

**ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ
ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ
СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

© Наконечний А. Й., Ванько В. М., 2018

Розроблено структурну схему комп'ютерної системи для вирощування сільсько-господарських культур на основі множини етапів цього виробництва. Наведено опис матричного представлення отриманих даних, а також функцій мети для кожного ієрархічного рівня запропонованої системи. Викладено теоретичні засади матричного моделювання процесів виробництва під час реалізації цієї кіберфізичної системи.

Ключові слова: комп'ютерна система, сільськогосподарські культури, структурна схема, матричне моделювання.

The structural scheme of the computer system for growing crops is developed, proceeding from the set of stages of this production. The description of the matrix representation of the obtained data, as well as the purpose functions for each hierarchical level of the proposed system is given. The theoretical bases of matrix modeling of production processes at the implementation of this cyber-physical system are presented.

Key words: computer system, growing crops, structural scheme, matrix modeling.

Вступ

Відомо, що теорія систем вивчає закони функціонування та побудови систем, призначених для управління різноманітними процесами і об'єктами. Одним із важливих напрямів досліджень у цій галузі вважається системний аналіз. Це науковий метод встановлення структурних зв'язків між елементами досліджуваної системи, завдяки яким формуються її функції і можливості для управління чи вивчення об'єктів, і ознайомлення з ними.

Один із різновидів систем управління – кіберфізична система (КФС) – являє собою взаємопов'язану сукупність вимірювальних, обчислювальних, керівних та інших технічних засобів, призначених для організації технологічного процесу, експерименту, діагностики чи дослідження явища. КФС реалізуються у вигляді замкненої структури, що реалізує збирання вимірювальної інформації, її опрацювання, аналіз та створення необхідних впливів на об'єкт.

Підхід до формування кіберфізичних систем**з огляду на специфіку проведення вимірювального експерименту**

Відповідно до [1] КФС необхідно розглядати у вигляді ієрархічної структури: об'єкт дослідження; засоби взаємодії з об'єктом; засоби збирання і доставлення інформації; засоби опрацювання даних; засоби прийняття рішень; засоби персонального сервісу (рис. 1).

Із урахуванням особливостей об'єкта, котрим покликана управляти КФС, формується комплекс цілей

$$\|C_{\text{КФС}}\| = \begin{bmatrix} C_B & C_{\text{Зд}} & C_{\text{Од}} & C_{\text{Пр}} & C_{\text{Зу}} & C_{\text{Ав}} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

причому C_B – матриця цілей щодо вимірюваних параметрів, які характеризують досліджуваний об'єкт, $C_{\text{Зд}}$ – матриця цілей стосовно збирання даних, які отримують у результаті обчислень чи експертних визначень, $C_{\text{Од}}$ – матриця цілей опрацювання даних, $C_{\text{Пр}}$ – матриця щодо прийняття

рішень, C_{3y} – матриця цілей стосовно зовнішнього управління, C_{AB} – матриця цілей щодо аналізу виконання етапу робіт.

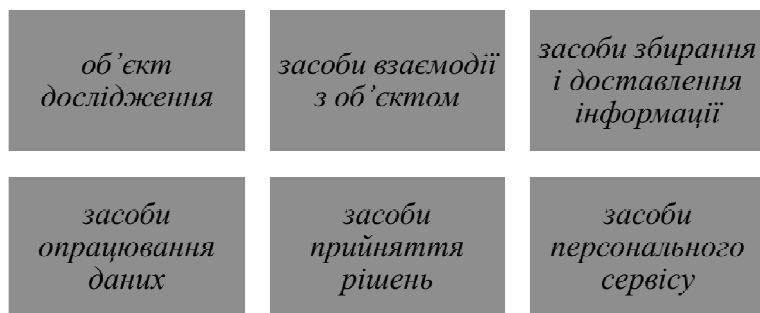


Рис. 1. Узагальнена ієрархічна структура кіберфізичної системи

Надалі зосередимось на засобах системотехніки, пов'язаних із реалізацією КФС, тобто на виборі блоків, що є елементами відповідної апаратної структури.

Для цього виокремимо види основних структурних вузлів у вигляді сукупності необхідних підсистем, з яких будуватиметься КФС конкретного призначення. До таких можна зарахувати такі підсистеми: вимірювальні; збирання даних; інформаційні; попереднього опрацювання інформації (або операційні); оцінювання стану; керівні; допоміжні (рис. 2) [2].

Відповідно до рис. 3 *вимірювальна підсистема* містить певний набір вимірювальних перетворювачів $ВП_1, \dots, ВП_b, \dots, ВП_v$, завдяки яким отримують безпосередню інформацію у вигляді електричного сигналу (напруги, струму, частоти) або певної послідовності кодів. Крім того, до структурної схеми цієї підсистеми входять: однокристальний мікроконтролер ОМК, аналоговий комутатор АК, аналого-цифровий перетворювач АЦП, джерело еталонних сигналів ДЕС та енергонезалежна пам'ять ЕП.

Проте не завжди є можливість отримати швидкий безпосередній результат від вимірювальних перетворювачів, а інколи виникає потреба у додаткових процедурах або обчисленнях, щоб одержати кінцеві дані. Такі завдання вирішують *підсистеми збирання даних* (рис. 4). Попередньо беруть пробу досліджуваного матеріалу (металу, пластмаси, ґрунту, зразків рослини тощо), а потім готують у ручному, напівавтоматичному або автоматичному режимах відповідний зразок (розчин, суспензію, порошок).

Якщо *підсистема збирання даних* реалізована у вигляді модерного спеціалізованого аналізатора [3], то проба готується у спеціальному випробувальному середовищі СВС, котре характеризується стабільними параметрами – температурою, вологістю, тиском. Одним із варіантів приготування зразка може бути певний розчин поміщеної у СВС проби. Відповідно до деяких фізико-хімічних закономірностей у спеціальній вимірювальній структурі ВСт під управлінням мікроконтролера МК визначається вектор споріднених параметрів $|A_z|$, котрі характеризують поміщену пробу. Прикладами таких підсистем можуть бути спеціалізовані аналізатори для проведення медичних аналізів, визначення вмісту нітратів, нітритів, білків у рослинних зразках тощо. До них також належать прилади для роботи з йоноселективними електродами – для роботи із пробами розчинів.

Інколи як МК доводиться використовувати не ОМК, а структуру спеціалізованої мікро-ЕОМ. Прикладом слугують МК сім'ї ADSP 2100 або ADuCM4050 фірми Analog Devices [4].

Під *інформаційними підсистемами* розуміємо загальновідомі структури на основі ОМК чи МК, призначені для пересилання інформації між різними рівнями КФС, причому може відбуватися її сортування, залежно від виду інформації та її призначення. Інколи вони здійснюють перетворення цифрових кодів до необхідного формату даних.



Рис. 2. Групи підсистем для практичної реалізації КФС

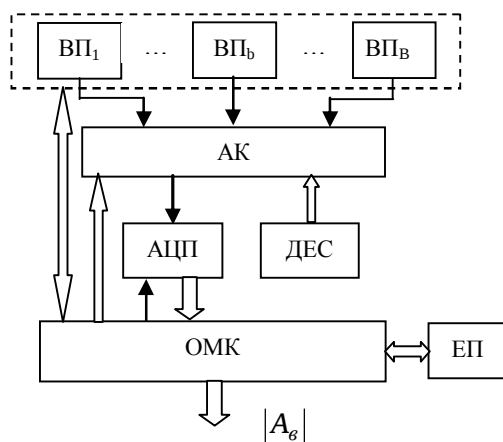


Рис. 3. Структурна схема типової вимірювальної підсистеми

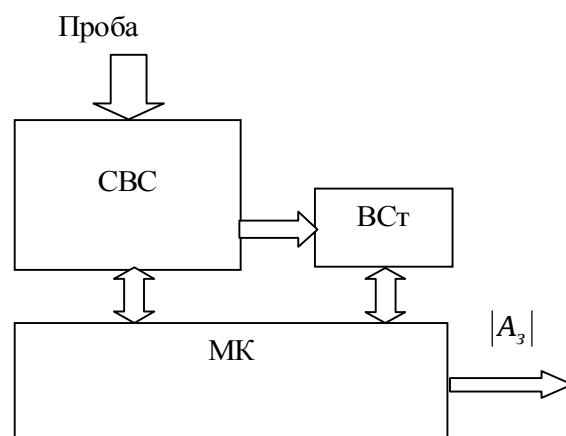


Рис. 4. Структура спеціалізованого аналізатора як прикладу підсистеми збирання даних

Під час опрацювання даних часто з'являється необхідність у здійсненні певних алгоритмів щодо отриманих вимірювальних даних з метою визначення розгорнутих характеристик, наприклад, енергетичних значень параметрів чи функцій. Вони описуються порівняно складними законами або математичними моделями (вміст органічних сполук, радіоактивних частинок у ґрунті чи рослинах тощо). Для вирішення таких завдань застосовують *підсистеми попереднього опрацювання інформації* (рис. 5).

Для побудови цих підсистем використовують МК або із традиційною восьмирозрядною шиною даних ШД, або із більшою – 16-розрядною. Вимірювальна інформація на ШД супроводжується відповідними даними по шині управління ШУ, що допомагає у правильній адресації та керуванні. Для реалізації обчислень із порівняно складними аналітичними

розрахунками структура містить додатковий процесор (Ко-процесор) КПр, котрий дає змогу в разі потреби швидко здійснювати потрібні розрахунки. Інколи достатньо застосовувати як КПр спеціалізовані перемножувачі цифрових кодів, наприклад, як у мікроконтролерах сім'ї MSP 430 фірми Texas Instruments [5].

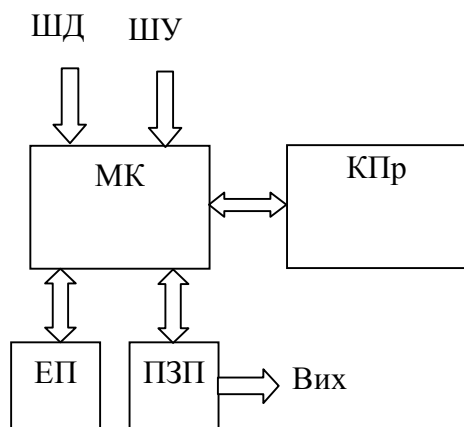


Рис. 5. Приклад структурної схеми підсистеми опрацювання інформації

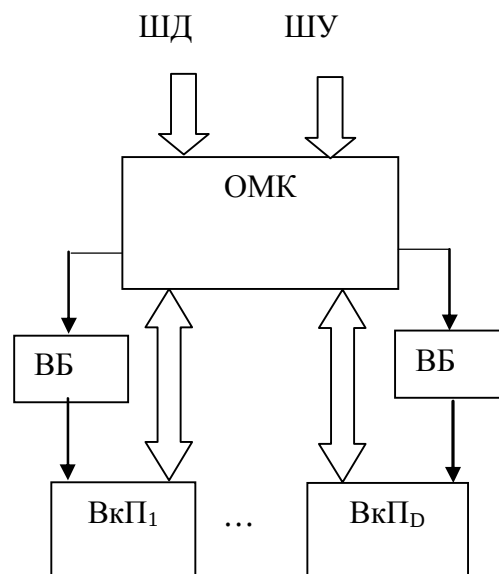


Рис. 6. Структурна схема типової керівної підсистеми

Аналогічно, як і у випадку *вимірювальної підсистеми*, для збереження отриманих даних слугує ЕП. Видавання даних на вихід здійснюється за посередництва пристрою забезпечення протоколу обміну ПЗП. Коли виникає потреба в аналізі та дослідженні конкретного етапу будь-якого виробництва, використовується *підсистема оцінювання стану*. Як правило, її основа – персональний комп'ютер як потужний засіб опрацювання різних за видом даних про об'єкт. Очевидно, що тут напрацьовуються основні підсумки реалізованих технологічних операцій та дій стосовно цього виду виробництва.

У разі виконання певних дій, маніпуляцій чи процедур на підставі отриманої інформації може виникати потреба в управлінні деякими зовнішніми пристроями, що здійснюється за допомогою *керівних підсистем* (рис. 6).

Так само, як і у попередній підсистемі (рис. 5), у цій структурі необхідні дані надходять по ШД у супроводі із допоміжними по ШУ. За цими даними ОМК забезпечує потрібні принципи регулювання або управління відповідними виконавчими пристроями ВкП₁, ..., ВкП_Д (комутатори живлення, механізми, технічні засоби тощо) через вихідні буфери ВБ. У структурі кожного ВкП можуть бути різноманітні пристрої (вимірювальні й контрольні), за вихідними сигналами яких стежать за режимами роботи цього ВкП. Ці функції здійснює ОМК.

Поряд з цим будь-яка КФС містить низку *допоміжних підсистем*, завдяки яким реалізується виконання конкретних визначених дій чи інших функцій: з'єднання між вузлами різних рівнів ієрархії КФС; сервісні функції; виконання неосновних функцій, пов'язаних із реалізацією контрольних операцій (стан вузлів, апаратів і агрегатів, задіяних на різних рівнях); моніторинг живлення підсистем структури; їхній захист від перевантажень, завад і зовнішніх втручань тощо.

Отже, структура КФС являє собою деяку комп'ютерну систему. Розглянемо як приклад КФС для вирощування сільськогосподарських культур [2], наприклад, таких як зернові чи аналогічні. Треба взяти до уваги перелік етапів такого виробництва: визначення місця посівної культури у сівозміні; оброблення ґрунту; внесення добрив; підготовка посівного матеріалу; висівання або садження; догляд за насадженнями; збирання врожаю; контроль показників якості зібраного врожаю; зберігання чи первинне перероблення врожаю [6].

Відповідно до цього структурна схема КФС складається із рівнів ієрархії (рис. 7).

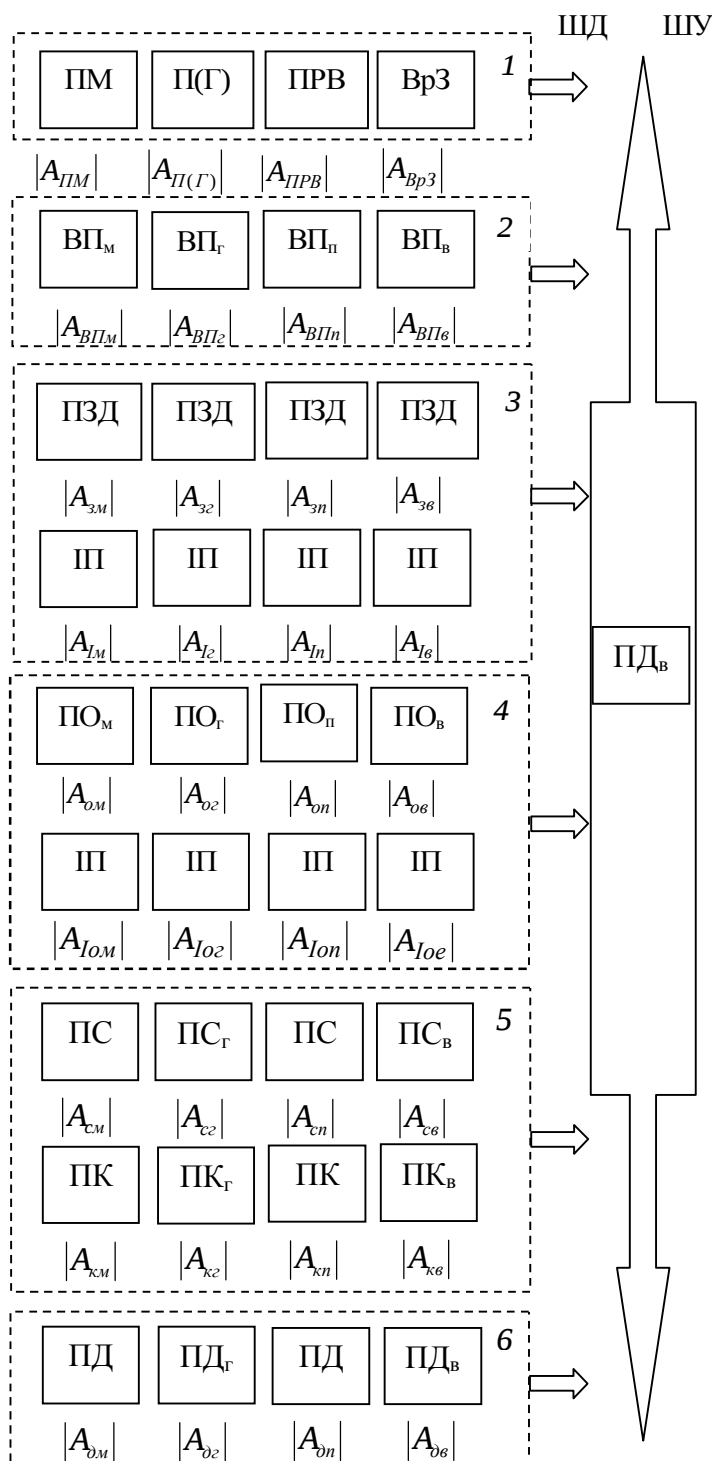


Рис. 7. Структурна схема КФС для вирощування сільськогосподарських культур

Перший рівень “об’єкт дослідження” містить такі об’єкти: посівний матеріал ПМ, поле (грунт) П(Г), проміжні результати врожаю ПРВ, врожай та його зберігання ВрЗ.

На другому рівні “засоби взаємодії з об’єктом” – вимірювальні підсистеми ВП_М, ВП_Г, ВП_П, ВП_В, пов’язані із відповідними об’єктами.

Третій рівень – засоби збирання і доставлення інформації – складається із підсистем: збирання даних ПЗД та інформаційних ПП.

На четвертому рівні “засоби опрацювання даних” – різні за призначенням і, відповідно, реалізацією (але однакові за принципом побудови) підсистеми попереднього опрацювання інформації ПО_м, ПО_г, ПО_п, ПО_в, а також інформаційні ПІ.

До п'ятого рівня “засоби прийняття рішень” належать підсистеми: оцінювання стану ПС_м, ПС_г, ПС_п, ПС_в та керівні ПК_м, ПК_г, ПК_п, ПК_в.

Шостий рівень “засоби персонального сервісу” складається із різних допоміжних підсистем ПД, які забезпечують функції, перераховані вище, та дають змогу реалізувати у цій КФС додаткові можливості для користувача під час виконання етапів відповідного аграрного виробництва.

За рекомендаціями [1] доцільно застосовувати єдині ШД і ШУ для всієї такої структури КФС. Це полегшить можливості для обміну інформацією між ієрархічними рівнями КФС, а також, за потреби, між різними вузлами одного рівня та між окремими вузлами різних рівнів.

Матричне моделювання процесів виробництва при реалізації КФС

З метою гарантування високої врожайності аграрних культур та якості сільськогосподарської продукції, отриманої на їхній основі, на нашу думку, доцільно застосовувати матричний метод оцінювання якості продукції, щоб здійснювати системний аналіз на різних етапах виробництва і конкретних ієрархічних рівнях КФС [7, 8]. Це дасть змогу пов'язати теоретичні аспекти функціонування виробництва із апаратною частиною КФС, що сприятиме побудові її оптимальної розгорнутої структури.

Варто зазначити, що методологія керування для цієї КФС полягає у послідовному виконанні описаних вище етапів аграрного виробництва – поступовому збиранні інформації, її аналізі та прийнятті необхідних рішень, спрямованих на корегування технологічних процесів з метою отримання високих врожаїв високоякісної сільськогосподарської культури.

Спочатку одночасно контролюють об'єкти ПМ і П(Г) (перший рівень 1 на рис. 7), матрицями $|A_{ПМ}|$ та $|A_{П(Г)}|$ фіксують дані стосовно нормативних вимог до посівного матеріалу ПМ (показники щодо місця посівної культури у сівозміні, підготовки посівного матеріалу, параметрів сорту), а також – поля та ґрунту П(Г) (показники щодо обробітку ґрунту, внесення добрив, стану ґрунту перед висіванням або саджанням, безпосередньо під час реалізації технології висівання або саджання). Йдеться про комплекси показників, яких треба дотримуватись в ідеалі.

Тобто на першому рівні 1 утворюється і аналізується перша виконавча функція

$$\|\Phi_{1_П}\| = \left\| \begin{matrix} \Phi_{ПМ} & \Phi_{П(Г)} \end{matrix} \right\|, \quad (2)$$

за якою на підставі перевірки отриманих $|A_{ПМ}|$ і $|A_{П(Г)}|$ перевіряють правильність виконання цих процесів.

На другому 2 і третьому 3 рівнях КФС отримують вимірювальну інформацію, що стосується об'єкта ПМ (матриці $|A_{ВПМ}|$ і $|A_{ЗМ}|$) та об'єкта П(Г) ($|A_{ВПГ}|$ і $|A_{ЗГ}|$). Ці дані свідчать про перебіг контрольованих процесів, але щоб зробити висновки щодо якості цих процесів, потрібно виконати певні обчислення за відповідними алгоритмами, щоб дослідити ефективність процесів стосовно ідеальної моделі (нормативних вимог), – виконавчі функції $\Phi_{2_П}$ та $\Phi_{3_П}$.

Для цього, використовуючи ПЗД, визначають матриці $|A_{ЗМ}|$ і $|A_{ЗГ}|$ та за допомогою ПІ формують $|A_{ЛМ}|$ і $|A_{ЛГ}|$. Останні передаються на рівень 4 до ПО_м і ПО_г, відповідно.

Додатково до опрацьованої за допомогою Φ_1 , Φ_2 та Φ_3 інформації на рівні 4 формуються матриці $|A_{ОМ}|$ і $|A_{ОГ}|$ та ПІ – $|A_{ЛМ2}|$ і $|A_{ЛГ2}|$, що використовують для розгляду виконавчої функції

$$\|\Phi_{4_П}\| = \left\| \begin{matrix} \Phi_{О_ПМ} & \Phi_{О_П(Г)} \end{matrix} \right\|. \quad (3)$$

За отриманими на чотирьох рівнях даними фіксують стан ПМ та ґрунту на початку аграрного виробництва – матриці $|A_{СМ}|$ і $|A_{СГ}|$ (рівень 5). На підставі їхнього аналізу формують висновки і

необхідні подальші дії – матриці $|A_{\kappa m}|$ і $|A_{\kappa z}|$. Це фіксується у відповідній функції – $\Phi_{5_П}$. Наприклад, замінити ПМ або здійснити додаткові дії щодо П(Г) – зволожити або додати добрива, пестициди, що реалізується на рівні 6 (матриці $|A_{om}|$ і $|A_{oz}|$ – виконавча функція $\Phi_{6_П}$).

Далі настає черга взаємодії об'єктів П(Г) і ПРВ КФС (рівень 1). У матриці $|A_{П(Г)}|$ наводять вимоги до вмісту поживних і небезпечних речовин та вологі у ґрунті, а у матриці $|A_{ПРВ}|$ – набори вимог стосовно врожайності сільськогосподарської культури (вибіркової висоти рослини, кількості листків, кількості початків тощо) через встановлені проміжки часу, тобто протягом вирощування цієї культури. Звідси перша виконавча функція наступних етапів

$$\|\Phi_{1_ПР}\| = \left\| \begin{matrix} \Phi_{ПМ_ПР} & \Phi_{ПР_ПР} \end{matrix} \right\|. \quad (4)$$

Відповідно, множини ВП і ПЗД (рівні 2 і 3) періодично збирають реальні дані про П(Г) і ПРВ щодо вмісту корисних і шкідливих органічних і неорганічних сполук, радіоактивних частинок у ґрунті чи рослинах, наведених на рівні 1 показників для цих об'єктів тощо). Як наслідок, протягом встановлених інтервалів часу формуються j -ті матриці $|A_{ВПz-j}|$ і $|A_{зz-j}|$ (для П(Г)) та $|A_{ВПn-j}|$ і $|A_{zn-j}|$ (для ПРВ), коли йдеться про j -ту вибірку контролю. Ці дані трансформуються за допомогою ІІ у матриці $|A_{Iz-j}|$ і $|A_{In-j}|$ та відображаються у виконавчих функціях $\Phi_{2_ПР}$ та $\Phi_{3_ПР}$ для подальшого застосування.

Після попереднього опрацювання деяких із цих даних на рівні 4 фактично доповнюють інформацію про об'єкти П(Г) і ПРВ, отриману на рівнях 2 і 3. Йдеться про визначення показників на підставі складніших обчислень, з використанням даних, отриманих на рівнях 2 і 3. Наприклад, щодо деяких корисних і шкідливих речовин, вміст яких можна встановити лише за допомогою класичних фізико-хімічних досліджень та складних математичних розрахунків.

На підставі цього формуються матриці $|A_{oz}|$ (об'єкт П(Г)) і $|A_{on}|$ (об'єкт ПРВ), котрі надалі за допомогою ІІ перетворюються у $|A_{Iz2}|$ і $|A_{In2}|$ і далі на виконавчу функцію $\Phi_{4_ПР}$. Надалі на кожному інтервалі здійсненої контрольної вибірки оцінюються на цей момент стан ґрунту і врожаю сільськогосподарської культури (рівень 5). Спочатку формуються на j -му інтервалі матриці станів $|A_{cz-j}|$ (об'єкт П(Г)) і $|A_{cn-j}|$ (об'єкт ПРВ), на підставі чого утворюються відповідні виконавчі функції $\Phi_{5_ПР}$. На кожному етапі контролю здійснюється моніторинг виконання конкретної технологічної операції порівнянням часткових матриць із матрицями еталонних значень показників $|A_{cz-je}|$ і для j -го показника виконуються операції

$$\left[\begin{matrix} |A_{cz-j}| \rightarrow \text{var} \\ |A_{cz-je}| \\ |A_{cz-jno}| \rightarrow \text{var} \end{matrix} \right] \Rightarrow \left[\begin{matrix} \text{порушення, якщо } |A_{cz-j}| - |A_{cz-je}| \gg 0 \\ \text{норма, якщо } |A_{cz-j}| - |A_{cz-je}| \leq 0 \\ \text{відхилення, якщо } |A_{cz-j}| - |A_{cz-jno}| \geq 0 \\ \text{нехтування, якщо } |A_{cz-j}| - |A_{cz-jno}| \ll 0 \end{matrix} \right]. \quad (5)$$

Це дає змогу напрацьовувати необхідні дії стосовно покращання технологічних процесів з вирощування сільськогосподарської культури, наприклад, зволоження ґрунту, додаткового внесення потрібних добрив чи гербіцидів для боротьби з виявленими шкідниками. У разі потреби у матрицях якості у матрицях рівня 5 $|A_{\kappa z}|$ (об'єкт П(Г), ПК_Г) і $|A_{\kappa n}|$ (об'єкт ПРВ, ПК_П) фіксують необхідні дані, на основі яких реалізують наведені дії щодо покращання аграрного виробництва. Ці

дії здійснюються за допомогою ПД_r та ПД_n та описуються відповідними матрицями $|A_{\partial r}|$ і $|A_{\partial n}|$. На рівні 6 за допомогою ПД_v на підставі даних матриці $|A_{\partial v}|$ ці дії виконуються (функції j -го етапу Φ_{6_jPR}).

Завершальну групу процесів аграрного виробництва становить ВрЗ (1-й рівень на рис. 7). Тут здійснюються: збирання врожаю, контроль аграрної техніки, складування врожаю, його збереження і, за потреби, первинна переробка, котрі також описуються сукупністю відповідних матриць якості, а також виконавчих функцій $\Phi_{1_B3} \dots \Phi_{6_B3}$.

Крім того, для забезпечення обміну інформацією та виконання певних сервісних дій у структурі ШД і ШУ містяться ПД, за допомогою яких можна реалізовувати додатковий контроль вирощування культури, контроль ґрунтів після збирання врожаю, контроль стану сільськогосподарської техніки, контроль живлення структур КФС та їхній захист від перевантажень, завад і зовнішніх втручань.

Висновки

Завдяки застосуванню сучасних інформаційних технологій та модерній реалізації різних видів підсистем сформовано нові підходи до організації та контролю технологій продукування промислових виробів у вигляді КФС, що продемонстровано на прикладі вирощування сільськогосподарської культури. Це дає змогу забезпечити виробництво якісної вітчизняної продукції, яку можна буде сертифікувати за вимогами міжнародних нормативних документів.

1. Мельник А. О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. – 2014. – № 806. – С. 154–161.
2. Vanko V. M. Principles of Cyber-Physical Systems Construction for the Needs of the Needs of Crops Cultivation // Advances in Cyber-hysical Systems. Vol. 2. – № 1, 2017. – Р. 32–37.
3. Raven Corp., USA. ООО "Агри 2.0. Точное земледелие". Многофункциональный полевой компьютер Envizio Pro II. [Online]. Available: <http://www.prom.ua>.
4. Analog Devices. Цифровые сигнальные процессоры фирмы Analog Devices. [Online]. Available: <http://www.analog.com>.
5. Texas Instruments. Microcontrollers (MCU). [Online]. Available: http://www.ti.com/lscds/ti/microcontrollers-16-bit-32-bit/msp/overview.page/?DCMP=MCU_other&HQS=msp430.
6. Бубела Т. З., Ванько В. М., Столярчук П. Г. Засади побудови кіберфізичних систем контролю та управління виробництвом зернових культур // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. – № 830. 2015. – С. 12–18.
7. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера. – Изд. 2-е. – К.: Техніка, 1977. – 768 с.
8. Ванько В. М., Столярчук П. Г. Метод оцінки якості продукції та послуг за допомогою теорії матриць // Вимірювальна техніка та метрологія. – № 67. – 2007. – С. 108–114.