системи, 2011. - №4. – С. 136-148.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕВАТОРНЫМ КОМПЛЕКСОМ С ФУНКЦИЕЙ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Кашкарёв А. А.

Аннотация - предложен способ синтеза системы управления элеваторным комплексом на основе сетей Петри, который обеспечивает реализацию функций мониторинга и диагностирования; приведен пример АСУ элеваторным комплексом; рассмотрены технические средства ввода информации о состоянии датчиков и работы исполнительных механизмов на основе бесконтактных логических измерителей напряжения и тока.

CONTROL SYSTEM OF THE GRAIN ELEVATOR WITH THE FUNCTION OF MONITORING BASED ON PETRI NETS

A. Kashkarov

Summary

In the article provided a method the synthesis of the control system grain elevator complex on the basis of Petri nets with function of the monitoring and diagnosis of control object. Shows an example ACS grain elevator. Examined the technical means of information input on the status of sensors and actuators work on the basis of contactless and discrete sensor of voltage and current.