

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Кашкар'ов Антон Олександрович**

УДК 004.94:681.5

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМ  
КОМПЛЕКСОМ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ  
НА ОСНОВІ ЕТАЛОННОЇ МОДЕЛІ

Спеціальність 05.13.07 – Автоматизація процесів керування

дисертація  
на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник: кандидат технічних наук  
професор  
Діордієв В.Т.

Мелітополь – 2012

## З М І С Т

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ВИРОБНИЦТВО КОМБІКОРМІВ НА АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ В УМОВАХ ГОСПОДАРСТВ АПК УКРАЇНИ	12
1.1 Особливості виробництва комбікормів на автоматизованих технологічних комплексах	12
1.2 Технологічний процес виробництва комбікормів як об'єкт автоматизації	16
1.3 Аналіз і класифікація методів і засобів автоматизованого керування ОТК виробництва комбікормів	24
Висновки по розділу	34
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСК ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ	35
2.1 Формалізація дискретних технологічних процесів	38
2.1.1 Аналіз методів та засобів моделювання дискретних технологічних процесів	38
2.1.2 Використання мереж Петрі для моделювання ВК на ОТК	46
2.2 Інформативність автоматичної системи керування	55
2.2.1 Оцінка стану технічної системи на основі вимірювань	56
2.2.2 Статистичне та технічне значення факторів збурення	77
Висновки по розділу	88
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ НА ОСНОВІ ЕТАЛОННОЇ МОДЕЛІ	90
3.1 Загальна методика досліджень	90

3.2 Моделювання технологічного процесу виробництва комбікормів на сучасному ОТК	94
3.3 Дослідження режиму роботи засувок	99
3.4 Виробничі випробування інформаційного забезпечення	99
3.5 Очікуваний економічний ефект від впровадження	109
Висновки по розділу	111
РОЗДІЛ 4 РЕАЛІЗАЦІЯ АСК ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ	112
4.1 Адаптація технологічної схеми та системи керування ОТК ВК до вимог господарства	114
4.2 Розробка АСК ОТК ВК на основі мереж Петрі	120
4.2.1 Графічний інтерфейс програми	124
4.2.2 Робота з елементами мережі	125
4.2.3 Робота з зовнішніми пристроями	129
4.3 Аналіз споживчих характеристик та конкурентоспроможності результатів досліджень	132
Висновки по розділу	140
ВИСНОВКИ	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	144
Додаток 1	160
Додаток 2	167
Додаток 3	175
Додаток 4	177
Додаток 5	180
Додаток 6	185

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АД – асинхронний двигун
- АСК – автоматизована система керування
- АТК – автоматизований технологічний комплекс
- АЧХ – амплітудно-частотна характеристика
- АХ – амплітудна характеристика
- БД – база даних
- БЕД – база еталонних даних
- БФЕ – багатофакторний експеримент
- ВЕ – виконавчий елемент
- ВК – виробництво комбікормів
- ДВР – датчик верхнього рівня
- ДНР – датчик нижнього рівня
- ДПФ – дискретне перетворення Фур'є
- МКУ – малогабаритна комбікормова установка
- МП – мережа Петрі
- НВЧ – надвисока частота
- ООП – об'єктно-орієнтоване програмування
- ООМ – об'єктно-орієнтоване моделювання
- ПЗ – програмне забезпечення
- ТМ – технологічний модуль
- ТП – технологічний процес
- ТС – технологічна схема

## ВСТУП

**Актуальність теми.** З метою покращення продовольчого кошику значної частини населення України та забезпечення переробних виробництв сировиною необхідно відновлювати національне тваринництво. За даними Світового банку, зростання виробництва валового продукту, досягнуте завдяки галузям сільського господарства, що найменше удвічі ефективніше сприяє скороченню бідності, ніж досягнуте за рахунок інших галузей економіки [1].

Враховуючи важливу роль сільського господарства в економіці України (8,17% загального обсягу валової доданої вартості всіх галузей економіки за результатами 2010 р, 8,22% – 2009 р. [2]), питання ефективності виробництва та підвищення конкурентоспроможності виробників стають особливо актуальними.

Для забезпечення збалансованого продовольчого кошику на рівні медичних норм, Україна найближчим часом повинна збільшити виробництво продукції сільського господарства, зокрема м'яса і м'ясопродуктів на 1,8 млн.т, молока і молокопродуктів на 6 млн.т [1]. Крім того, у господарствах населення виробляється понад 50% валової продукції тваринництва та майже 80% господарюючих суб'єктів сконцентровано нижче середніх рівнів виробничих потужностей державної статистичної шкали (виключенням є птахівництво – 52%) [3, 4].

Становлення тваринництва та його сталий розвиток не можливий без розвитку ділянок (цехів) виробництва кормів (ВК) в умовах господарств. Корми мають 60% впливу на використання генетичного потенціалу тварин [1] (за даними 2011 р.: ВРХ – 48-50%, бройлери – 77% [1], свині – 35-40% [5]) та більш ніж 50% на собівартість продукції тваринництва (2009 р. – 53,9%; 2008 р. – 54,5%) [6]. Певна увага впливу якості кормів на собівартість продукції тваринництва приділена у проекті Концепції комплексної державної програми реформ та розвитку сільського господарства України [7], у Комплексній державній програмі енергозбереження України (економія паливно-мастильних матеріалів – 5% у собівартості комбікормів [6]) [8]. Врахування наведеного матеріалу, вимагає розгляду ВК в умовах господарств з власною кормовою базою з використанням автоматизованих

технологічних комплексів (ТК) як один з головних шляхів покращення стану галузі.

Доступність модульного технологічного обладнання дозволяє механізувати майже всі технологічні операції, але при цьому формується децентралізована система керування виробництвом, яка базується на поєднанні морально застарілих технологічних модулів (80-90% технічного парку більшості господарств [8]) та локальній автоматизації ділянок ТП ВК, що ускладнює її поєднання у цілісну АСК, а також модернізацію типових проектів ОТК ВК. Необхідність цього пов'язана з можливою зміною напрямку виробничої діяльності та кон'юнктури ринку, розвитком господарства, а також узгодженням локальних АСК ділянок ТП та системи керування нового обладнання.

Питання виробництва комбікормів та автоматизація технологічного процесу їх виробництва представлена у наукових роботах Єгорова Б. В., Храмцової Н. П., Сторожук Л. О. (технологічні схеми ОТК ВК), Сироватко В. І., Хобіна В. А., Гіруцького І. І., Діордієва В. Т., Чаусова С. В. (автоматизація ОТК ВК). Доцільно спиратись на результати робіт Слєпцова А. І., Юрасова О. О., Зайцева Д. А., Стеценко І. В., які слід розглядати у контексті модульного проектування ОТК та АСК ним з урахуванням можливостей сучасних засобів автоматизації.

Такий підхід поєднує результати досліджень науковців різних напрямків, дозволяє уніфікувати процедури проектування автоматичних систем керування та розширити її інформаційні функції, з урахуванням стохастичності фізико-механічних властивостей компонентів комбікормів та готової продукції, різноманіття технологічних схем, характер ієрархічних зв'язків між технологічними операціями та обладнанням, а також їх режими роботи та умови експлуатації. Поставлені задачі слід розв'язувати у контексті модульного проектування ОТК та АСК ним з урахуванням можливостей сучасних засобів автоматизації. Це дозволить забезпечити універсальність систем керування, спростити виконання модернізації технологічної схеми та її узгодження із схемою керування, підвищити інформативність АСК.

Відповідно до державної цільової програми розвитку українського села на період до 2015 року [9], пріоритетних завдань аграрної науки України [10] та концепції наукового забезпечення установами Української Академії аграрних наук розвитку галузей агропромислового комплексу України в 2011-2015 роках [11] та пріоритетних завдань аграрної науки України для розвитку тваринництва необхідно концентрувати виробництво продукції тваринництва в особистих селянських господарствах шляхом формування кооперативних об'єднань. При розв'язанні поставлених завдань головним стримуючим фактором є розрізненість результатів досліджень щодо оптимізації роботи технологічних модулів ОТК ВК, які спрямовані на оптимізацію режимів роботи силового енергоємного обладнання шляхом використання сучасного технічного та алгоритмічного забезпечення АСК технологічним процесом.

Отже, обґрунтування, розробка та удосконалення забезпечення інформаційних функцій, а також їх впровадження, – є актуальною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано відповідно до науково-технічної програми № 1 Таврійського державного агротехнологічного університету на 2007-2010 роки «Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України» (№ ДР 0102U000678): Підпрограма 1.7 «Автоматизація технологічних процесів»; напрямок 1.7.1 «АСУ ТП малогабаритних комбікормових установок»; «Автоматизація технологічних процесів виробництва та переробки продукції сільського господарства» (№ ДР 0111U002548, 2011-2015 р.).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є підвищення надійності роботи організаційно-технічних комплексів виробництва комбікормів в умовах господарств шляхом розширення інформаційних функцій системи керування.

Досягнення поставленої мети реалізується через формулювання та розв'язання наступних задач теоретичних та експериментальних досліджень:

- аналіз технологічних схем ВК в умовах господарств АПК та причин зниження надійності та ритмічності роботи ОТК;
- аналіз функцій АСК роботою технологічних комплексів ВК;

- обґрунтування математичного забезпечення АСК;
- синтез АСК технологічним комплексом ВК з урахуванням технологічної схеми та параметрів, які підлягають контролю, керуванню та реєстрації;
- розробка імітаційних моделей технологічних модулів;
- формалізація алгоритмічного забезпечення інформаційних функцій АСК;
- експериментальне дослідження та виробниче випробування запропонованих інформаційних функцій;
- розробка програмного забезпечення АСК ОТК ВК.

*Об'єкт дослідження* – автоматичні системи керування організаційно-технічними комплексами виробництва комбікормів.

*Предмет дослідження* – інформаційне забезпечення системи керування організаційно-технічним комплексом виробництва комбікормів на основі еталонної моделі.

*Методи дослідження.* Для аналізу ОТК ВК в умовах господарств та методів реалізації АСК були використані інструменти системного аналізу: аналіз теоретичної інформації про структуру ОТК; використання функціонально різнотипного математичного забезпечення; узгодження алгоритмів оцінки роботи технологічного обладнання з його принципом дії та подальше їх узагальнення; аналіз інформативності датчиків та АСК. При розробці АСК ОТК використані об'єктно-орієнтовані технології та математичний апарат мереж Петрі. З метою визначення характеру зв'язків між елементами ТК ВК (засувка, транспортер, вимірювальні пристрої положення об'єктів та рівня) та біологічними об'єктами (компоненти комбікормів, готовий комбікорм) використані засоби імітаційного моделювання. Отримані теоретичні дані оброблялись відомими статистичними методами, математичним апаратом гармонійного аналізу (дискретне перетворення Фур'є).

Обробка результатів досліджень здійснювалась з використанням офісного пакету Microsoft Excel, Matlab (simulink) та програм власної розробки.



### **Наукова новизна отриманих результатів:**

#### *Вперше:*

- класифіковано події, які призводять до зниження надійності роботи організаційно-технічного комплексу, якості комбікормів, збільшення втрат ресурсів та аварійної ситуації, на відміну від відомих принципів класифікації за окремими технологічними модулями, що дозволило обґрунтувати розгляд технологічного процесу виробництва комбікормів як дискретного у просторі, а також напрям удосконалення інформаційного забезпечення автоматичних систем керування;
- на відміну від поширеного співставлення елементів мережі подіям виконавчі елементи та датчики узгоджено з елементами мереж Петрі, що дозволило реалізувати автоматичну систему керування організаційно-технічним комплексом виробництва комбікормів з формалізацією процесу його проектування, керування та реалізації інформаційних функцій;
- проаналізовано час спрацювання датчиків та час генерації команд керування дискретним перетворенням Фур'є, на відміну від стандартних методів ідентифікації похибок, що дозволяє на основі мінімального набору еталонних даних зробити висновок про режим роботи та стан організаційно-технічного комплексу.

#### *Поширено дію:*

- відомого принципу модульного проектування об'єктів керування на інжиніринг організаційно-технічного комплексу виробництва комбікормів, що дозволяє уніфікувати задачі керування технологічними модулями та автоматизувати розробку еталонної імітаційної моделі на основі мереж Петрі;
- принципу імітаційного моделювання на оцінювання впливу параметрів мережі живлення та фізико-механічних властивостей компонентів комбікормів на тривалість роботи технічних засобів автоматизації організаційно-технічного комплексу, що дозволило обґрунтувати функції інформаційного забезпечення.

#### *Дістало подальший розвиток застосування:*

- математичного апарату мереж Петрі при проектуванні систем автоматичного керування технологічними процесами, що дозволило узгодити програмну та технічну реалізацію результатів досліджень;

– дискретного перетворення Фур'є при обробці виробничих даних, що дозволило забезпечити уніфікацію алгоритмів аналізу вхідних даних та мінімізацію об'єму еталонної вибірки.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- розроблена методика синтезу технологічної схеми ВК покладена в основу програмного забезпечення проектування ОТК ВК за умовами господарств;
- розроблені заходи підвищення інформативності АСК дозволяють попередити вихід з ладу силового обладнання, оцінити режим роботи основних елементів ОТК ВК, впровадити нові параметри контролю ТП, стану ОТК та ефективності роботи автоматичної системи керування;
- результати досліджень передані у ВАТ «Уманьферммаш» (Черкаська обл., м. Умань), ПрАТ «Симферопольський ремонтно-механічний завод» (АР Крим, м. Сімферополь), впроваджені у комбікормовому цеху №2 ТОВ «Агропромислова компанія» (Запорізька обл., м. Мелітополь) та можуть бути покладені в основу вітчизняної SCADA-системи для аналогічних ОТК з дискретним характером роботи виконавчих елементів.

**Особистий внесок здобувача.** Результати, які складають основний зміст дисертації, отримано здобувачем самостійно. В опублікованих роботах, виконаних у співавторстві, здобувачеві належать такі ідеї та розробки: аналіз енергоощадних технологій підготовки компонентів комбікормів до переробки та готового комбікорму до згодовування на основі принципу модульного проектування [12, 13, 14, 15]; формалізація функціонального забезпечення [16, 17]; теоретичне обґрунтування математичного апарату АСК ОТК ВК та її реалізація в умовах господарств [18, 19]; методи та алгоритми отримання вхідної інформації про ОТК ВК та компоненти комбікорму [20, 21, 22], а також про поточний стан його елементів [23, 24]; використання мереж Петрі у задачах проектування ОТК ВК та АСК ним [25, 26, 27, 28] з подальшим впровадженням [29].

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень, що включено в дисертацію, представлено і схвалено на науково-технічних конференціях різного рівня: науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу аспіра-

нтів і співробітників ТДАТУ (м. Мелітополь, 2007-2012 р.); Міжнародні науково-технічні конференції «Системний аналіз та інформаційні технології» (КПІ, 2008 р., 2009 р., 2010 р., 2011 р., м. Київ), «Інформатика та комп'ютерні технології. ІКТ-2009» (ДонНТУ, 2009 р., м. Донецьк), «Керування, автоматизація та оточуюче середовище» (конференція молодих учених, аспірантів та студентів у СевНТУ, 2011 р., м. Севастополь); Міжнародні науково-практичні конференції присвяченої пам'яті академіка Петра Василенка (Львівський НАУ, 2008 р., м. Львів), «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2009 р., 2010 р., 2011 р., 2012 р., м. Харків), «Моделювання технологічних процесів в АПК» (ТДАТУ, 2010 р., м. Мелітополь), «Інформаційні технології в освіті та управлінні» (НКПІ, 2012 р., м. Ново-Каховка); Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика-2012» (НУХТ, 2012 р., м. Київ).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційних досліджень, в період з 2007 по 2012 роки, опубліковано 16 наукових праць у фахових виданнях, за переліком затвердженим ВАК України, в яких опубліковані основні наукові результати досліджень. Отримано 2 патенти на корисну модель (№ 30697, № 54511) та свідоцтво про реєстрацію авторського твору (програмне забезпечення АСК ТК ВК «MiniAPCSCombi» № 36841). Також було опубліковано 6 наукових праць у фахових виданнях та 8 публікацій у збірниках праць наукових конференцій, які додатково відображають результати дисертації.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, переліку умовних позначень, 4 основних розділів, додатків, списку використаних джерел (150 найменувань). Загальний обсяг роботи становить 197 сторінок, з яких 144 сторінки основного тексту та 47 рисунків і 17 таблиць.

РОЗДІЛ 1  
ВИРОБНИЦТВО КОМБІКОРМІВ НА АВТОМАТИЗОВАНИХ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ В УМОВАХ ГОСПОДАРСТВ  
АПК УКРАЇНИ

1.1 Особливості виробництва комбікормів на автоматизованих технологічних комплексах

Основним фактором ефективного тваринництва є забезпечення тварин повнораціональними кормами, своєчасна та нормована годівля [30, 31]. Крім того, корми повинні бути у такому стані, в якому їх поживні речовини будуть легко доступними і використовуватися організмом тварин з максимальною конверсією [32, 33, 34, 35]. Процес виробництва комбікормів може включати ряд технологічних заходів, різних за механізмом дії та спрямованістю, які спрямовані на: покращення поїдання (споживання), прискорення та скорочення витрат енергії тварин на перетравлювання, підвищення конверсії [30, 36]. Також, з метою забезпечення ефективного використання поживної цінності кормів, їх необхідно заготовляти і готувати до згодовування у відповідності з зоотехнічними вимогами [37].

Суттєвим фактором, який впливає на ефективність роботи ОТК ВК, є складання рецепту комбікорму. Це дозволяє заощаджувати на різниці вартості компонентів комбікорму, відповідно до розрахункових параметрів поживності та знизити енерговитратність процесу його виробництва до 18% [38, 39, 40].

Єгоров Б. В. розглядає існуючі ОТК ВК за наявністю певних технологічних етапів [41]. В його роботах ефективність та рівень досконалості аналізується на основі серійного обладнання та діючих ОТК. Результати роботи використовують для розробки нових ТС ВК. Актуальність цього напрямку підтверджується виконаним оглядом технологічних схем.

Щодо ТП ВК, то він починається з підготовки компонентів комбікормів до подальшої обробки. Цей етап у значній мірі визначає успішність ведення технологічного процесу і ступінь використання комбікорму. Якісне очищення вхідного

матеріалу дозволить гарантувати високий рівень охорони праці та підвищити поживність до 20% у порівнянні з непідготовленими компонентами [42, 43].

У технологічному розумінні часто виникають такі потреби: змінювати склад і співвідношення вхідних та вихідних компонентів, які до того ж мають не постійні характеристики; регулювати фракційний склад інгредієнтів комбікормів та тривалість їх змішування. Ці фактори можуть суттєво впливати на продуктивність тієї чи іншої ланки технологічного процесу і, відповідно, структурного елементу ОТК ВК. Крім того, у господарствах застосовують різні технології підвищення засвоєваності та харчової цінності компонентів комбікормів (механічне подрібнення, зволоження, плющення, термічна обробка, екструдкування, обробка інфрачервоним опроміненням [31, 36, 44, 45, 46]), що беззаперечно впливає на фактичні показники технологічних машин і навантаження приводних механізмів [47]. Це пов'язано з тим, що у проектних роботах приймаються середні значення різних коефіцієнтів, які враховують зовнішні умови: заповнення та спосіб завантаження або розвантаження транспортерів, витікання компоненту з бункерів, вологість компонентів і їх питома вага, гранулометричний склад, кути зовнішнього і внутрішнього тертя, енергія подрібнення тощо [48, 49, 50].

Необхідно звернути увагу на електротехнічним засобам підготовки компонентів комбікорму до подрібнення. У роботах, як правило, ставиться задача про визначення зміни кормових цінностей [43, 46, 51, 52, 53]. Зміна режиму роботи дробарки стає побічним ефектом, який необхідно враховувати при автоматизації технологічного процесу [12].

Найбільш цікавими є процеси мікронізації, НВЧ-обробки та ультразвукової обробки компонентів перед подрібненням. У першу чергу це пов'язано із підвищенням поживних якостей комбікорму, з не зараженням його компонентів та зниженням енергії подрібнення, що для фермерських господарств має велике значення. В певній мірі наведені вище методи обробки компонентів змінюють режим роботи технологічного обладнання, що впливає на роботу ОТК ВК в цілому.

Збільшення, через зростання вартості енергоресурсів, транспортних витрат на перевезення компонентів та виробництва комбікормів, а також можлива низька

якість виробленої комбікормової продукції, обґрунтовує велику частку кормів у структурі собівартості тваринницької продукції (до 60% [6]).

У зв'язку з цим промисловість багатьох країн випускає широкий спектр серійних, експериментальних та лабораторних ОТК ВК малої та середньої продуктивності. Реагуючи на попит, вітчизняні заводи сільськогосподарського машинобудування, починаючи з 90-х років, розробляють і випускають серійні ОТК продуктивністю від 0,2 т/год до 4 т/год [32, 54, 55, 56, 57], які експлуатуються у господарствах та мають такі технологічні і технічні рішення [47, 56, 58, 59]: зменшення маси конструкції шляхом поєднання основних і допоміжних операцій, спрощення систем приводу робочих органів, зменшення питомих енергетичних втрат, спрощення способу регулювання якості продукції і заходів технічного обслуговування обладнання, пристосованість до використання у будь-яких існуючих приміщеннях зерноскладів, спрощення монтажних та налагоджуваних робіт тощо

Для ВК в умовах господарства за спрощеними технологічними та конструктивними рішеннями розроблені ОТК на базі молоткової дробарки (додаток 2) [32, 58, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68]. У випадку переробки компонентів комбікорму власного виробництва з використанням закуплених мінеральних, білкових та вітамінних добавок, за допомогою таких ОТК суттєво зменшують метало- та енергоємності ТП, знижують транспортні витрати та витрати на корми, в результаті чого знижується собівартість як самих комбікормів, так і тваринницької продукції виробленої з їх використанням [32, 57, 69]. Виходячи з особливостей ТП, зокрема до ОТК ВК, створення технічних засобів відбувалось за трьома напрямками: спеціальні, універсальні та комбіновані машини [56, 70, 71].

Ці, достатньо прості (порівняно з промисловими) ОТК ВК різняться між собою конструктивно-функціональними ознаками, організацією ТП (безперервної та порційно-періодичної дії), рівнем механізації допоміжних операцій (завантаження вихідної сировини, затарювання та розподіл готової продукції тощо) та техніко-економічними показниками [32, 47, 56, 58].

Перші вітчизняні технічні рішення базувались на ОТК з неперервним принципом дії. Але особливості ТП ВК як об'єкта автоматизації та умов використання

ОТК не набули широкого поширення. Наступним етапом розвитку ВК в умовах господарств став перехід до порційно-періодичного принципу дії ТК, що відкрило великий простір для наукової діяльності та впровадження її результатів.

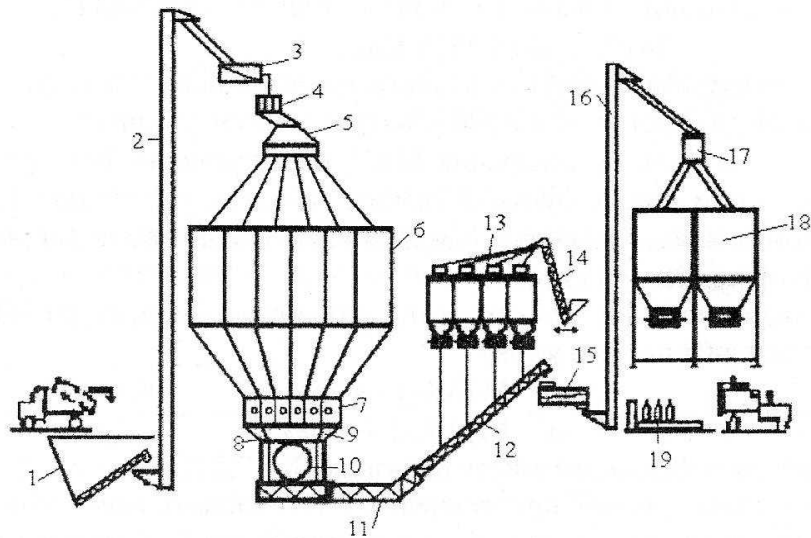
ТК ВК порційно-періодичної дії представлені широкою лінійкою вітчизняних та закордонних виробників, технологічні рішення яких адаптовані до індивідуальних потреб господарств з власною кормовою базою [72].

Аналіз типового технологічного обладнання дозволив акцентувати увагу на модульній будові ОТК (додаток 2). Можна зазначити, що сучасні стаціонарні ОТК ВК проектуються за порційно-періодичним принципом дії, що спрощує технологічну схему, забезпечує випуск широкого асортименту комбікормів, уніфікує налагодження комплексу та його експлуатацію, а також спрощує АСК ТП.

Саме тому технологічні схеми та АСК ОТК ВК в умовах господарств мають «дешеві» індивідуальні інжинірингові рішення, що зменшує надійність, інформативність, можливість модернізації та ставить під сумнів якісну та безпечну реалізацію ТП. Сучасні технічні засоби автоматизації дозволяють реалізувати уніфіковані АСК з широким переліком виконуваних функцій як на рівні виробництва, так і на рівні господарства.

У контексті розробки ОТК ВК мають певну вагу роботи Діордієва В. Т. [13, 14, 32], в яких для їх створення головним вхідним параметром є напрямок діяльності господарства або перелік рецептів комбікормів. Згідно положень робіт за цими вхідними даними генерується технологічна схема комплексу ВК, а його економічні та технологічні параметри оцінюються за допомогою інтегрального критерію. Необхідно зазначити, що вперше було поставлено на один рівень синтез рецептури комбікорму та АСК майбутнього ОТК ВК. Результатом роботи стала обґрунтована ТС універсального ОТК ВК поточної дії (рис. 1.1).

У розглянутих роботах проєктовані технологічні комплекси представляються з неперервним принципом дії, що призводить ускладнення моделювання його роботи та індивідуального підходу до синтезу і реалізації АСК ним.



1–1 приймальний бункер; 2,16 – норії; 3 – сепаратор; 4 – магнітна колонка; 5 – розподільувач поворотний; 6, 13, 18 – бункери; 7 – дозатори; 8, 9 – перекидні заслінки; 10 – дробарка; 11, 12, 14 – шнеки; 15 – змішувач-знезаражувач; 17 – розподільувач; 19 – ваги.

Рис. 1.1. Універсальна комбікормова установка

## 1.2 Технологічний процес виробництва комбікормів як об'єкт автоматизації

Процес виробництва комбікормів представляється як цілісний об'єкт, утворений із функціонально різнотипних систем, структурно взаємопов'язаних ієрархічною підпорядкованістю ТП і функціонально об'єднаного технологічного обладнання [14, 73]. Тому сучасні ОТК ВК представляють собою складні технологічні системи. За період свого існування вони пройшли складний еволюційний шлях від простих та низькоефективних до складних і високоефективних виробництв.

Автоматизація сільськогосподарського виробництва спирається на багатий досвід промисловості. Разом з тим, до методів і засобів автоматизації, котрі застосовуються у тваринництві, висувають вимоги, обумовлені специфікою ТП ВК [32, 74, 75, 76]: машинна технологія тісно переплітається з біологічними процесами, розосередженість сільськогосподарської техніки по великих площах і далекість її від ремонтної бази, відносно мала потужність установок і невисока кваліфікація обслуговуючого персоналу, добове загальне число годин роботи машин відносно циклу виконуваних операцій ОТК мале. Перелічені особливості обумовлюють зосередження уваги на забезпеченні керованості ОТК та функціональній обмежено-



сті АСК з огляду на гнучкість керування та інформаційні функції, що породжує певні проблеми експлуатації АСК в умовах господарств (рис. 1.2).

Як правило, рішення поставлених задач у сучасних АСК зводиться до розробки функцій обробки поточних та архівних даних, що дозволяє залучати експертів для проектування цих функцій, та збільшує навантаження на АСК.

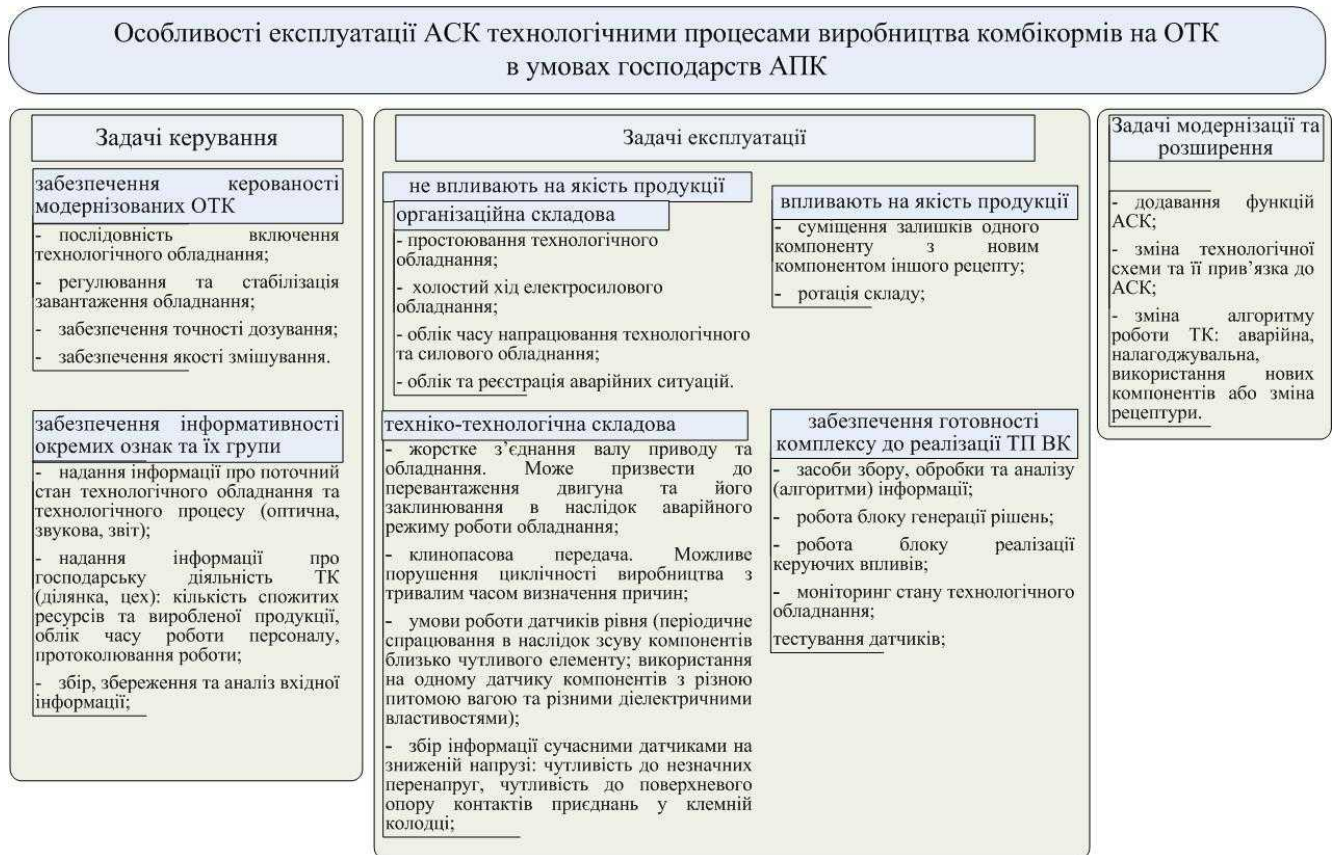


Рис. 1.2. – Завдання АСК ТП ВК в умовах господарств

У результаті аналізу технологічних схем комплексів ВК в умовах господарств, складений перелік датчиків для параметрів, які підлягають контролю, реєстрації або регулюванню (табл. 1.1) [23, 32]. Отже, АСК може отримувати повну інформацію про стан ТП та елементів ОТК, на підставі якої реалізовувати відповідні інформаційні функції.

Для розробки таких функцій необхідно формалізувати ТП ВК як об'єкт керування для автоматизованих систем. Виділяють три основні напрямки досліджень з розробки математичних моделей функціонування та ефективності роботи ОТК, які включають вихідний ефект, витрати і зовнішні впливи [58].

Таблиця 1.1

Параметри технологічного процесу ОТК ВК, які підлягають контролю,  
реєстрації та управлінню

Вузол ОТК ВК	Тип сигналу-датчика		Параметри		
	дискр.	аналог.	контроль	реєстрація	управління
Бункер: приймальний оперативного запасу готової продукції	+	-	Верхній і нижній рівні компонентів комбікорму та готової продукції	Не використо- вується	Вкл/викл по- дачі
Система розподілу ком- понентів по бункерах: приймальні оперативного запасу готової продукції	+	-	Вологість і засмі- ченість потоку компонентів, по- ложення розподі- льного патрубку	Не використо- вується	Вмикання приводу роз- подільника, положення робочого ме- ханізму
Дробарка: дозування завантаження дробарки вивантаження	+	+	Положення пере- кидних клапанів крайніх бункерів, подача компонен- тів та мікродоба- вок, крупність по- мелу, струм при- водного двигуна	навантажувач- на діаграма приводу дроба- рки	Вмикання приводу пе- рекидних клапанів, ре- гулювання подачі ком- понентів
Змішування: дозування тривалість змішування якість змішування	+	+	Завантаження, тривалість та рів- номірність змі- шування, воло- гість корму, струм приводу	Тривалість змішування, кількість від- пущеної проду- кції	Вмикання приводів змішувача та засувок
Гранулювання	+	+	Температура мат- риці, завантажен- ня приводу, рі- вень продукту у охолоджувачі	Навантажувач- на діаграма приводу грану- лятора	Завантажен- ня, розмір гранул та їх грануломет- ричний склад
Готова продукція: зберігання відпустка	-	+	Положення пере- кидного клапана розподільника, кількість відпу- щеної продукції	Реєстрація від- пуску готової продукції з фо- рмуванням від- повідних видів	Привід пере- кидного кла- пана розподі- льника, вкл/ викл приводу

Перший напрям – розробка моделей комплексних показників, які враховують економічні, енергетичні, технологічні конструктивні та інші особливості об'єкту моделювання. Вибір показників комплексної оцінки авторами цього напрямку пропонується виконувати експертним методом, а їх вагомість визначати на основі багатofакторних фізичних залежностей.

Другий напрям – розробка моделей та показників, які характеризують ймовірність виконання виробничих функцій об'єкту дослідження. Цей напрям характерний для об'єктів, в яких можливе виконання виробничих функцій різними способами, які мають різну ефективність.

Третій напрям – розробка моделей показників відповідно до умов експлуатації об'єкта дослідження.

Для пояснення першого напрямку процес функціонування ОТК представляють у вигляді «чорного ящика», за допомогою якого визначаються зв'язки між вхідними та вихідними параметрами з урахуванням зовнішніх збурень та керуючих впливів на ефективність загального використання ОТК ВК. Відомі роботи, в яких параметрична модель функціонування ОТК ВК представляється комплексом техніко-економічних показників [58]:

- вхідні параметри ( $x_i$ ): вартість електричної енергії; об'ємна вага металу та комбікорму; товщина стінок бункеру; коефіцієнт трудомісткості виготовлення бункерів; частка компонентів комбікормів, їх поживність; вартість ОТК; відрахування на технічне обслуговування, поточний ремонт та амортизацію; питома витрата кормових одиниць; прогнозований коефіцієнт рентабельності; коефіцієнт збільшення трудомісткості виготовлення машин у порівнянні з виготовленням бункерів; кількість робочих днів ОТК у році; неоднорідність кормової суміші;
- впливи збурення ( $y_i$ ): вартість металу; оплата праці; вартість тваринницької продукції; вартість біологічних, вітамінізованих та мінеральних добавок;
- параметри керування ( $z_i$ ): добова потреба господарства або замовників у комбікормах; продуктивність ОТК;
- вихідні параметри ( $w_i$ ): питома енергоємність ВК; річний економічний ефект; строк окупності; підвищення поживної цінності комбікорму.

Параметри  $z_i$  можна вимірювати та цілеспрямовано змінювати (у процесі проектування та експлуатації ОТК). Вихідні параметри  $w_i$  є контрольованими і відбивають оцінку ефективності ТП ВК. Параметри, які збурюють є некерованими, і їх вплив на функціонування агрегату є випадковим.

Для розробки моделі на основі енергетичних параметрів з урахуванням впливу режимів роботи обладнання на використання електричної енергії у ОТК ВК в умовах господарств Чаусовим С.В. була виконана декомпозиція базового агрегату з метою визначення енергоємних його елементів. Автором виявлено, що сумарні витрати енергії на виробництво комбікормів є адитивною функцією технологічних процесів транспортування, дозування, подрібнення компонентів і готового комбікорму [77]. Виконана параметризація ОТК (рис. 1.2) дозволила представити ці технологічні операції у вигляді субблоків та визначити для кожного з них вектори вихідних змінних, параметрів стану, керувань та збурень. На підставі чого можна зробити висновок, що з позицій використання енергії робочі машини базових технологічних операцій ВК основними вихідними змінними є:  $W$  – прямі витрати електричної енергії, Дж;  $A$  – питомі витрати електричної енергії, Дж/кг.

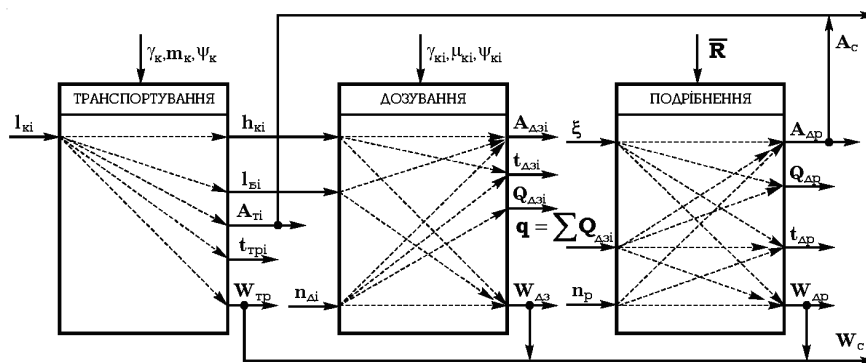


Рис. 1.2. Параметрична модель ОТК ВК

Основними параметрами стану є:  $Q$  – продуктивність, т/год;  $N$  – потужність, що споживається, кВт; та питомі енерговитрати на кожний з процесів  $A$ , кДж/кг;  $\xi$  – ступінь зношеності робочих органів дробарки;  $t$  – час, що витрачається на кожну операцію, хв. Основні керуючі впливи: висота  $h$  та довжина  $l$  транспортування компонентів, м;  $q$  – завантаження машин, кг/с;  $n_i$  – частота обертання робочих органів агрегатів, об/хв.

На процес ВК впливають такі збурення:  $\gamma_k$  – питома вага компонента, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_k$  – масова частка компоненту в комбікормі;  $\psi_k$  – вологість компонента, %; а також  $R$  – матриця-вектор, що має місце при багатоконпонентному подрібненні і

описує рецепт комбікорму, який виготовляється за допомогою вказаних вище параметрів компоненту.

Практичне використання представленої моделі перспективне у наукових задачах. Розвиток у виробничих умовах стримується великою кількістю зовнішніх впливів, які безпосередньо входять до моделі та потребують поточних вимірювань. Багатокомпонентне подібнення не поширене у техніко-технологічних рішеннях сучасних ОТК та окремих технологічних модулях (додаток 2).

Другий напрям достатньо повно розглянуто і проаналізовано в роботах Єгорова Б. В. [41]. Він являє собою розширений розгляд ОТК окремо по кожному технологічному модулю. Цьому напрямку також притаманна необхідність високого рівня організації праці на ОТК з реєстрацією та обліком відмов, комплексним їх аналізом та системою підтримки прийняття рішень. Єгоровим Б. В. зосереджена увага на тому, що в результаті еволюції оцінки ефективності функціонування ОТК ВК призвела до необхідності оцінки стабільності результатів його функціонування. Спираючись на роботи Панфілова В. О., Ахназарової С. Л. та Кафарова В. В. ним визначено стабільність функціонування ОТК ВК як стійкість розподілу ймовірностей параметрів комплексу впродовж деякого інтервалу часу шляхом наведеного порівняння максимального і мінімального розподілу контрольного параметру

$$St[X] = 1 - \frac{St[X_i]_{\max} - St[X_i]_{\min}}{St[X_i]_{\max}}, \quad (1.3)$$

де  $St[X_i]_{\max}$ ,  $St[X_i]_{\min}$  – максимальна і мінімальна дисперсія розподілу контрольованого параметру  $X_i$ .

Щодо третього напрямку, то відповідно до параметричних моделей функціонування ОТК ВК, його можна представити як систему, функціонування якої спрямоване на отримання максимального економічного ефекту з урахуванням її впливу на біологічну ланку (тварин) [32, 78]. Таким чином аналізується спосіб обробки компонентів, їх склад, якість готового комбікорму, структура та надійність окремих вузлів та ОТК в цілому.

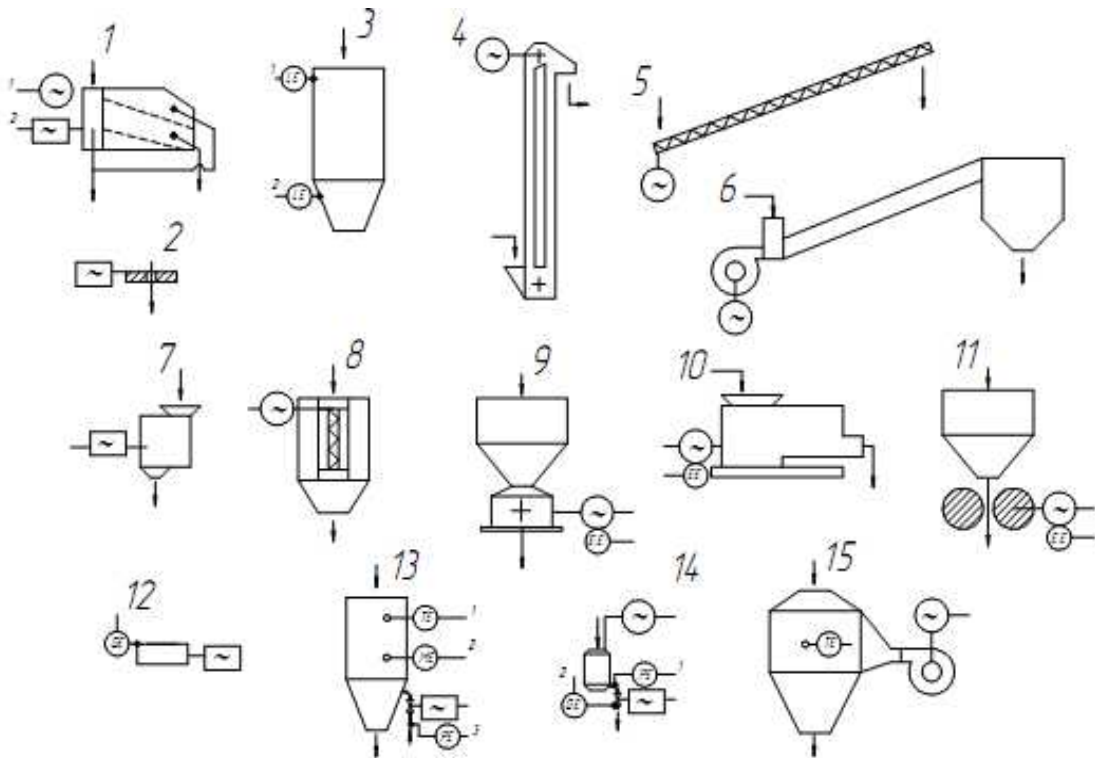
Наведена математична модель (1.3) у випадку визначеності вхідних параметрів через експлуатаційні характеристики та параметри ТС. Представлений напрям є складним для використання при проектуванні і на практиці, особливо в умовах фермерських господарств, оскільки вимагає високого рівня кваліфікації всього персоналу та достовірної облікової документації.

В багатьох роботах, відповідно до заданих умов функціонування ТК, розглядаються процеси подрібнення кормової сировини [12, 42, 79], дозування та змішування компонентів [33], обґрунтовуються методи розробки та визначення параметрів відповідних технічних засобів згідно умов експлуатації [47, 58, 77, 80]. Але, вказані процеси і засоби досліджувалися переважно розрізнено з індивідуальною інтеграцією до АСК ОТК ВК.

Найбільш перспективними, з огляду на упровадження результатів досліджень у виробництво в умовах господарств АПК, є роботи Єгорова Б. В. та Діордієва В. Т. [81, 82], згідно з якими, на основі модульного принципу будови технологічних виробництв, представлені модулі, які виконують базові технологічні операції. Це дозволило Діордієву В. Т. не тільки синтезувати узагальнений ОТК ВК, який включає більшість операцій (рис. 1.1), та проаналізувати його як об'єкт автоматизації, а також синтезувати універсальну систему керування ним.

Побічним результатом представлених вище робіт є можливість абстрагування від конструктивних рішень різних виробників технологічного обладнання та акцентування уваги на загальних рисах систем керування ними (рис. 1.4). Такий підхід дозволяє виконувати одночасне проектування технологічної схеми комплексу ВК та АСК ним в умовах господарств з використанням технологічного обладнання різних виробників. У такому випадку також постає задача визначення послідовності спрацювання обладнання, виконавчих механізмів та реакції АСК на зміну режиму роботи обладнання, технологічних властивостей компонентів комбікормів або кормової суміші, аварійні ситуації тощо.

В результаті аналізу схем керування приводним обладнанням технологічних модулів (рис. 1.3) та ОТК різних виробників можна зазначити, що майже завжди використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.



1 – очищення; 2 – магнітна колонка; 3 – бункер; 4 – норія, ковшовий транспортер; 5 – шнековий транспортер; 6 – пневматичний транспортер; 7 – електротехнологічна обробка компонентів; 8 – модуль змішування; 9 – подрібнювання; 10 – гранулювання або екструдкування; 11 – плющення; 12 – засувка; 13 – пропарювання; 14 – введення рідких компонентів; 15 – охолодження.

LE – датчик рівня; GE – датчик положення; ME – датчик вологості; TE – датчик температури;  
PE – датчик тиску; EE – датчик струму (завантаження приводу).

Рис. 1.3. Схеми автоматизації функціональних типових технологічних модулів комплексів ВК

На сьогоднішній день виділяти окремо схеми електричні принципові управління силовими елементами не є доцільним, оскільки вони мають модульний характер, високий рівень уніфікації та надійності, що дозволяє використовувати в одному ОТК виконавчі механізми і регулятори різних виробників та типів.

Отже, процес виробництва комбікормів є складною багатомірною системою з безліччю впливів, що збурюють, як з боку технологічного устаткування та широкій гамі технологій, так і з боку вхідних компонентів і готової продукції, як сипучих середовищ, природою яких обумовлене зростання випадкової похибки величин показників якості комбікормів на 10-15% при роботі об'єкта у дестабілізованому режимі [47]. Це рівною мірою можна віднести як до промислових комбікор-

мових заводів та цехів, так і до ТК, призначених для виробництва комбікормів в умовах господарств.

Подальші дослідження необхідно зосередити на обґрунтуванні забезпечення керованості, оперативного контролю поточного стану ОТК, а також достовірності вимірювань та інформативності повідомлень у виробничих умовах господарств.

### 1.3 Аналіз і класифікація методів і засобів автоматизованого керування ОТК виробництва комбікормів

Сучасні автоматизовані виробництва насичені мікропроцесорними пристроями, керуючими контролерами та іншими системами, але ефективність автоматизації залежить не тільки від насиченості. Необхідно забезпечити органічне системне поєднання об'єкту керування та керуючих обчислювальних систем, а також їх гнучкість [83]. Парадигма сучасної концепції АСК ТП полягає в об'єднанні всіх електричних компонентів технологічних модулів за допомогою локальної інформаційної мережі для здійснення автоматичного керування ТП [32, 84].

У самому загальному вигляді функціонування АСК ОТК відповідає схемі класичної системи керування. На основі апріорної, вхідної та інформації про поточний стан комплексу генеруються команди керування. Дані про стан цих елементів представляють собою інформацію зворотного зв'язку, яка призначена для контролю і оперативного корегування стану ОТК.

Не дивлячись на тривіальність технологічних процесів в ОТК ВК, розробка та впровадження результатів досліджень супроводжується рядом суттєвих складностей, обумовлених певними особливостями цих комплексів, що безпосередньо впливає на зміст задач керування ними:

- структура ОТК характеризується великою різноманітністю зв'язків між його елементами;
- багато альтернативних варіантів обладнання, технологічних операцій та маршрутів обробки компонентів, що беззаперечно є основою сучасної гнучкості технологічних схем;



- процесам керування в ОТК ВК властива розосередженість, асинхронність та динамічність;
- керування ОТК ВК пов'язане з переробкою значних об'ємів інформації, яка поступає від об'єкту керування та від зовнішніх, по відношенню до АСК, систем автоматизації (регулятори, вимірювальні перетворювачі, автоматична система керування господарством тощо).

Розв'язання задач ситуаційного керування ОТК базується на використанні моделі об'єкта керування, котра задає еталонний стан ОТК та хід ТП [90, 102, 110]. Важливість такої моделі для управління ОТК підкреслює актуальність її ефективної побудови. Необхідність представлення різноманітних технологічних операцій, врахування складності транспортних потоків, взаємозаміну обладнання призводить до необхідності створення мережної моделі ТК.

Мережна модель повинна: описувати структуру технологічної схеми та конкретні маршрути виконання основних та допоміжних операцій; відображати альтернативний характер виконання основних та допоміжних технологічних операцій; ефективно представляти у реальному часі логіку функціонування паралельних асинхронних процесів; представляти структуру матеріальних потоків з урахуванням різних видів вхідних компонентів та готової продукції; давати можливість ефективно виконувати пошук та аналіз виробничих ситуацій, визначати їх оцінку та реалізовувати пошук оптимальних рішень керування та необхідного корегування моделі.

Для цілей програмно-логічного керування і регулювання ТП та ОТК ВК широко використовується обчислювальна техніка. Загальною метою та концепцією використання є ідентифікація відхилення і/або підтримка заданої амплітуди автоколивань основного контуру при значному впливі зовнішнього середовища або зміні параметрів об'єкту керування [74, 89]. У цьому напрямі використовуються інтегровані системи, об'єднуючі всі рівні ієрархії керування виробництвом на основі програмного забезпечення SCADA, MES та ERP-систем [85, 91].

Перелічені напрямки програмного забезпечення (ПЗ) на базі персональних комп'ютерів (ПК) за останнє десятиріччя суттєво вплинули на розвиток АСК ТП.

Завдяки ним ПК не тільки перейшли у диспетчерські пункти та до операторів, але й інтегруються на апаратному рівні до ТП. Сучасне ПЗ надмірно перевантажене функціями, які дозволяють використовувати OPC- та Web-технології на різних етапах керування виробництвом [85, 91]. У той же час, на ринку користуються попитом «бюджетне» ПЗ, яке забезпечує відповідні функції керування та/або аналізу вхідної інформації з можливістю протоколювання процедури роботи та генерації звітів [85]. Саме такі проекти мають можливість відпрацювання науково обґрунтованої структури та будови АСК. Тому, дослідження питання організації АСК, обґрунтування та розробка алгоритмічного забезпечення ОТК ВК та функцій сервісу та їх впровадження є доцільною та актуальною задачею.

Еволюція функціонального забезпечення АСК формалізує функції НМІ-інтерфейсу за такими напрямками: оператор за допомогою АСК ТП виконує виробничу програму і забезпечує високу якість продукції; оператор приймає рішення про перерозподіл навантажень та зупинці цеху; АСК компенсує обмежені можливості людини: стомлюваність, неухважність, недостатню швидкість реакції тощо; АСК виконує монотонну роботу по інтелектуальному моніторингу технологічного процесу і формуванню оптимальних керуючих впливів.

Функції АСК ТП – це сукупність дій системи, направлених на досягнення приватних цілей керування. Можна виділити такі функції АСК ТП [32]:

- **функції, що керують** – генерація і реалізація дій, що керують об'єктом: регулювання окремих технологічних змінних; однократно-логічне керування операціями або апаратами; програмно-логічне керування групою устаткування; оптимальне керування сталими або перехідними режимами, або окремими стадіями процесу; адаптивне керування об'єктом в цілому;
- **інформаційні функції** – їх змістом є збір, обробка і представлення інформації про стан ОТК оперативному персоналу або передача цієї інформації для подальшої обробки: централізований контроль і вимірювання технологічних параметрів; непряме вимірювання; обчислення параметрів процесу (техніко-економічних, внутрішніх змінних); формування і видача даних оперативному персоналу АСК ТП або АТК; підготовка і передача інформації в суміжні системи керування; уза-

гальнена оцінка і перевірка стану ОТК і його устаткування. Відмінна особливість інформаційних функцій та функцій керування – їх спрямованість на конкретного споживача (об’єкт керування, оперативний персонал, суміжні системи керування); – **допоміжні функції** АСК ТП полягають в забезпеченні контролю за станом функціонування технічних і програмних засобів системи.

Перелічені базові функції притаманні розвинутим багаторівневим промисловим АСК ТП та підприємствами, але цілком зрозуміло, що АСК ТП ВК на ОТК в умовах господарств АПК повинна наслідувати функціональне забезпечення та забезпечувати можливість інтеграції до засобів автоматизації бізнес-процесів.

Аналіз АСК ОТК ВК у господарствах показав низький рівень автоматизації ТП при достатньо низьких показниках її надійності. Перш за все це пов’язане з застосуванням морально застарілих засобів автоматизації та релейної логіки, електромеханічних засобів витримки часу та інших спеціальних електричних машин низької якості використаної апаратури керування та захисту, умовами експлуатації, впливом оточуючого середовища [34, 86] (рис. 1.4). Вплив цих недоліків намагаються зменшити шляхом якісного обслуговування ОТК та придбання надійної апаратури керування та захисту, але у традиційній формі реалізації ці заходи мають високу капітальну вартість.

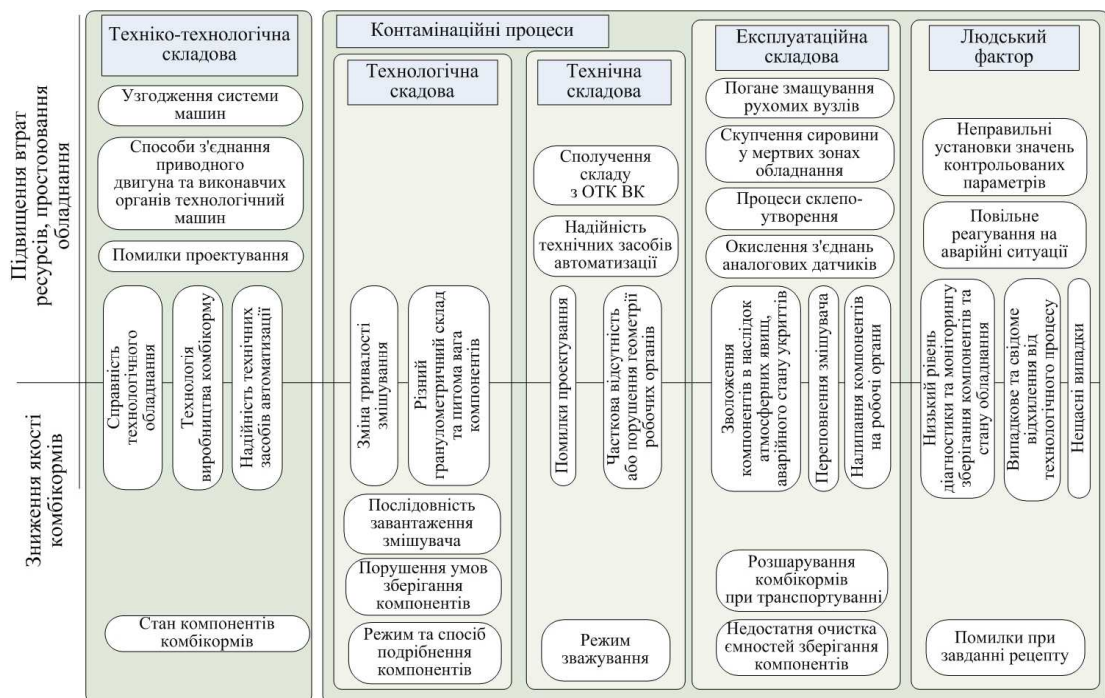


Рис. 1.4. Чинники зниження ефективності виробництва комбікорму на ОТК

Отже, класична реалізація АСК ТП у даному контексті має певні недоліки, а саме орієнтацію на перелік основних функцій, необхідних для експлуатації ОТК ВК: вкл/вимкн робочих машин або технологічного обладнання, контроль та візуалізація поточного стану датчиків, формування звітності [87]. Забезпечення роботи цих функцій є необхідним мінімальним переліком, що дозволяє використовувати ОТК ВК у сучасних ринкових умовах, але функціональні можливості та обчислювальні потужності засобів автоматизації мають набагато вищий потенціал.

Проте, сьогодні є інструменти, які здатні реалізувати функції АСК ОТК та інтегрувати їх до задач керування господарською діяльністю – мікропроцесорні засоби автоматизації та алгоритми обробки інформації. Індивідуальні інжинірингові рішення дозволяють переконатись у доцільності розробки АСК в умовах господарств. Але цей процес супроводжується певними проблемами: обґрунтування ступеню інформатизації та етапності впровадження нових АСК, вибір структури АСК та технічного забезпечення, розробка математичного апарату та пошуку системи діючого технологічного обладнання промислових комплексів з сучасними засобами автоматизації, ідентифікація процесу виробництва тваринницької продукції як об'єкта управління [14, 32, 88].

Такі задачі мають системний характер і потребують узгоджених дій спеціалістів різних напрямків, таких як технологи, інженери, зоотехніки та економісти. У зв'язку зі складністю такої задачі на етапах проектування важливі практичні рішення часто приймаються на інтуїтивному рівні, без достатнього обґрунтування, що негативно відбивається на ефективності підприємницької діяльності.

На наш погляд ці проблеми пов'язані з відсутністю єдиного математичного апарату, який би дозволив подивитись на організацію ТП ВК в умовах господарств через призму крізного алгоритмічного забезпечення.

Новими науковими результатами в цій області є моделі і закони математичного прийняття рішень в області синтезу параметрів мікропроцесорної адаптивної системи керування координатами енерготехнологічного устаткування, де для розв'язання задачі пошуку умовного екстремуму, приймається методологія синтезу закону керування процесом на основі оптимальної по енергозбереженню ета-

лонної моделі екстремального керування енергоперетворенням з АСК на базі мікропроцесорних засобів автоматизації [88, 89, 90].

Головними напрямками дослідно-експериментальних розробок є: розробка методів аналізу і синтезу інтегрованих систем обробки даних і інформації різних рівнів ієрархії; створення інтегрованих АСК, обробки інформації і підтримки рішень; перехід до систем автоматизованого інжинірингу; застосування в управлінні методів штучного інтелекту адаптації і оптимізації [74, 91].

Інформація, отримана в системах проектування, підготовки виробництва і планування дозволяє організувати безпосереднє керування виробничою системою. Проте, як правило, на першому етапі використання цих даних використовуються розрізнені набори алгоритмів технічного та економічного керування окремими ОТК (підсистемами). Сформувавши кризне алгоритмічне забезпечення, не вдаючись до моделювання, можна лише шляхом тривалих і дорогих експериментів, що зазвичай призводить до корекції як засобів так і методів керування. Тому вибір та обґрунтування єдиного математичного апарату моделювання дозволить уніфікувати процедуру проектування, тестування та впровадження результатів. Ефективним засобом побудови кризного алгоритмічного забезпечення є системне моделювання, що дозволяє розв'язати задачу у поліваріантній постановці з урахуванням варіативних можливостей і зовнішніх (що обурюють) умов на функціонування виробничої системи.

Можна зазначити, що нинішні автоматизовані системи проектування та АСК мають орієнтацію на об'єкти керування, що значно спрощує процес повторного використання технічних рішень та удосконалення існуючої системи при розширенні знань про об'єкти [13, 18, 91]. Сьогодні цей метод застосовується при моделюванні, проектуванні та керуванні не тільки технологічних процесів, а й об'єктами наукових досліджень, бізнес-процесів на різних рівнях виробництва.

Рішення про автоматизацію ОТК ВК, як і будь-якого іншого технологічного процесу, повинно відповідати стратегічним планам розвитку, рівню зрілості підприємства [92, 93]. Крім того, визначення концепції автоматизації, її глибини, переліку функціональних можливостей слід розцінювати як довгострокову оцінку

економічної ефективності. Так 82,5% споживачів очікують від комплексної автоматизації зниження витрат, 15% – росту прибутку та зниження матеріально-виробничих запасів [93]; економічний ефект від впровадження АСК ТП (який може досягати більше 30% економії енергетичних ресурсів на промислових підприємствах) [94] досягається шляхом зниження впливу людського фактору, точного регулювання параметрів ТП, обліку витрат енергоресурсів, моніторингу стану технологічного обладнання, зменшення часу реагування персоналу на аварійні ситуації та перехід на більш високу культуру праці [95, 96,97]. Впровадження системи автоматизації ОТК ВК дозволяє одержати наступний ефект [32, 92, 93, 98]: своєчасне надання інформації про хід технологічного процесу; мінімізувати помилки персоналу при керуванні складним устаткуванням; автоматизувати ручні операції керування потоками сировини; підвищити безпеку праці завдяки використанню швидкодіючих мікропроцесорних засобів захисту і сигналізації; зменшити простоювання технологічного обладнання та підвищити керованість всього ТК.

Відомо, що одним з чинників, який впливає на ефективність роботи господарства є якісна робота АСК, котра повинна відповідати рівню розвитку підприємства, з урахуванням того, як збирається, обробляється та використовується інформація, яка накопичується у процесі його діяльності (рис. 1.5) [93].

Отже, без аналізу стану справ на підприємстві, без попереднього вивчення ступеню зрілості ніхто не зможе відповісти на питання, яке рішення вигідніше – локальна автоматизація, на основі релейно-контактної логіки, чи автоматизація процесів за допомогою сучасних інформаційних систем, які дозволять об'єднати розосереджені автоматичні робочі місця в окреме рішення, котре буде спроможне на подальший розвиток [93, 99].

Перший рівень істотно обмежує можливості виробництва якісних комбіко-рмів, знижує продуктивність і гнучкість виробництва, не дозволяє вести повний облік сировини і готової продукції, обумовлює значну залежність якості комбіко-рму від людського фактору та не дозволяє перейти на вищий рівень виробничої культури. Тобто, більшість господарств морально готові до переходу на 3-й чи 4-й рівень автоматизації виробництва (рис. 1.6).

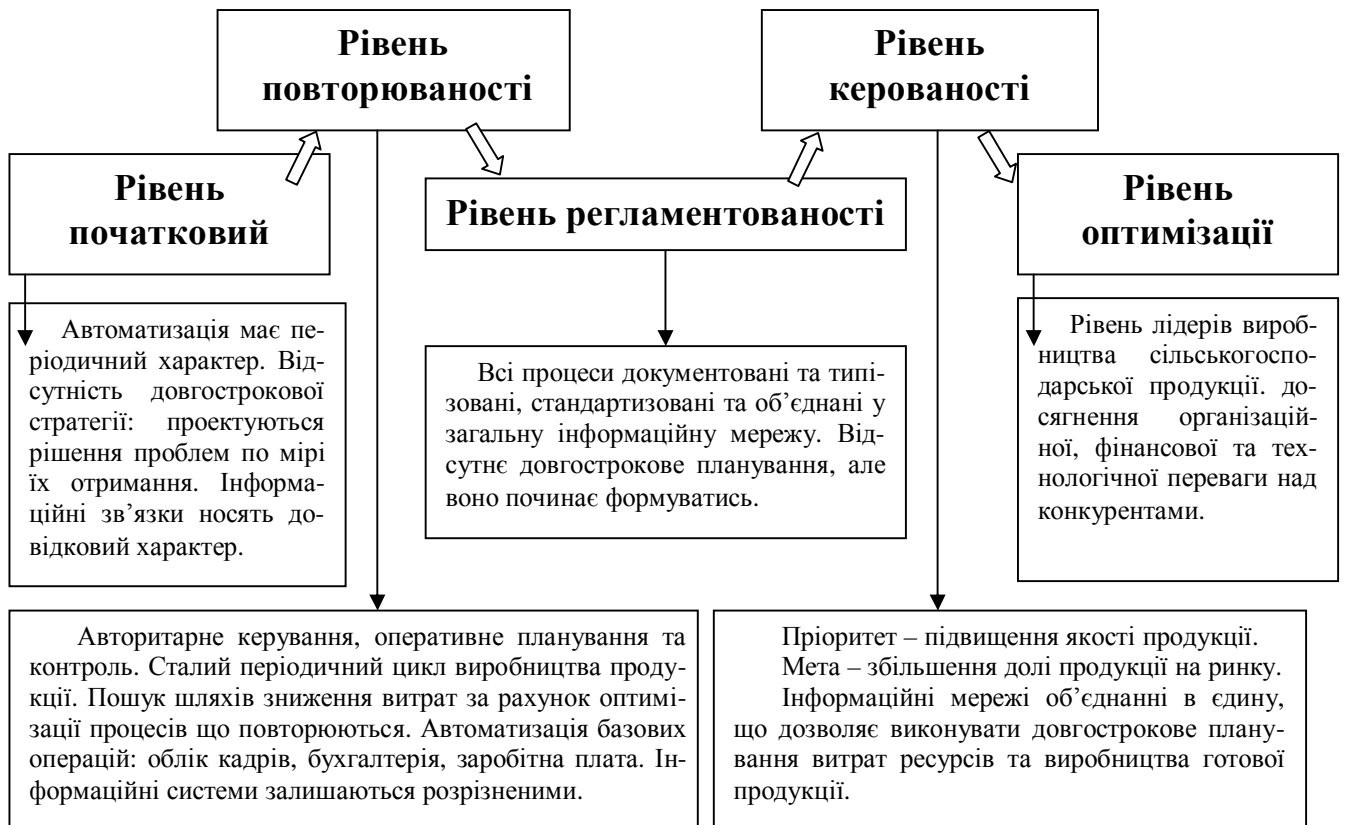


Рис. 1.5. Рівні зрілості господарства для впровадження АСК ОТК ВК

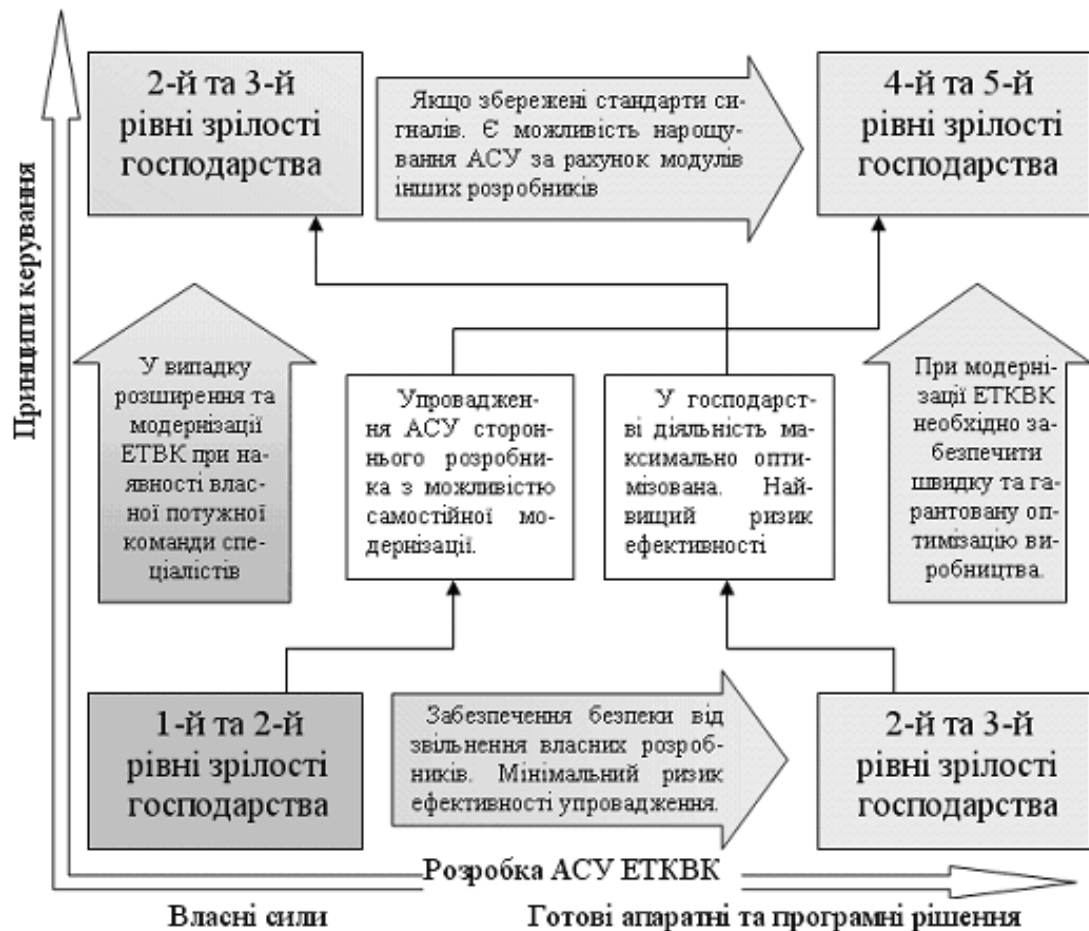


Рис. 1.6. Способи та напрями модернізації ОТК ВК в умовах господарств

Можна виділити наступні напрями автоматизації технологічних процесів у виробництві комбікормів [92]:

1. заміна існуючих релейних систем дистанційного автоматизованого управління на системи нового покоління – комп'ютеризовані;
2. автоматизація (комп'ютеризація) обліку ресурсів та готової продукції;
3. оснащення технологічних ділянок і лабораторій сучасними автоматизованими приладами і пристроями контролю якісних характеристик.

Отже, необхідна розробка алгоритмічних та інжинірингових рішень, які дозволять реалізувати гнучку АСК ОТК ВК. Ці задачі є особливо актуальними, оскільки від надійності роботи елементів ОТК ВК та його ритмічності залежить якість комбікормів та стабільність постачання ними тваринницьких ферм.

За результатами аналізу журналу несправностей (рис. 1.7) ОТК ВК № 2 ТОВ «Агропромислова компанія» (м. Мелітополь, Запорізька обл.) слід зазначити, що запропоновані алгоритми підвищення інформативності АСК на основі таймінгу елементів ОТК дозволили б попередити аварійні ситуації пов'язані з роботою транспортерів, шиберів, датчиків рівня та людським фактором.

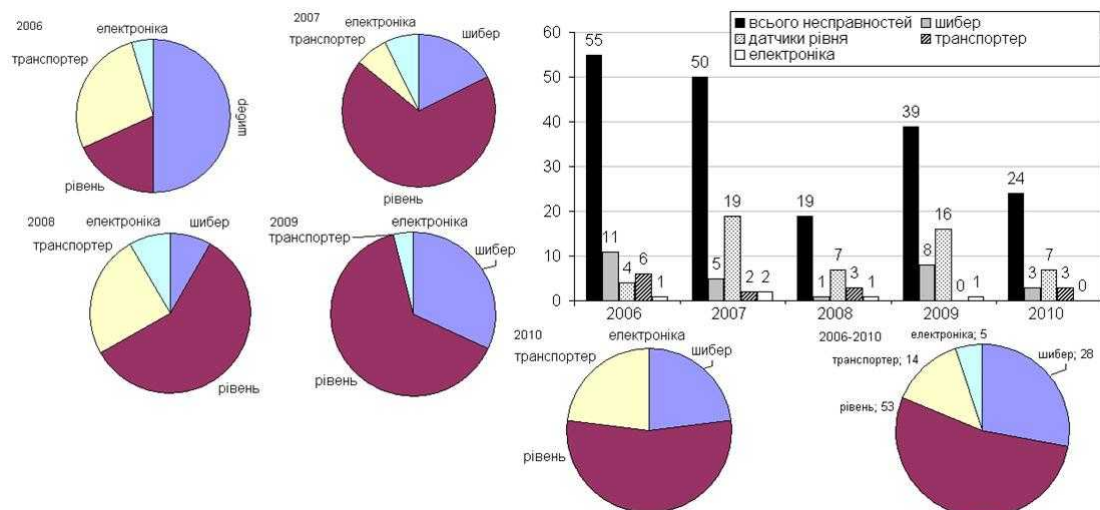


Рис. 1.7. Причини аварійних ситуацій ОТК ВК № 2 ТОВ «Агропромислова компанія»

Отже, задача удосконалення інформаційних функцій АСК ОТК ВК в умовах господарств полягає у синтезі імітаційної моделі ОТК, на основі його технологічної схеми, та узгодження її з технічними засобами автоматизації, що забезпечить його керування та інформативність АСК.



Розв'язання поставленої задачі здійснюється через виконання ряду взаємопов'язаних етапів (рис. 1.8). На першому та другому етапах формулюються основні теоретичні засади нової технології синтезу технологічної схеми ОТК ВК за умовами господарств, математичного апарату АСК та методів її реалізації. Метою третього етапу є побудова імітаційної моделі ТП, формалізація АСК з огляду на функціональне наповнення та узгодження з умовами та способами реалізації ТП ВК. Вихідними даними для виконання цього етапу є технологічна схема та алгоритм роботи ТК, а також фізико-механічні властивості компонентів комбікормів та комбікорму в цілому. На четвертому етапі, на основі обраної технологічної схеми та методу побудови АСК виконується аналіз вхідної інформації, отриманої на етапі проектування в результаті розрахунків та експертних висновків. Вхідною інформацією для виконання цього етапу є прийнята конструкція технологічного обладнання, їх режими роботи та перелік компонентів комбікормів. На п'ятому етапі – створення спеціалізованих програмних засобів для автоматизації проектування та керування ОТК ВК, а також автоматизації обробки теоретичних, експериментальних та виробничих даних. На останньому етапі здійснюється випробування розробленої системи у виробничих умовах, порівняння з аналогічними системами керування та оцінка ефективності.

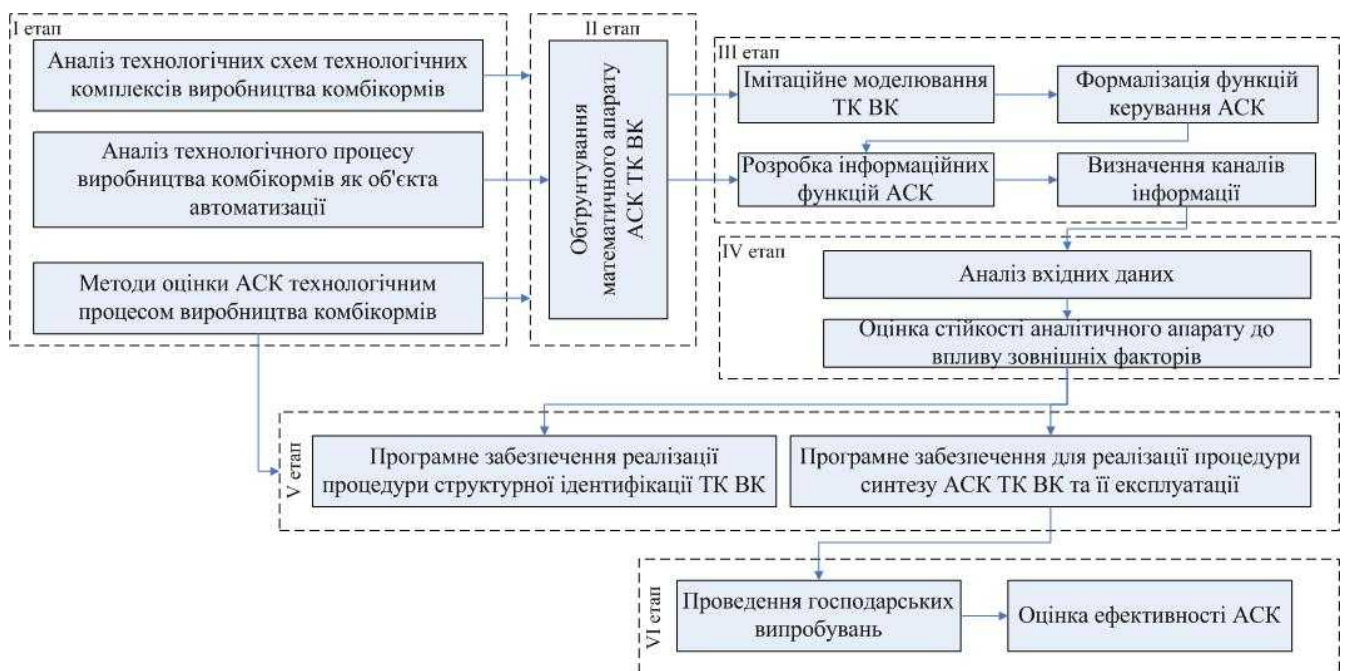


Рис. 1.8. Етапи досягнення поставленої мети в умовах господарств АПК

## Висновки по розділу

1. Відродження тваринництва в Україні та його сталий розвиток можливий за умови інтеграції сучасних засобів автоматизації у виробництві комбікормів. Корми у тваринництві мають 60% вплив на реалізацію генетичного потенціалу тварин та складають не менше 50% собівартості продукції тваринництва, що робить розвиток та поширення виробництва комбікормів в умовах господарств на власній кормовій базі з використанням автоматизованих технологічних комплексів актуальною задачею.

2. Аналіз технологічних схем організаційно-технічних комплексів виробництва комбікормів, проектування АСК ними встановив, що забезпечення надійної роботи та керованості автоматизованих технологічних комплексів в умовах господарств, а також інформативності АСК можливе на основі удосконалення її інформаційного забезпечення.

3. В результаті аналізу наукових досліджень щодо проектування ОТК ВК, його узгодження із технологією господарства, синтезу АСК та класифікації подій, які призводять до зниження надійності роботи ОТК, якості комбікормів, збільшення втрат ресурсів та аварійної ситуації ним встановлено, що керованість ОТК, надійність його роботи та удосконалення інформаційних функцій АСК забезпечується при розгляді ТП ВК як дискретного у просторі.

4. Задача удосконалення інформаційних функцій АСК ОТК ВК в умовах господарств полягає в тому, щоб за отриманими вхідними даними про технологічну схему комплексу ВК, синтезувати імітаційну модель ОТК, та узгодити її з засобами керування, що забезпечить його керованість та інформативність АСК.

## РОЗДІЛ 2

ОБґРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСК  
ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ

Сучасні ОТК складаються з програмно-керованого технологічного обладнання, засобів керування, засобів збору та обробки інформації [87]. Система, яка об'єднує ці ресурси в єдине ціле для керування ОТК, для виробництва заданого виду продукту – автоматична система керування. Алгоритм функціонування АСК ОТК ВК має складну розгалужену структуру, що пов'язано із особливостями ТП виробництва комбікормів в умовах господарств та чисельністю керуючих впливів. Саме тому, для опису АСК такими процесами недостатньо використовувати прості автоматні мови [83, 100, 101].

З огляду на удосконалення інформаційних функцій АСК ТП ВК, необхідно зазначити, що зв'язки між обладнанням та етапами ТП різні за походженням та складністю [84, 102]. Це пов'язано з тим, що різні ТМ для своєї роботи використовують різні ресурси або один ресурс в одному ТП та можуть працювати паралельно [32]. І нарешті, функції АСК повинні забезпечити моніторинг поточного стану елементів ОТК та потоків ресурсів, що також обумовлює зв'язки між ТП та обладнанням [90]. Тому необхідно організувати надійну взаємодію між елементами ТК, засобами автоматизації та АСК.

Однією з актуальних проблем проектування АСК ОТК є розробка методів дослідження динаміки функціонування елементів технічної системи у реальних умовах [103]. В умовах ВК ці проблеми супроводжуються низкою негативних факторів: наявність великої кількості взаємозалежних підсистем зі складними структурними і функціональними відносинами; технологічна експлуатація окремих елементів систем не носить самостійного характеру і обумовлена її місцем у системі в цілому; функціонування окремих підсистем реалізується асинхронно, правила їх взаємодії описуються складними диференційними рівняннями та логічними умовами; невизначеність поведінки окремих підсистем може носити імовірнісний характер; функціональна обмеженість діючих АСК, що виражається в орієн-

тованості на функції дистанційного дискретного керування послідовністю спрацювання виконавчих механізмів без передачі інформації на інші рівні системи керування господарством.

В розділі виконано теоретичне дослідження АСК на підставі аналізу методів математичного представлення ТП ВК у контексті проектування, експлуатації АСК ОТК та її функціонального забезпечення з метою надійності роботи ОТК ВК та удосконалення АСК. У програму досліджень включені такі етапи:

1. аналіз технологічної схеми ОТК ВК;
2. розробка імітаційної моделі ТП ВК;
3. узгодження елементів моделі з завданнями керування АСК;
4. перевірка достовірності гіпотези про інформативність таймінгу виконавчих механізмів та датчиків з урахуванням зовнішніх факторів;
5. оцінка результатів досліджень.

За результатами досліджень планується:

1. апробувати методику проектування АСК ОТК ВК в умовах господарств;
2. реалізувати модульний підхід до проектування гнучкої АСК ТП ОТК ВК;
3. підвищити інформативність вимірювальних пристроїв та АСК;
4. розробити програмне забезпечення для моделювання та практичного дослідження результатів дисертаційної роботи, з метою пошуку задач та розробки алгоритмів експериментальних досліджень у лабораторних та виробничих умовах;
5. забезпечити підґрунтя для розробки інформаційних функцій (облік компонентів, оцінка ефективності роботи АСК ТП, реєстрація напрацювань годин технологічним обладнанням тощо).

У результаті вивчення методів опису технологічних систем у контексті об'єкту керування для розробки АСК, нами пропонується використання МП, які дозволяють реалізувати додаткові інформаційні функції при проектуванні та експлуатації АСК ТП виробництва комбікорму на ОТК в умовах господарств АПК мережі для контролю та аналізу часу спрацювань виконавчих елементів та датчиків (таймінгу) [23, 27]. Пропозиція ґрунтується на припущенні наявності інформативності спрацювання технологічного обладнання та датчиків, яка у нормальному

режимі експлуатації ТК, з урахуванням властивостей компонентів комбікормів, відрізняється статистично незначуще. З аналізу джерел інформації, вважаємо, що виконання подальших досліджень необхідно вести за такими напрямками:

1. визначення практичної значущості підвищення інформативності АСК;
2. визначити перелік датчиків ОТК ВК та їх функціональне призначення;
3. математичне моделювання запропонованих функцій;
4. дослідження впливу відхилень параметрів компонентів комбікормів та умов роботи виконавчих механізмів на функції сервісу;
5. розробка методики оцінювання та практичного випробування;
6. узгодження функцій сервісу із методикою побудови АСК;
7. перехід до формалізації етапу практичних випробувань.

Метою розділу є вивчення теоретичних основ та формалізація методики оцінки поточного стану технологічного процесу виробництва комбікорму на ОТК під час експлуатації технологічного обладнання при організації АСК ТП на базі сучасних засобів збору та обробки інформації, як у випадку оцінки стану технічної системи на основі вимірювань.

На даному етапі досліджень були використані теоретичні та експериментальні методи досліджень [104, 105, 106]. Зокрема, теоретичні методи базувались на обґрунтуванні математичного апарату АСК ОТК ВК. Перевага була надана тим засобам, які забезпечують сучасні тенденції автоматизованого проектування – об'єктно-орієнтовані технології. Для розв'язання слабо структурованих проблем були використані інструменти системного аналізу [73]: аналіз та синтез теоретичної інформації щодо математичного забезпечення АСК ТП; узагальнення алгоритмів оцінки роботи технологічного обладнання та підвищення інформативності датчиків; розробка та експлуатація програмного забезпечення для моделювання та експериментального дослідження.

На етапах отримання експериментальних даних та їх обробки використовувались сучасні технічні засоби. Вхідною інформацією є:

- АСК: структура ТК, його ТС, проектний граф та матричне представлення мереж Петрі;

– інформаційні функції АСК: час, тривалість і періодичність початку та закінчення роботи відповідних виконавчих механізмів, а також спрацювання вимірвальних пристроїв (положення, рівня); напруга живлення комплексу.

Вихідна інформація: графічне і аналітичне представлення масивів інтервалів часу роботи виконавчих механізмів та спрацювань датчиків; завдання керування.

## 2.1 Формалізація дискретних технологічних процесів

На наш погляд апріорне обмеження гнучкості АСК на сучасній елементній базі обумовлено розглядом ТП ВК у контексті неперервності завантаження силового технологічного обладнання або як випуск дискретного продукту [74, 107]. Такий розгляд ТП ВК та умов роботи обладнання у складі сучасних ОТК є антагоністичним. Для розробки систем регулювання представлення ТП ВК як дискретного у просторі є тривіальним, однак при розробці АСК воно представляється достатньо перспективним, оскільки дає модель придатну для оцінки ТП в цілому (ТК, господарство). Саме тому процес ВК на сучасних автоматизованих ОТК слід розглядати як дискретний у просторі.

### 2.1.1 Аналіз методів та засобів моделювання дискретних технологічних процесів

Як правило, опис дискретних у просторі технологічних систем виконують системою диференціальних рівнянь, порядок яких визначається природою технологічного процесу та способом впливу на об'єкт перетворення. Диференціальні рівняння (ДР), котрі описують фізичний процес, завжди можна перетворити до системи звичайних ДР першого порядку [108]. У такому випадку кажуть, що це опис у вигляді рівнянь станів або у просторі станів [109, 110]. Головна перевага такої системи полягає у збереженні фізичної суті ТП, зв'язку між внутрішніми змінними та зовнішніми вхідними та вихідними сигналами.

Рівняння стану представляє собою практичний та зручний спосіб опису динамічних систем. Концепція рівнянь стану має фундаментальне значення. Метою системи керування є розрахунок на основі вимірювань у таких керуючих сигналів  $u$ , щоб, не дивлячись на вплив збурень  $v$ , технічна система виконувала поставлені задачі [109, 110].

Поширене представлення дискретних систем як комплексу релейних регуляторів (рис. 2.1) суперечить принципу роботи сучасних ТК. Беззаперечно, в АСК ОТК ВК є обладнання та задачі, які використовують релейні регулятори, але ці алгоритми не коректують роботу всього ТК, а забезпечують необхідні умови роботи окремого обладнання.

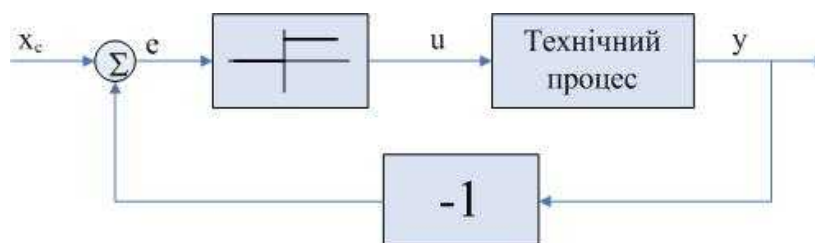


Рис. 2.1. Блок-схема релейного регулятора

Вихід ідеального реле (рис. 2.1) має лише два можливі значення [109]

$$\begin{aligned} u &= u_{\max}, & e > 0 \\ u &= u_{\min}, & e = 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

де  $e$  – помилка вихідної величини:  $e(t) = u_c(t) - y(t)$ , тобто різниця між опорним значенням  $u_c(t)$  і вихідним сигналом процесу  $y(t)$ .

Вибір способу опису ОТК з дискретним характером роботи виконавчих механізмів та ТМ залежить від відомої інформації, можливостей збору даних про хід процесу по мірі його виконання та мети моделювання. На відмінну від наукових задач, де метою моделювання є поглиблене вивчення будови системи та обґрунтування оптимальних режимів роботи, модель у інженерному розумінні вважається адекватною, якщо відповідні процеси керування виконуються прогнозованим способом, тобто вихід стійкий з визначеним відхиленням від заданого значення відтворюваності відгуку на вхідний сигнал.

Як правило, дискретні ТП та релейні регулятори, за допомогою математичного апарату диференціальних рівнянь зводяться до нелінійної системи, які можна описати за допомогою рівняння стану у наступному вигляді [110]:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, \dots, u_r); \\ &\vdots \\ \frac{dx_n}{dt} &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, \dots, u_r). \end{aligned} \quad (2.2)$$

де  $x_1, \dots, x_n$  – керовані змінні;  
 $u_1, \dots, u_r$  – змінні керування.

У стані рівноваги похідні  $dx_i/dt=0$ , тоді, відповідно до векторної форми запису рівняння стану, умова рівноваги полягає у тотожності  $f(X, U)=0$ . Необхідно зазначити, що останнє рівняння еквівалентно  $n$  скалярним рівнянням. Ці рівняння можуть мати кілька рішень, кожне з яких відповідає деякій точці рівноваги.

Так само можна представити і датчики, котрі також можуть вести себе нелінійно, що пов'язано із фізичними основами принципу роботи датчиків.

Зазвичай для нелінійних систем аналітичне рішення диференціального рівняння невідомо. Тому, як правило, використовують численні методи. Основний метод рішення таких рівнянь – апроксимація похідних по часу простими різнице-вими рівняннями (апроксимацією Ейлера з висхідною різницею [110, 111])

Саме тому поширений опис ТП ВК як динамічної нелінійної системи приведеної до дискретної, яку можна апроксимувати різнице-вими рівняннями [110]

$$X[(k+1) \cdot h] \approx X(k \cdot h) + h \cdot f(X, U), \quad (2.3)$$

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

У матричному вигляді рівняння стану лінійної системи

$$\frac{dX}{dt} = A \cdot X + B \cdot U, \quad (2.4)$$

де  $A, B$  – матриці, які містять постійні коефіцієнти



$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & \dots & b_{1r} \\ b_{21} & \dots & b_{2r} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ b_{n1} & \dots & b_{nr} \end{pmatrix}. \quad (2.5)$$

Представлені рівняння (2.3-2.5) дозволяють формалізувати керуваність, спостережність та оцінку системи, але вимагають докладного математичного опису ТП, що в умовах господарств, а саме при гнучкості технологічних схем та різноманіття рецептів, ускладнює перехід від моделювання ОТК до АСК. У такому випадку дуже важливо вибрати шаг інтегрування (інтервал дискретизації)  $h$ , який, в ідеальному випадку, повинен бути якнайменшим, однак на практиці обирається компромісна величина. Занадто великий шаг призведе до невиправдано великого часу обчислень (котре безпосередньо також залежить від складності обчислень, типу рівнянь, кількості змінних та потужності процесора). З іншого боку, занадто мале значення  $h$  визиває проблеми збіжності рішень і призводить до небажаних результатів. Ефект від неправильного обраного шагу може бути суттєвим, особливо в умовах ОТК ВК, де наявні швидкі та повільні динамічні процеси.

Розв'язання задачі оптимального керування проводиться на основі застосування методів математичного програмування [89, 112]. При цьому система різницевих рівнянь об'єкту є обмеженням завдання керування. Найбільш простим, в алгоритмічному відношенні для розглянутого випадку, є проекційно-градієнтний метод (він дозволяє ефективно враховувати двосторонні обмеження на керовані та контрольовані змінні) [19]. Врахування обмежень виконується за допомогою спеціально обраної неевклідової метрики, залежної від відстаней, що проектується на гіперплощину факторів обмежень (рис. 2.2).

При такому підході, для об'єкту керування, який розглядається, узагальнена модель дискретного типу матиме вигляд [89]:

$$\bar{x}_k^0 = [A^0] \bar{x}_{k-1} + [B^0] \bar{u}_k; \quad k = \overline{1, N_t}; \quad \dim \bar{x}^0 = \dim \bar{u}^0 = N_p, \quad (2.6)$$

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

$[B^0]$  – матриця параметрів керування;

$\bar{x}$  – вектор керованих координат;

$\vec{u}$  – вектор координат, що управляють (величин);

$\dim \vec{x}$  – оператор зрушення;

$N_t$  – кількість тактів керування,

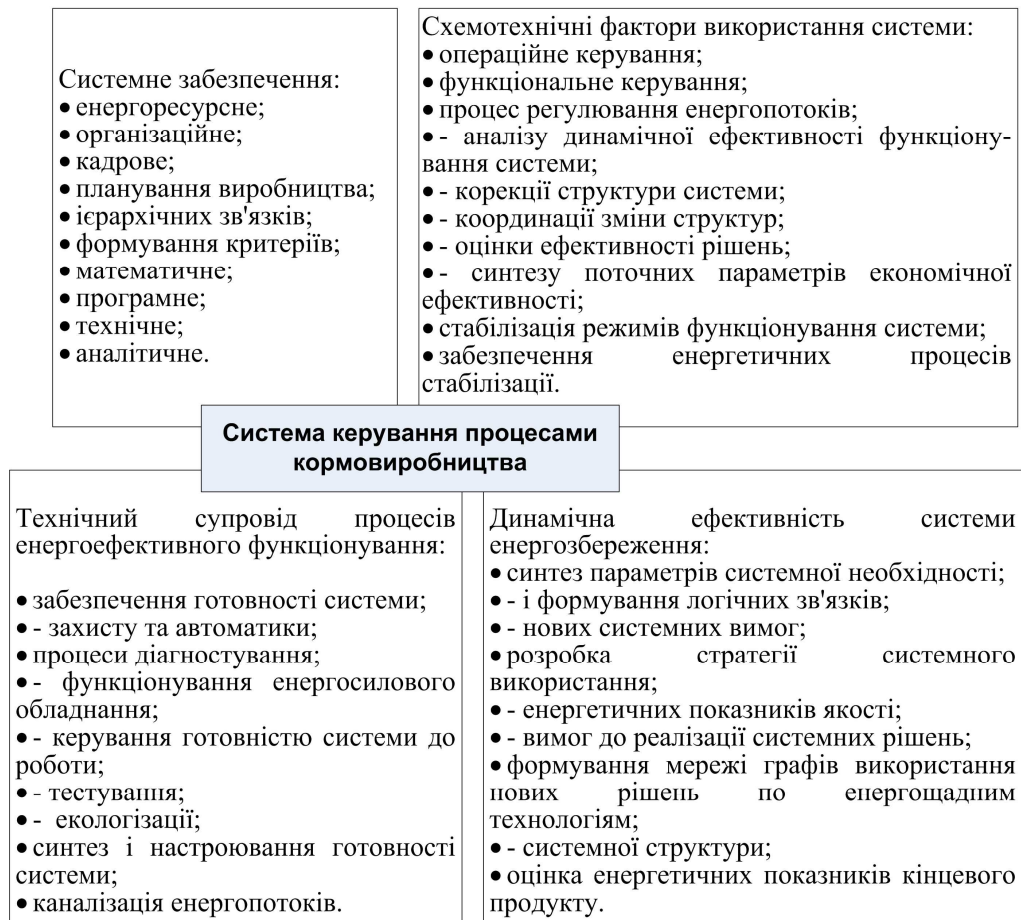


Рис. 2.2. Розгорнута функціональна структура забезпечення ефективного функціонування ОТК ВК

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

$$\begin{aligned} \vec{x}^{\min} &\leq \vec{x}_k^0 \leq \vec{x}^{\max}; \\ \vec{u}^{\min} &\leq \vec{u}_k^0 \leq \vec{u}^{\max}; \\ \forall k &= \overline{1, N_t}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

де ставиться завдання знаходження такої послідовності  $\{\vec{u}_k', k = \overline{1, N_t}\}$  дій, що керують, яка забезпечує мінімум деякому критерію якості функціонування системи при заданому векторі початкових умов об'єкту  $\vec{x}^0$ . При відповідних позначеннях

дане завдання записується у вигляді еквівалентного завдання математичного програмування:

$$\bar{x} = \bar{x}^{opt} : f(\bar{x}) \rightarrow \min [h](\bar{x}) = 0; \quad (2.8)$$

$$\bar{x}^{\min} \leq \bar{x} \leq \bar{x}^{\max},$$

$$[h]^T \stackrel{\Delta}{=} [h_1^T \dots h_{N_t}^T] \dim h = N_t N_p \stackrel{\Delta}{=} m; \quad (2.9)$$

$$h_k \stackrel{\Delta}{=} [A^0] \bar{x}_{k-1}^0 + [B^0] \bar{u}_k^0 - \bar{x}_k^0; \quad (2.10)$$

$$\bar{x}^T \stackrel{\Delta}{=} [\bar{x}_0^{0T}, \bar{x}_1^{0T}, \bar{u}_1^{0T}, \dots, \bar{x}_{N_t}^{0T}, \bar{u}_{N_t}^{0T}]; \quad (2.11)$$

$$\dim \bar{x} = (2N_t + 1)N_p \stackrel{\Delta}{=} n,$$

тобто складність алгоритму розрахунку параметрів оптимального керування об'єктом (2.6) визначається функціональною складністю рішення задачі математичного програмування (2.8). Тут шуканий вектор визначається за допомогою рекурентної процедури:

$$\bar{x}_k = \bar{x}_{k-1} + \Delta t(\bar{x}) \bar{u}_k; \quad k = 1, 2, \dots; \quad \bar{x}_0 = (\bar{x}^{\min} + \bar{x}^{\max})/2, \quad (2.12)$$

де  $\Delta t$  – крок процедури;  $k$  – номер ітерації, а розмірність вектора змінних  $\bar{x}$  і вектора зсуву  $\bar{u}$  обумовлені формою завдання (2.8-2.11). Вектор зсуву є загальним рішенням невизначеної системи лінеаризованих рівнянь:

$$\bar{u} : [A] \bar{u} = \bar{b}; \quad \bar{b} \stackrel{\Delta}{=} \bar{h}; \quad \|\bar{u} - \nabla f\| \rightarrow \min, \quad (2.13)$$

$$[A^0] \stackrel{\Delta}{=} \begin{bmatrix} A^0 : -E : B^0 & & & & \\ & A^0 : O : -E : B^0 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & & A^0 : O : -E : B^0 \end{bmatrix}, \quad (2.14)$$

де  $[A^0]$  – яacobіан обмежень-рівності;

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

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

Надалі, значення яacobіана можна використовувати для обґрунтування кількісних та якісних показників і параметрів АСК, що не є сумою якостей складових її елементів, а саме володіють системною і схематичною самостійністю. Крім то-

го, необхідно зазначити, що якобіан розраховується для квадратних матриць, що у реальних умовах важко забезпечити.

Такий підхід дозволяє розв'язати задачу розрахунку оптимального керування динамічними дискретними об'єктами при значній кількості тактів керування. В якості суттєвої переваги даного алгоритму є врахування найбільш повного переліку параметрів, які характеризують ТП ВК. Для остаточного формування вектора зсуву використовується початкова розріджена матриця коефіцієнтів, тобто в процесі алгоритмічних перетворень не використовується процедура заміни нульових елементів на ненульові, характерна для відомих методів оптимізації [89]. При цьому значно зменшується кількість ітерацій для отримання рішення за алгоритмом проекційно-градієнтного метода оптимізації, що сприяє спрощенню програмного забезпечення завдань оптимального оперативного управління динамічними об'єктами. Представлені методи моделювання ТП, АСК ним та оптимізації самої АСК (2.2, 2.4, 2.5, 2.7, 2.14) мають місце у задачах наукового характеру при достовірних вхідних даних, що важко забезпечити в умовах господарств.

Здебільшого основні функції керування дискретними у просторі ТП задаються локальними арифметико-логічними процедурами, які можуть бути представлені в наступній формі [102]

$$U_{n,m} = \begin{cases} U_1, & \text{якщо } Y_1 < \text{con } X_{n,m} \leq Y_2; \\ U_2, & \text{якщо } Y_2 < \text{con } X_{n,m} \leq Y_3; \\ \dots, & \dots \\ U_L, & \text{якщо } Y_{L-1} < \text{con } X_{n,m} \leq Y_L; \end{cases} \quad (2.15)$$

або у вигляді

$$U_{n,m} = \text{con}X_{n,m}, \quad (2.16)$$

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 не є ефективним, оскільки, як правило, у таких господарствах відсутня вузька спеціа-

лізація та можливі зміни виробничого напрямку. Крім того, розглянуті способи моделювання вимагають детального опису умов ТП, параметрів ОТК та властивостей компонентів, що в умовах господарств забезпечити практично не можливо.

З вищесказаного постає завдання забезпечення керованості ОТК ВК в умовах господарств, синтезу гнучкої АСК ним та її інформативності в умовах неповної інформації. Загальна задача синтезу АСК ОТК ВК полягає у тому, щоб за отриманими вхідними даними про технологічну схему комплексу ВК синтезувати імітаційну модель ТК та узгодити її з засобами керування, що забезпечить керованість ОТК та інформативність АСК. В умовах господарств задача полягатиме у побудові діючої АСК з новим або модернізованим ОТК на основі вхідної інформації про технологічну схему та господарську діяльність.

Керованість лінійної або лінеаризованої системи на базі неперервної та дискретної моделі можна перевірити математичними методами. Однак, ніякі математичні методи не можуть замінити розуміння фізичної природи процесу інженером-проектувальником. Іноді деякі параметри погано керовані, і хоча, формально система керована, реальний регулятор, придатний до практичного використання, створити неможливо.

Друга характеристика системи пов'язана із вимірюванням та спостереженням. Чи дозволяє наявний склад датчиків отримати достатню кількість інформації про стан системи? Чи є можливість побічного розрахунку поточного вектору стану  $X(t)$ , якщо відомі поточні та попередні значення вихідного сигналу  $Y(t)$ ? Цю характеристику можна назвати можливістю спостереження.

Для використання цих характеристик у АСК дискретними у просторі ТП нами використано математичний апарат МП, який знайшов своє застосування в описі та проектуванні паралельних процесів та пристроїв керування автоматизованих та автоматичних систем [90, 101, 113, 114, 115].

Хоча керуючі обчислювальні системи орієнтовані на перетворення інформації, а ТП забезпечує перетворення енергії та матерії, МП дозволяють побудувати їх системні моделі на основі єдиного принципу та математичного забезпечення. У такому випадку стає можливим забезпечити ефективне відображення взаємодії

інформаційно-алгоритмічних та матеріальних процесів автоматизованого ОТК ВК та АСК ним у цілому.

### 2.1.2 Використання мереж Петрі для моделювання ВК на ОТК

Оскільки задачі моделювання ВК, проектування алгоритмів керування та структур керуючих обчислювальних систем неможна розв'язати за допомогою математичних моделей одного класу, в роботі вони об'єднуються концепцією єдиного математичного забезпечення, за принципом відомого підходу до автоматизації проектування керуючих систем гнучких виробництв [83], яка обґрунтовує використання мережних моделей. Це дозволяє відображати, проектувати, модифікувати та досліджувати алгоритми керування ОТК ВК. Саме концепція мережних моделей дозволяє поєднати різні програмні компоненти єдиною базою даних та забезпечити єдиний підхід до використання різних типів аналітичних, обчислювальних та імітаційних моделей у проектування та керування, що є актуальним у розрізі MES-систем (система керування виробничими процесами).

Перед розглядом конкретних моделей та алгоритмів керування, проаналізуємо специфіку процесу ситуаційного моделювання керуванням ОТК ВК та відокремимо послідовність задач, необхідних для ефективного функціонування комплексу ВК. Можна стверджувати, що конкретний стан елементів ТК, наявність та розподіл ресурсів на технологічних ділянках, а також відображення цього у відповідних даних визначають наявність в АСК ОТК ВК деякої ситуації. Стан усіх елементів ТК, котрі передбачені при розробці системи та є припустимим з точки зору нормального ходу виробничого процесу, а також адекватне їх відбиття обумовлюють наявність штатної ситуації. Всі інші ситуації можна вважати критичними з різним пріоритетом уваги.

Основними причинами виникнення критичних ситуацій є відмови основного та допоміжного обладнання, помилки у вхідній та апріорній інформації, помилки в діях оператора та засобах прийняття рішень. Особливість ОТК ВК як об'єкта керування полягає в тому, що кількість штатних ситуацій досить обмежена, а кі-

лькість ймовірних критичних ситуацій набагато більша. Це обумовлює використання процедур двох класів. Процедури першого класу виконуються тільки при наявності штатних ситуацій. При виникненні критичної ситуації АСК звертається до процедур другого класу, задача яких є обробка критичних ситуацій.

При такому підході до керування ОТК з'являються певні переваги: керування лише у необхідні моменти часу; користуючись незалежністю аналізу подій, динамічно змінювати або корегувати хід ТП, а також будувати гнучкі АСК (з огляду на модульність та можливість подальшої модернізації); з єдиної позиції розглядати управління при нормальному виконанні виробничого завдання та у випадку непередбачених ситуацій; проектувати АСК орієнтовані на паралельне виконання процесів. Розглянемо використання МП у задачах керування АСК з огляду на представлені переваги.

МП є абстракцією динамічної системи у тому розумінні, що її переходи відповідають подіям у мережі, а місця – умовам здійснення подій [90, 103, 113]. Подія – деякий факт у системі, зазвичай трактується як потенційна дія компонента мережі, котра може бути реалізована один раз, кілька разів або жодного разу. Функціонування мережі в цілому породжує процес – упорядкований у часі або деякий інший спосіб реалізації сукупності подій та зміни умов. У загальному випадку система може породжувати різні процеси, а множина усіх процесів, які породжені, повністю характеризують динаміку поведінки системи.

Спосіб визначення МП як набору, котрий складається з множин місць та переходів, відношення інцедентності та функцій початкової розмітки звичайний для постановки та розв'язання теоретичних задач аналізу мереж [113]. Представлення МП у вигляді графів зручно використовувати ілюстративно. Обидва способи представлення мереж підходять для практичних задач проектування та моделювання дискретних систем, наприклад, для задач автоматичного синтезу моделей за допомогою програмного забезпечення.

Є поширеними два шляхи практичного використання МП. У першому варіанті вони розглядаються як допоміжний інструмент аналізу (для побудови мережі використовуються загальноприйняті методи проектування, потім побудована сис-

тема моделюється МП, після чого аналізується). У другому варіанті весь процес проектування та визначення характеристик виконується у термінах мережі Петрі (перетворення в інформаційну мережу). Крім того, МП може бути використана для опису алгоритму функціонування дискретного пристрою [103, 114], який керує деяким ТП, який може розглядатись як об'єкт керування. Саме цей принцип прийнято за основу запропонованої АСК ТП ВК.

МП є зручним та наочним засобом опису процесів, які взаємодіють. Виконання процесу відповідає послідовності реалізації переходів, що викликає пересування маркерів по мережі. Беззаперечною перевагою МП є чіткий математичний опис та наочне представлення, що дозволяє виконувати розробку моделей ТП ВК та їх аналіз за допомогою обчислювальної техніки.

Широкий вибір інтерпретацій та модифікацій МП дозволяє обрати для моделювання конкретної системи саме той засіб відображення моделі, який дозволить максимально наочно відтворити її властивості та надасть перелік правил для аналізу та імітації функціонування моделі [116]. Розглянемо основні положення МП у контексті моделювання технологічних процесів. Мережа Петрі – це набір  $N=(P, T, F, W, M_0)$  [113]:

- $P$  – не порожня множина елементів мережі – вузли (в залежності від рівня деталізації ТП під вузлами можна розуміти датчики чи ТМ);
- $T$  – не порожня множина елементів мережі, які називають переходами (умови, технологічні етапи, синхронізація різних ТП);
- $F \subseteq P \times T \cup T \times P$  – відношення інцедентності, 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 інцедентний 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 на його виконання);



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

–  $W: F \rightarrow N \setminus \{0\}$  – кратність дуг (дозування, витримка часу тощо). Дугам призначається число  $n > 0$ . Якщо кратність всіх дуг  $n=1$ , то мережа називається ординарною, вона відбиває дискретний стан роботи елементів ТК.

–  $M_0: P \rightarrow N$  – початкова розмітка. Кожному вузлу  $p \in P$  призначається деяке число  $M_0(p) \in N$  (початкова розмітка вузлів – початковий стан ТМ у ТП).

Функціонування мережі описується через правила спрацювання переходів. Перехід  $t$  може спрацювати при деякій розмітці  $M$  мережі  $N$ , якщо  $\forall p \in t: M(p) \geq F(p, t)$ , тобто кожне вхідне місце  $p$  переходу  $t$  має розмітку, не меншу, ніж кратність дуги, яка з'єднує  $p$  та  $t$ . Цю умову можна записати у векторній формі:  $M \geq F(t)$ . У контексті моделювання ТП переходи можуть позначати умови синхронізації потоку ресурсів, які мають різні технологічні властивості, чи переходу на новий технологічний етап.

Множина розміток  $\{M' \mid M' \succ M\}$ , які можуть бути досягнуті в мережі  $N$  від розмітки  $M$ , позначаються через  $R(N, M)$  – граф досягнень можливих розміток. Множина  $R(N) = R(N, M_0)$ , тобто множина усіх розміток, які можна досягнути в  $N$  від початкової розмітки  $M_0$  на практиці може бути використана в залежності від способу її отримання: якщо  $R_{prog}(N, M_0)$  отримана за допомогою програми моделювання, то  $M \in R_{prog}(N, M_0)$  – критерій роботи ТП у межах нормального режиму; при  $M \notin R_{prog}(N, M_0)$  – ймовірний аварійний режим.

Отже, пропонуємо для синтезу ОТК ВК та АКС ним використовувати обмежені живі МП без петель [18, 25, 27, 117]. Пропозиція ґрунтується на можливості виділення технологічних операцій ВК в окремі ТМ [32, 118] та представлення ТП ВК за допомогою графового та матричного представлення МП (перехід – ТМ, вузол – датчик, дуга – лінія зв'язку між датчиком та ТМ) [25]. Особлива увага приділена матрицям інцидентності, які відповідають визначенню параметрам управ-

ління або змінних станів та параметрів керування або керуючих впливів у матричній та векторній формах. При цьому вони є наслідком розробки графового представлення МП – імітаційної моделі ТП.

Можливість розробки імітаційної моделі ТП ВК автоматизованого ОТК базується на основі виділення технологічних операцій ВК в окремі ТМ та співставлення визначень ТП ВК з графовим та матричним представленням МП: перехід – технологічний модуль, умова виконання ТП; вузол – етап ТП, команда, датчик; дуга – зв'язок етапів ТП, послідовність керуючих впливів. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям до об'єктної розробки АСК на основі представлених технологічних модулів та актуальних напрямків досліджень щодо практичного застосування математичного апарату МП, а саме – функціональних МП [116, 118, 119].

В умовах господарств АПК задача синтезу АСК ОТК 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 керуваність технологічного комплексу та функціональність АСК.

Прийнятий апарат МП призначений для моделювання та аналізу розподілених систем. За час його розвитку було розроблено багато методів і алгоритмів аналізу, значна частина яких базується на побудові дерева покриття (кінцевий граф досяжності) або, іншими словами, просторі станів моделі, що розглядається. Ці методи успішно використовуються для аналізу моделей складених спеціально за МП, відмінна риса яких полягає у порівняно невеликому просторі станів.

Аналіз дерева покриття дозволяє зробити висновки про властивості мереж. Доцільно приділити увагу таким властивостям елементів МП [113]:

- обмеженість вузлів (існує число  $n$  таке, що для будь-якої розмітки  $M$ , яку можна досягнути в мережі, має місце нерівність  $M(p) \leq n$ );
- безпечність вузлів ( $\forall M \in R(N): M(p) \leq 1$  – для ординарної мережі);
- потенційна мертвість переходів (існує  $M \in R(N)$  така, що при будь-якій розмітці  $M' \in R(N, M)$  перехід  $t$  не може спрацювати);
- потенційна живість переходів ( $\forall M \in R(N), \exists M' \in R(N, M): M \succeq^* F(t)$ );

- стійкість переходів  $(\forall t' \in T \setminus \{t\}, \forall M \in R(N): (M \geq^* F(t)) \wedge (M \geq^* F(t')) \Rightarrow (M \geq^* F(t) +^* F(t'))$ , тобто, якщо перехід  $t$  може спрацювати, то ніякий інший перехід, після спрацювання, не може позбавити його такої можливості);
- $t$  – тупикова розмітка (в мережі  $N$  існує перехід мертвий при будь-якій розмітці, яку можна досягти).

Властивість обмеженості вузлів пов'язана із обмеженою ємністю реальних умов реалізації подій. Дійсно, із визначення правил спрацювання переходів випливає, що для реалізації події, яка моделюється деяким переходом, достатньо, щоб кожне його вхідне місце-умова мало деяке значення (у графічному представленні, деяку кількість маркерів), що дорівнює кратності дуги, яка з'єднує її з переходом. Але при роботі МП загального виду деякі її місця можуть отримувати необмежене значення (кількість маркерів). Якщо представляти місця, як накопичувачі (буфери) даних, сигналів або деталей в системах, які моделюються, то цілком доцільна вимога не переповнення накопичувачів, які в реальних умовах мають фіксовану ємність, при будь-якому варіанті функціонування мережі. Більш доцільно цю властивість розглядати у контексті заповнення та спустошення бункерів, а також моніторингу ТП.

Необхідно нагадати, що місце  $p$  в МП  $N=(P, T, F, W, M_0)$  називається обмеженим, якщо існує число  $n$  таке, що для будь-якої розмітки  $M$ , яку можна досягнути в мережі, має місце нерівність  $M(p) \leq n$ . Мережа  $N$  називається обмеженою мережею, якщо будь-яке її місце обмежено. Звичайно, що множина розміток  $R(N)$ , які можна досягти тоді і тільки тоді, якщо  $N$  – обмежена мережа. Місце  $p$  називається безпечним, якщо  $\forall M \in R(N): M(p) \leq 1$ ; відповідно мережа безпечна, якщо всі її місця безпечні. Будь-яка розмітка, яку можна досягти у безпечній мережі, представляє собою вектор з 0 та 1.

У багатьох випадках МП зручно використовувати або необхідно використовувати не вільну мову МП  $N$ , яка складається з усіх послідовностей спрацювань і веде з початкової розмітки  $M_0$  до деякої фіксованої термінальної розмітки  $M_f$ , тобто множини  $L(N, M_f) = \{ \tau \in T^* \mid M_0 \xrightarrow{\tau} M_f \}$ . Множина  $L(N, M_f)$  утворює вільну терміна-

льну мову мережі  $N$ . Відповідно множина  $\{\Sigma(\tau)/\tau \in L(N, M_f)\}$  утворює термінальну мову розміченої мережі  $(N, \Sigma)$  і представляє модель алгоритму функціонування.

З метою контролю заданого алгоритму роботи ОТК ВК або окремого етапу ТП, можна протоколювати процеси за допомогою часових діаграм. Такий спосіб опису процесів, по-перше, громіздкий, а по-друге, має певні недоліки часового представлення процесів в асинхронних системах:

- у більшості системах необхідно враховувати стан усіх компонентів при кожній зміні її загального стану, що робить модель та протокол громіздкими, особливо у випадках локальної зміни невеликого фрагменту мережі;
- при такому підході зникає інформація про причинно-наслідковий зв'язок між подіями в мережі;
- в асинхронних системах події можуть відбуватись у межах невинувато великих інтервалів часу, складно або неможливо прогнозувати більш точний час початку, кінця та тривалості події.

Пошук нових форм представлення процесів, які б були позбавлені вказаних недоліків, призвів до виникнення ідеї формалізації процесів у вигляді структур мережевого типу. При такому визначенні процес виглядає як сукупність реалізацій подій та змін умов мережі, пов'язаних відношеннями різного типу, і задає не один часовий протокол функціонування системи, а деяку множину часових протоколів, які різняться конкретними прив'язками дій до часу. Іншими словами, процес представляє собою клас еквівалентності для часових протоколів, в якому еквівалентні протоколи характеризуються схожими причинно-наслідковими відношеннями між діями та умовами, що відбиватиметься матрицями інцедентності та алфавітом термінальної мови.

З цією метою, спираючись на результати роботи Зайцева Д. А., Стеценко І. В., Діордієва В. Т., Єгорова Б. В. та тенденцій до об'єктного представлення технологічних систем [32, 41, 118, 119], нами запропоновано реалізувати мережні моделі типових технологічних модулів (рис. 1.3) відповідно до їх принципу дії, АСК ними, їх компоновки у цілісний ОТК ВК та побудови комплексної АСК (рис. 2.3, 2.4). Керування за допомогою мережних моделей ТМ реалізується таким

чином: команди на включення та відключення виконавчих механізмів, очікування та запити на отримання стану системи (функції керування) відповідають переходам мережі, а індикативні функції (вузли). Режими пуску та зупинки ТМ мають різні моделі, які відповідають умовам виконання ТП. Виконання починається з надання оператором або АСК маркеру (дозвіл на виконання) вузлу  $P_{on}$ ; зупинка – маркер знаходиться у  $P_{off}$ . Всі мережні моделі є ординарними та обмеженими.

Запропоновані ТМ (рис. 1.3), з огляду на систему керування, можна класифікувати за наявністю функцій системи керування: дискретне спрацювання виконавчих елементів без функції регулювання (рис. 2.3) та з функцією регулювання (рис. 2.4). Як відомо, представлені ТМ дозволяють побудувати будь-яку технологічну схему комплексу ВК в умовах господарств. Це саме стосується і АСК ТК.

Отже, задачею комплексної АСК є координація спрацювань ТМ, з урахуванням технологічної схеми комплексу ВК, рецепту комбікорму та показань датчиків стану ТП. Таку АСК можна побудувати на основі дворівневої структури, що забезпечить можливість регулювання рівня деталізації та глибини протоколювання процесів за допомогою часових діаграм, а також дозволить зберегти інформацію про причинно-наслідкові зв'язки між подіями в мережі при різних параметрах детермінованості процесів.

Задачі проектування ОТК ВК та організації АСК ТП розв'язуються на відповідних рівнях проектування різними обчислювальними методами. Деякі з них, для прикладу, визначення кількості транспортних засобів та продуктивності на різних ділянках ОТК розв'язуються відомими аналітичними залежностями з урахуванням приведених витрат або інших показників та характеристик роботи ТК. Розробки методики розрахунку ускладнюється тим, що режим роботи кожної машини та у сукупності іноді носять випадковий характер або можуть відхилятися від встановлених (при відсутності аварійних ситуацій), що є однією з основних причин простою або холостого ходу [47]. При оптимізації таких ділянок технологічних комплексів можна використати аналітичний метод визначення параметрів машин.

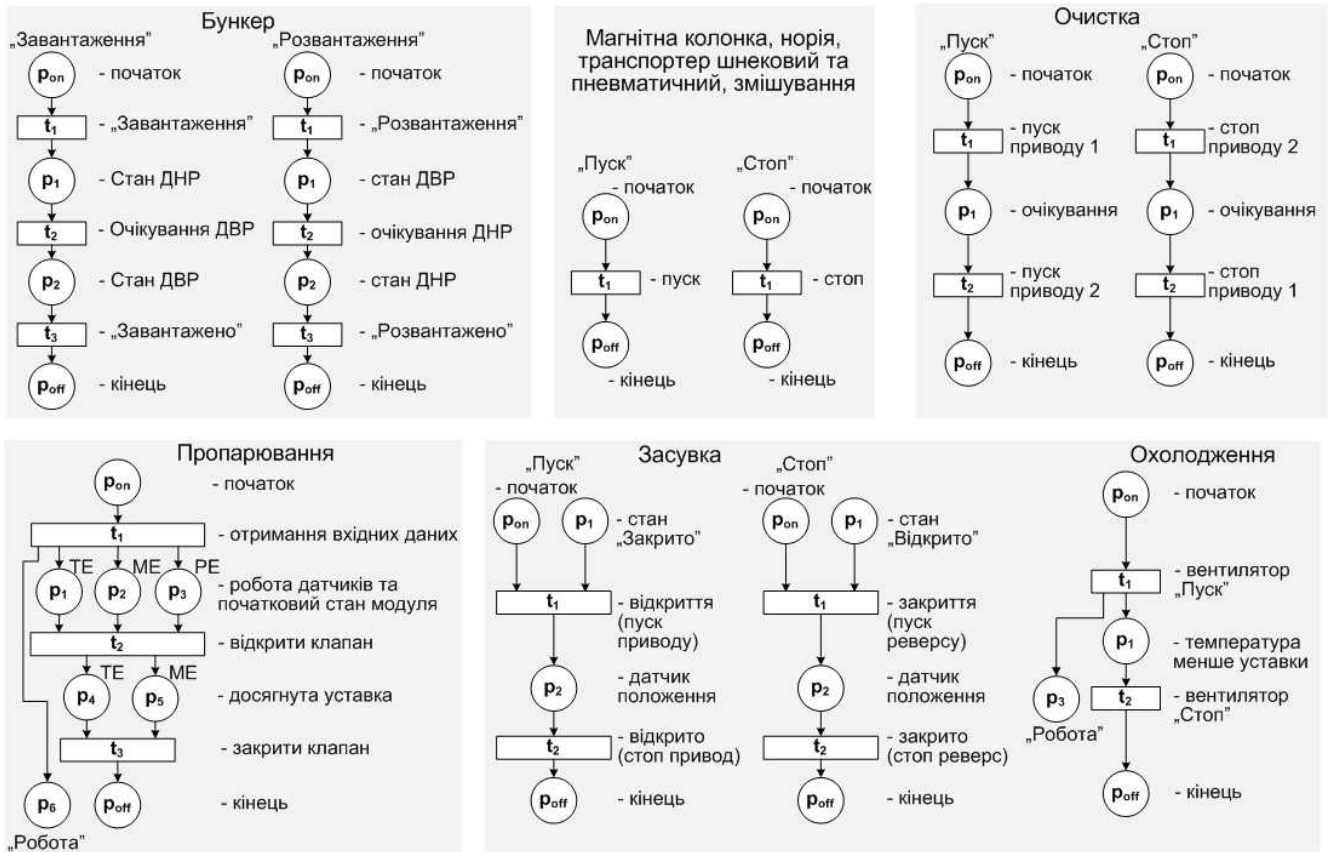


Рис. 2.3. Мережні моделі типових простих технологічних модулів для ВК

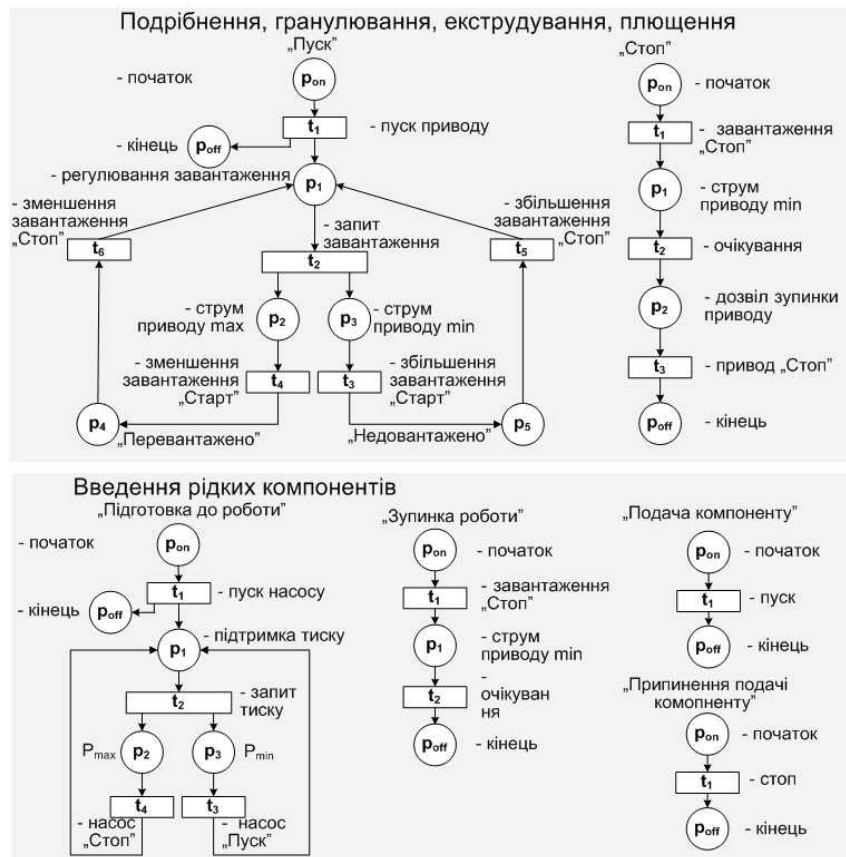


Рис. 2.4. Мережні моделі типових технологічних модулів для ВК з функцією регулювання

## 2.2 Інформативність автоматичної системи керування

У виробничих умовах та при аналізі журналу несправностей ділянок ВК господарств різних форм власності було визначено, що більшість аварійних ситуацій можна було б уникнути при дотриманні планового обслуговування та попереджувального ремонту. Необхідно зазначити, що ведення такої документації є достатньо кропіткою справою, яка потребує певної уваги обслуговуючого персоналу та культури праці. Враховуючи складність оцінки економічної ефективності заходів з обслуговування технологічного обладнання, часто приймається рішення про нехтування нормами обслуговування.

Автоматизація звітності поточного стану технологічного процесу, реєстрація часових діаграм роботи обладнання, широкий перелік методів індикації та сигналізації подій [98, 102] – далеко не повний перелік можливостей АСК ТП з огляду на упровадження планово попереджувальних заходів.

Повільний розвиток даного напрямку пояснюється економічною ефективністю виконання проектних робіт та експлуатації ОТК ВК. З позиції проектної організації – необхідно забезпечити оптимальне співвідношення витрат на розробку базових функцій АСК ТП, які дозволять замовнику експлуатувати комплекс. З іншого боку – замовник отримує АСК ТП комплексом виробництва комбікорму готову до експлуатації за зниженою вартістю. Саме тому, ми вважаємо, питання таймінгу датчиків раніше не було розглянуто більш детально з огляду на отримання інформації про поточний стан елементів ОТК ВК.

Доцільність та економічна ефективність пропозиції обумовлюється підвищенням надійності роботи як АСК ТП так і ОТК ВК, що дозволить оптимізувати обслуговування системи керування та елементів технологічного комплексу і, як наслідок, зменшити поточні витрати на обслуговування та збитки від аварійних ситуацій. Також можна додати підвищення інформативності АСК, що дозволить своєчасно приймати необхідні управлінські рішення.

### 2.2.1 Оцінка стану технічної системи на основі вимірювань

Ряд методик розрахунку параметрів машин ОТК базується на припущенні, що виробництво комбікорму складається із стаціонарних процесів, котрі виконуються при постійних умовах [50, 58, 60]. Такі методики не відповідають дійсності з наступних міркувань: при певному значенні середньоквадратичного відхилення продуктивності сусідніх машин ділянки технологічного комплексу (може бути зумовлено зміною властивостей компонентів комбікорму) може призвести до роботи лінії при невідповідності продуктивності машин між собою – простій обладнання. Саме тому математичний апарат проектування та керування ОТК ВК розвивається та використовує нові методи дискретної оптимізації. Але задача проектних робіт ускладнюється тим, що деякі конструктивні елементи технологічного обладнання стандартизовані [50], тому велике значення приділяється апаратній та програмній організації АСК ТП. Це пов'язано з тим, що підбір обладнання та розробка алгоритмів обробки даних дозволять згладжувати випадкові процеси, які пов'язані із взаємодією обладнання та компонентів комбікорму, та забезпечити реалізацію сервісних функцій, які беззаперечно підвищують ефективність упровадження та використання сучасної АСК ТП.

Раніше нами було запропоновано звернути увагу на вплив властивостей компонентів комбікорму під час проектування деяких елементів ОТК ВК (норія, шнек, дробарка, бункер), але пропозиція стосувалась мінімізації ресурсних витрат на етапі складання рецепту комбікорму та при дозуванні компонентів комбікорму не енерговитратні ділянки ТП (подрібнення) [12, 13, 38]. У результаті виконання теоретичних досліджень було визначено, що економія енергетичних ресурсів, при діючих технологічних схемах, не значна і виконання подальших досліджень у даному напрямку не є доцільними. Але отримані результати можна використати для контролю та ідентифікації стану системи ОТК ВК.

У більшості випадків стан системи не вимірюється безпосередньо, тобто кількість датчиків менша за кількість змінних стану [109]. Однак, часто важливо знати повний вектор стану  $X$ , навіть, якщо адекватні датчики не існують або за-



надто дорогі. При певних умовах можна розрахувати вектор стану  $X$  на основі вимірювань  $Y$ . У подальшому  $\hat{X}$  буде позначати розрахований вектор стану, оскільки він може відрізнитись від реального.

Іноді можливо виміряти усі змінні стану, серед яких є внутрішні змінні, стан яких спостерігається за допомогою датчиків. Використання цих датчиків обмежене, що обумовлено їх вартістю та значущістю техніко-економічного ефекту. Для визначення цих змінних використовують алгоритми оцінки за відомими параметрами технічної системи (рис. 2.5), де показано, як вихід моделі  $C \cdot \hat{X}$  постійно коректується обмірюваними значеннями  $Y$ . Якщо вектор або матриця  $K$  складена вірно, то  $\hat{X}$  наближається до  $X$  [110].

Іншими словами, оцінка є ніщо інше, як комп'ютерна модель технічного процесу, котра регулярно коректується на основі поточних вимірювань. Для перевірки збіжності використовується величина, котра називається похибкою оцінки

$$\tilde{X}(kh) = X(kh) - \hat{X}(kh). \quad (2.17)$$

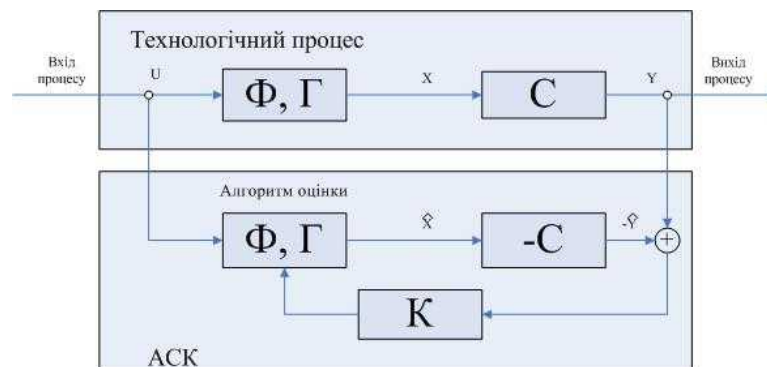


Рис. 2.5. Блок-схема реалізації алгоритму оцінки стану в АСК ТП

Якщо  $K$  можна обрати так, щоб  $\tilde{X}(kh)$  прямувала б до значення 0 достатньо швидко, то оцінка була б задовільною. Це означає, що  $\hat{X}(kh)$  буде наближатись до  $X(kh)$  незалежно від початкових умов. Більш того,  $K$  можна підібрати таким чином, що похибка буде збігатись значно швидше, ніж початкова апроксимація, яка визначається матрицею  $\Phi$ .

Можливість обрати матрицю  $K$  таким чином, щоб оцінка була задовільною, залежить від можливості спостереження за системою, котра визначається тільки матрицями  $\Phi$  та  $C$ . Інакше кажучи, спостережність характеризує можливість

отримання інформації про всі стани системи  $X$  на основі вхідних сигналів  $Y$ . Можливість спостереження також гарантує, що можна знайти необхідну матрицю  $K$  таку, що  $\tilde{X}(kh)$  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 відбиваються у вимірюваннях та система не є керованою за висунутими вимогами.

Для визначення змінних стану, які не можна розрахувати, використовують процедуру оцінки, причому, як для неперервних змінних, так і для дискретних моделей. Оцінка стану фактично є описом технічного процесу різницевиими рівняннями, в які уведений додатковий член для коректування оцінювання змінних на основі вимірювання  $Y$  [110] (рис. 2.5)

$$\hat{X}[(k+1)h] = \Phi \cdot \hat{X}(kh) + \Gamma \cdot U(kh) + K[Y(kh) - C \cdot \hat{X}(kh)]. \quad (2.18)$$

Якщо система має тільки один датчик, тоді  $K$  є вектор, у протилежному випадку – матрицею. В ідеальному випадку оцінки  $X$  та  $\hat{X}$  співпадають і останній доданок у рівнянні дорівнює нулю, оскільки  $Y=C \cdot X$ . У випадку відмінності  $\hat{X}$  від  $X$ , останній доданок, тобто різниця між реальним вимірюванням  $Y$  та його оцінкою  $C \cdot \hat{X}$ , використовується для коректування помилки або похибки. Матриця  $K$  є ваговим коефіцієнтом, котрий визначає якість оцінки.

Найбільш поширений параметр, який контролюється на автоматизованих ОТК ВК, є рівень сипких компонентів та готового комбікорму у відповідних бункерах тимчасового та тривалого їх зберігання. Беззаперечно, вимірювальні пристрої рівня обов'язково впливають на роботу ОТК (на основі їх показань відбувається генерація керуючих впливів та сервісних повідомлень оператору).

Розробка інформаційних функцій АСК на базі часу спрацювань датчиків рівня вимагає розгляду процесів наповнення, спустошення бункерів та впливу властивостей компонентів комбікормів на роботу технологічного обладнання (транспортери, випускний отвір бункерів). Для подальшої роботи пропонується використати загальні (довідкові) формули визначення продуктивності технологічного обладнання [49, 50]:

– продуктивність норії, т/год

$$Q_{Т.Н} = i \cdot v_{л} \cdot \psi \cdot \gamma \frac{3,6}{a} ; \quad (2.19)$$

– продуктивність шнека, т/год:

$$Q_{Т.Ш} = k_3 \cdot k_p \cdot k_B \cdot k_u \cdot \psi \cdot \gamma \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot \frac{a \cdot n}{240} \quad (2.20)$$

або

$$Q_{Т.Ш} = 47,1 \cdot k_B \cdot \psi \cdot \gamma \cdot n \cdot a \cdot \left( (D + 2 \cdot \lambda_{ш})^2 - d^2 \right)$$

де  $i$  – ємність ковша,  $m^3$  (залежить від типу ковшів  $0,5 \div 1,5 \cdot 10^{-3} m^3$ );

$v_{л}$  – швидкість руху стрічки, м/с (приймається у діапазоні  $1 \div 2$  м/с);

$\psi$  – коефіцієнт заповнення ковшів, норія –  $0,5 \div 0,7$ , шнек –  $0,3 \div 0,5$ ;

$\gamma$  – об'ємна вага матеріалу,  $t/m^3$ ;

$a$  – відстань між ковшами ( $a=0,14 \div 0,28$  м) або крок витків (для шнекових транспортерів зерна  $a=(0,7 \div 1,0) \cdot D$ ), м;

$D$  – зовнішній діаметр гвинта, м (для зерна  $D=0,08 \div 0,25$  м);

$d$  – діаметр валу гвинта, м (для зерна  $d=0,02 \div 0,08$  м);

$\lambda_{ш}$  – радіальна щілина між зовнішньою кромкою гвинта та внутрішньою поверхнею кожуха шнека ( $\lambda_{ш}=8-10$  мм);

$n$  – частота обертання шнека, об/хв. (для зерна  $n=60 \div 400$  об/хв);

$k_3$  – коефіцієнт врахування способу завантаження ( $k_3=1,0 \div 0,85$ );

$k_p$  – коефіцієнт, враховуючий спосіб розвантаження ( $k_p=1,0 \div 0,94$ );

$k_B$  – коефіцієнт, враховуючий кут нахилу шнека ( $k_B=1,0 \div 0,3$ );

$k_u$  – швидкість переміщення матеріалу в кожусі ( $k_u=0,9 \div 0,7$ );

– продуктивність дробарки. Зерно, компоненти комбікорму та їх суміш з позиції об'єкта подрібнення є складною сировиною, що пов'язано з особливостями їх структури [12, 50, 86]. Відомо, що окремі анатомічні частини зернівки мають різні фізичні та хімічні характеристики, що, у даному випадку, виражається різними міцністними властивостями [34, 86]. Враховуючи особливості експлуатації та принцип дії обладнання, для подрібнення компонентів комбікормів розглядати тривалість її роботи як інформаційний показник стану ТП та ОТК не доцільно. Але не-

обхідно зауважити, що АСК дискретним у просторі ТП ВК повинна забезпечити неперервну роботу дробарки та її оптимальне завантаження;

– пропускна здатність бункерів знаходиться у залежності від швидкості витікання матеріалу, кг/с [121]

$$Q_{\sigma} = \pi \cdot \lambda \cdot R^2 \cdot \sqrt{3,2 \cdot g \cdot R} \cdot \gamma, \quad (2.21)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт витікання, залежить від властивостей компоненту;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$R$  – гідравлічний радіус отвору витікання, м.

Отже, через зміну властивостей компонентів комбікорму, змінюється і продуктивність розглянутих елементів, що повинно враховуватись АСК ТП.

При відокремленні параметрів, котрі відображають конструктивні особливості технологічних елементів (константи), формули 2.19-2.21 матимуть вигляд:

$$\text{норія} \quad K_n = \frac{i}{S}, \quad Q_{\text{т.н.}} = K_n \cdot \psi \cdot \gamma \cdot V_n, \quad (2.22)$$

$$\text{шнек} \quad K_{\text{ш}} = k_z \cdot k_p \cdot k_v \cdot k_u \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot \frac{S}{240}, \quad Q_{\text{т.ш.}} = K_{\text{ш}} \cdot \gamma \cdot n, \quad (2.23)$$

$$\text{бункер} \quad K_{\sigma} = \pi \cdot \sqrt{3,2g}, \quad Q_{\sigma} = K_{\sigma} \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot R^{5/2}. \quad (2.24)$$

Відповідно до висунутої концепції 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 [108]

$$P = K \int_{t_0}^{t_x} P(t) dt, \quad (2.25)$$

де  $P$  – функція контрольованого параметру (для вивчення інформативності пропозиції за зазначений параметр приймаємо продуктивність технологічних елементів);

$K$  – конструктивний коефіцієнт, враховує параметри обладнання, які не чутливі до зовнішніх збурень;

$t_0$  – початок завантаження;

$t_x$  – час спрацювання контрольного датчика, шуканий параметр.

Для відпрацювання методики оцінки таймінгу датчиків рівня пропонується, у першому наближенні, використати загальні (довідкові) формули визначення продуктивності транспортерів ОТК ВК (норія, шнек) та потужності їх приводного електродвигуна. Беззаперечно, при коливанні властивостей компонентів комбікорму змінюється і продуктивність розглянутих елементів, що повинно враховуватись АСК ТП.

Для дослідження можливості практичного застосування контролю тривалості роботи виконавчих механізмів та часу спрацювань датчиків (таймінг) прийнято – продуктивність  $Q$ . Враховуючи, що продуктивність елементів ОТК ВК складається з перехідної та сталої складової, формула (2.25) матиме вигляд

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} Q_n(t) dt + \int_0^{t_x - t_1} Q_c(t) dt \quad (2.26)$$

де  $t_1$  – тривалість перехідного процесу, час за який перестає зростати продуктивність відповідного досліджуваного елементу ОТК ВК, с.

У випадку моделювання продуктивності норії та шнеку перехідна складова матиме ланку чистого запізнення, обумовлену поступовим пересуванням компоненту, як при початку подачі компоненту, так і при припиненні його подачі. При моделюванні засувки бункеру, необхідно враховувати гідравлічний радіус, який безпосередньо залежить від характеристик компоненту комбікорму, а саме сводотворення. У першому наближенні чисте запізнення можна виразити так:

$$\text{норія} \quad t_{3,н} = \frac{H}{v_l}, \quad (2.27)$$

$$\text{шнек} \quad t_{3,ш} = \frac{60 \cdot L}{S \cdot n}, \quad (2.28)$$

$$\text{засувка} \quad t_{3,з} = \frac{R_{\min}}{v_r}, \quad (2.29)$$

де  $L$  – довжина шнеку, м;

$R_{\min}$  – мінімальний гідравлічний радіус, м;

$v_r$  – швидкість відкриття засувки, м/с.

Поєднаємо рівняння продуктивності розглянутих елементів ОТК ВК з представленим розумінням продуктивності машин:

$$Q_{т.н.} = K_n \cdot \psi \cdot \gamma \cdot \left[ \int_{t_0}^{t_1-t_{3.н.}} V_{п.л.}(t) dt + \int_0^{t_x-t_1-t_{3.н.}} V_{п.л.}(t) dt \right], \quad (2.30)$$

$$Q_{т.ш.} = K_{ш} \cdot k_v \cdot \gamma \cdot \left[ \int_{t_0}^{t_1-t_{3.ш.}} n_{п.ш.}(t) dt + \int_0^{t_x-t_1-t_{3.ш.}} n(t) dt \right], \quad (2.31)$$

$$Q_{\sigma} = K_{\sigma} \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot \left[ \sqrt[5/2]{\int_{t_0}^{t_1-t_{3.з.}} R_{п.}(t) dt} + \sqrt[5/2]{\int_0^{t_x-t_1-t_{3.з.}} R(t) dt} \right]. \quad (2.32)$$

На даному етапі роботи зробимо припущення про можливість нехтування перехідною складовою транспортерів ( $V_{п.л.}(t)$  та  $n_{п.ш.}(t)$ , крім  $R_{п.}(t)$ ). Це обумовлено тим, що прийнятий розрахунок запізнення робить не доцільним теоретичне обґрунтування зазначених змінних.

Отже, для подальшого обґрунтування і моделювання таймінгу датчиків рівня у ОТК ВК приймаються такі формули:

$$Q_{т.н.} = K_n \cdot \psi \cdot \gamma \cdot \int_0^{t_x-t_{3.н.}} V_{п.л.}(t) dt, \quad (2.33)$$

$$Q_{т.ш.} = K_{ш} \cdot k_v \cdot \gamma \cdot \int_0^{t_x-t_{3.ш.}} n(t) dt, \quad (2.34)$$

$$Q_{\sigma} = K_{\sigma} \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot \left[ \sqrt[5/2]{\int_{t_0}^{t_1-t_{3.з.}} R_{п.}(t) dt} + \sqrt[5/2]{\int_0^{t_x-t_1-t_{3.з.}} R(t) dt} \right]. \quad (2.35)$$

Шуканою є величина  $t_x$ , яка буде визначатись за формулами:

$$\text{норія} \quad t_x = t_{3.н.} + \frac{Q_{т.н.}}{K_n \cdot \psi \cdot \gamma \cdot V_{с.л.}}, \quad (2.36)$$

$$\text{шнек} \quad t_x = t_{3.ш.} + \frac{Q_{т.ш.}}{K_{ш} \cdot k_v \cdot \gamma \cdot n_{с.}}, \quad (2.37)$$

$$\text{засувка} \quad t_x = \left( \frac{Q_6}{K_6 \cdot \lambda \cdot \gamma} - \sqrt[5]{\int_{t_1-t_{3.3.}} R_{п.}(t) dt} \right)^{2/5} \cdot \frac{1}{R_c} + t_1 + t_{3.3.} \quad (2.38)$$

де  $V_{с.л.}$  – сталe значення швидкості стрічки норії, м/с;

$n_c$  – сталe значення швидкості обертання валу шнека, об/хв.;

$R_c$  – сталe значення гідравлічного радіусу, м.

Ці спрощені формули дозволяють виконати необхідний набір статистичних операцій для визначення доцільності та напрямків подальших досліджень.

Достатньо поширеним елементом сучасних ОТК ВК є електрифіковані засувки, які встановлюють на розподільчих шнеках та бункерах. Останні іноді виконують з ручним приводом, але сучасна концепція АСК передбачає встановлення електрифікованих засувок, які складаються з електроприводу (асинхронний двигун з короткозамкненим ротором), редуктору (іноді виконується в одному корпусі з приводом), датчиків положення (кінцеві вимикачі) та самої засувки. При нормальних умовах передбачається, що електропривод живиться від мережі з номінальними параметрами, а зусилля, яке діє на засувку з боку матеріалу бункеру, не перевищує розрахунків і значення. Як правило, час відкриття засувки позначається у паспортних даних.

Робота засувок залежить не тільки від місця їх розташування (розподільчий транспортер, випускний отвір бункеру), а й від особливостей ТП [80, 120]. Загальним випадком несправності засувки є її заклинювання, яке може бути викликано несправністю механічної частини редуктору, незадовільним станом засувки (пил, змазка, живлення приводу), зовнішніми умовами експлуатації (ожеледь, теплове розширення металу) та тиском компонентів, які зберігаються. Необхідно зазначити, що останній параметр є погано контрольованим і може приймати критичні значення в наслідок нормальної експлуатації бункера, тому потребує більш детального розгляду.

Тиск сипких компонентів комбікормів на затвор засувок відноситься до категорії місцевих тисків, які діють на обмежених ділянках сипкого тіла, і залежать від властивостей насипного матеріалу, від жорсткості конструкції бункера у зоні

засувки та від процесу формування сипкого тіла. При наповненні бункера сипкими компонентами під дією тиску, який збільшується, на засувку відбуваються пружні деформації деталей засувки та стінок бункера, в результаті чого частини сипкого тіла, які знаходяться безпосередньо над засувкою, осаджуються по периметру стовпа сипкого тіла над засувкою та виникають дотичні зусилля (сили тертя та зчеплення), які сприймають значну долю ваги матеріалу розташованого над засувкою [121].

У результаті дії цих внутрішніх сил тиск на засувку іноді має значення значно менше гідростатичного, причому цей тиск тим менший, чим швидше розвиваються дотичні зусилля. Ці зусилля мають найбільше значення у бункерах, які не спустошуються; при закритті засувки під час процесу вивантаження, коли засувка перетинає рухомий потік сипкого матеріалу, розташованого над нею. У такому випадку тиск на затвор засувки стає мінімальним [121, 122].

Найбільша величина тиску на затвор виникає при наповненні порожнього бункера; при жорстких стінках бункера та затворі із незначною деформацією зсув центральних частин вантажу відносно периферичних малий, дотичні зусилля розвиваються повільно, тому тиск на затвор засувки може отримувати значення наближені до гідростатичного – цей тиск діє тільки до першого відкриття затвора [122]. Отже, тиск на затвор засувки залежить від багатьох факторів, і точний розрахунок його величини представляє значні труднощі. Для практичного розрахунку середнього тиску на затвор засувки рекомендовано використовувати формулу [122]

$$\delta = 5,6 \cdot k_0 \cdot \gamma \cdot R \quad (2.39)$$

де  $h$  – висота компоненту у бункері, м;

$\gamma$  – об'ємне вага компоненту, кг/м<sup>3</sup>;

5,6 – величина обернена коефіцієнту тертя о поверхню затвору засувки (середнє значення для насипного матеріалу 0,18);

$k_0$  – коефіцієнт, який враховує особливості експлуатації бункерного обладнання ( $k_0=2$  – щоразу повне спустошення;  $k_0=1,5$  – іноді повне спустошення;  $k_0=1$  – повністю не спустошується);



$R$  – гідравлічний радіус випускного отвору, м.

Загальну силу, що діє на засувку, визначають за формулою [122]

$$F = \delta \cdot s_{\text{отв}}, \quad (2.40)$$

де  $s_{\text{отв}}$  – площа витікання випускного отвору (для прямокутного отвору  $s_{\text{отв}} = (A - a') \cdot (B - a')$ ; для квадратного –  $s_{\text{отв}} = (A - a')^2$ ), м<sup>2</sup>.

Гідравлічний радіус для квадратного перетину випускного отвору розраховується за формулою [121]

$$R = \frac{A - a'}{4}, \quad (2.41)$$

а для прямокутного [121]

$$R = \frac{(A - a') \cdot (B - a')}{2 \cdot (A + B - 2a')}, \quad (2.42)$$

де  $A, B$  – відповідні розміри випускного отвору, м;

$a'$  – середній найбільший розмір відповідного компонента, м.

Необхідно враховувати, що питома об'ємна вага також залежить від вологості компонента, яка може змінюватись за період зберігання [121]

$$\gamma = \gamma_{\text{сух}} \cdot (1 + W) \text{ або } \gamma = \gamma_{\text{поч}} \cdot \frac{G_1}{G_2} \quad (2.43)$$

де  $\gamma_{\text{сух}}$  – об'ємна вага сухого матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_{\text{поч}}$  – початкова об'ємна вага, кг/м<sup>3</sup>;

$W$  – вологість компонента, в.о.;

$G_1, G_2$  – початкова та кінцева вага матеріалу, кг.

Коефіцієнт тертя компонентів о поверхню затвору впливає на роботу приводного обладнання. Як правило, в роботах з проектування технологічного обладнання зустрічається тільки його залежність від матеріалу поверхні затвору. Якщо відомий коефіцієнт тертя по одній поверхні, а необхідно визначити для іншої, можна скористатись співвідношенням [121]

$$f_1 : f_2 : f_3 : f \approx 15 : 16 : 17 : 20 \quad (2.44)$$

де  $f_1$  – коефіцієнт тертя по сталі;

$f_2$  – коефіцієнт тертя по деревині;

$f_3$  – коефіцієнт тертя по гумі;

$f$  – коефіцієнт внутрішнього тертя.

З представленого матеріалу видно, що розрахунок тиску на затвор засувки є складною багатофакторною задачею. Враховуючи, що визначення стану сипкого тіла у зоні тертя затвору засувки мають лише побічні методи, як і  $\gamma$  та  $W$ , а метою даного етапу досліджень обумовлено визначення режиму роботи приводу засувок, то теоретичні дослідження його роботи доцільно узагальнити та звести до моделювання роботи електроприводу у різних умовах живлення та навантаження.

За результатами дослідження слід прийняти рішення про статистичну значущість впливу мережі живлення та виду навантажувальної діаграми на тривалість руху затвору засувки за час моделювання та врахувати їх при розробці алгоритму оцінки модельованого часу, що є наслідком зміни продуктивності машин під час експлуатації ТК. Через багатофакторність та багатопараметричність продуктивності машин його представляють як стаціонарний процес [123]

$$Q_{т.}(t) = \bar{Q}_{т.}(t) + Q_{т.}^0(t), \quad (2.45)$$

де  $\bar{Q}_{т.}(t)$  – математичне очікування дійсної продуктивності;

$Q_{т.}^0(t)$  – центровані функції зміни продуктивності машин.

За допомогою таблиць нормального розподілу побудована зразкова вибірка, на основі якої при змінному значенні дисперсії були отримані вхідні дані. Розрахунок виконувався за формулою [124]

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\cdot\pi}} \text{EXP}\left(-\frac{x^2}{2\cdot\sigma^2}\right), \quad (2.46)$$

де  $x$  – відхилення від середнього значення;

$\sigma$  – стандартне відхилення.

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 цей закон розподілу.

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

Оцінка часу спрацювань виконавчих механізмів та датчиків рівня базується на методах виключення грубих помилок або хибних даних, значення яких у класичному розумінні явно 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 ОТК ВК.

Всі методи виключення грубих помилок можна розділити на два типи: методи виключення при відомому середньоквадратичному відхиленні ( $S$ ); методи виключення при невідомому  $S$ . У першому випадку середньоарифметичне ( $\bar{X}$ ) та  $S$  розраховується за результатами всієї вибірки, у другому – перед розрахунками з вибірки підозрілі результати видаляються.

Формальним критерієм аномальності результату спостереження (часу спрацювання), а відповідно і висновку про належність даних до еталонної групи вимірювань, виступає нерівність [125]

$$|x^* - \bar{X}| \geq t \cdot S, \quad (2.47)$$

де  $x^*$  – спостереження, яке перевіряється на відповідність еталонним даним або є помилковим;

$\bar{X}$  – середнє значення без урахування підозрілого результату або з його урахуванням (залежить від методу, закону розподілу, кількості входних даних тощо);

$t$  – коефіцієнт, який залежить від виду та закону розподілу, об'єму вибірки та рівня значущості.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} X_i}{n}. \quad (2.48)$$

На практиці частіше зустрічаються вимірювання при невідомому  $S$  (обмежена кількість вимірювань). Можна розглянути такі критерії підозрілих результатів вимірювань: Стьюдента, Ірвіна, Романовського, варіаційного розмаху, Диксона, Смирнова, Шовене, Губса [124-126].

Оскільки критеріальні вимоги (коефіцієнти), які визначають межу «грубих» результатів спостереження у авторів різні, то перевірку необхідно виконувати відразу по кількох критеріях. Остаточний висновок щодо належності «підозрілих» результатів слід виконувати по більшості критеріїв. Крім того, вибір критерію повинен виконуватись після побудови гістограми результатів спостереження. Залежно від її виду виконується попередня ідентифікація закону розподілу (нормальний, близький або такий, що відрізняється від нього).

Достатньо розповсюдженим є критерій Стьюдента [125]

$$t_p = \frac{|x^* - \bar{X}|}{S'}, \quad (2.49)$$

де  $S'$  – стандартне відхилення спостережень без урахування  $x^*$ ;  
 $\bar{X}$  – середнє значення без урахування підозрілого результату;

$$S' = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{X})^2}, \quad (2.50)$$

де  $n_u = n - 1$  – кількість дослідів без одного.

Розрахункове значення критерію Стьюдента  $t_p$  порівнюється з табличним  $t(\alpha, f)_T$  ( $\alpha$  – довірна ймовірність,  $f = n_u - 1$  – ступень вільності). Якщо  $t_p > t_T$ , то спостереження є грубою похибкою або помилковим.

Критерій Романовського базується на критерії Стьюдента, але табличне значення  $t_p$  розподілу квантеля Стьюдента визначається при заданій довірчій ймовірності з кількістю ступенів вільності  $k = n - k_n$  ( $k_n$  – кількість підозрілих результатів вимірювань).

Подібні між собою критерії «правило трьох сигм» та Райта [126]. Вони обидва визначаються нерівністю  $|x_{i_{\text{від}}} - \bar{X}| \geq t \cdot S$ , де  $t=3$  – у випадку нормального розподілу («правило трьох сигм»),  $t=4$  – критерій Райта. Але такий критерій рекомендується використовувати не більше одного разу, оскільки можна отримати хибну інформацію щодо правильності вибору методики їх отримання.

На практиці поширеним є критерій Стюдента. Але він має гіперболічну залежність критеріального значення при малих значеннях стандартних відхилень та низьку чутливість у випадку великих значень (рис. 2.6), що може призвести до системної похибки методу.

Представлені методи є поширеними при виключенні грубих помилок або промахів з вибіркового даних, які відповідають нормальному закону розподілу або наближені до нього, але вони потребують додаткових розрахунків. Нами було запропоновано оцінювати розподіл даних за формою амплітудно-частотної характеристики (АЧХ), яка отримана шляхом обробки експериментальних даних алгоритмом швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) [17, 23, 27]. Як виявилось, такий підхід не є вдалим, оскільки він також супроводжувався додатковими операціями: побудова гістограми вхідних даних, низька достовірність аналізу форми АЧХ (монотонність АЧХ була забезпечена в окремих випадках нормального розподілу при певних значеннях  $\bar{X}$  та  $S$ ).

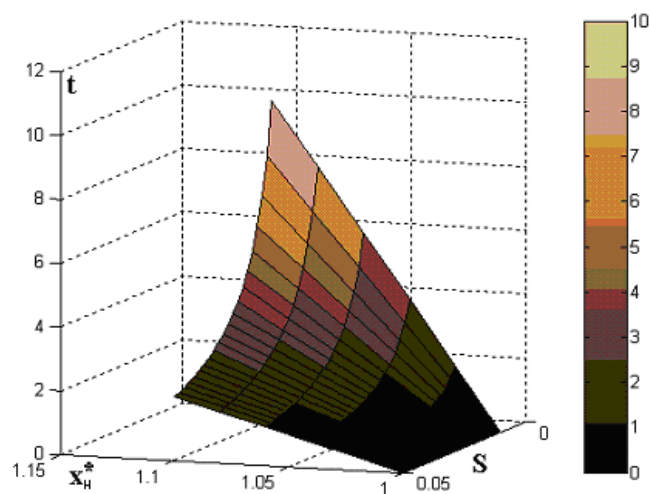


Рис. 2.6. Графічна залежність  $t_p = F(x_n^*, S_n)$

Подальша робота за даним напрямом дозволила спростити та удосконалити методику оцінки таймінгу виконавчих елементів та датчиків, спираючись на арифметичну суму амплітуд (площу амплітудної характеристики (АХ))  $S_{AX}$ , яка отримана в результаті застосування ШПФ до не оброблених вхідних даних (додаток 5) [21]. Вхідні дані складаються з вибірок отриманих із розрахунків або є накопиченими при експлуатації ТК.

Для розрахунку  $S_{AX}$  використано дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) з кількістю даних  $2^n$  ( $n \in 1, 2, \dots$ ), що дозволяє використовувати алгоритм швидкого перетворення. Тригонометричний багаточлен Фур'є, який у контексті дискретних даних часу про таймінг за наближеними формулами Бесселя матиме вигляд [111]:

$$y(t) = a_0 + \sum_{i=1}^{N/2} a_i \cdot \cos \pi \cdot i + \sum_{i=1}^{N/2} b_i \cdot \sin \pi \cdot i, \quad (2.51)$$

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N y_i, \quad b_0 = 0; \quad (2.52)$$

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^N y_i \cdot \cos \frac{2\pi \cdot i \cdot m}{N}, \quad m = 1, 2, \dots, N/2, \quad (2.53)$$

$$b_m = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^N y_i \cdot \sin \frac{2\pi \cdot i \cdot m}{N}, \quad m = 1, 2, \dots, N/2, \quad (2.54)$$

де  $y_i$  – масив вхідних значень, А;

$N$  – кількість рівних частин на які поділений період  $T$ .

Тоді визначення площі амплітудо-частотної характеристики матиме вигляд

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

або у дискретній формі для амплітуди

$$S_{AX} = \sum_{i=1}^m \sqrt{a_m^2 + b_m^2}. \quad (2.55)$$

Формальним критерієм аномальності результату спостереження (часу спрацювання), а відповідно і висновку про належність даних до еталонної групи вимірювань, виступає нерівність [124]

$$\left| S_{AX \partial} - S_{AX e} \right| < \varepsilon, \quad (2.56)$$

- де  $S_{\text{АХ д}}$  – дослідне значення арифметичної суми амплітуд;  
 $S_{\text{АХ е}}$  – еталонне значення арифметичної суми амплітуд, яке отримується на етапі проектних робіт, як результат експертних оцінок роботи ОТК або тестування ТК;  
 $\varepsilon$  – дозволене відхилення, яке може бути обумовлене статистичною та/або технічною значущістю умов роботи ТК.

Враховуючи незалежний характер отриманих даних, за відповідними елементами ОТК можна прийняти значення  $\varepsilon$  за критерієм Стюдента (при довірчій ймовірності 0,05  $t=1,96$ ).

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 [109, 110] та співставити їх з пропонованими функціями та вхідними даними.

Задача алгоритму оцінки, в основі якого лежить принцип виключення грубих помилок, зводиться до генерації повідомлень про стан ТП або ОТК [124, 125, 126]. За аналогічним принципом виконується і оцінка стаціонарності спрацювання окремого переходу імітаційної моделі ТК. В свою чергу, аналіз стаціонарності роботи АСК ТП ВК на ОТК в умовах господарств доцільно виконувати за критерієм згоди Колмогорова [125].

Використання цього критерію значно спрощує обробку матричного представлення мережі, оскільки виключається обчислення середнього арифметичного, дисперсії та інших статистичних характеристик вибірових розподілів. Теоретично доведено, що при чисельності вибіркової сукупності більше 25 одиниць граничне значення критерію  $\lambda_m$ , при відповідному порозу довірчої ймовірності, приймає сталі значення, з яким і порівнюється розрахунковий показник

$$\lambda_p = \left| \frac{\sum_{i=0}^p t_i - \sum_{j=0}^p t_j}{\max} \right| \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot N}}, \quad (2.57)$$

- де  $\sum_{i=0}^p t_i$ ,  $\sum_{j=0}^p t_j$  – нагромаджений час по кожній рядку (вершини) еталонної та дослідної матриць інцидентності;

$i, j$  – кількість вершин ( $P$ ) мережі Петрі;

$N$  – об'єм БЕД за відповідною ділянкою мережної моделі ТП.

Запропоновані методи оцінки потребують детального вивчення щодо можливості, доцільності та інформативності їх використання.

Для формалізації методики оцінки, з огляду на зручність застосування, доцільно дані досліджень представляти у відносних одиницях – нормовані дані відносно середнього арифметичного (у виробничих умовах – проектний час або еталонний)

$$x_{ni} = \frac{x_i}{\bar{X}}, \quad (2.58)$$

де  $x_i$  – поточні значення вибірки даних;

$\bar{X}$  – середнє арифметичне вибірки.

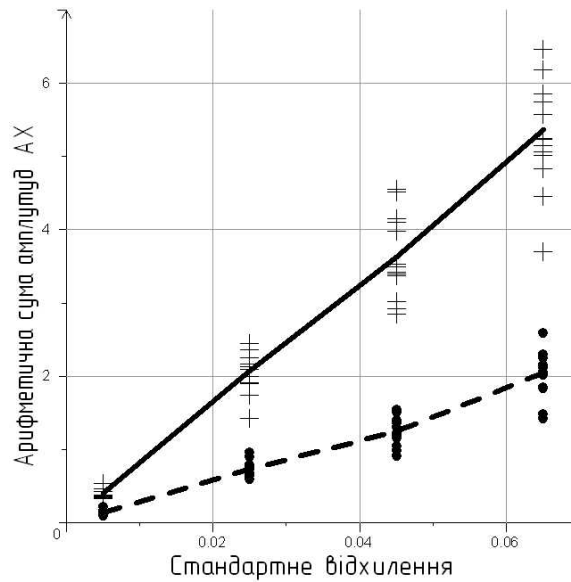
Таке представлення вхідних даних дозволяє узагальнити їх обробку, дослідження впливу відхилень та різних законів розподілу з контрольованими параметрами на площу АХ.

Результати аналізу нормального розподілу, який було отримано у програмному пакеті Matlab за допомогою функції `normrnd` (середнє арифметичне = 1; стандартне відхилення = 0,005: 0,02: 0,065) свідчать про наявність статистично значущої залежності арифметичної суми амплітуд АХ та стандартним відхиленням (рис. 2.7) – коефіцієнт кореляції склав 0,9998 [21]. Отже, виникає можливість розв'язання задач побічної оцінки параметрів статистичних даних.

За аналогічним принципом були розглянуті інші види розподілів. Результати моделювання представлені графічно (рис. 2.8). У ході аналізу модельних даних (рис. 2.7, рис. 2.8) визначено, що значення сум доцільно використовувати у межах нормального розподілу та розподілу Стьюдента [21].

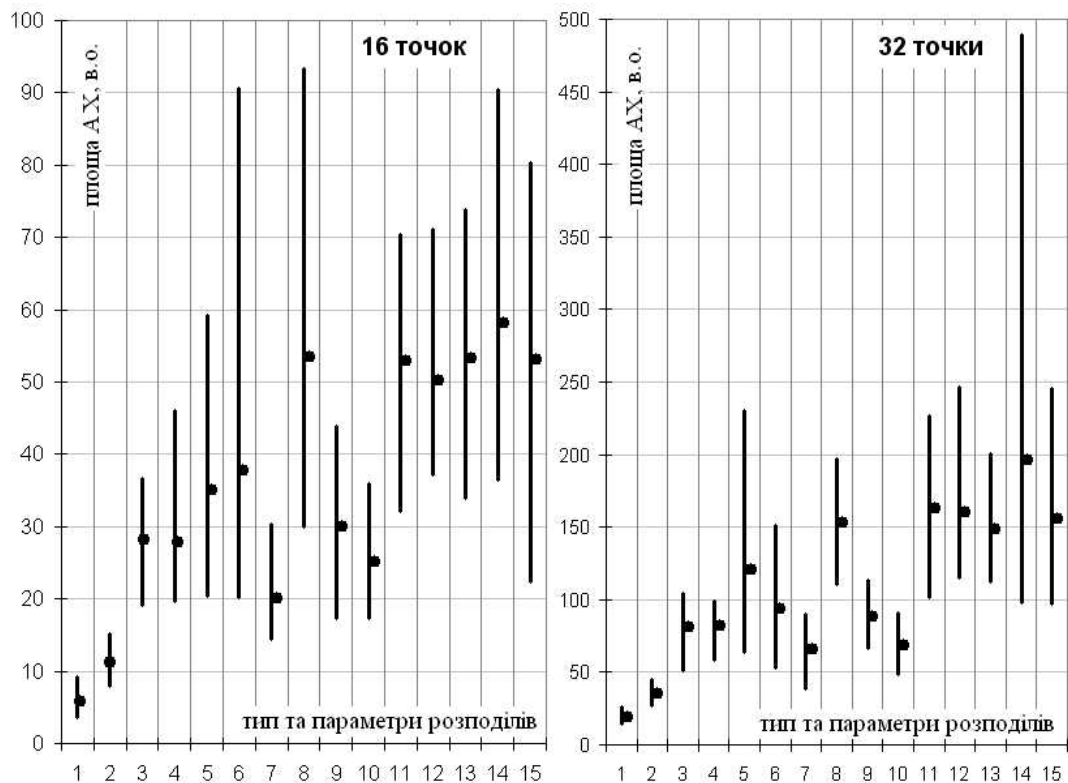
Виходячи з задач аналізу таймінгу [23] роботи елементів ТК, слід формувати подальші дослідження, як вплив можливих хибних даних  $x^*$  на суму амплітуд. Для цього приймаємо «ідеальні» умови визначення суми амплітуд АХ





— об'єм вибірки 32 даних; - - - об'єм вибірки 16.

Рис. 2.7. Аналіз нормального розподілу за допомогою ШПФ (середньоарифметичні значення поєднані)



1 – розподіл Стюдента; 2 – розподіл  $\chi^2$ ; 3 – рівномірний розподіл; 4 – розподіл Фішера при параметрах 10,30 (5-10, 10; 6-30, 10; 7-30, 30); 8 – розподіл Пуассона при параметрі 1 (9-3; 10-5); 11 – експоненціальний розподіл при параметрі 20 (12-10, 13-5); 14 – логнормальний розподіл при параметрі 5, 1 (15-2, 1).

Рис. 2.8. Результати застосування ДПФ до сигналів з контрольованими розподілами

Вважатимемо, що об'єм даних, які підлягатимуть аналізу, дорівнює  $2^n$ , з них  $2^{n-1}$  значень дорівнюють «1». Причому  $2^n$  елемент множини є змінним і являє собою потенційну похибку або відхилення від ідеальних умов (табл. 2.1). У результаті аналізу отриманих результатів можна зробити висновки про необхідність врахування об'єму вибірки, можливості точного визначення значення стандартного відхилення  $S$ , помилкових вхідних даних та їх ймовірного закону розподілу.

Таблиця 2.1

Вплив  $x^*$  на суму амплітуд АХ при різному об'ємі вибірки

Обсяг даних	Показник	Помилка, $x_H^*$						
		1	1,005	1,015	1,025	1,045	1,065	1,085
$2^5=32$	$S_{AX}$	0	0,08	0,24	0,4	0,72	1,04	1,36
	$S_{AX}/ 1-x_H^* $	0	$2^4$					
	$S_H$	0	0,00088	0,00265	0,00442	0,00795	0,01149	0,01503
	$ 1-x_H^* /S_H$	-	$2^{2,5}$					
	$S_{AX}/S_H$	-	$2^{6,5}$					
$2^4=16$	$S_{AX}$	0	0,04	0,12	0,2	0,36	0,52	0,68
	$S_{AX}/ 1-x_H^* $	0	$2^3$					
	$S_H$	0	0,00125	0,00375	0,00625	0,01125	0,01625	0,02125
	$ 1-x_H^* /S_H$		$2^2$					
	$S_{AX}/S_H$	-	$2^5$					
$2^3=8$	$S_{AX}$	0	0,02	0,06	0,1	0,18	0,26	0,34
	$S_{AX}/ 1-x_H^* $	0	$2^2$					
	$S_H$	0	0,00177	0,0053	0,00884	0,01591	0,02298	0,03005
	$ 1-x_H^* /S_H$		$2^{1,5}$					
	$S_{AX}/S_H$	-	$2^{3,5}$					
$2^2=4$	Площа, $S_{AX}$	0	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,17
	$S_{AX}/ 1-x_H^* $	0	$2^1$					
	$S_H$	0	0,0025	0,0075	0,0125	0,0225	0,0325	0,0425
	$ 1-x_H^* /S_H$		$2^1$					
	$S_{AX}/S_H$	-	$2^2$					

У результаті виконання теоретичних досліджень щодо таймінгу роботи виконавчих механізмів та датчиків ОТК, можна відзначити можливість використання арифметичної суми амплітуд  $A_X$  (результат обробки вхідних даних апаратом дискретного перетворення Фур'є (ДПФ)), як критерію нормального режиму роботи складових ОТК в умовах обмеженої кількості вхідних даних.

Враховуючи отримані результати, можна алгоритмізувати процедуру оцінки (рис. 2.9), яка складається з таких блоків: початок роботи алгоритму (блок 1), виконання процедури отримання номеру вимірювального пристрою (блок 2), отримання еталонних значень часу спрацювань  $x_{em}$  (блок 3), припустиме відхилення  $\delta_{em}$  та еталонна площа амплітудної характеристики  $S_{a m}$ , ініціалізація змінної часу відліку  $x_{temp}$  у блоці 4 з наступним очікуванням спрацювання 5, блоки сервісних повідомлень 6-8, блоки порівнянь поточних і еталонних даних 9-11 з можливістю подальшого аналізу 12 та оцінки 13, блоки повідомлень 14 та 15, інтерфейсу експерту або користувача 16, блок закінчення алгоритму 17.

Уточнення алгоритму оцінки вхідних даних виконується у визначеній послідовності (рис. 2.9). Відповідно до алгоритму роботи організаційно-технічного комплексу, описаних МП за методикою прототипу, отримується ідентифікатор давача у блоці 2. Після чого з бази еталонних даних отримується інформація про еталонні значення  $x_{ет}$  та  $\delta$  (блок 3), а також ініціалізується змінна часу  $x_{temp}$  (блок 4), яка накопичується та порівнюється у блоці 5 за допомогою логічних блоків 9-11 та відповідних повідомлень 6-8, 14 та 15 за допомогою інтерфейсу експерта або користувача 16. Якщо величина вхідного значення знаходиться у межах допустимих значень  $x_{em} \pm \delta$ , виконується аналіз отриманої інформації за допомогою швидкого перетворення Фур'є (блок 12) та отримується фактичне значення площі амплітудної характеристики  $S_{a \phi}$ . У блоці 13  $S_{a m}$  та  $S_{a \phi}$  (стала величина, яка приймається відповідно до чутливості системи) порівнюються, що дозволяє визначити технічну значущість відхилень та ідентифікувати порушення режиму роботи організаційно-технічного комплексу з індикацією на інтерфейсі експерта або користувача (блок 19). Після чого на блоці 20 алгоритм припиняє свою роботу. Повторюється алгоритм відповідно до мережної моделі комплексу.

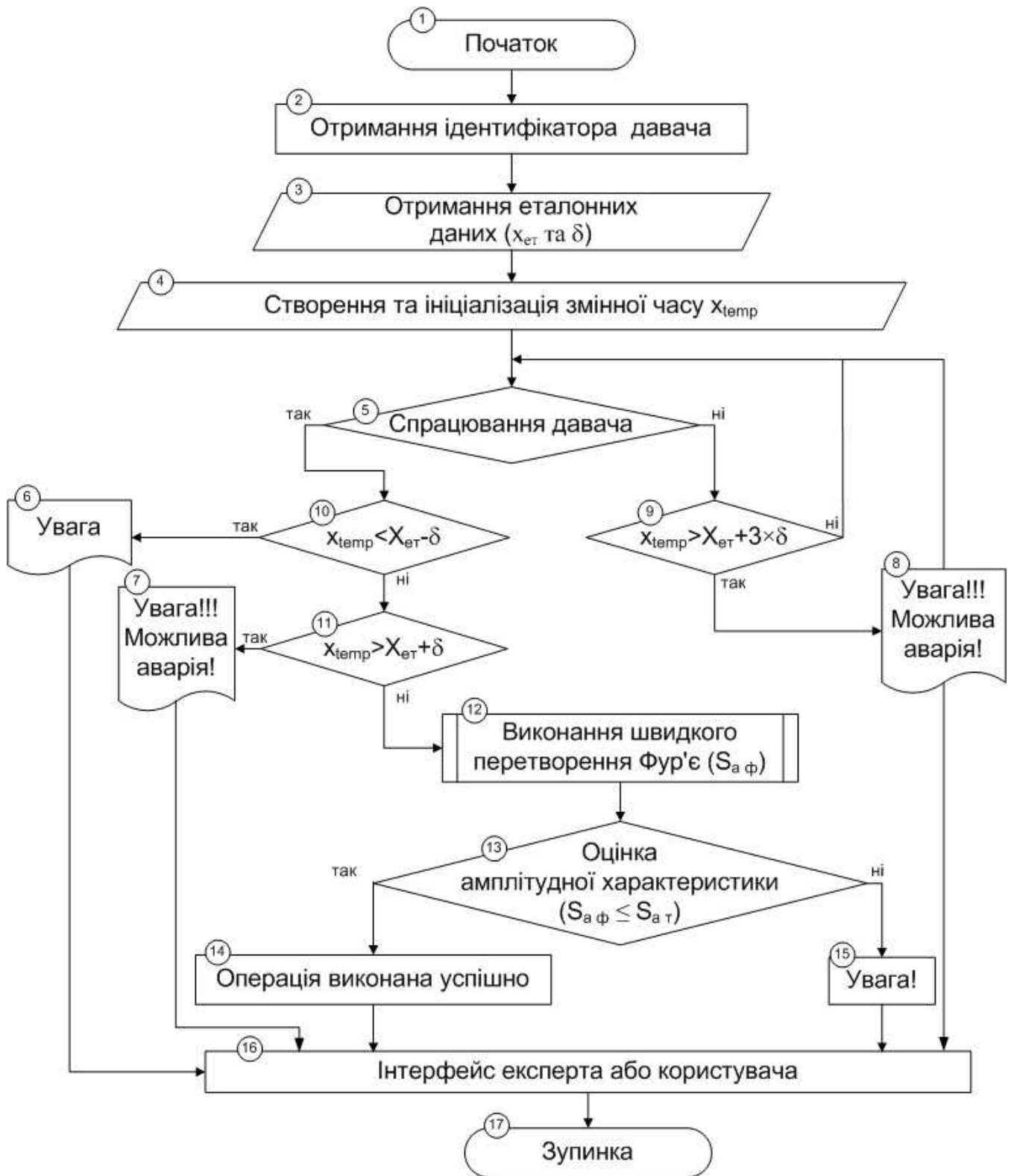


Рис. 2.9. Алгоритм оцінки часу початку та закінчення оперативного впливу на технологічний процес, спрацювання виконавчих елементів та датчиків

## 2.2.2 Статистичне та технічне значення факторів збурення

Найбільш поширені елементи ОТК ВК, режим роботи та параметри яких суттєво залежать від фізико-механічних властивостей компонентів комбікормів та умов роботи приводу, є транспортери та електрифіковані засувки.

Відомо, що відносна тривалість  $t_{\Delta}$  перевищення рівня відхилення центрованої випадкової функції продуктивності  $\pm\Delta$  сусідніх технологічних машин  $Q_z^0(t) = Q_1^0(t) - Q_2^0(t)$  ( $Q_1^0(t), Q_2^0(t)$  – продуктивності сусідніх машин у ТК) визначається за формулою [47, 123]

$$t_{\Delta} = 1 - 2 \cdot F\left(\frac{\Delta}{\sigma_{\Sigma}}\right), \quad (2.59)$$

де  $F(t)$  – функція Лапласа;

$\sigma_{\Sigma}$  – середньоквадратичне відхилення продуктивності

При  $\sigma_{\Sigma} = \pm 0,35$  та при достатньо високому допуску  $\pm 10\%$  від номінальної продуктивності пари машин величина  $t_{\Delta} = 0,78$ . Це означає, що більш ніж половина робочого часу ОТК буде працювати при невідповідності продуктивності сусідніх машин. Вищезазначене явище пов'язане із достатньо високим коливанням продуктивності машин, що безпосередньо пов'язано не тільки із режимом роботи технологічного обладнання та приводного двигуна, а в першу чергу, із зміною властивостей компонентів комбікорму. Апаратна реалізація розв'язання цієї задачі повинна враховувати особливості дискретного керування ОТК ВК та можливості сучасних мікропроцесорних засобів автоматизації, що дозволить реалізувати складні алгоритми оцінки стану технічної системи.

При аналізі фізичних властивостей компонентів комбікормів було визначено, що коливання їх властивостей може знаходитись у широких межах під дією цілого комплексу факторів. Вивчення характеру цих змін та закономірностей, пов'язаних з ними, є предметом досліджень інших напрямків та галузей науки. При виконанні теоретичних досліджень у контексті таймінгу датчиків рівня, ми можемо абстрагуватись від детального вивчення цих питань. Це дозволяє зверну-

ти увагу на відхиленні узагальненого показника об'ємної ваги компоненту та частоти обертання валу шнека або швидкості руху стрічки норії у межах 5% від номінальних значень (припустима похибка в умовах сільського господарства). У результаті аналізу коливання продуктивності машин (2.19, 2.20) отримані поверхні продуктивності відповідних транспортерів (рис. 2.10) [49].

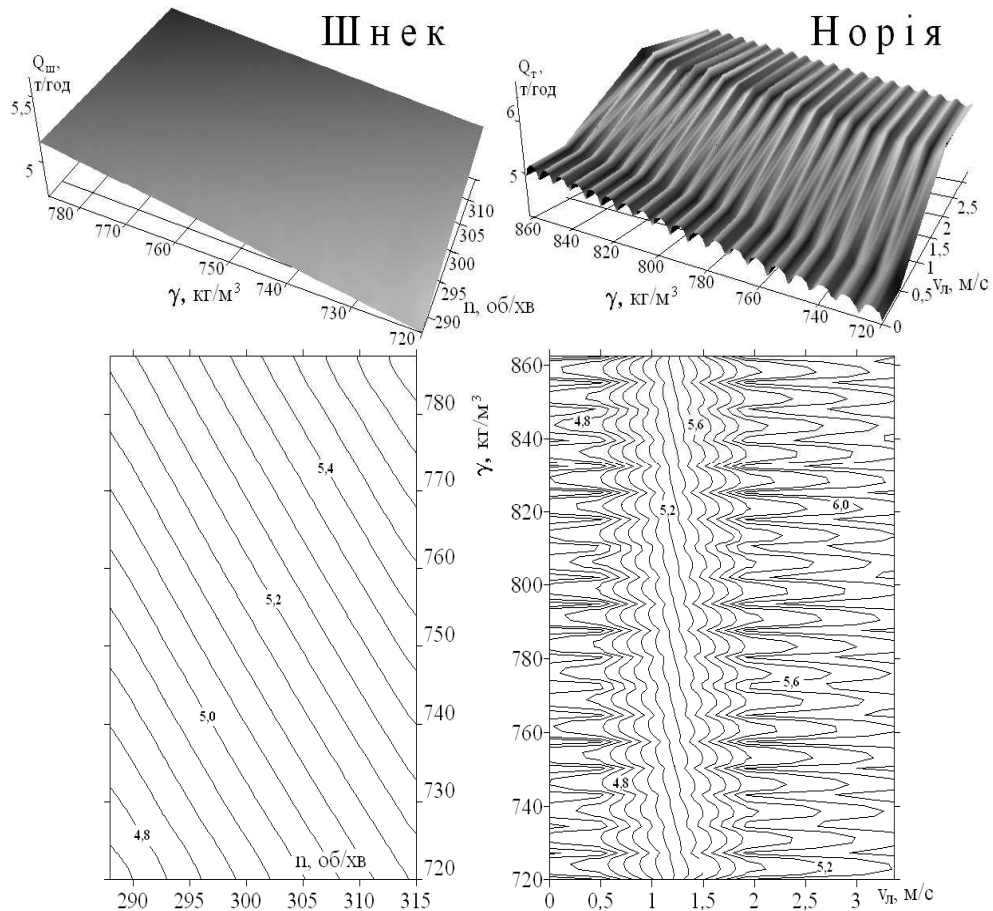


Рис. 2.10. Поверхні коливання продуктивності транспортерів від питомої ваги компоненту комбікорму та можливого коливання швидкості робочого органу та їх ізолінії

За отриманими поверхнями можна зазначити, що тільки зміна об'ємної ваги компонентів комбікормів та швидкість руху транспортеру призводить до значущих відхилень продуктивності (шнек –  $\pm 4\%$ , норія –  $\pm 8\%$ ) вказаного обладнання і, як наслідок, часу спрацювань датчиків рівня. При подальшому використанні отриманих результатів, слід зазначити, що при розгляді даного відхилення необхідно враховувати тривалість роботи транспортеру, час спрацювання датчиків

нижнього та верхнього рівнів при завантаженні та розвантаженні бункерного обладнання.

У сучасних ОТК ВК обов'язковим елементом є електрифіковані засувки, які встановлюють на розподільчих транспортерах та бункерах. Іноді їх виконують з ручним приводом, але сучасна концепція АСК передбачає встановлення електрифікованих засувок, які складаються з електроприводу (асинхронний двигун з короткозамкненим ротором), редуктору (іноді виконується в одному корпусі з приводом), датчиків положення (кінцеві вимикачі) та затвору. У нормальних умовах передбачається, що електропривод живиться від мережі з номінальними параметрами, а зусилля, яке діє на засувку з боку матеріалу бункеру, не перевищує розрахункового.

Якщо розглядати питання аналізу тривалості роботи та виключення грубих помилок у контексті таймінгу, то можна зазначити, що під час експлуатації ОТК ВК та спостереження за ТП виявлено два типи відхилень: перші, порівняно із значенням контрольованого часу, менші  $3 \cdot S$ ; інші – відхиляються на значно більші значення. Обидва випадки мають місце і можуть бути технічно значущими. Це обумовлюється впливом властивостей компонентів комбікормів або готового комбікорму, умовами роботи та стану елементів комплексу. Крім того, розробка та практична перевірка методів оцінки є складною задачею, що обумовлено багатofакторністю ТП ВК, умовами експлуатації ТК, переліком технологічного обладнання та іншими виробничими чинниками.

Отже, необхідно дослідити статистичну значущість впливу умов роботи приводного обладнання та параметрів компонентів комбікормів на тривалість роботи виконавчих механізмів та спрацювань відповідних датчиків, що на етапах моделювання можливо на основі використання інтерактивних засобів віртуального моделювання.

Віртуальна модель роботи засувки складена у середовищі Matlab бібліотеки Simulink (рис. 2.11), що дозволяє вивчити вплив параметрів мережі живлення роботи приводного обладнання [104, 106]. Представлена модель містить: джерела змінної трифазної напруги (AC Voltage Source: L1, L2, L3), блок вимірювання на-

пруги (Voltage Measurement), блок трифазної асинхронної машини (Asynchronous Machine SI Units), універсальний блок вимірювань (Machines Measurement Demux), блок генерації сигналу збурення (Step), різні математичні функції (Gain, Integrator) та блоки візуалізації даних (Display, Scope). Блок Integrator використовується з метою перетворення швидкості у лінійне переміщення засувки.

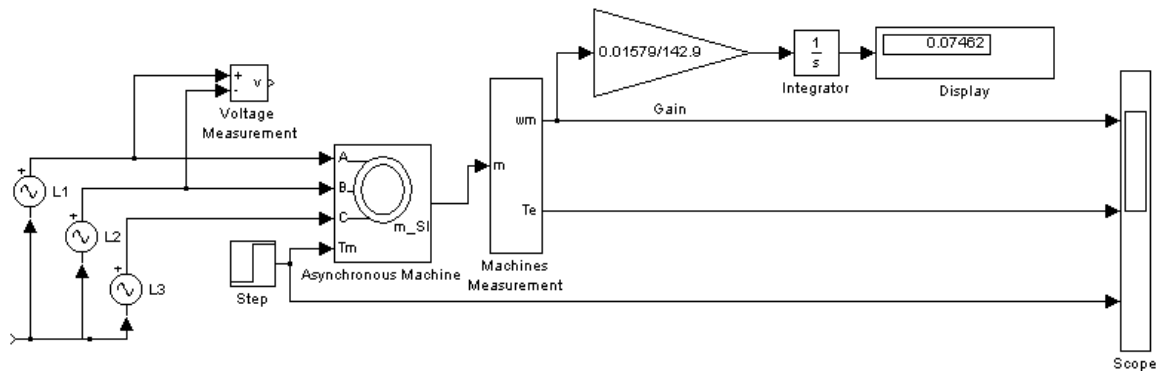


Рис. 2.11. Модель роботи приводу засувки

Представлена модель створена на основі засувки (B-2,3-130-8A). Блок Gain представляє коефіцієнт редуктора, що дозволяє перейти від кутових координат до лінійних переміщень, які відбиваються у Display.

За аналогічним принципом складена модель роботи транспортеру (рис. 2.12). Вона додатково включає блоки постійних значень (Constant – початковий вибір режиму; Constant1 – потужність холостого ходу транспортеру) та блок вибору режиму моделювання (Multiport switch). На відміну від попередньої моделі, блок Integrator призначений для відображення накопиченої кількості компоненту.

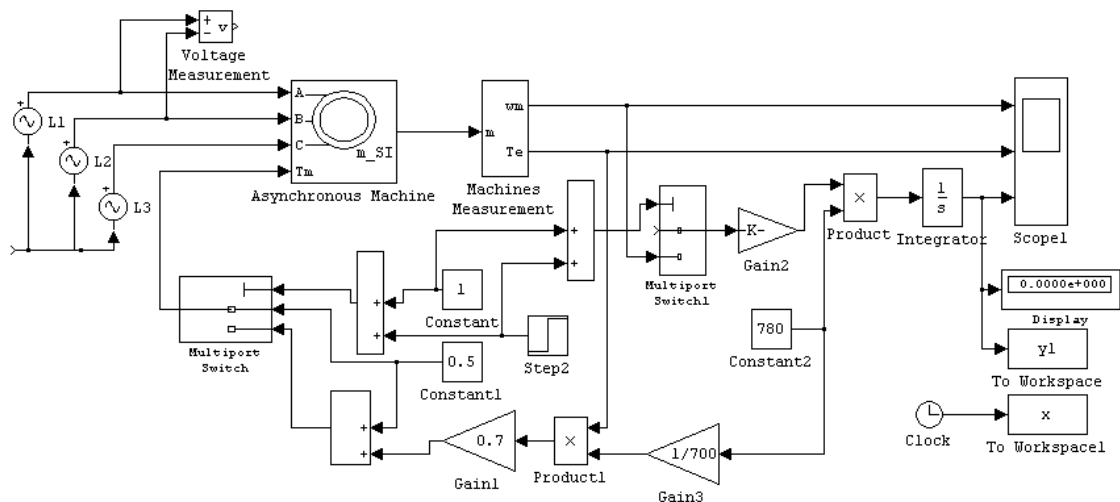


Рис. 2.12. Модель роботи приводу транспортеру



Представлені моделі виконують широке коло теоретичних експериментів щодо умов роботи обладнання: вплив параметрів мережі живлення приводу, зміна параметрів компонентів комбікормів – що дозволяє відпрацювати методики запропонованих сервісних функцій АСК ТП ОТК ВК. Дослідження виконувались за методикою багатofакторного експерименту (БФЕ) з повнофакторним планом.

Достатньо поширеним є однофакторний метод дослідження, але план багатofакторного експерименту дозволить при дослідженні складних процесів виконати теоретичні експерименти так, щоб за результатами моделювання можна було б зробити висновок про комплексну взаємодію усіх факторів відразу. Це сприяє підвищенню ефективності експерименту, що виражається у меншій похибці розрахункових експериментальних параметрів, ніж при традиційних методах аналізу даних. При тому, з підвищенням кількості факторів підвищується точність експерименту та адекватність моделі.

Обробку результатів БФЕ планується виконати за класичним алгоритмом [104, 126]. У першому наближенні будемо використовувати нелінійну модель, яка враховує взаємодію факторів

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_k \cdot X_k + \beta_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + \dots + \beta_{k-1} \cdot \beta_k \cdot X_{k-1} \cdot X_k, \quad (2.60)$$

Для повного плану БФЕ характерні властивості ортогональності, нормування, симетрії, рототабельності, що дозволяє застосувати метод найменших квадратів для розрахунку оцінок  $b_i$ . У загальному випадку

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N y_u \cdot x_{iu}}{N}, \quad (2.61)$$

де  $y_u$  – значення відклику в  $u$ -й строчці матриці (при кількох паралельних дослідах використовується постстрокове середнє значення відклику);

$x_{iu}$  – рівень відповідної кодованої змінної для  $u$ -й строчці;

$N$  – кількість варіантів сполучень факторів (кількість строк).

Слід підкреслити, що у випадку експериментальної роботи існує визначена послідовність обробки результатів БФЕ для побудови моделі. Причому, якщо на

одному етапі необхідні умови не виконуються, то на наступний етап не переходять – уточнюють сам експеримент. У випадку моделювання достатньо отримати по одному значенню кожного досліджу.

Виконано теоретичний експеримент з дослідження умов роботи приводу засувки. В якості факторів прийнято:  $x_1, x_2, x_3$  – напруга живлення АД відповідної фази;  $x'_1, x'_2, x'_3$  – зсув фаз мережі живлення;  $x''_1, x''_2, x''_3$  – відхилення частоти мережі живлення;  $x_4$  – тривалість впливу моменту трогання засувки.

В якості відклику  $y_u$  представлено довжину пересування засувки з постійними коефіцієнтами редуктора (розрахункові моменти трогання та відкриття засувки приведені до валу АД складають 2,2 Н·м та 1,2 Н·м відповідно) та часом роботи 9,5 с – згідно паспортних даних засувки В-2,3-130-8А (потужність приводу 0,37 кВт, розмір вихідного отвору 150×150 мм).

Фактори варіюються на двох рівнях, діапазон зміни яких обирається відповідно до нормативних документів (ГОСТ 1310-97):

- напруга живлення по кожній фазі:  $x_{1В}=240В$ ;  $x_{1Н}=200В$  ( $i=1, 2, 3$ );
- кут зсуву фаз мережі живлення:  $x'_{1В}=+10^\circ$ ;  $x'_{1Н}=-10^\circ$  ( $i=1, 2, 3$ );
- тривалість максимального моменту опору на валу приводу:  $x_{4В}=4с$ ;  $x_{4Н}=2 с$ .

Кодування факторів.

$$I_{1,2,3} = \frac{240 - 200}{2} = 20, \quad I_{1,2,3} = \frac{10 - (-10)}{2} = 10, \quad I_4 = \frac{4 - 2}{2} = 1. \quad (2.62)$$

Базовий рівень:

$$\begin{aligned} x_{10} &= x_{1В} - I_1 = 240 - 20 = 220, & x'_{10} &= x'_{1В} - I'_1 = 10 - 10 = 0, \\ x_{20} &= x_{30} = x_{10}, & x''_{20} &= x''_{30} = x''_{10}, & x_{40} &= x_{4В} - I_4 = 4 - 1 = 3. \end{aligned} \quad (2.63)$$

Значення рівнів кодування:

$$\begin{aligned} X_{1В} &= X_{2В} = X_{3В} = \frac{240 - 220}{20} = +1; & X'_{1В} &= X'_{2В} = X'_{3В} = \frac{10 - 0}{10} = +1; \\ X_{1Н} &= X_{2Н} = X_{3Н} = \frac{200 - 220}{20} = -1; & X''_{1Н} &= X''_{2Н} = X''_{3Н} = \frac{-10 - 0}{10} = -1; \\ X_{4В} &= \frac{4 - 3}{2} = +1; & X_{4Н} &= \frac{2 - 3}{2} = -1. \end{aligned} \quad (2.64)$$

Оскільки  $k=4$ , то кількість варіантів матриці БФЕ  $N=2^4=16$ . Перелік варіантів сполучень факторів БФЕ та результати експериментів представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Дослідження роботи засувки, сполучення факторів БФЕ при k=4

Сполучення факторів		Варіанти сполучень факторів															b	b`	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			16
Кодовані рівні змінних	X <sub>0</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14,76	14,749
	X <sub>1</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0,306	0,000
	X <sub>2</sub>	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0,306	0,000
	X <sub>3</sub>	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,306	0,000
	X <sub>4</sub>	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-0,156	-0,186
	X <sub>1</sub> ·X <sub>2</sub>	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-0,066	0,039
	X <sub>1</sub> ·X <sub>3</sub>	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-0,066	0,039
	X <sub>1</sub> ·X <sub>4</sub>	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	0,058	0,000
	X <sub>2</sub> ·X <sub>3</sub>	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,066	0,039
	X <sub>2</sub> ·X <sub>4</sub>	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,058	0,000
	X <sub>3</sub> ·X <sub>4</sub>	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,058	0,000
	X <sub>1</sub> ·X <sub>2</sub> ·X <sub>3</sub>	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	0,096	0,000
	X <sub>1</sub> ·X <sub>2</sub> ·X <sub>4</sub>	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	0,024	0,004
	X <sub>1</sub> ·X <sub>4</sub> ·X <sub>3</sub>	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	0,024	0,004
	X <sub>4</sub> ·X <sub>2</sub> ·X <sub>3</sub>	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	0,024	0,004
X <sub>1</sub> ·X <sub>2</sub> ·X <sub>3</sub> ·X <sub>4</sub>	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	0,033	0,000	
Напряга живлення																			
ȳ <sub>u</sub> , см		15,7	15,5	14,9	15,2	14,9	15,2	14,4	14,8	14,9	15,2	14,4	14,8	14,4	14,8	13,3	13,8	-	-
ỹ <sub>u</sub> , см		15,7	15,5	14,9	15,2	14,9	15,2	14,4	14,8	14,9	15,2	14,4	14,8	14,4	14,8	13,3	13,8	-	-
Зсув фаз																			
ȳ <sub>u</sub> , см		14,7	15,0	14,5	14,9	14,5	14,9	14,5	14,9	14,5	14,9	14,5	14,9	14,5	14,9	14,7	15,0		
ỹ <sub>u</sub> , см		14,7	15,0	14,5	14,9	14,5	14,9	14,5	14,9	14,5	14,9	14,5	14,9	14,5	14,9	14,7	15,0		

За результатами моделювання поверхня відкликів повністю відтворює модельні дані. Слід зазначити, що середньоарифметичне значення відклику (пересування засувки) при зміні значення напруги складає 14,76 см, а стандартне відхилення цих значень дорівнює  $\pm 0,602$  см, що складає 4% від середнього значення ходу засувки (відхилення між максимальним і мінімальним значенням ходу засувки 6,3% відносно середнього), а при відхиленні куту зсуву фаз рух затвору 14,5 см та  $\pm 0,2$  см ( $\pm 1,3\%$ ) відповідно.

Необхідно акцентувати увагу на групах однакових значень оцінок коефіцієнтів рівнянь регресії при сполученні різних факторів. Враховуючи результати моделювання, визначення характеру впливу властивостей компонентів комбікормів на роботу засувки, можна абстрагуватись від коливань параметрів напруги живлення та параметрів компонентів комбікормів.

З урахуванням значень оцінок коефіцієнтів  $b$  та отриманих результатів обробки даних рівняння регресії при зміні значення напруги живлення:

загальний випадок

$$f(t) = b_0 + (b_1 + b_7 \cdot X_4) \cdot (X_1 + X_2 + X_3) + (b_5 + b_{12} \cdot X_4) \times \\ \times (X_1 \cdot X_2 + X_3 \cdot X_2 + X_1 \cdot X_3) + b_4 \cdot X_4 + b_{15} \cdot X_4 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2.65)$$

симетричне живлення

$$f(t) = b_0 + 3 \cdot X_1 \cdot (b_1 + b_7 \cdot X_4) + 3 \cdot X_1^2 \cdot (b_5 + b_{12} \cdot X_4) + b_4 \cdot X_4 + b_{15} \cdot X_4 \cdot X_1^3. \quad (2.66)$$

При виконанні порівнянь технічної та статистичної значущості відхилень показань датчиків рівня необхідно враховувати особливості поведінки сипких компонентів комбікормів у бункерах. В результаті теоретичних досліджень та виробничої експлуатації ОТК ВК можна запропонувати використовувати значення часу спрацювання вимірювальних перетворювачів верхнього та нижнього рівнів. Для виконання теоретичних досліджень з метою визначення характеру взаємодії вимірювальних перетворювачів та сипкого матеріалу (компонентів комбікормів) абстрагуємося від їх конструктивних особливостей, яким планується звернути увагу при виконанні практичних досліджень. Потужність, яка необхідна для приводу шнекового транспортеру визначається за формулою [50]

$$N_{ш} = \frac{(N_1 + N_2) \cdot W_0}{\eta_{п}}, \quad (2.67)$$

де  $N_1$  – подолання тертя матеріалу о внутрішню поверхню жолобу;

$N_2$  – потужність, необхідна на підйом матеріалу та подолання тертя о поверхню гвинтів;

$W_0$  – досвідний коефіцієнт, котрий враховує необхідну потужність для подрібнення переміщуваного матеріалу.

У наближених розрахунках користуються формулою [127]

$$N_{ш} = 9,81 \cdot k'_b \cdot Q \cdot (f_c \cdot L + H) \cdot \eta_{п}^{-1}, \quad (2.68)$$

де  $k'_b$  – коефіцієнт збільшення навантаження. В залежності від кута нахилу шнека ( $k'_b=1 \div 2,5$ );

$f_c$  – коефіцієнт опору,  $f_c=1,5$ ;

$L$  – довжина траси, м;

$H$  – висота підйом матеріалу (приймаємо  $H=0$  м), м.

Продуктивність шнека  $Q$  (2.20) має у своєму складі змінні, які залежать від роботи приводу та матеріалу, який транспортується. З метою визначення значущості впливу якості роботи приводу шнеку, питомої ваги компоненту та спрощення розрахунків, припустимо зміну продуктивності шнеку пропорційно до розрахункового значення об'ємної ваги компоненту (зміна швидкості обертання приводу здійснюється відповідно до стандартної моделі асинхронного двигуна).

З урахуванням попередніх результатів, щодо впливу режиму роботи приводного обладнання на роботу засувки виконуємо моделювання роботи транспортеру аналогічним принципом.

В якості факторів приймаємо:  $x_1, x_2$  – напруга живлення АД ( $x_1=U_{L1}, x_2=U_{L2}=U_{L3}$ , де  $U$  – напруга відповідної фази);  $x_3$  – питома вага компоненту комбікорму. В якості відклику  $y_u$  представлено накопичену вагу компоненту за певний час роботи – згідно паспортних даних транспортеру (потужність приводу 1,1 кВт, продуктивність 5 т/год).

Фактори варіюються на двох рівнях:

– напруга живлення фаз:  $x_{iB}=240$  В;  $x_{iH}=200$  В ( $i=1, 2$ );

– питома вага компоненту комбікорму:  $x_{3В}=780$  кг/м<sup>3</sup>;  $x_{3Н}=720$  кг/м<sup>3</sup>;

Кодування факторів:

$$I_{1,2,3} = \frac{240 - 200}{2} = 20,$$

$$I_3 = \frac{780 - 720}{2} = 30.$$

Базовий рівень:

$$x_{10} = x_{1В} - I_1 = 240 - 20 = 220,$$

$$x_{30} = x_{3В} - I_3 = 780 - 30 = 750.$$

Значення рівнів кодування:

$$X_{1В} = X_{2В} = X_{3В} = \frac{240 - 220}{20} = +1;$$

$$X_{1Н} = X_{2Н} = X_{3Н} = \frac{200 - 220}{20} = -1;$$

$$X_{3В} = \frac{780 - 750}{2} = +1,$$

$$X_{4Н} = \frac{720 - 750}{2} = -1.$$

Оскільки  $k=4$ , то кількість варіантів (строчок) матриці БФЕ  $N=2^4=16$ . Моделювання здійснюється за допомогою засобів імітаційного моделювання програмного пакету Matlab (рис. 2.12). Перелік варіантів сполучень факторів БФЕ та результати експериментів представлені у таблиці 2.3.

Аналіз результатів моделювання свідчить про статистичну незначущість впливу режиму роботи приводного обладнання (у межах нормальних умов експлуатації) та питомої ваги компоненту комбікорму (рис. 2.13), що дозволяє ідентифікувати відхилення продуктивності транспортеру як порушення режиму роботи, можливості аварійної ситуації або суттєвої зміни властивостей компоненту.

Дослідження роботи транспортеру, сполучення факторів БФЕ при  $k=3$ 

Перелік факторів	1	2	3	4	5	6	7	8	b
$X_0$	1	1	1	1	1	1	1	1	75,57
$X_1$	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0,26
$X_2$	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,123
$X_3$	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	3,028
$X_1 \times X_2$	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,000
$X_1 \times X_3$	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,005
$X_2 \times X_3$	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,008
$X_1 \times X_2 \times X_3$	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-0,005
Зміна напруги живлення									
Модель, $\text{кг/м}^3$	78,99	72,92	78,74	72,68	78,47	72,4	78,2	72,18	-
Рівняння, $\text{кг/м}^3$	79,0	72,9	78,7	72,7	78,5	72,4	78,2	72,2	-

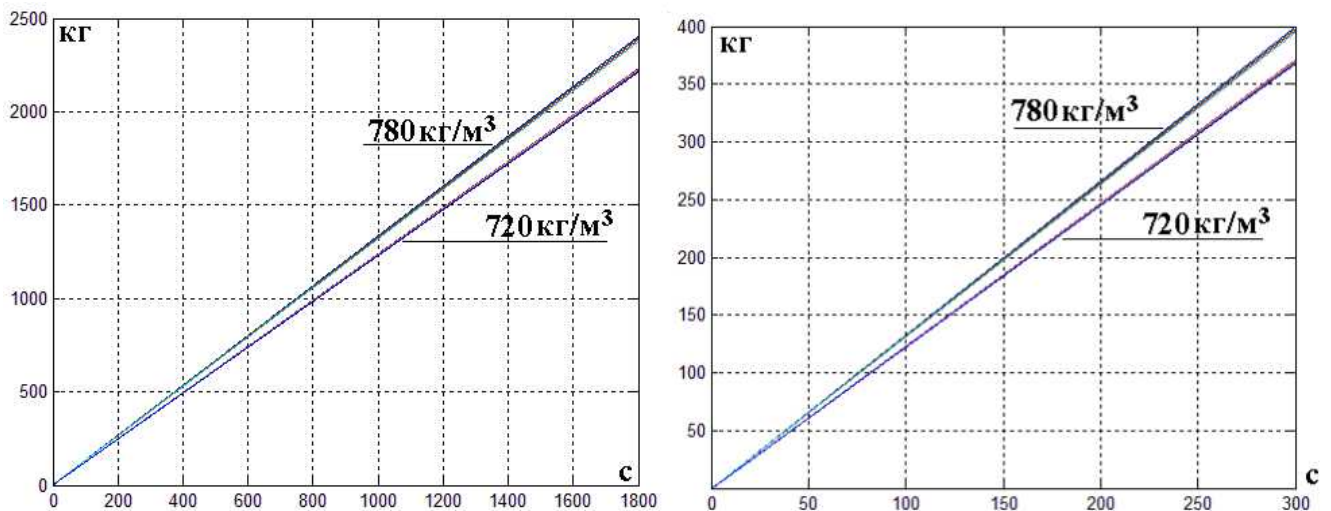


Рис. 2.13. Моделювання роботи гвинтового транспортеру  
(графіки впливу напруги живлення приводу накладаються)

## Висновки по розділу

1. За результатами аналізу літературних джерел можна говорити про відповідність апарату мереж Петрі модульному характеру побудови технологічних схем ВК. Враховуючи потужність МП, в основу АСК ОТК ВК покладено саме цей математичний апарат, що дозволить реалізувати синхронізоване виконання асинхронних паралельних процесів та забезпечить реалізацію поставлених задач.

2. Використання МП у моделюванні ОТК ВК дозволяє реалізувати: автоматизоване проектування ТС та АСК ТК; гнучкі алгоритми керування комплексом ВК; розробку засобів візуалізації стану ТП та елементи ТК; багатофакторне протолювання ТП. Забезпечується співставлення відповідних векторів стану об'єкту та керуючих впливів у матричній (2.2, 2.5) та векторній (2.7) формах з представленими матрицями інцидентності МП. Такий підхід відкриває нові можливості та задачі щодо розробки інформаційних функцій, а також обґрунтування та розробки алгоритмів оцінки роботи технологічного обладнання та ОТК в цілому.

3. Поставлена задача синтезу АСК ОТК ВК розв'язується шляхом того, що спосіб автоматичного керування ТП ВК, який складається з централізованого мікропроцесорного засобу керування, котрий виконує функції збору і обробки вхідної інформації, генерації керуючих впливів, зберігання інформації, який відрізняється тим, що керованість технологічного комплексу забезпечується мережною моделлю технологічного процесу на основі мереж Петрі.

4. Апарат МП дозволяє побудувати відповідні мережні моделі типових технологічних модулів для ВК на автоматизованих ОТК в умовах господарств, які відповідають технологічним схемам сучасних ОТК (додаток 2). Узгодження виконавчих елементів та датчиків з елементами функціональних МП, дозволяє реалізувати автоматичну систему керування організаційно-технічним комплексом виробництва комбікормів з формалізацією процесу її проектування, реалізації інформаційних функцій та забезпечення керованості;



5. Вплив коливання властивостей компонентів комбікорму та параметрів мережі живлення, у зоні припустимих відхилень 5%, на роботу транспортерів, таймінг логічних датчиків положення та рівня, статистично не значущий. При порушенні кругового магнітного поля хід засувки стандартної заслінки склав  $0,147 \pm 0,00441$  м ( $\pm 3\%$ ), а при не симетрії напруги –  $\pm 1,3\%$ . Отже, при припустимій похибці у сільському господарстві 5% та статистичній незначущості результатів вимірювань відхилення показань може бути технічно значущим. Це дозволяє підтвердити правила: при відхиленні часу спрацювання дискретних датчиків від нормального технічно значущий – зміна властивостей компонентів комбікормів, зміна технологічного процесу, устаткування працює у не розрахунковому або аварійному режимі; час дорівнює нормальному – режим роботи ділянки ТК ВК нормальний; більше – потенційна аварійна ситуація.

6. Дані досліджень доцільно представляти у нормованому виді ( $x_{ni} = \frac{x_j}{\bar{X}}$ ) – відносно середнього арифметичного, що дозволяє узагальнити вхідну інформацію відносно різного технологічного обладнання та різних законів розподілу.

7. В результаті теоретичних досліджень, доведена інформативність арифметичної суми амплітудної характеристики, вибірки даних аналізованих швидким перетворенням Фур'є, на основі якої приймається рішення про технічну або статистичну значущість події (мінімальний обсяг вибірки –  $15 + 1$  дослідне), що обумовлює доцільність алгоритмізації пропонованого підходу (рис. 2.9.).

8. Подальше використання отриманих значень суми амплітуд або вхідних даних може бути покладено у дослідженнях оцінки загальносистемної ефективності роботи ОТК ВК, а також надання оцінки якості роботи АСК, 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.

## РОЗДІЛ 3

# ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ НА ОСНОВІ ЕТАЛОННОЇ МОДЕЛІ

### 3.1 Загальна методика досліджень

Теоретичні дослідження та виробничі випробування виконувались відповідно до етапів досліджень. На 1-му етапі проаналізовано технологічні схеми комплексів ВК з огляду на їх модульну конструкцію, що дозволило абстрагуватись від конкретного виробника та перейти до об'єктної будови АСК. На прикладі складаної мережної моделі ТП ВК серійного устаткування вітчизняного виробництва та діючого комбікормового цеху № 2 ТОВ «Агропромислова компанія» (м. Мелітополь, Запорізька обл.).

На 2-му етапі побудовано моделі технологічних модулів ОТК ВК, на базі поширеного серійного устаткування, для чого було використано ординарні живі МП [18, 25, 26, 27]. Для визначення цих мереж мова мережі розбивається на дві множини (підкласи), які не перетинаються: термінальні та нетермінальні символи. Відповідно переходи розділяються на прості та складні. Нетермінальні символи позначають «елементарну» мережу, яка складається з одного складеного переходу (з головним і вихідним місцем), котрий має внутрішню структуру і за своєю суттю є самостійною (ієрархічною) мережею. Термінальні символи та прості переходи трактуються відповідно до загальних визначень МП та у контексті розробки АСК і представляють собою завдання керування.

Даний етап необхідно виконувати на прикладі ТК, який мав би найвищий рівень механізації та автоматизації основних та допоміжних операцій. В результаті аналізу технологічних схем автоматизованих ОТК ВК прийнято рішення про акцентування уваги на УМК-Ф-2 [32, 68].

На 3-му етапі складені моделі узгоджуються із керуючими впливами АСК з метою створення керованого ОТК ВК його елементів. Складені переходи відповідають запропонованим мережним моделям ТМ.

Найбільшим за об'ємом досліджень є 4-й етап, в якому перевіряється достовірність гіпотези про інформативність АСК на основі МП. На даному етапі, з метою відпрацювання функції таймінгу виконавчих механізмів та датчиків, а також дослідження її реакції на вплив зовнішніх факторів, виконано такі дослідження:

- вплив властивостей компонентів комбікормів на роботу транспортерів;
- вплив мережі живлення на роботу приводів транспортерів та засувки;
- вплив властивостей компонентів комбікормів на таймінг;
- виробнича перевірка достовірності інформативності таймінгу виконавчих механізмів та датчиків.

Оцінка результатів експериментів базується на достовірності мережної моделі ОТК ВК та його керованості. Оцінка інформаційних функцій АСК обмежується здатністю ідентифікувати ймовірну аварійну ситуацію або таку, яка потребує уваги оператора чи обслуговуючого персоналу, на основі суми амплітуд АХ, яка отримується шляхом обробки певного об'єму модельованих, експериментальних та виробничих даних.

Для вивчення часу спрацювань датчиків положення засувки та рівня компонентів у бункерах використані програмний пакет Matlab (бібліотека Simulink), за допомогою якого складені віртуальні моделі роботи засувки та транспортерів.

Для дослідження роботи електрифікованої засувки використаний лабораторний стенд (рис. 3.1) з робочою станцією (рис. 3.2): 1 – комп'ютер, 2 – АЦП WAD-AIK-BUS, 3 – плата сполучення Velleman VM110 з проміжними реле 4 (JZC-20F) у комплекті з магнітними пускачами, програмне забезпечення власної розробки. Вихідною інформацією робочої станції є керуючі впливи на включення або виключення відповідних виконавчих механізмів плати (2 – Velleman VM110), аналогових сигналів (3 – WAD-AIK-BUS).

Вхідною інформацією є час спрацювання датчиків положення затвору засувки, які відображають тривалість її роботи. Отримана інформація аналізується ро-

бочою станцією (1 – будь-який комп'ютер, який має відповідне ПЗ для роботи блоків 2 та 4 і USB або підключення RS-485).

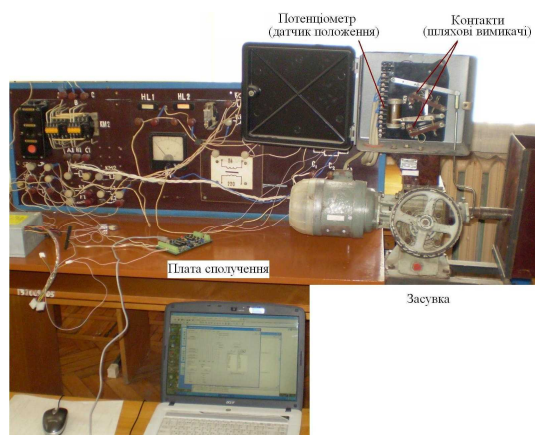


Рис. 3.1. Стенд дослідження роботи електрифікованої засувки

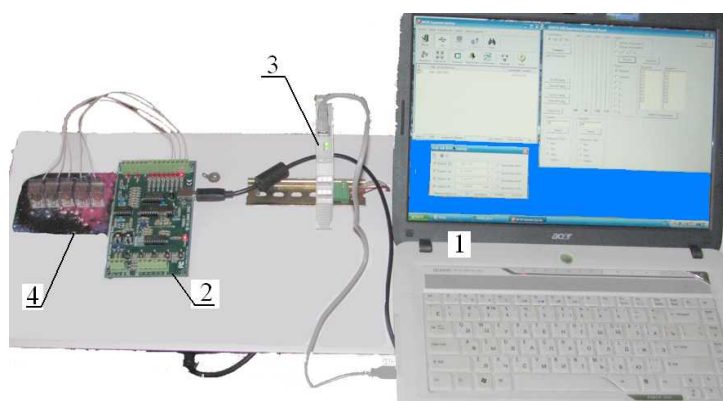
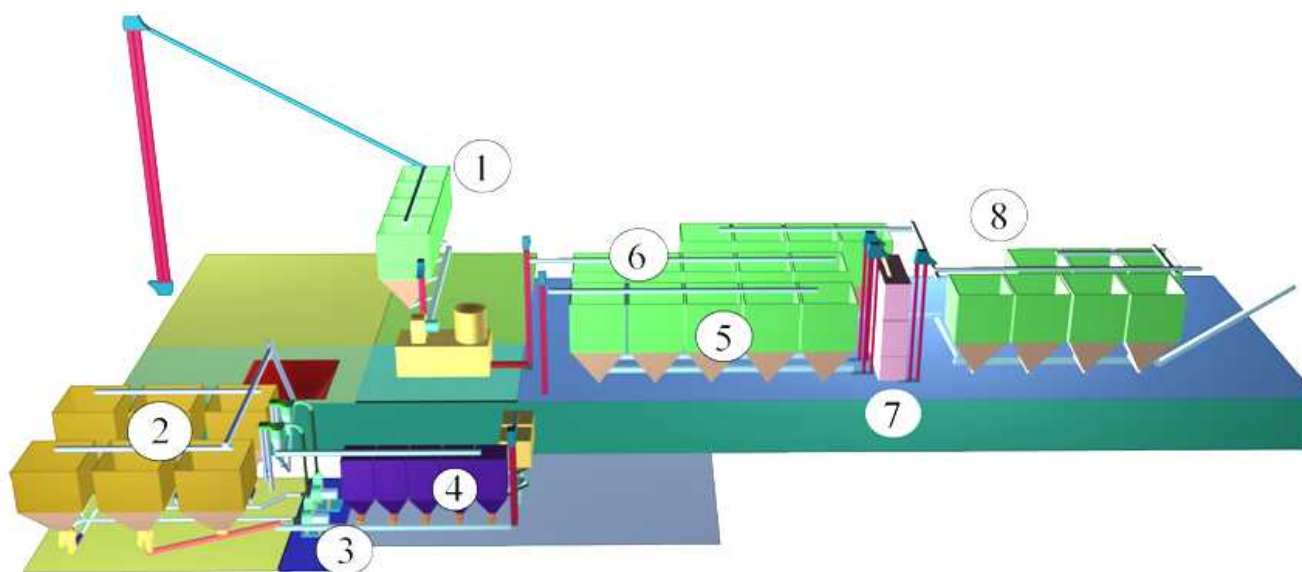


Рис. 3.2. Робоча станція для виконання досліджень

Виробничі дослідження часу спрацювання датчиків рівня виконані на базі ОТК ВК цеху № 2 ТОВ «Агропромислової компанії» Запорізької області у м. Мелітополі) (рис. 3.3, додаток 3).



1 – подрібнення; 2 – накопичення добавок; 3 – подрібнення добавок; 4 – формування попередньої суміші; 5, 6 – накопичення компонентів; 7 – змішування; 8 – готовий комбікорм

Рис. 3.3. ОТК ВК № 2 ТОВ «Агропромислова компанія»

Вхідною інформацією виступає: конструкція ТК, часові діаграми каналів зв'язку та керування, проектне матричне представлення МП досліджуваних дія-

нок ТК. Отримання інформації здійснюється засобами автоматизації комплексу та пульту керування з журналів звіту. Дані узгоджуються з відповідними мережними моделями ділянки ТП, матричне представлення яких аналізується.

Для виконання першого етапу були використані результати досліджень, які наведені у розділі 1. Достовірність отриманих моделей визначається здатністю АСК забезпечити керованість ОТК ВК. Кількість та види команд визначаються за поширеним методом формалізації класів у об'єктно-орієнтованому програмуванні [128]. Кількість команд відповідає кількості лінгвістичних змінних, які характеризують поведінку об'єкту – технологічного модулю або ТК.

За зразок приймається множина команд, яка формується за описом ТП. Моделі складаються двома рівнями: рівень реалізації керуючих впливів, що складається з МП типових ТМ (рис. 2.4, 2.5), та рівня технологічних операцій, відповідно до мережної моделі ОТК. Кращим результатом приймається максимально наближена кількість команд до зразкової множини.

Перевірка достовірності гіпотези про інформативність таймінгу виконавчих механізмів та датчиків з урахуванням зовнішніх факторів виконується на основі обробки модельованих, експериментальних та виробничих даних. Методика обробки даних відповідає загальноприйнятій довідкової та наукової літератури, а також нормативних документів: ГОСТ 24026-80, ГОСТ 50779.0-95, ДСТУ ISO 3534-1:2008 (Загальні статистичні терміни та терміни теорії ймовірностей), ДСТУ ISO 3534-2:2008 (Прикладна статистика), ДСТУ ISO 3534-3:2005 (Планування експерименту).

Експериментальні дані, отримані у результаті виконання пробного експерименту та виробничих випробувань, що обробляються двома методами з однаковими об'ємами вибірки: методом виключення грубих похибок за критерієм Стюдента та запропонованої арифметичної суми амплітуд АХ. При цьому отримані дані узгоджуються з технічним станом елементів ТК, станом апаратури керування та захисту та АСК.

Результати експериментальних досліджень оброблені поширеними статистичними методами та за запропонованою методикою без застосування статистичних

методів виключення хибних значень або грубих помилок. Тривалість відкриття та закриття електрифікованих засувок досліджувалась за аналогічним принципом.

Метою обробки експериментальних даних є перевірка гіпотези про інформативність в АСК функцій оцінки роботи ОТК ВК на основі технічної значущості відхилень вхідних даних про таймінг виконавчих механізмів та датчиків від нормованої сукупності, а не статистичної значущості визначеної за критерієм Стюдента для нормального закону розподілу.

### 3.2 Моделювання технологічного процесу виробництва комбікормів на сучасному ОТК

Відповідно до етапів дослідження розглянемо керування ТП ВК на базі сучасного автоматизованого ОТК УМК-Ф-2 (додаток 4), який призначений для виробництва розсипних комбікормів із зерна та білкових, вітамінних і мінеральних добавок промислового виробництва у фермерських господарствах [32, 68]. ОТК складається із комплексу обладнання, котре забезпечує очистку компонентів (каміння, пил, феромагнітні домішки), транспортування, тимчасове зберігання компонентів комбікорму і готової комбікормової суміші, дозування, багатоконпонентне подрібнення та змішування.

Враховуючи технологічну схему виробництва комбікорму на ОТК УМК-Ф-2 та вищевикладений теоретичний матеріал будуємо МП, яка відображає певний алгоритм керування ОТК ВК УМК-Ф-2 (додаток 4), з використанням структур складних переходів та їх узгодження із завданнями керування (рис 2.4, 2.5). Розроблена дворівнева модель ТП ВК (рис. 3.4, 3.5) забезпечує реалізацію повного набору функцій керування АСК (додаток 4).

МП задається двома матрицями з цілих чисел, окрім множин необхідних за визначенням, котрі допомагають визначити структуру мережі та правила спрацювання переходів [103, 113]:  $A$ , розмірністю  $|P| \times |T|$  та  $B$ , розмірністю  $|T| \times |P|$ , вектором  $M_0$  довжиною  $|P|$ .

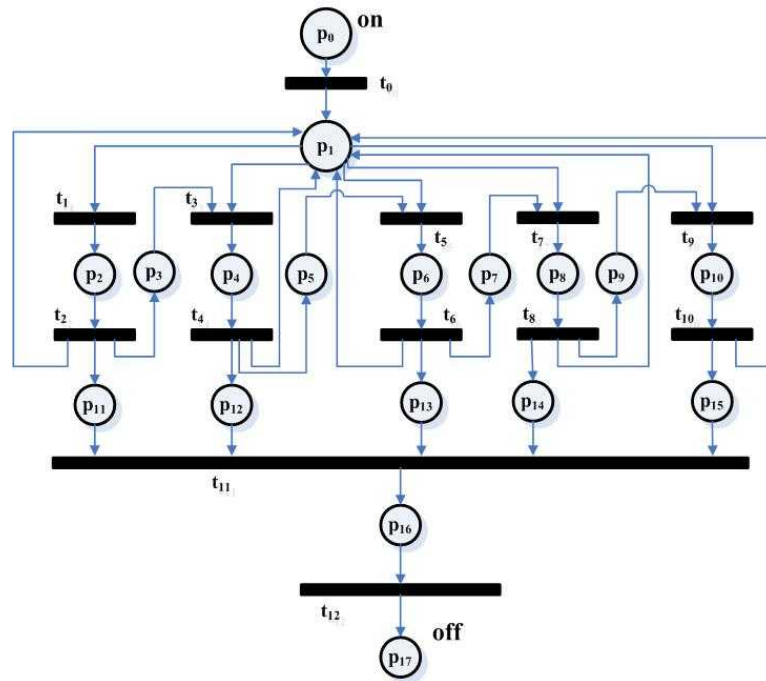


Рис. 3.4. Модель 2-го рівня ОТК ВК УМК-Ф-2, яка побудована у МП

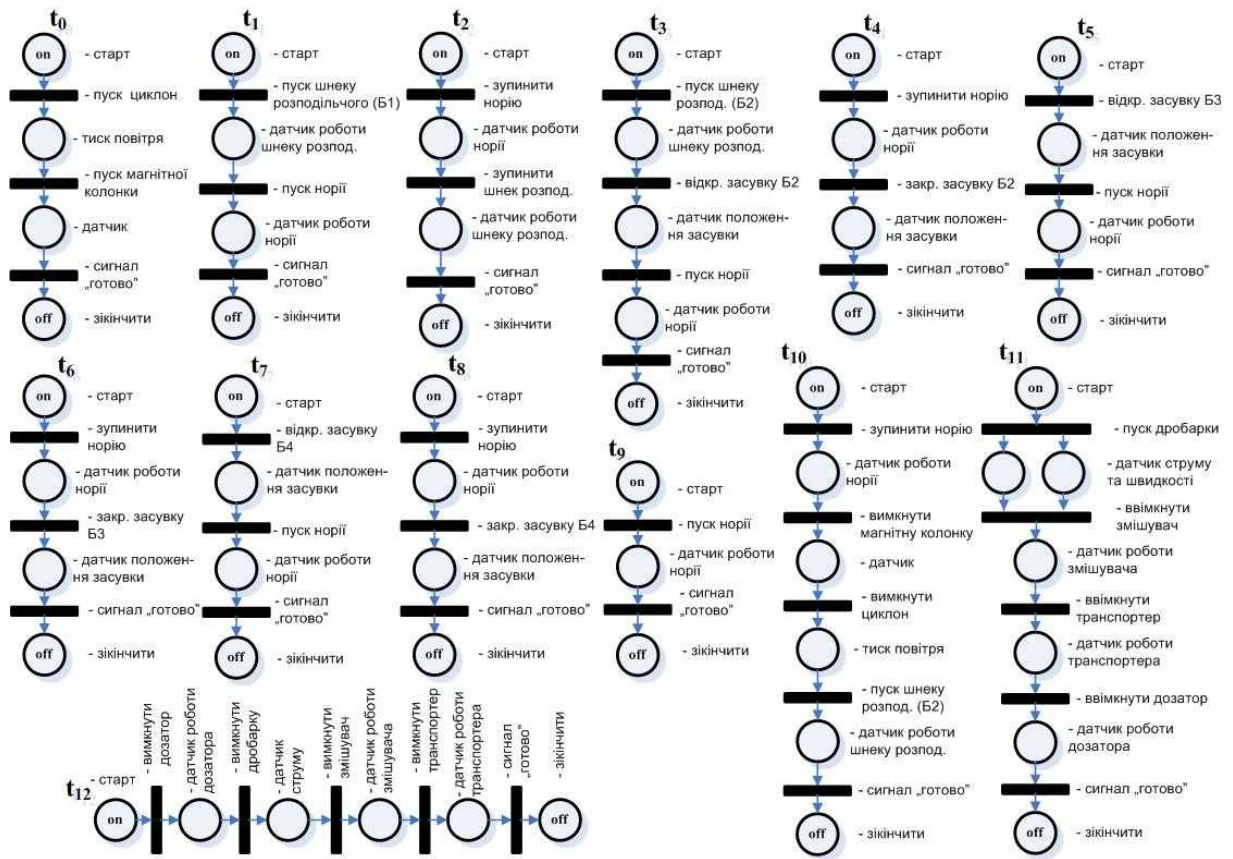


Рис. 3.5. Внутрішня структура складних переходів моделі ОТК ВК на основі моделей типових ТМ (рис. 3.1, 3.2)

Ряд  $i$ ,  $1 \leq i \leq |P|$ , матриці  $A$  відповідає місцю  $p_i \in P$ , стовбець  $j$ ,  $1 \leq j \leq |T|$ , матриці  $A$  відповідає переходу  $t_j \in T$  (множини  $P$  і  $T$  строго упорядковані). Ряд  $i$ ,  $1 \leq i \leq |T|$ , мат-

риці  $B$  відповідає переходу  $t_j \in T$ , стовбець  $j$ ,  $1 \leq j \leq |P|$ , матриці  $B$  відповідає місцю  $p_i \in P$ . Елемент  $A(i, j)$  матриці  $A$  дорівнює  $F(p_i, t_j)$ , елемент  $B(i, j)$  матриці  $B$  дорівнює  $F(t_i, p_j)$ .  $M_0$  – початкова розмітка. Матриця відношення переходів  $C$ , розмірністю  $|T| \times |T|$ , дозволяє формалізувати послідовність спрацювання переходів.

$$A = \begin{matrix} & p_0 & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 & p_7 & p_8 & p_9 & p_{10} & p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} & p_{17} \\ \begin{matrix} t_0 \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \\ t_5 \\ t_6 \\ t_7 \\ t_8 \\ t_9 \\ t_{10} \\ t_{11} \\ t_{12} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$B = \begin{matrix} & t_0 & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 & t_7 & t_8 & t_9 & t_{10} & t_{11} & t_{12} \\ \begin{matrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \\ p_9 \\ p_{10} \\ p_{11} \\ p_{12} \\ p_{13} \\ p_{14} \\ p_{15} \\ p_{16} \\ p_{17} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Враховуючи, що запропоновані мережні моделі не мають петель [117], то їх матричне представлення можна звести до однієї за формулами



$$C_p = A - B^T \text{ або } C_t = B - A^T,$$

що дозволяє зменшити об'єм вхідних даних.

У побудованій моделі (рис. 3.4) всі переходи  $t_0 \dots t_{12}$  є складними. Фізичне значення вершин:  $p_0$  та  $p_{17}$  – початок та закінчення ТП;  $p_1$  – дозвіл завантаження 1-го бункеру  $p_2$ , послідовність яких визначена внутрішнім алгоритмом  $p_3, p_5, p_7, p_9; p_2, p_4, p_6, p_8$  і  $p_{10}$  – сигнали завантаження бункерів від датчиків верхнього рівня;  $p_{11}-p_{15}$  – буферна інформація від датчиків верхнього рівня про наповненість бункерів;  $p_{16}$  – виконання ТП подрібнення, змішування та транспортування комбікорму. Матричне представлення мереж даної моделі та початкова розмітка при наявності дозволу на виконання ТП ВК матиме вигляд, котрий візуально є малоінформативним, але саме така форма представлення мереж використовується для оцінки стану ОТК та аналізу вхідних даних.

Представлена модель ОТК ВК на базі УМК-Ф-2 не містить паралельних ділянок технологічних процесів та не містить петель. Отже, можна відмітити гнучкість будови мережі (за визначенням) та простоту формування послідовності роботи всіх елементів ОТК (формалізація алгоритму роботи).

	$p_0$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$	$p_9$	$p_{10}$	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$	$p_{14}$	$p_{15}$	$p_{16}$	$p_{17}$		
$M_0 = \{$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\},$	
$M_1 = \{$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\},$	
$M_2 = \{$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\},$	
$M_3 = \{$	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	$\},$	
$M_4 = \{$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	$\},$	
$M_5 = \{$	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	$\},$	
$M_6 = \{$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	$\},$	
$M_7 = \{$	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	$\},$	
$M_8 = \{$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	$\},$	
$M_9 = \{$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	$\},$	
$M_{10} = \{$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	$\},$	
$M_{11} = \{$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	$\},$	
$M_{12} = \{$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	$\},$
$M_{13} = \{$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$\}.$

При аналізі більш складних технологічних схем ОТК ВК, які містять проміжні етапи змішування та мають паралельні ділянки ТП, слід відзначити відсутність типової структури. У першу чергу це пов'язано з тим, що господарства вла-

сними силами модернізують комплекс з урахуванням специфіки своєї діяльності. Через наявність типових технологічних операцій (подрібнення, змішування, гранулювання) їх технологічну схему також можна представити за допомогою ієрархічної МП. Модель ОТК ВК комбикормового цеху № 2 ТОВ «Агропромислова компанія» (м. Мелітополь, Запорізька обл.) представлена на рис. 3.6 (Додаток 3). У даному випадку усі переходи є складними, які розбиваються на більш прості мережі із складними переходами (рис. 3.6 та рис. 2.4, рис. 2.5, рис. 3.3).

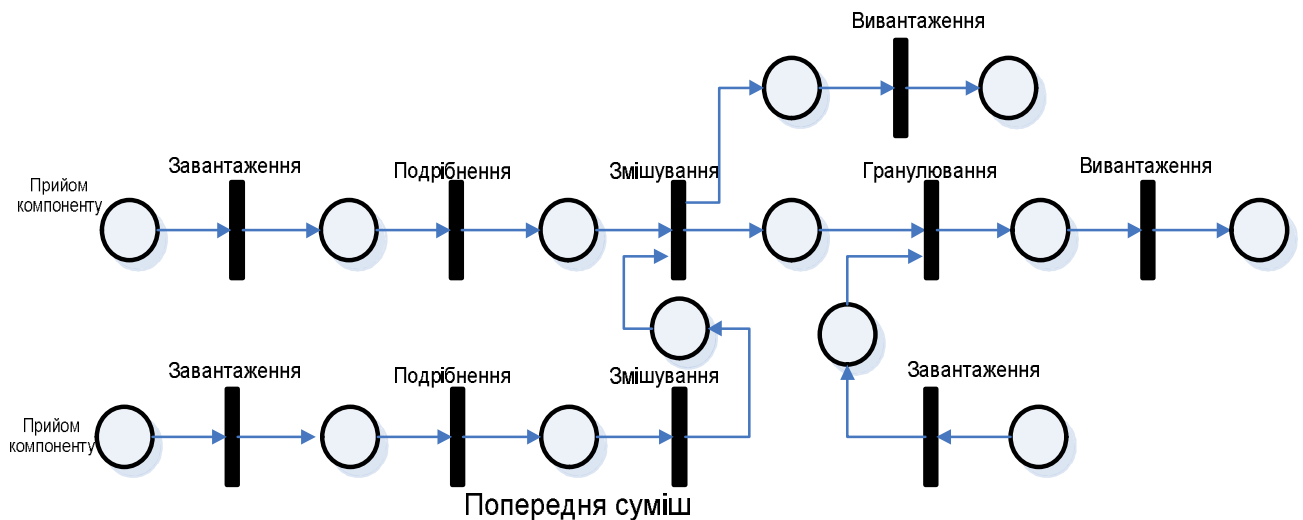


Рис. 3.6. Модель технологічної схеми ОТК ВК комбикормового цеху № 2 ТОВ «Агропромислова компанія» (Запорізька обл., м. Мелітополь)

Останній приклад зображує варіант графічного представлення готовності технологічної структури підприємства до виконання певних операцій (переходів) та дозволяє реалізовувати одночасну роботу технологічних ділянок. Спрацювання кожного переходу (рис. 3.6) може реалізовувати дозвіл на виконання певної внутрішньої операції згідно власної будови.

Отже, доцільно виділити три рівні моделей ОТК ВК виконаних за допомогою МП, котрі використовуються при моделюванні та керуванні ТП ВК на підприємстві: технологічна схема підприємства або цеху – відбиває готовність до виконання технологічних операцій; алгоритмічне забезпечення етапів ТП – реалізує послідовність виконання певного технологічного етапу; управління елементами ОТК у межах визначеного технологічного етапу.

### 3.3 Дослідження режиму роботи засувки

Експериментальні дані були отримані на лабораторному стенді (рис. 3.1) та оброблялись без виключення грубих помилок, відповідно до запропонованого алгоритму (рис. 2.9). Вхідні дані, щодо тривалості роботи засувки, представлені у табличній формі (табл. Д5.1., Д5.2) та графічно (рис. 3.7).

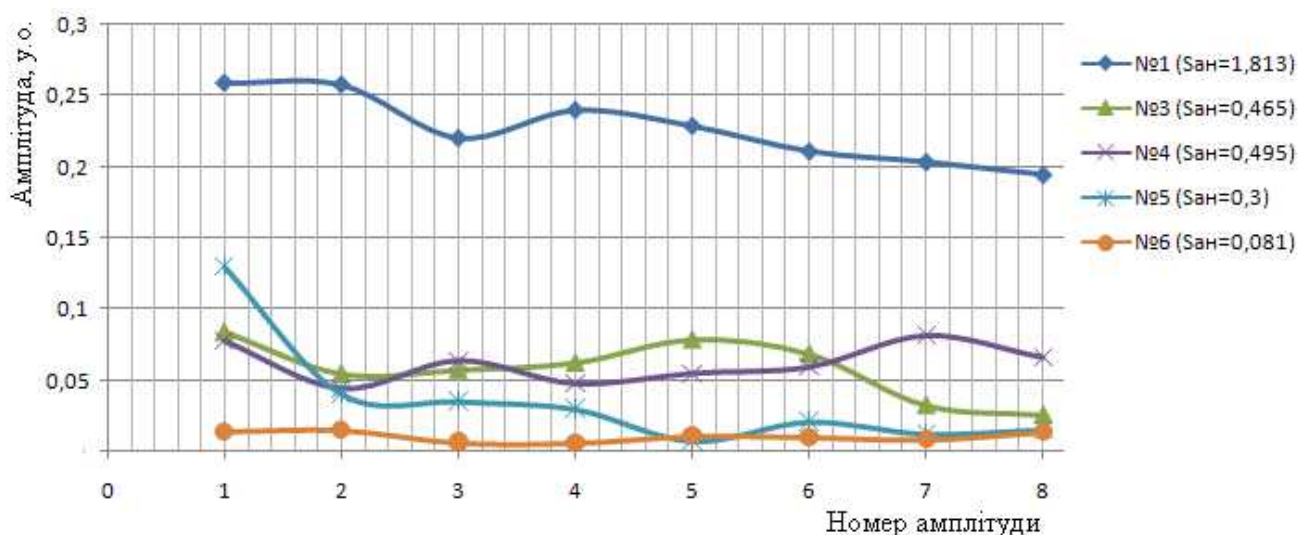


Рис. 3.7. Результати обробки експериментальних даних дискретним перетворенням Фур'є

При порівнянні розрахункових значень  $S_{\text{ан}}$  з теоретичними (табл. 2.1), можна відзначити чутливість до послідовності вхідних даних ( $S_{\text{д}} \neq S_{\text{ан}}$ ). Крім того, необхідно акцентувати увагу на наявності грубих відхилень у блоці № 1 ( $S_{\text{ан}}=1,813$ ), що обумовлено несправністю магнітного пускача.

За результатами лабораторних експериментальних досліджень визначено, що в ідеальних умовах запропоновані алгоритми інформаційних функцій, спрямованих на підвищення надійності ОТК – дієздатні.

### 3.4 Виробничі випробування інформаційного забезпечення

Дослідження часу спрацювання вимірювальних перетворювачів рівня та виробничі випробування виконані на базі ОТК ВК цеху № 2 ТОВ «Агропромислової компанії» (Запорізька обл., м. Мелітополь), на якому виконуються такі технологі-

чні операції: приймання компонентів комбікормів, їх переробка, виробництво комбікорму, тимчасове зберігання компонентів та готової продукції (рис. 3.3). Виробничі випробування виконувались на окремих ділянках ОТК (рис. 3.8, рис. 3.9, табл. 3.1, табл. 3.2).

На основі конструктивних характеристик та довідкових формул продуктивності транспортерів визначений розрахунковий час завантаження бункерів (рис. 3.8, рис. 3.9). За запропонованим алгоритмом побудови імітаційної мережної моделі ТП ВК складена модель роботи відповідних ділянок (рис. 3.10, рис. 3.11).

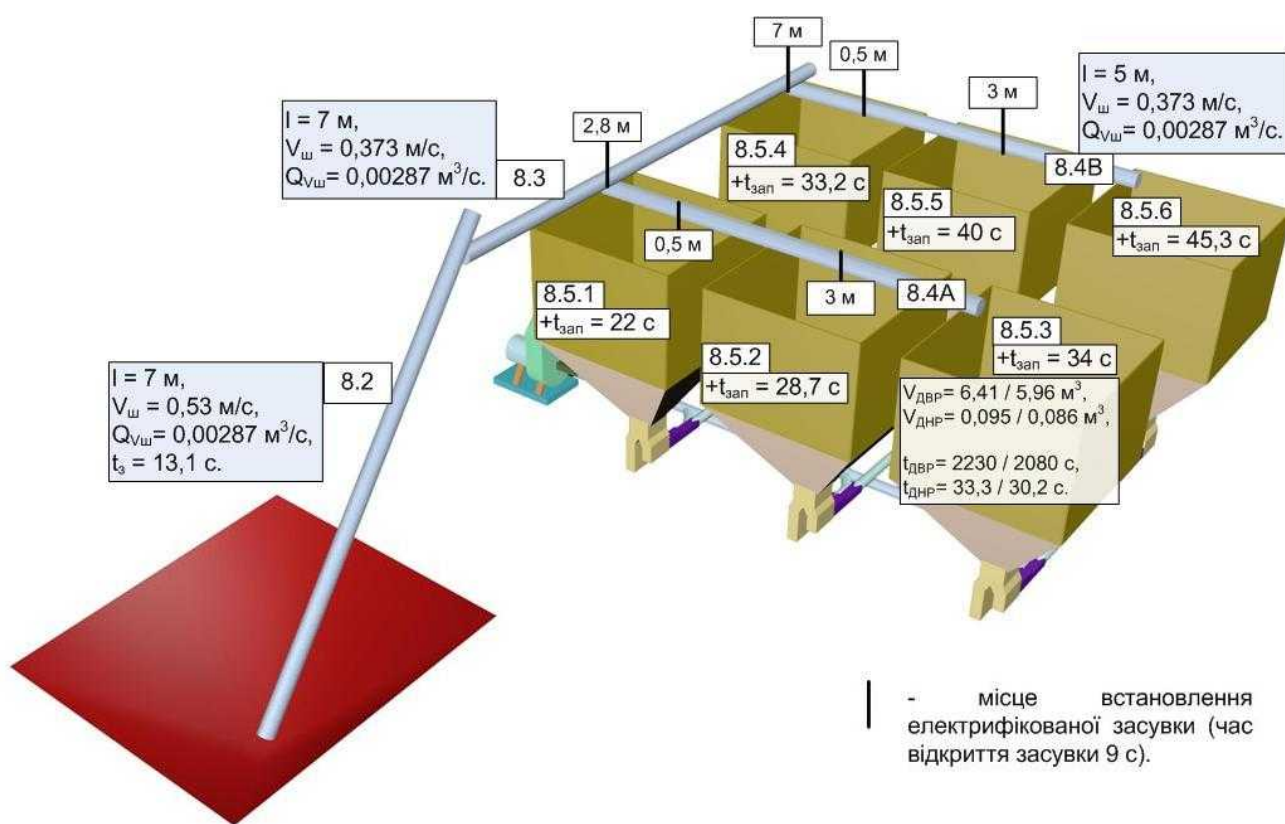


Рис. 3.8. Ділянка ОТК ВК завантаження компонентів попередньої суміші

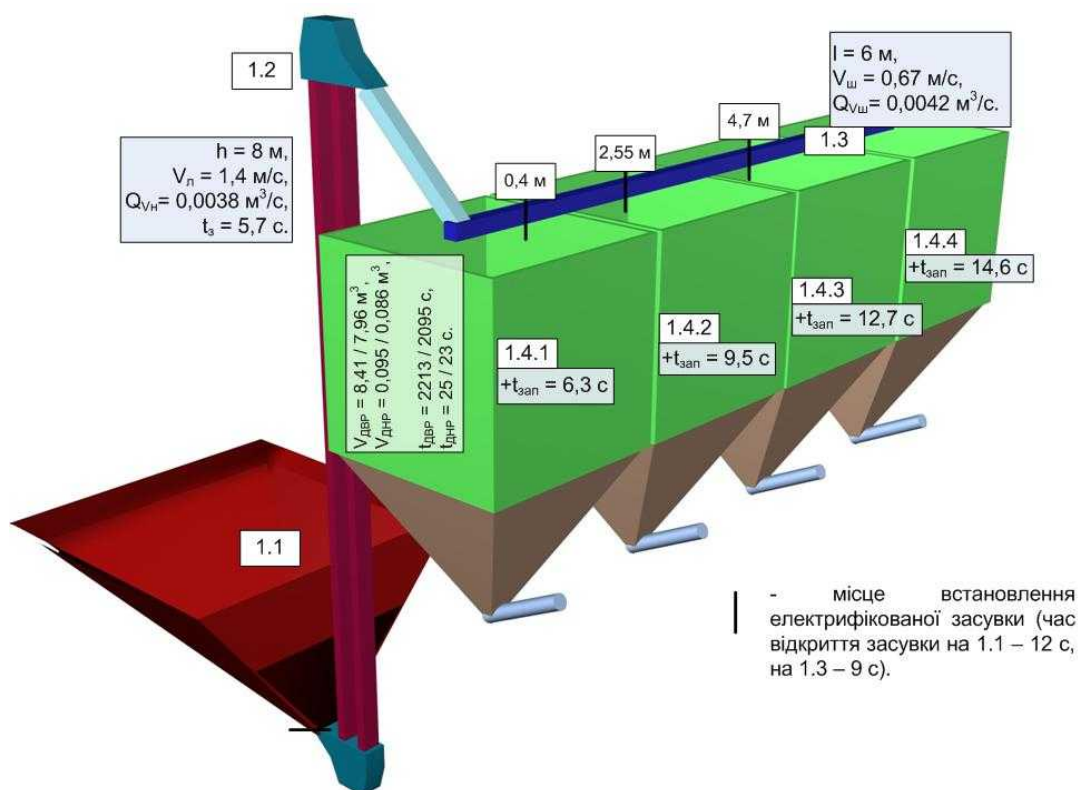


Рис. 3.9. Ділянка ОТК ВК завантаження компонентів комбікормів, які підлягають подрібненню

Таблиця 3.1.

Конструкційні параметри бункерів\*

Виконання бункера	рис. 3.8	рис. 3.9	Розміри бункера з прямокутним перетином
Параметр			
а, мм	1500	2000	
б, мм	1500	1500	
с, мм	2000	2000	
д, мм	700	700	
е, мм	500	500	
Повний об'єм бункера, м <sup>3</sup>	8	10	
Об'єм ДНР $V_{бн}$ , м <sup>3</sup>	0,095/0,086	0,095/0,086	
Об'єм ДВР $V_{бв}$ , м <sup>3</sup>	6,41/5,96	8,41/7,96	

\* розрахунок об'єму компоненту, необхідного для спрацювання відповідних датчиків рівня, виконувався з урахуванням кута  $\alpha$  природного нахилу  $30^\circ \div 20^\circ$  (результати розрахунків позначені як  $30^\circ/20^\circ$  відповідно).

Таблиця 3.2

## Технічні характеристики засувки В-2,3-130-8А

Перетин отвору, мм	150×150-400×400
Площа робочого отвору, м <sup>2</sup>	0,0225-0,16
Мотор-редуктор	Е8-УРВ
Серія приводного електродвигуна	АИР
Час відкриття, с	9...24
Габаритні розміри, мм	620-1120/350-600/ 75/85
Вага, кг	31 ...47

Таблиця 3.3

## Конструкційні параметри транспортного обладнання

Параметр (позн. за ДЗ., рис. 3.8, рис. 3.9)	1.3	5.2, 5.5, 7.2, 7.3, 16.1, 17.1, 18.1	5.4.1 – 5.4.7	7.6	19.1	8.2	8.3, 8.4А, 8.4В
D, м	0,16	0,2	0,2	0,2	0,2	0,16	0,16
d, м	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
$\lambda_{ш}$ , 10 <sup>-3</sup> м	5	4	4	4	4	5	5
S, м	0,16	0,2	0,2	0,2	0,2	0,16	0,16
$\psi$	0,35	0,35	0,5	0,35	0,35	0,35	0,35
n, об/хв	220	160	110	200	170	200	140
k <sub>в</sub>	1	1	1	0,8	0,94	0,7	1
V <sub>гор</sub> <sup>*</sup> , м/с	0,67	0,533	0,367	0,67	0,6	0,533	0,373
Q <sub>тш</sub> (т/год) при – $\gamma=750$ кг/м <sup>3</sup> – $\gamma=500$ кг/м <sup>3</sup>	11,4 -	- 10,7	- 10,5	- 10,7	- 10,7	7,3 -	7,3 -
Q <sub>вш</sub> <sup>**</sup> , 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup> /с	4,2	6	6	6	6	2,87	2,87

\* швидкість горизонтального переміщення компонентів, м/с:  $V_{гор} = S \cdot n / 60$ ;

\*\* об'ємна продуктивність транспортерів, м<sup>3</sup>/с:  $Q_{вш} = Q_{т} / \gamma \cdot 3600$ .



Таблиця 3.4

Конструкційні параметри норії

Параметр (позн. за ДЗ., рис. 3.8, рис. 3.9)	1.2	5.1
$i, 10^{-3} \text{ м}^3$	1,2656	1,5
$V_{\text{л}}, \text{ м/с}$	1,4	1,8
$\psi$	0,5÷0,7	
$S, \text{ м}$	0,28	
$Q_{\text{ТН}}$ (т/год) при $\gamma=0,75 \text{ т/м}^3 / \gamma=0,5 \text{ т/м}^3$	10,2 / -	- / 10,4
$Q_{\text{ВН}}^{**}, \text{ м}^3/\text{с}$	0,0038	0,0058

\*\* об'ємна продуктивність,  $\text{м}^3/\text{с}$ :  $Q_{\text{ВН}} = \frac{Q_{\text{Т}}}{\gamma \cdot 3600}$ .

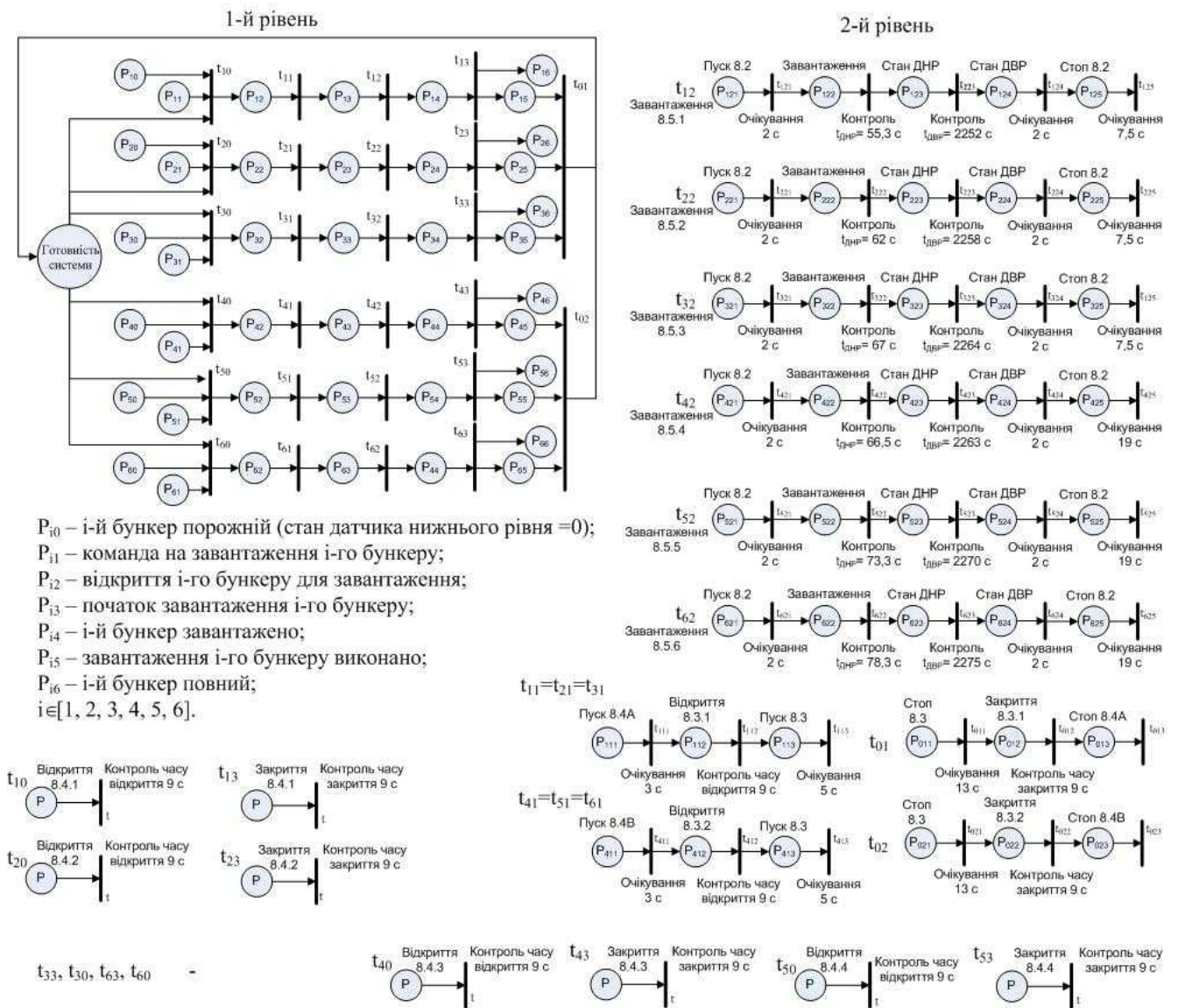
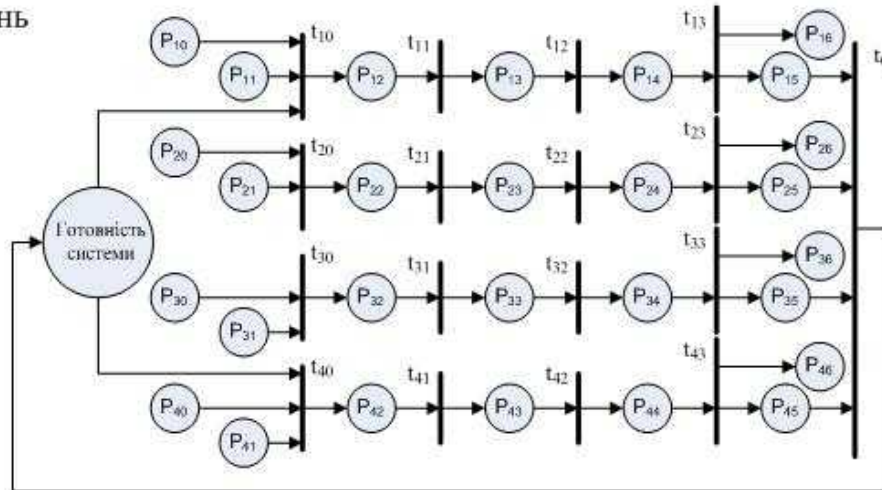


Рис. 3.10. Мережна модель ділянки ОТК ВК завантаження компонентів комбікормів попередньої суміші (рис. 3.8)

1-й рівень



- $P_{i0}$  – і-й бункер порожній (стан датчика нижнього рівня =0);
- $P_{i1}$  – команда на завантаження і-го бункеру;
- $P_{i2}$  – відкриття і-го бункеру для завантаження;
- $P_{i3}$  – початок завантаження і-го бункеру;
- $P_{i4}$  – і-й бункер завантажено;
- $P_{i5}$  – завантаження і-го бункеру виконано;
- $P_{i6}$  – і-й бункер повний;
- $i \in [1, 2, 3, 4]$ .

2-й рівень

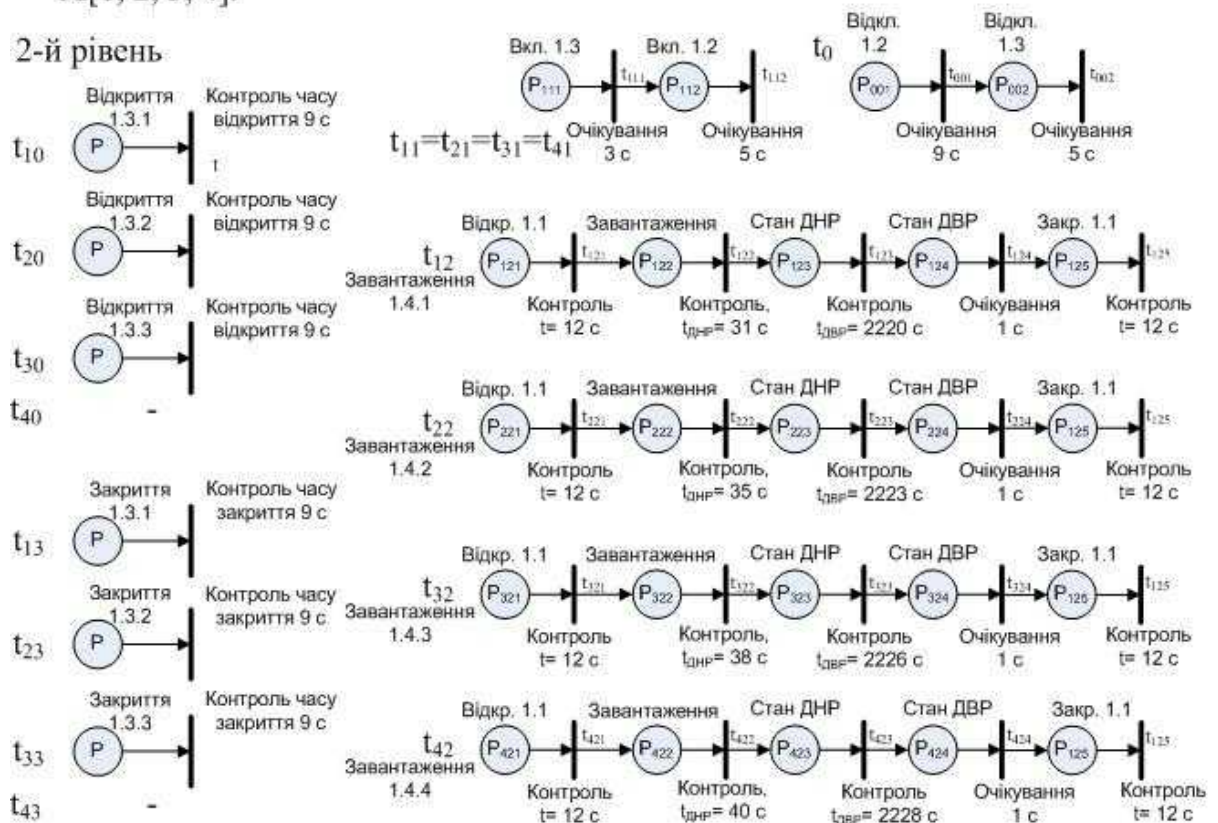


Рис. 3.11. Мережна модель ділянки ОТК ВК завантаження компонентів комбікормів, які підлягають подрібненню (рис. 3.9)



Представлені мережні моделі у своїй основі мають відповідне матричне представлення. Враховуючи умови проведення виробничих випробувань нами акцентована увага на мережах 2-го рівня, оскільки саме у них виконується прив'язка до керуючих впливів (табл. 3.5, табл. 3.6).

Таблиця 3.5.

Матричне представлення моделі роботи ділянки ОТК ВК завантаження компонентів попередньої суміші (рис. 3.8, рис. 3.10)

Позначення переходу 1-го рівня	Представлення 2-го рівня складеного переходу 1-го рівня																																																																									
$t_{i0} = t_{i3}$ $i \in [1, \dots, 6]$	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"><b>P</b></td> </tr> <tr> <td><b>t</b></td> <td>Start</td> </tr> </table>		<b>P</b>	<b>t</b>	Start	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"><b>t</b></td> </tr> <tr> <td><b>P</b></td> <td>Stop</td> </tr> </table>		<b>t</b>	<b>P</b>	Stop																																																																
	<b>P</b>																																																																									
<b>t</b>	Start																																																																									
	<b>t</b>																																																																									
<b>P</b>	Stop																																																																									
$t_{i1} = t_{i01} = t_{i02}$ $i \in [1, \dots, 6]$	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td><b>P<sub>i11</sub></b></td> <td><b>P<sub>i12</sub></b></td> <td><b>P<sub>i13</sub></b></td> </tr> <tr> <td><b>t<sub>i11</sub></b></td> <td colspan="3">1</td> </tr> <tr> <td><b>t<sub>i12</sub></b></td> <td colspan="3">Stop</td> </tr> <tr> <td><b>t<sub>i13</sub></b></td> <td colspan="3"></td> </tr> </table>		<b>P<sub>i11</sub></b>	<b>P<sub>i12</sub></b>	<b>P<sub>i13</sub></b>	<b>t<sub>i11</sub></b>	1			<b>t<sub>i12</sub></b>	Stop			<b>t<sub>i13</sub></b>				<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td><b>t<sub>i11</sub></b></td> <td><b>t<sub>i12</sub></b></td> <td><b>t<sub>i13</sub></b></td> </tr> <tr> <td><b>P<sub>i11</sub></b></td> <td colspan="3">1</td> </tr> <tr> <td><b>P<sub>i12</sub></b></td> <td colspan="3">Start</td> </tr> <tr> <td><b>P<sub>i13</sub></b></td> <td colspan="3">1</td> </tr> </table>		<b>t<sub>i11</sub></b>	<b>t<sub>i12</sub></b>	<b>t<sub>i13</sub></b>	<b>P<sub>i11</sub></b>	1			<b>P<sub>i12</sub></b>	Start			<b>P<sub>i13</sub></b>	1																																										
	<b>P<sub>i11</sub></b>	<b>P<sub>i12</sub></b>	<b>P<sub>i13</sub></b>																																																																							
<b>t<sub>i11</sub></b>	1																																																																									
<b>t<sub>i12</sub></b>	Stop																																																																									
<b>t<sub>i13</sub></b>																																																																										
	<b>t<sub>i11</sub></b>	<b>t<sub>i12</sub></b>	<b>t<sub>i13</sub></b>																																																																							
<b>P<sub>i11</sub></b>	1																																																																									
<b>P<sub>i12</sub></b>	Start																																																																									
<b>P<sub>i13</sub></b>	1																																																																									
$t_{i2}$ $i \in [1, \dots, 6]$	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td><b>P<sub>i21</sub></b></td> <td><b>P<sub>i22</sub></b></td> <td><b>P<sub>i23</sub></b></td> <td><b>P<sub>i24</sub></b></td> <td><b>P<sub>i25</sub></b></td> </tr> <tr> <td><b>t<sub>i21</sub></b></td> <td colspan="5">1</td> </tr> <tr> <td><b>t<sub>i22</sub></b></td> <td colspan="5">Stop21</td> </tr> <tr> <td><b>t<sub>i23</sub></b></td> <td colspan="5">Stop22</td> </tr> <tr> <td><b>t<sub>i24</sub></b></td> <td colspan="5">1</td> </tr> <tr> <td><b>t<sub>i25</sub></b></td> <td colspan="5"></td> </tr> </table>		<b>P<sub>i21</sub></b>	<b>P<sub>i22</sub></b>	<b>P<sub>i23</sub></b>	<b>P<sub>i24</sub></b>	<b>P<sub>i25</sub></b>	<b>t<sub>i21</sub></b>	1					<b>t<sub>i22</sub></b>	Stop21					<b>t<sub>i23</sub></b>	Stop22					<b>t<sub>i24</sub></b>	1					<b>t<sub>i25</sub></b>						<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td><b>t<sub>i21</sub></b></td> <td><b>t<sub>i22</sub></b></td> <td><b>t<sub>i23</sub></b></td> <td><b>t<sub>i24</sub></b></td> <td><b>t<sub>i25</sub></b></td> </tr> <tr> <td><b>P<sub>i21</sub></b></td> <td colspan="5">1</td> </tr> <tr> <td><b>P<sub>i22</sub></b></td> <td colspan="5">Start2</td> </tr> <tr> <td><b>P<sub>i23</sub></b></td> <td colspan="5">1</td> </tr> <tr> <td><b>P<sub>i24</sub></b></td> <td colspan="5">1</td> </tr> <tr> <td><b>P<sub>i25</sub></b></td> <td colspan="5">1</td> </tr> </table>		<b>t<sub>i21</sub></b>	<b>t<sub>i22</sub></b>	<b>t<sub>i23</sub></b>	<b>t<sub>i24</sub></b>	<b>t<sub>i25</sub></b>	<b>P<sub>i21</sub></b>	1					<b>P<sub>i22</sub></b>	Start2					<b>P<sub>i23</sub></b>	1					<b>P<sub>i24</sub></b>	1					<b>P<sub>i25</sub></b>	1				
	<b>P<sub>i21</sub></b>	<b>P<sub>i22</sub></b>	<b>P<sub>i23</sub></b>	<b>P<sub>i24</sub></b>	<b>P<sub>i25</sub></b>																																																																					
<b>t<sub>i21</sub></b>	1																																																																									
<b>t<sub>i22</sub></b>	Stop21																																																																									
<b>t<sub>i23</sub></b>	Stop22																																																																									
<b>t<sub>i24</sub></b>	1																																																																									
<b>t<sub>i25</sub></b>																																																																										
	<b>t<sub>i21</sub></b>	<b>t<sub>i22</sub></b>	<b>t<sub>i23</sub></b>	<b>t<sub>i24</sub></b>	<b>t<sub>i25</sub></b>																																																																					
<b>P<sub>i21</sub></b>	1																																																																									
<b>P<sub>i22</sub></b>	Start2																																																																									
<b>P<sub>i23</sub></b>	1																																																																									
<b>P<sub>i24</sub></b>	1																																																																									
<b>P<sub>i25</sub></b>	1																																																																									

Таблиця 3.6.

Матричне представлення моделі роботи ділянки ОТК ВК завантаження компонентів комбікормів, які потребують подрібнення (рис. 3.9, рис. 3.11)

Позначення переходу 1-го рівня	Представлення 2-го рівня складеного переходу 1-го рівня																																																																									
$t_{i0} = t_{i3}$ $i \in [1, 2, 3, 4]$	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>P</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>Start</td> </tr> </table>		P	t	Start	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>t</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>Stop</td> </tr> </table>		t	P	Stop																																																																
	P																																																																									
t	Start																																																																									
	t																																																																									
P	Stop																																																																									
$t_{i1} = t_0$ $i \in [1, 2, 3, 4]$	<table border="1"> <tr> <td></td> <td><math>P_{i11}</math></td> <td><math>P_{i12}</math></td> </tr> <tr> <td><math>t_{i11}</math></td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td><math>t_{i12}</math></td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>		$P_{i11}$	$P_{i12}$	$t_{i11}$	1		$t_{i12}$			<table border="1"> <tr> <td></td> <td><math>t_{i11}</math></td> <td><math>t_{i12}</math></td> </tr> <tr> <td><math>P_{i11}</math></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>P_{i12}</math></td> <td></td> <td>1</td> </tr> </table>		$t_{i11}$	$t_{i12}$	$P_{i11}$	1		$P_{i12}$		1																																																						
	$P_{i11}$	$P_{i12}$																																																																								
$t_{i11}$	1																																																																									
$t_{i12}$																																																																										
	$t_{i11}$	$t_{i12}$																																																																								
$P_{i11}$	1																																																																									
$P_{i12}$		1																																																																								
$t_{i2}$ $i \in [1, 2, 3, 4]$	<table border="1"> <tr> <td></td> <td><math>P_{i21}</math></td> <td><math>P_{i22}</math></td> <td><math>P_{i23}</math></td> <td><math>P_{i24}</math></td> <td><math>P_{i25}</math></td> </tr> <tr> <td><math>t_{i21}</math></td> <td colspan="5">Stop1</td> </tr> <tr> <td><math>t_{i22}</math></td> <td colspan="5">Stop21</td> </tr> <tr> <td><math>t_{i23}</math></td> <td colspan="5">Stop22</td> </tr> <tr> <td><math>t_{i24}</math></td> <td colspan="5">Start3</td> </tr> <tr> <td><math>t_{i25}</math></td> <td colspan="5"></td> </tr> </table>		$P_{i21}$	$P_{i22}$	$P_{i23}$	$P_{i24}$	$P_{i25}$	$t_{i21}$	Stop1					$t_{i22}$	Stop21					$t_{i23}$	Stop22					$t_{i24}$	Start3					$t_{i25}$						<table border="1"> <tr> <td></td> <td><math>t_{i21}</math></td> <td><math>t_{i22}</math></td> <td><math>t_{i23}</math></td> <td><math>t_{i24}</math></td> <td><math>t_{i25}</math></td> </tr> <tr> <td><math>P_{i21}</math></td> <td colspan="5">Start 1</td> </tr> <tr> <td><math>P_{i22}</math></td> <td colspan="5">Start2</td> </tr> <tr> <td><math>P_{i23}</math></td> <td colspan="5">1</td> </tr> <tr> <td><math>P_{i24}</math></td> <td colspan="5">1</td> </tr> <tr> <td><math>P_{i25}</math></td> <td colspan="5">Stop3</td> </tr> </table>		$t_{i21}$	$t_{i22}$	$t_{i23}$	$t_{i24}$	$t_{i25}$	$P_{i21}$	Start 1					$P_{i22}$	Start2					$P_{i23}$	1					$P_{i24}$	1					$P_{i25}$	Stop3				
	$P_{i21}$	$P_{i22}$	$P_{i23}$	$P_{i24}$	$P_{i25}$																																																																					
$t_{i21}$	Stop1																																																																									
$t_{i22}$	Stop21																																																																									
$t_{i23}$	Stop22																																																																									
$t_{i24}$	Start3																																																																									
$t_{i25}$																																																																										
	$t_{i21}$	$t_{i22}$	$t_{i23}$	$t_{i24}$	$t_{i25}$																																																																					
$P_{i21}$	Start 1																																																																									
$P_{i22}$	Start2																																																																									
$P_{i23}$	1																																																																									
$P_{i24}$	1																																																																									
$P_{i25}$	Stop3																																																																									

У результаті обробки експериментальних даних (табл. 3.7, 3.8) відзначимо, що у випадку порівняння можливих помилкових даних (максимальний час спрацювання відповідних переходів (табл. Д5.3, Д5.4), окрім переходів, які відповідають засувці 1.1 (рис. Д5.3)) за критерієм Стюдента (2.49) з  $S_{An}$  коефіцієнт кореляції між цими показниками складає менше ніж 0,3 (табл. 3.9) у різних варіантах повторів. Слабкий зв'язок обумовлений врахуванням динаміки контрольованих значень.

Таблиця 3.7.

Оцінка таймінгу датчиків рівня (рис. 3.8, 3.9)

Бункер та компонент	ДНР				ДВР			
	$\bar{X}$	S	$S_n$	$S_{AXH}$	$\bar{X}$	S	$S_n$	$S_{AXH}$
1.4.1 пшениця	28,516	2,088	0,0732	0,19	2224	38	0,0173	0,073
ячмінь	34,032	2,36	0,0693	0,29	2325	68	0,0292	0,12
1.4.2 ячмінь	36,152	<b>0,455</b>	<b>0,0126</b>	<b>0,05</b>	2360	<b>37</b>	<b>0,0158</b>	<b>0,067</b>
кукурудза	32,601	0,5	0,0153	0,038	2161	61	0,0281	0,082
1.4.3 пшениця	38,736	0,636	0,0164	0,066	2281	67	0,0294	0,1
ячмінь	40,46	1,418	0,035	0,138	2383	31	0,0131	0,051
шрот	37,921	1,3	0,0342	0,098	2296	58	0,0251	0,102
1.4.4 шрот	38,7	0,678	0,0175	0,048	2208	89	0,0403	0,141
кукурудза	38,463	1,997	0,052	0,202	2177	62	0,0284	0,115
8.5.1 ячмінь	59,91	1,43	0,024	0,06	2377	123	0,0515	0,178
8.5.2 пшениця	61,932	3,346	0,054	0,165	2309	62	0,0267	0,1
8.5.3 шрот	67,488	0,329	0,0049	0,021	2301	85	0,0368	0,154
8.5.4 висівки	69,507	2,728	0,0392	0,16	2444	182	0,0744	0,315
8.5.5 висівки	79,154	1,102	0,014	0,053	2410	85	0,0353	0,096
добавки	74,051	4,522	0,0611	0,164	2421	95	0,0391	0,14
8.5.6 горох	77,55	1,841	0,0237	0,098	2287	57	0,025	0,09
добавки	80,361	1,687	0,021	0,057	2313	111	0,0481	0,131

Примітка.  $\bar{X}_n = 1$ .  $S_{AXH}$  порівнюється з даними табл. 3.1 при  $N=4$  та  $X_{\text{прип. вн}}=0,05$ .

Такий показник не дозволяє безпосередньо використовувати алгоритм на практиці. При моделюванні були прийняті контрольовані ідеальні вхідні дані – дані нормованої вхідної вибірки дорівнювали «1». Тому необхідно збільшити об'єм вибірки виробничих даних, що дозволить оцінити вплив на коефіцієнт кореляції між критеріальним значенням Стюдента  $t$  (2.49) та  $S_{An}$  (табл. 3.7, 3.8) на

прикладі тривалості роботи засувки 1.1 (рис. 3.9, табл. 3.8). Розрахунки виконувались для серії різних сполучень даних, що дозволило генерувати більшу кількість вибірових сукупностей відповідного об'єму (табл. 3.9).

Таблиця 3.8.

## Оцінка таймінгу електрифікованих засувок

Засувка		Відкриття				Закриття			
		$\bar{X}$	S	S <sub>н</sub>	S <sub>АХ</sub>	$\bar{X}$	S	S <sub>н</sub>	S <sub>АХ</sub>
1.3.1		8,941	0,372	0,042	0,421	9,236	0,310	0,034	0,362
1.3.2		9,342	0,213	0,023	0,2	9,26	0,283	0,031	0,307
1.3.3		8,96	<b>0,173</b>	<b>0,02</b>	<b>0,163</b>	8,962	<b>0,195</b>	<b>0,022</b>	<b>0,244</b>
1.1	N=16	12,1	0,579	0,049	1,267	11,92	0,234	0,02	0,457
	N=8	12,1	0,689	0,057	0,568	11,911	0,192	0,016	0,162
	N=4	12,38	0,573	0,046	0,156	11,934	0,108	0,01	0,038
8.3.1		8,734	0,304	0,035	0,36	8,823	0,209	0,024	0,257
8.3.2		9,272	0,404	0,044	0,437	8,996	0,24	0,027	0,25
8.4.1		8,994	0,138	0,015	0,164	8,986	0,148	0,016	0,155
8.4.2		8,92	0,464	0,052	0,55	9,01	0,211	0,023	0,236
8.4.3		9,447	0,238	0,025	0,251	9,52	0,173	0,018	0,182
8.4.4		9,002	0,627	0,07	0,761	9,007	0,350	0,039	0,377

Примітка.  $\bar{X}_n = 1$ . S<sub>АХн</sub> порівнюється з даними табл. 3.1 при N=8 та X<sub>прип вн</sub>=0,05.

Таблиця 3.9.

## Аналіз таймінгу роботи засувки 1.1 (рис. 3.9)

Об'єм вибірки	Коефіцієнт кореляції сум відповідних складових ШПФ		
	амплітудна	дійсна	уявна
4	-0,0613	0,1007	0,3077
8	-0,0308	0,1893	0,3461
16	0,9761	-0,9356	0,3759

### 3.5 Очікуваний економічний ефект від впровадження

Найбільш повно відбиває ефективність функціонування комбікормового агрегату узагальнений показник у вигляді річного економічного ефекту та строку окупності [58]

$$E = E_T - (P_3 + Z), \quad (3.1)$$

де  $E_T$  – річний технологічний ефект, грн.;

$P_3$  – річні експлуатаційні витрати, грн.;

$Z$  – річні збитки від ненадійності роботи агрегату, грн.

Недоліком такого підходу є складність визначення загального показника ефективності і фактична неможливість ідентифікувати витратні ділянки технологічного процесу виробництва комбікорму, оскільки вони можуть знаходитись поза технологічним процесом, необхідність високої культури праці, достовірного обліку ресурсів та жорсткий моніторинг технологічного процесу на всіх етапах виробництва тваринницької продукції. Можна сказати, що представлена модель буде ефективно реалізована при наявності комплексної автоматизації технологічного процесу на рівні виробництва та електронного документообігу на рівні господарства. Зазначені вимоги в умовах сучасних господарств малої та середньої продуктивності реалізувати практично неможливо.

Для кращого розуміння реального процесу функціонування виробничої сфери та визначення факторів, котрі впливають на ріст ефективності виробництва, використовують коефіцієнт загальної ефективності експлуатації обладнання (Overall Equipment Effectiveness) [99]. Показник ОЕЕ враховує наступні компоненти: готовність обладнання (3.3) – відсоток фактично відпрацьованого часу  $B$  у порівнянні із потенційним робочим часом  $A$ ; продуктивність – відсоток виробничого відношення  $D$  до паспортної продуктивності  $C$ ; якість – відсоток виготовленої продукції без дефектів  $E$  у порівнянні із загальною кількістю продукту  $F$ .

$$OEE = \frac{B}{A} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{E}{F} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

Необхідно пам'ятати, що ОЕЕ – показник стану обладнання. Тому без детальної та точної реєстрації причин помилок (для прикладу, тип зупинки – вихід з ладу шибери, відсутність сировини чи помилка оператора) цей показник не може сприяти підвищенню продуктивності ОТК ВК та ефективності праці.

Рівень економічної ефективності від впровадження АСК ТП ВК на основі МП визначається наступними показниками: підвищення продуктивності ТК, зменшення часу реагування на несправність елементів ОТК та АСК.

Визначення економічної ефективності від впровадження заходів підвищення інформативності АСК було виконано на основі вхідних даних ТОВ «Агропромислова компанія» м. Мелітополя, Запорізької обл., експертних висновків даного підприємства та ВАТ «Уманьферммаш» (Додаток 1), літературних джерел та результатів виробничих випробувань. При цьому, економічна ефективність визначалася шляхом підвищення продуктивності ОТК ВК та економії експлуатаційних витрат.

Виробничі випробування виконувались на окремих ділянках цеху ОТК ВК ТОВ «Агропромислова компанія»: завантаження компонентів комбікормів, які потребують подрібнення, завантаження компонентів попередньої суміші, змішування та тимчасове зберігання готової продукції. У результаті впровадження запропонованих функцій оцінки таймінгу датчиків за жовтень-листопад 2010 року попереджено 2 аварійні ситуації, що склало 7,7% від загальної кількості несправностей за 2010 рік (рис. 1.7), дозволило забезпечити економію експлуатаційних витрат (150 грн/міс) та підвищення продуктивності ТК на 0,5 т/добу, що обумовлено переходом на інший рецепт, маршрут компонентів якого минав аварійну ділянку. При розвантаженні бункеру готового комбікорму («пухкі корма») мав місце випадок сводоутворення, що було зареєстровано тривалим не спрацюванням датчиків верхнього рівня. Аналіз журналу несправностей цеху з виробництва комбікормів дозволив констатувати підвищення річної продуктивності комплексу на 21 т, а річну економію експлуатаційних витрат забезпечити у межах 1500 грн.

## Висновки по розділу

1. В результаті розв'язання задачі синтезу АСК ОТК ВК за його технологічною схемою та параметрів, які підлягають контролю, управлінню та реєстрації, а також удосконалення інформаційного забезпечення АСК виконано:

- розробку нової методики синтезу АСК ОТК ВК відповідно до вимог господарств за результатами аналізу технологічної схеми та вибраного обладнання ОТК, методику оцінки часу спрацювання виконавчих елементів та датчиків, що дозволило уніфікувати задачі керування ТМ та автоматизувати розробку еталонної імітаційної моделі комплексу на основі мереж Петрі;
- імітаційне моделювання керування ОТК та технологічним обладнанням виробництва комбікорму на основі їх мережних моделей та формалізовані правила складання моделей ТП, що дозволило обґрунтувати функції математичного забезпечення АСК;
- забезпечено гнучкість та універсальність алгоритму оцінки поточних даних часу спрацювань виконавчих елементів та датчиків, застосування математичного апарату гармонійного аналізу для визначення аварійних режимів роботи ділянок ОТК або таких, що потребують уваги оператора, що дозволило під час виробничих випробувань знизити кількість аварій на 7,7%.

2. Використання ШПФ нормованих значень часу спрацювання дозволяє узагальнити оцінку даних отриманих з різного обладнання або однотипного, яке знаходиться у різних умовах роботи при обсязі еталонної вибірки 15 значень.

3. Комерційний потенціал результатів досліджень полягають у розробці уніфікованих АСК технологічними процесами у сільському господарстві та промисловості з дискретним характером роботи виконавчих елементів та датчиків.

7. Результати досліджень мають документи, які охороняють інтелектуальну власність (додаток б).

## РОЗДІЛ 4

### РЕАЛІЗАЦІЯ АСК ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ

У періодичних виданнях можна знайти приклади вдалих інжинірингових рішень модернізації, розробки автоматизованих або автоматичних систем керування ОТК ВК, особливість яких полягає у практичній відсутності типових проектів. Проектними організаціями реалізується індивідуальний підхід [129, 130, 131], який побічно обмежує функціональність та використання методів підвищення ефективності АСК ТП. Частково це пов'язано з намаганням знизити собівартість проектних робіт, зміною та удосконаленням засобів автоматизації і менш швидким розвитком концепції управління та реалізації АСК. Саме цим обґрунтована необхідність практичного впровадження отриманих результатів досліджень та синтезу АСК на базі ПЗ, яке використовується при розв'язанні наукових [132-134] та виробничих задач [135-138].

Для розробки таких засобів необхідно враховувати широке різноманіття технологічних схем, характер ієрархічних зв'язків між обладнанням та їх режимами роботи [14, 41], що обумовлює універсальність, гнучкість та інформативність як засобів моделювання, так і ПЗ АСК [23, 25, 29, 49].

За результатами попередніх етапів роботи доведена гнучкість МП, які дозволяють достатньо чітко виконати опис технологічних процесів [83, 139], у тому числі виробництва комбікормів [23, 25, 26, 27], та забезпечити послідовність спрацювань виконавчих механізмів. Необхідно розглянути можливість динамічного моделювання ТП, за допомогою розробки відповідного ПЗ з такою структурою та переліком функцій, які дозволять забезпечити існування самої мережі, її дослідження, формалізацію алгоритмів аналізу вхідних даних з метою контролю структури мережі, розмітки, тривалості роботи ВЕ та спрацювань датчиків. Доцільно приділити увагу інтеграції результатів досліджень у сучасні SCADA-пакети.



Метою даного розділу є вивчення стану питання щодо розвитку ПЗ побудови, динамічного моделювання та практичного використання МП, а також розробка ПЗ, котре дозволить реалізувати модель ТП виробництва комбікорму, з отриманням вхідних даних для подальшого вивчення можливості реалізації запропонованих інформаційних функцій АСК.

Аналіз сучасних досліджень та ПЗ показав розподіл практичного використання МП за двома напрямками:

- аналіз МП. У загальному випадку даний напрям орієнтований на наукові задачі (побудова моделі, моделювання динаміки, вивчення її властивостей, перевірка коректної роботи) та обробку даних (паралельні обчислення, розподіл обчислювальних ресурсів та потужностей). Найбільш поширене ПЗ: AIPiNA [132], CPNTools [133], TINA [134], Deborah, Adriana [140], VisualPetri [141] тощо;
- автоматизація процесів керування [83, 135, 138]. Розвивається за допомогою стандартної графічної мови програмування SFC (Sequential Function Chart) [137], яка створена на основі апарату МП, за допомогою якого описується послідовність станів та умов переходів. SFC призначено для програмування промислових логічних контролерів. Широко використовується у SCADA/HMI пакетах (ISaGRAF [142], Unity Pro [143], Trace Mode [144], CoDeSys [145] тощо).

У контексті розробки АСК ОТК ВК необхідно поєднати ці два напрями, що вимагатиме високої кваліфікації проектувальників та обслуговуючого персоналу. Останнє обумовлено принципово різними галузями знань щодо ВК та впровадження АСК. В свою чергу, запропоновані заходи дозволяють автоматизувати процес адаптації ОТК до умов господарства, визначити перелік контрольованих ознак, склад датчиків та виконавчих елементів, створити мережну модель ОТК ВК, перевірити її адекватність та надати необхідну інформацію з метою подальшого аналізу режиму роботи ОТК. Особливо привабливим є інтерпретація результатів досліджень мовою SFC, що дозволить інтегруватись до сучасних SCADA/HMI пакетів, забезпечити повторне використання елементів ОТК на інших об'єктах та спростити модернізацію існуючих. Але ці задачі, здебільшого, мають не наукову складову, а комерційну.

#### 4.1 Адаптація технологічної схеми та системи керування ОТК ВК до вимог господарства

В основу подальшої роботи покладений відомий принцип модульної побудови технологічних виробництв [32, 58, 65]. Даний принцип дозволяє обґрунтовано підійти до визначення кількості рівнів ієрархічної структури та її елементів. За результатом аналізу літературних джерел прийняті такі рішення: за кількість рівнів ієрархічної структури прийняти кількість технологічних етапів, на яких необхідно накопичувати та зберігати, тимчасово або тривало, компоненти комбікорму або готовий комбікорм; зв'язком виступає рецептурне дозування компонентів чи готової комбікормової суміші; модульні елементи ієрархічної структури, які знаходяться на одному рівні, обираються за технологічними операціями, які мають місце у ОТК ВК, а саме операції, що спрямовані на зміну технологічних та поживних властивостей продукту: очищення, завантаження, здрібнювання, змішування тощо.

Синтез технологічної схеми ОТК ВК починають з її складання по обробці окремих видів кормів, з обґрунтуванням послідовності операцій обробки кожного виду корму. При випуску певного асортименту рецептів комбікормів необхідно дотримуватись технологічної лінії, яка забезпечить випуск максимальну кількість заданих найменувань.

При співставленні одного рецепту з множини (асортименту)  $P$ , який складається з множини компонентів  $K$  та виробляється множиною елементів обладнання  $T$ , під час проектування ОТК для кількох рецептів комбікормів буде мати місце загальна множина, що містить у собі об'єднання всіх множин [14]:

$$MKU_p \in P_1 \cup P_2 \cup \dots \cup P_n, \quad (4.1)$$

$$MKU_k \in K_1 \cup K_2 \cup \dots \cup K_m, \quad (4.2)$$

$$MKU_t \in T_1 \cup T_2 \cup \dots \cup T_k, \quad (4.3)$$

Очевидно, що для проектування АСК найбільше значення має множина обладнань (4.3). Опис узгодження множин технологічних елементів описується за допомогою баз даних з використанням поширених методів структурного та про-

цедурного програмування. На сьогоднішній день існує комплекс методів об'єктно-орієнтованого проектування (ООП) та моделювання (ООМ) технологічних систем і процесів, що дозволяє оптимізувати зв'язок між елементами БД та динамічно змінювати властивості компонентів без втручання у програмний код [146, 147].

Суттєвою перевагою ООП є можливість створювати класи із поступовим розширенням бази знань за конкретним класом, що дозволяє економити час на проектування та удосконалення програмних комплексів [146]. Виходячи з вищесказаного та отриманих множин, для реалізації синтезу технологічної лінії виробництва комбікормів на комплексах необхідно за визначеним переліком можливих рецептів створити узагальнену технологічну схему.

Це дозволить, при наявності узагальнених схем відомих ОТК ВК, визначити можливість реалізації конкретної господарської діяльності на серійних комплексах та виробництво нової продукції на діючих технологічних лініях або отримати інформацію про можливу оптимальну модернізацію.

Представимо можливість синтезу ОТК ВК малої та середньої продуктивності за допомогою використання МП. Відома робота, в якій елементи ТК, котрі виконують чітко визначені технологічні операції (транспортери, дозатори, дробарки, бункери), виділені в окремі технологічні модулі (ТМ). При використанні МП необхідно зробити наступні уточнення, в якості ТМ – вузли, технологічний зв'язок між ТМ – дуги, наявність і кількість модулів – відповідна наявність і кількість вузлів [13, 14]. Модель синтезу ОТК ВК (рис. 4.1.) має багаторівневу структуру, в якій:  $n$  – кількість рецептів комбікорму;  $m$  – перелік необхідних чи доступних компонентів для виробництва відповідних рецептів;  $k$  – перелік ТМ, котрі необхідні для реалізації окремої ОТК для переробки компоненту. За даною структурною схемою можна виконувати зворотну задачу: які рецепти можна виготовляти на відомому ОТК за визначеним переліком ТМ.

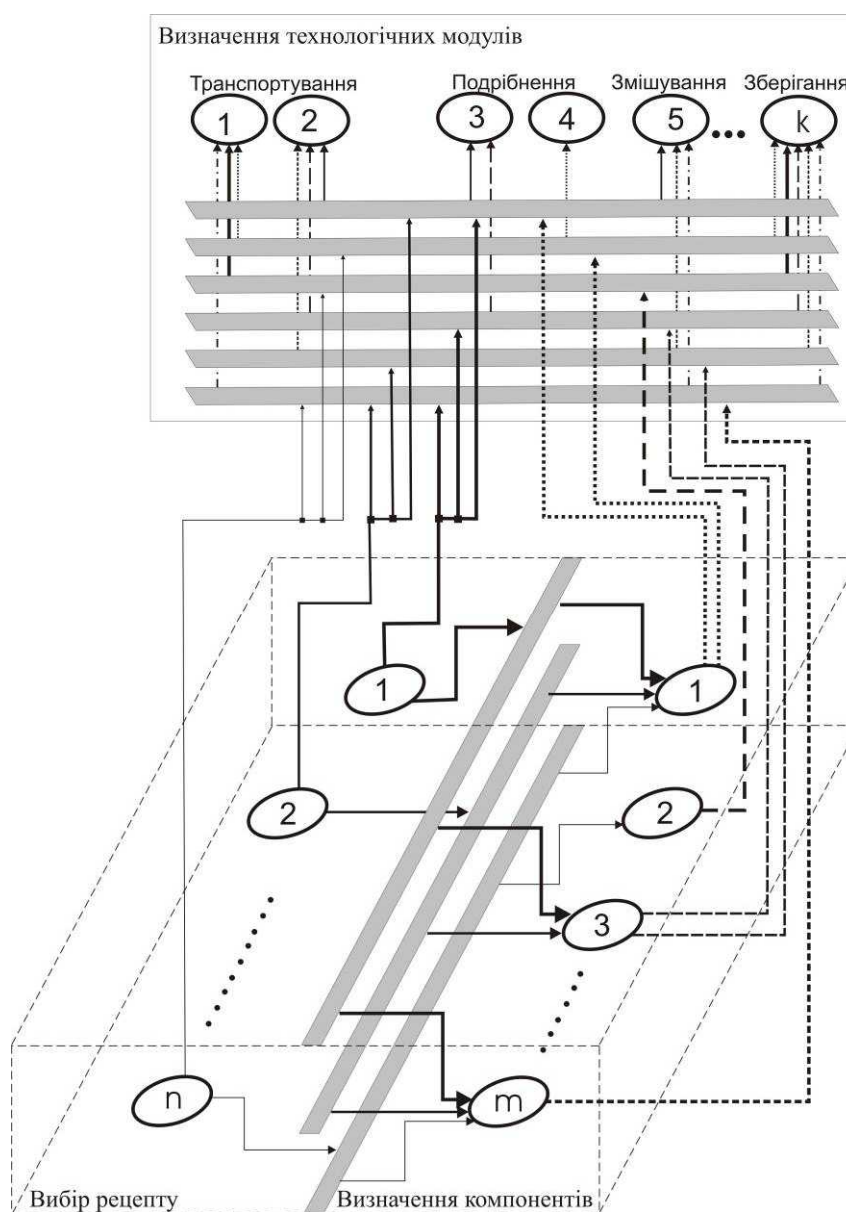


Рис. 4.1. Структурна модель синтезу ОТК

На основі синтезованого ОТК проектується алгоритм роботи. Роботу синтезованого або відомого ОТК для виробництва комбікормів умовно можна поділити на такі технологічні етапи: завантаження компонентів, виробництва комбікорму, зберігання та вивантаження готової продукції.

Враховавши перераховані вище особливості проектування ОТК ВК нами пропонується такий алгоритм проектування ОТК ВК в умовах господарств АПК (рис. 4.2, 4.3). Програмне забезпечення за новою структурою вже у стадії розробки: частково зібрана довідкова інформація, відпрацьований механізм редагування деяких вхідних та синтезованих БД.

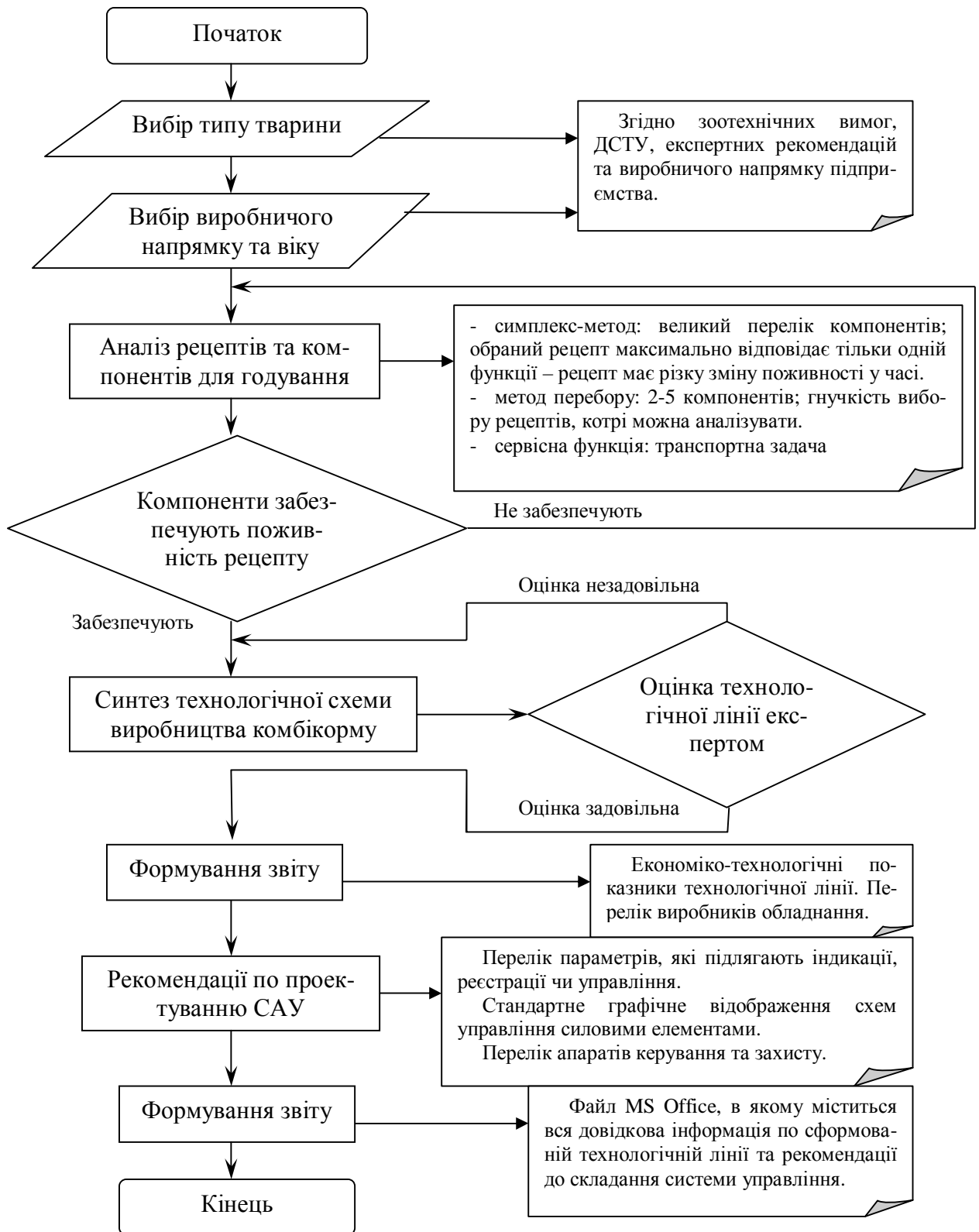


Рис. 4.2. Блок-схема автоматизованого проектування ОТК ВК



Рис. 4.3. БД програмного забезпечення автоматизованого проектування ОТК ВК

Нами розроблений внутрішній програмний інтерфейс обміну даними та структура діалогового інтерфейсу з користувачем (рис. 4.4 – 4.6).

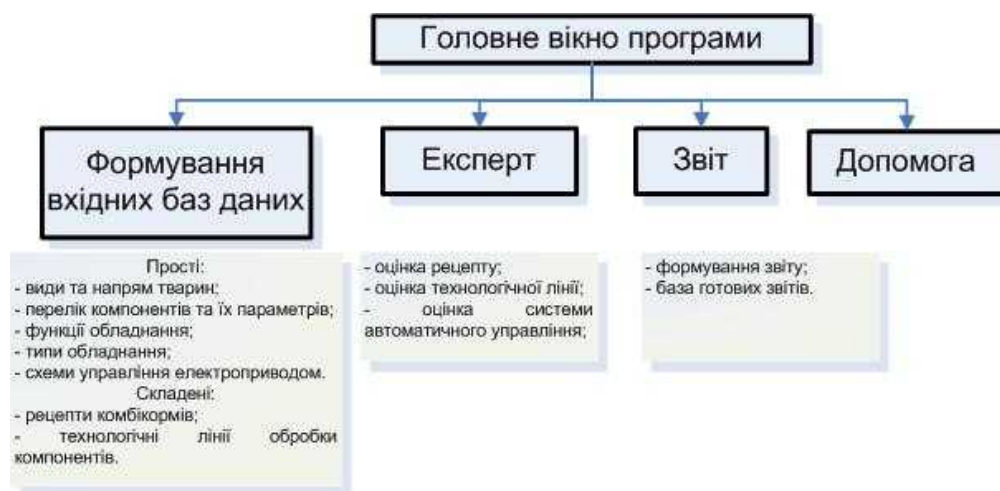


Рис. 4.4. Структура проектного програмного забезпечення

Програмне забезпечення розроблено за допомогою оболонки Delphi 6.0. В своїй основі має елементи структурного та поведінкового програмування. Елементи керування (кнопки, контекстне меню) виконані за допомогою технології об'єктно-орієнтованого програмування засобами ObjectPascal [147].



Рис. 4.5. Графічний інтерфейс головного вікна програми для модульного проектування ОТК ВК

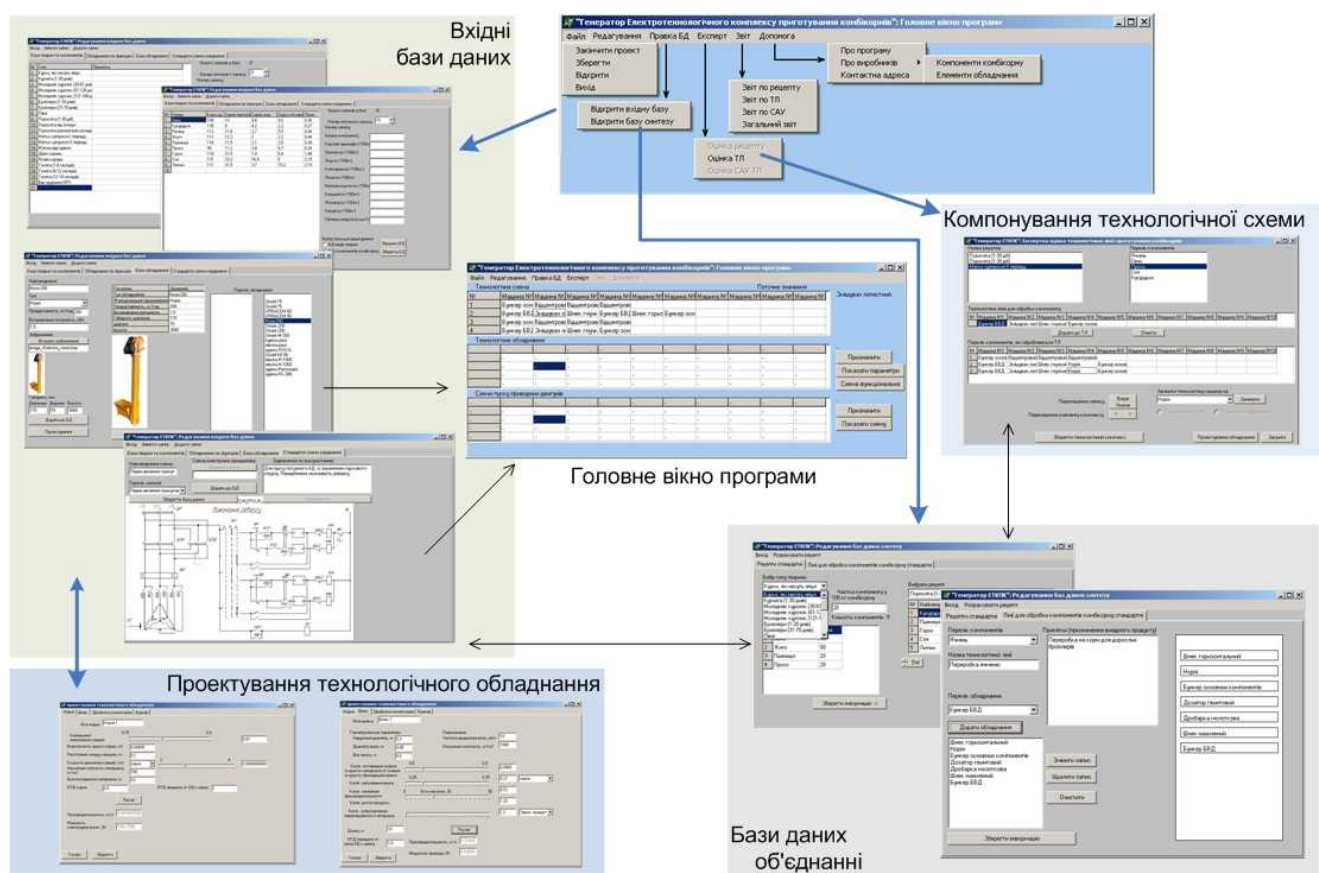


Рис. 4.6. Структура діалогових вікон програми для модульного проектування ОТК ВК

Програма має функціональні переваги та суттєві недоліки, які будуть враховані при подальшому розвитку даного програмного забезпечення. Серед переваг можна виділити: проста структура програми дозволяє гарантувати її роботу при мінімальній конфігурації персонального комп'ютера; застосування елементів ООП та інструментів ObjectPascal отримуємо всі переваги модульного моделю-

вання обладнання та гнучкий інтерфейс доступу до його параметрів через контекстне меню, паралельні та модальні вікна. Функції розробленого програмного забезпечення наступні: створення та редагування бази даних модульного обладнання та технологічних ліній; динамічне моделювання структури технологічної лінії з можливістю перегляду параметрів її елементів; оцінка та порівняння елементів технологічної лінії та лінії в цілому за основними показниками (продуктивність, встановлена потужність, вартість).

Суттєвим недоліком є використання не типізованих типів змінних для організації баз даних обладнання та технологічних ліній. Це не дозволяє отримати такої гнучкості та швидкості обробки інформації, як при використанні SQL-технології організації БД та доступу до них при мінімальному об'ємі оперативної та фізичної пам'яті, що займається.

Перш ніж перейти до проектування схеми електричної принципової, необхідно отриману модель оптимізувати за відомими методами перетворення логічних функцій. При використанні релейно-контактної апаратури логічне її представлення слід замінити еквівалентним, яке має мінімальну кількість літерних позначень, що забезпечить найменшу кількість контактів. При використанні безконтактних логічних елементів необхідно отримати вираз з найменшою кількістю логічних знаків. Якщо кожному керуючому впливу відповідають тільки визначені параметри, які контролюють та регулюють, система управління розділяється на автономні блоки, які можна розглядати незалежно один від одного. Дане твердження відповідає модульності побудови ОТК ВК, що доводить доцільність об'єктно-орієнтованого підходу при проектуванні та моделюванні таких комплексів.

#### 4.2 Розробка АСК ОТК ВК на основі мереж Петрі

У періодичних виданнях можна знайти приклади вдалих інжинірингових рішень модернізації або розробки автоматизації технологічних комплексів виробництва комбікормів, особливість яких полягає у відсутності типових проектів. Проектними організаціями реалізується індивідуальний підхід [84, 129, 148, 149].



Такий підхід побічно обмежує функціональність та використання методів підвищення ефективності АСК ТП. Частково це пов'язане з намаганням знизити собівартість проектних робіт, зміною та удосконаленням засобів автоматизації і менш швидким розвитком концепції управління та реалізації АСУ [150]. Саме тому необхідно зосередити зусилля на пошуку, обґрунтуванні та реалізації методів АСК ОТК виробництва комбікормів малої продуктивності, що не можливо без вивчення засобів моделювання їх роботи.

Однією з найважливіших задач при створенні АСК ТП є розробка програмного забезпечення керуючих обчислювальних машин для розв'язання задачі контролю та керування. При цьому, проектування систем алгоритмічного та програмного забезпечення – трудомісткий і коштовний процес, а його вартість складає значну частину витрат на створення АСК – до 50...70% [97, 150]. Складність розробки такого забезпечення для кожного конкретного ТП та можливість представлення задачі комплексної автоматизації ТП сукупністю кінцевого числа типових задач контролю та керування обґрунтовує необхідність типізації розробок по математичному та програмному забезпеченню. В якості типових алгоритмів виділяється алгоритми ідентифікації статичних і динамічних моделей ТП, оскільки необхідність розв'язання задачі ідентифікації зустрічається у 70...80% всіх ТП. На основі математичного опису ТП здійснюється статична і динамічна оптимізація об'єкта. При цьому, можна виділити наступні етапи оптимізації: розробка алгоритму експериментального дослідження об'єкта; обробка результатів дослідження; отримання математичного опису ТП; розробка алгоритмів керування.

Для розробки таких засобів необхідно враховувати широке різноманіття технологічних схем, характеру ієрархічних зв'язків між обладнанням та режимів роботи самого комплексу (періодична, неперервна), які обумовлені діяльністю господарств. Це обґрунтовує необхідність універсальності, гнучкості та інформативності як засобів моделювання, так і програмного забезпечення АСК [83].

За результатами виконаних досліджень розроблено програмне забезпечення (ПЗ), яке дозволяє реалізовувати розроблену методику проектування АСК ОТК ВК, її методів формування завдань керування та інформаційних функцій. Як вже

було зазначено вище, МП є гнучким математичним апаратом, який дозволяє достатньо чітко виконати опис технологічного процесу виробництва комбікорму та визначити послідовність спрацювань виконавчих механізмів. Спроби моделювання ТП виробництва комбікорму показали простоту використання та універсальність мереж. Беззаперечно, динамічного моделювання ТП необхідно розглядати через розробку відповідного ПЗ з такою структурою та переліком функцій, які дозволять забезпечити існування самої мережі, її дослідження, формалізацію алгоритмів аналізу матриць інцидентності з метою контролю структури мережі, розмітки, таймінгу роботи виконавчих механізмів та спрацювань вимірювальних пристроїв.

В результаті аналізу існуючих програмних рішень динамічного моделювання МП можна виділити два напрямки їх реалізації: створення таких структур даних, котрі реалізують відповідні матриці; використання стандартних класів в якості елементів мереж. Перший напрям не використовує гнучкість та зручність графічного інтерфейсу, а маніпулювання мережею через матричне представлення ускладнюють процедуру сприйняття мережі оператором та удосконалення самого ПЗ. Другий – потребує окремої процедури формування матриць інцидентності та розмітки мережі для використання стандартних алгоритмів їх аналізу, але об'єктний підхід дозволяє віддати перевагу саме цьому напрямку: гнучкий та зручний графічний інтерфейс; можливість удосконалення ПЗ та додавання сервісних функцій аналізу мережі або її даних; прив'язка до об'єкту управління; можливість створення АСК ТП у супервізорному режимі [32].

Звернемо увагу другому напрямку. В результаті чого було розроблено ПЗ (рис. 4.7, 4.8) з можливістю безпосереднього керування технологічним процесом. Представлений склад класів, їх структура та вихідні дані повністю відповідають визначенню ординарних МП та загальної концепції наукової роботи.

Головна форма (**MainFrm**):

- робота з мережею:
  - побудова мережі;
  - динамічна реалізація мережі;
  - додавання текстових пояснень;
  - зберігання мережі у файл та її повторне відкриття;
  - підключення засобів управління.
- робота з елементами мережі:
  - створення та розміщення елементів мережі;
  - встановлення та редагування параметрів елементів мережі.
- настроювання інтерфейсу:
  - керування елементами управління;
  - настроювання графічного вигляду.

Форми редагування параметрів елементів мережі та графічного інтерфейсу

<p><b>ActionProp</b> – перехід</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– назва;</li> <li>– кількість маркерів для спрацювання;</li> <li>– час витримки.</li> </ul>	<p><b>PlaceProp</b> – вузол</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– назва;</li> <li>– поточна кількість маркерів;</li> <li>– код команди;</li> <li>– код датчика.</li> </ul>	<p><b>EditVectors</b> – дуга</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вибір дуги;</li> <li>– графічне відображення;</li> <li>– пропускна здатність.</li> </ul>	<p><b>LabelProp</b> – коментар</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- створення та редагування коментарів.</li> </ul>
---	---	--	---

Форми отримання даних та аналізу модельної та експериментальної інформації

<p><b>ArrayNet</b> – генерація матриць інцидентності, візуалізації розмітки та матриць таймінгу</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- візуальне представлення матриць</li> <li>- функції їх аналізу;</li> <li>- збереження інформації у файл, придатний для подальшого перетворення та вивчення.</li> </ul>	<p><b>K8055</b> – налагодження (ручне управління) засобів управління</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- генерація дискретних керуючих впливів;</li> <li>- зчитування стану дискретних датчиків;</li> <li>- генерація аналогового впливу</li> <li>- зчитування аналогового сигналу.</li> </ul>
--	---

**Com\_Modul** – модуль, в якому визначається перелік кодованих команд та датчиків, а також функції управління засобами збору даних та генерації сигналів керування

Рис. 4.7. Ієрархія форм та функцій ПЗ

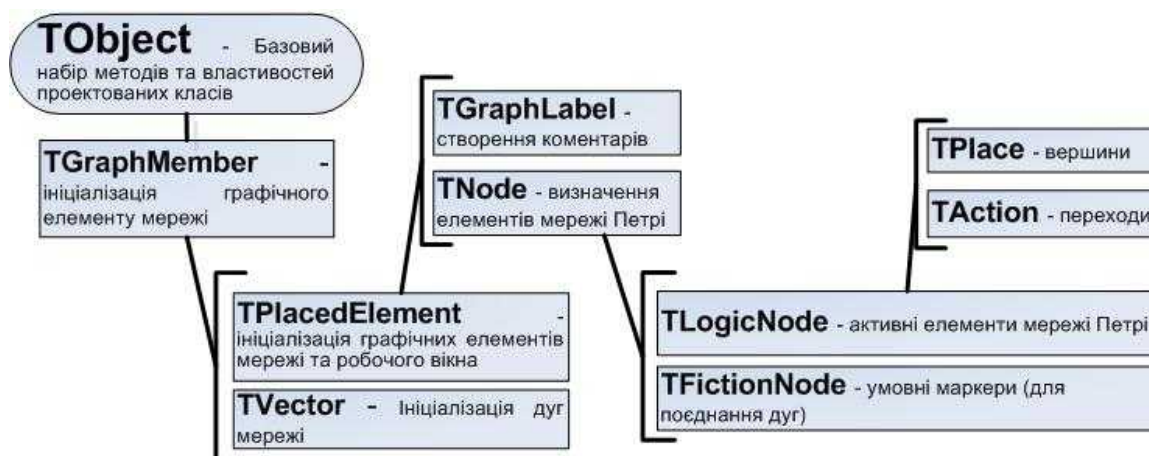


Рис. 4.8 Архітектура класів ПЗ

#### 4.2.1 Графічний інтерфейс програми

Розроблене ПЗ призначене для моделювання роботи МП, тестового та робочого управління роботи технологічних процесів, отримання експертом (оператором, користувачем) експериментальних вхідних даних для подальшого їх аналізу. На основі даного ПЗ буде здійснюватись відпрацювання алгоритмів оцінки функцій таймінгу виконавчих механізмів та вимірювальних пристроїв окремо та в цілому технологічного комплексу.

Для зручності роботи з програмою головне діалогове вікно побудоване відповідно до традиційного формату (рис. 4.9, 4.10). Така форма дозволяє швидко орієнтуватись між іншими діалоговими вікнами та використовувати відповідні функції (рис. 4.7).

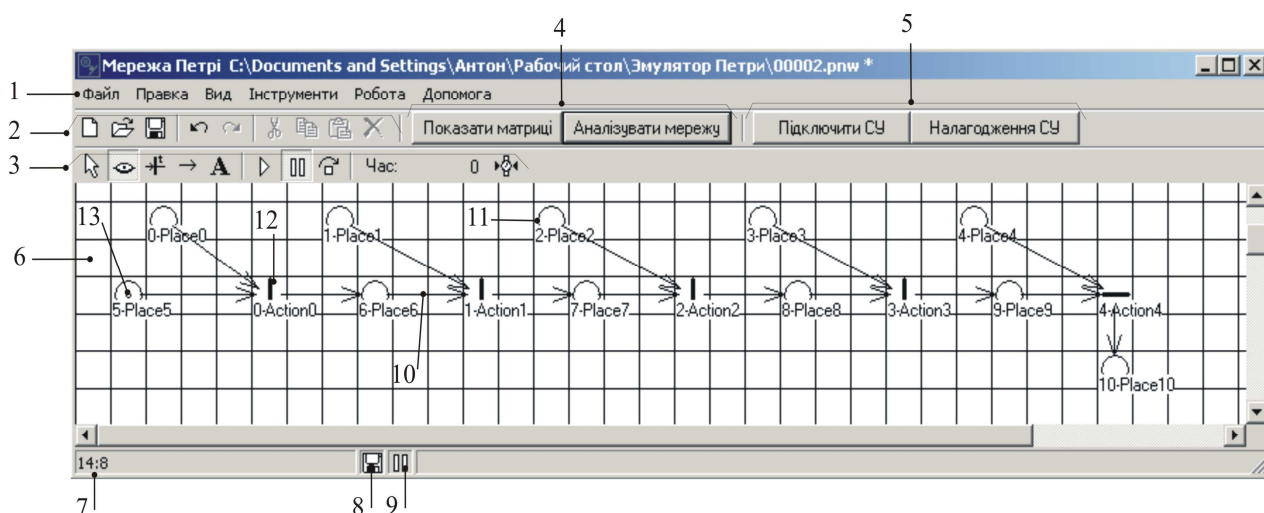




Рис. 4.9. Загальний вигляд головної форми програми

Робота з програмою як правило починається з навігації по верхньому меню 1 (рис. 4.9) або за допомогою основної панелі 2. Для створення нової мережі необхідно натиснути  або через 1 «Файл →Створити» (рис. 4.10). Після чого, за допомогою панелі інструментів 3 або верхнього меню 1 «Інструменти» приступити до створення самої мережі на робочому полі 6. У випадку, якщо необхідно відкрити готову мережу потрібно натиснути  або через 1 «Файл →Відкрити» – на робочому полі 6 з'явиться мережа.

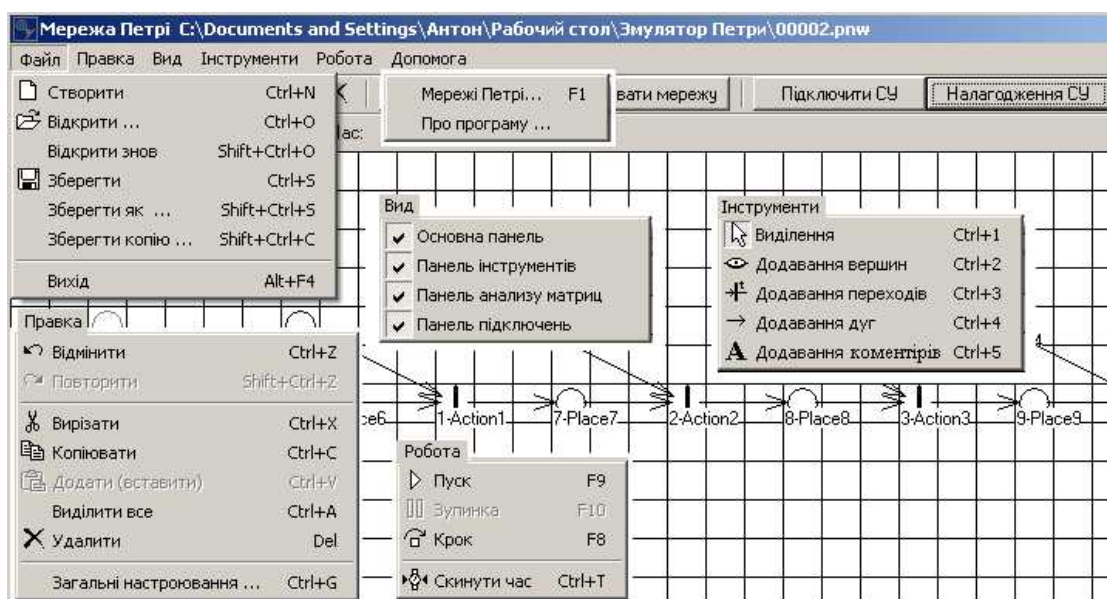





Рис. 4.10. Розгорнутий вигляд верхнього меню 1 (рис. 4.9)


Робота з програмою може виконуватись за допомогою верхнього меню 1, наявних панелей інструментів 2-5 та за допомогою сполучень клавіш (приведені у верхньому меню), якщо необхідно, то за допомогою меню «Вид» (рис. 4.10) можна їх сховати або показати.



#### 4.2.2 Робота з елементами мережі

Побудова самої мережі починається з окремого створення її елементів, яке здійснюється за допомогою панелі інструментів 3 (рис. 4.9), верхнього меню «Інструменти» або сполучень клавіш (рис. 4.10). Для створення вершин та переходів необхідно натиснути відповідні піктограми  або . Клік лівої кнопки миші на

робочому просторі 6 у заданому місці з координатами 7 (рис. 4.9) створюється заданий елемент мережі.

Необхідно звернути увагу на те, що під час створення вершин або при натиснутій піктограмі  при повторному клацанні на створеній раніше вершині до вказаної вершини додається один маркер.

Створення дуг починається з натискання піктограми . Після чого курсор миші переводиться на елемент мережі, який виступатиме початком дуги. Натискається ліва кнопка миші, і курсор спрямовується до елемента мережі, який виступає його кінцем, кнопка миші відпускається. Необхідно пам'ятати, що однотипні елементи мережі не з'єднуються.

При натиснутій піктограмі  виконується вибір вершини або переходу, який необхідно пересувати, або редагувати. При необхідності пересування вершини, переходу або коментарю (створюється за аналогічним принципом за допомогою піктограми ) на заданому елементі натискається ліва кнопка миші, вказівник з елементом пересувається у необхідне місце – кнопка відпускається.

Встановлення параметрів і властивостей вершин та переходів мережі кліком правої кнопки миші на необхідному елементі викликається контекстне меню, яке містить вкладки «Властивості» та «Перелік дуг» (рис. 4.11).

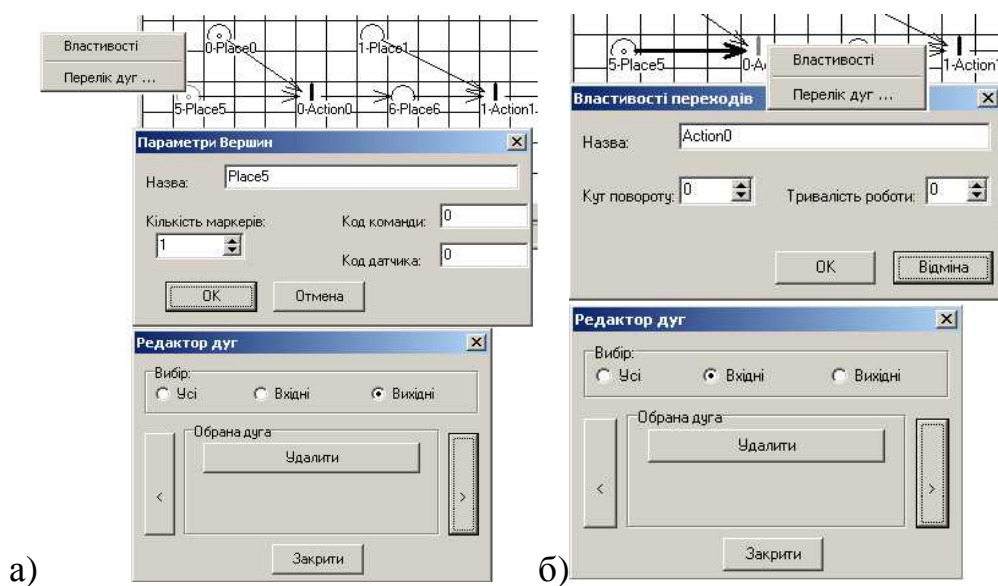




Рис. 4.11. Редагування властивостей та параметрів елементів МП: вузлів (а), переходів (б)

Всі необхідні настроювання вершин мережі здійснюються на відповідній формі «Властивості» контекстного меню (рис. 4.11, а). У даному меню можна переглянути або змінити назву вершини, поточну кількість маркерів, код команди та датчика. При зміні будь-якого параметра необхідно натиснути кнопку «ОК», а щоб повернути зміни у попередній стан, якщо були виконані зміни, або просто закрити меню – «Відміна».


За аналогічним принципом можна переглянути та змінити параметри переходів (рис. 4.11, б): назва, кут повороту (орієнтація переходу на робочій області), тривалість роботи (затримка часу – кроків).



Редагування кількості дуг (як правило їх видалення) виконується за допомогою «Редактора дуг» (рис. 4.11), який викликається з контекстного меню елементів мережі з пункту «Перелік дуг ...». У пункті «Вибір» редактору визначається тип дуг, які будуть розглядатись: вхідні, вихідні, усі. Навігація по переліку дуг здійснюється кнопками «<>» та «>>», що відповідає попередній та наступній дузі. При необхідності видалення обраної дуги натискається кнопка «Видалити». По закінченню роботи з редактором натискається кнопка «Закрити» – вихід з програми із збереженням змін.

**Настроювання інтерфейсу програми.** Передбачене гнучке настроювання графічного інтерфейсу та методів реалізації мереж (рис. 4.12), котре викликається через 1 («Правка» → «Загальні настроювання»).

На панелі «Редактор» (рис. 4.12) здійснюється вибір графічного інтерфейсу робочого вікна та елементів мережі, а також можна задавати динаміку спрацювання мережі та глибину буферу відміни, який призначено для відміни дій користувача під час проектування мережі (кнопки  та  (рис. 4.9) або «Правка» (рис. 4.10)). При виконанні всіх необхідних настроювань необхідно натиснути кнопку «ОК» або «Відміна» (повернення до попередніх настроювань).

Панель «Мережа» дає змогу розширити можливості використання програми шляхом настроювань способів спрацювань мережі.

**Робота з мережею.** При виконанні змін на робочому просторі 6 (рис. 4.9) у нижній частині головного діалогового вікна 8 з'являється піктограма . При зберегання поточної мережі він зникає.

Для роботи із складеною мережею користуються панеллю інструментів 3 (рис. 4.9) або верхнім меню «Робота», за допомогою яких здійснюється керування внутрішнім таймером, стан якого відображається у нижній частині діалогового вікна 9 ( – зупинка;  – робота).

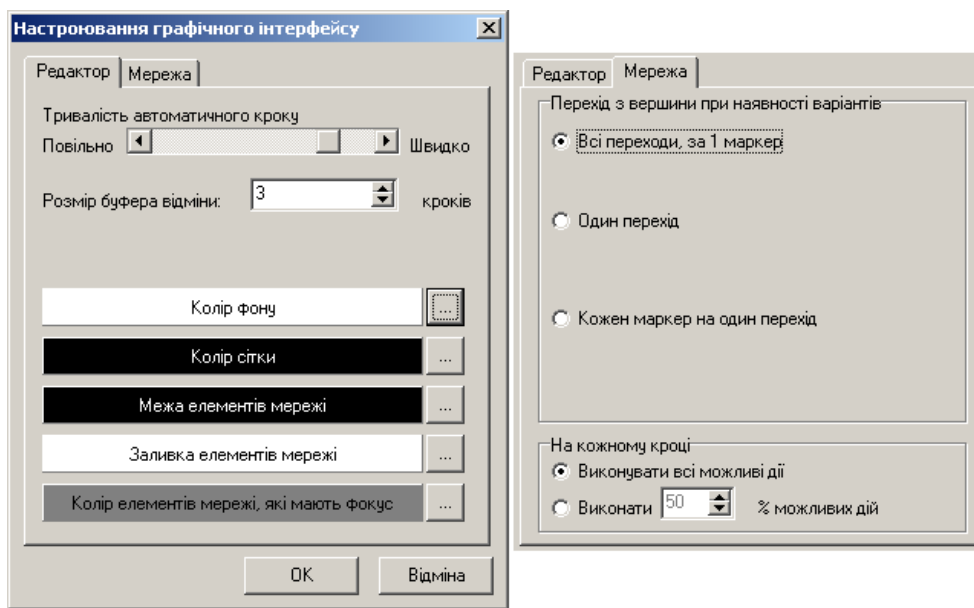






Рис. 4.12. Вікно загальних настроювань програми

На початку роботи мережі натискається піктограма  – пуск таймеру, стан якого відображається на панелі інструментів 3 (Час: 0). За кожний такт здійснюється одне опитування мережі. Зупиняється таймер натисканням піктограми  – зупинка або пауза. При необхідності детального вивчення роботи мережі можна застосувати покрокове спрацювання – піктограма .

Повернення мережі до початкового стану здійснюється вручну через контекстні меню (рис. 4.11). Повернення таймеру до 0 здійснюється за допомогою піктограми .

Всі перелічені вище інструменти дублюються у верхньому меню на вкладці «Робота» (рис. 4.10).



### 4.2.3 Робота з зовнішніми пристроями

Для ручного налагодження системи управління передбачене відповідне діалогове вікно (рис. 4.13), виклик якого здійснюється через панель інструментів 5, натисканням кнопки «Налагодження СУ» (рис. 4.9). За допомогою нього виконується генерація керуючих впливів («Outputs» – дискретні команди; «DA» – аналогові команди), зчитується стан датчиків («Inputs» – дискретні сигнали; «AD» – аналогові сигнали).

На початку роботи з модулем необхідно натиснути кнопку «Підключити» (рис. 4.13), яка виконає певні функції та процедури з ініціалізації підключених засобів управління (їх відключення відбувається автоматично при закритті форми або натисканням «Закінчити роботу»). Час опитування каналів інформації задається на панелях «Параметр 1» та «Параметр 2».

Аналогові керуючі впливи задаються за допомогою повзунка на панелях «DA1» та «DA2», а дискретні – елементи управління на панелі «Outputs». Стан аналогових вимірювальних пристроїв визначається за показаннями панелей «AD1» та «AD2», стан дискретних – панель «Inputs».

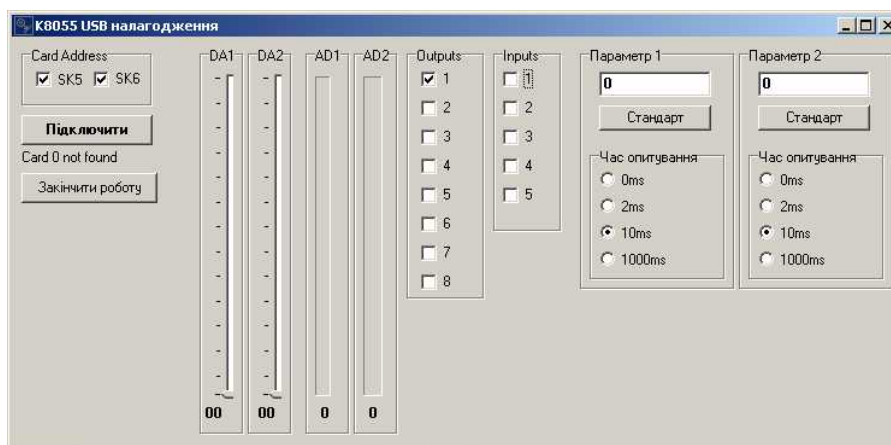


Рис. 4.13. Діалогове вікно налаштування та налагодження пристроїв сполучення системи управління з технологічним процесом

Для підключення обладнання у робочому режимі на панелі інструментів 5 натискається «Підключити СУ». При наявності у вершинах відповідних кодів, будуть здійснюватись відповідні запити до системи управління.

**Робота з даними.** Початок отримання даних з модельної мережі, або такої, яка керує реальним технологічним процесом, починається з аналізу матриць інцидентності (панель інструментів 4 (рис. 4.9), кнопка «Показати матриці» та «Аналізувати мережу») (рис. 4.14).

На діалоговому вікні аналізу даних буде генерована матриця інцидентності. Після запуску мережі на виконання (▶) автоматично генеруватимуться матриці таймінгу вершин та переходів і розмітка, котрі є інформативними. По закінченню моделювання отримані матриці зберігаються – кнопка «Зберегти матриці».

Виконані удосконалення типового графічного редактору забезпечують можливість тестування сервісних функцій АСК, які потребують розробки окремих процедур і функцій оцінки (рис. 4.14):

– аналіз мережі. У проектованій мережі необхідно уникати циклів та неконтрольованого накопичення маркерів у вершинах. Функції аналізу мережі використовують базові матриці інцидентності та модельну розмітку;

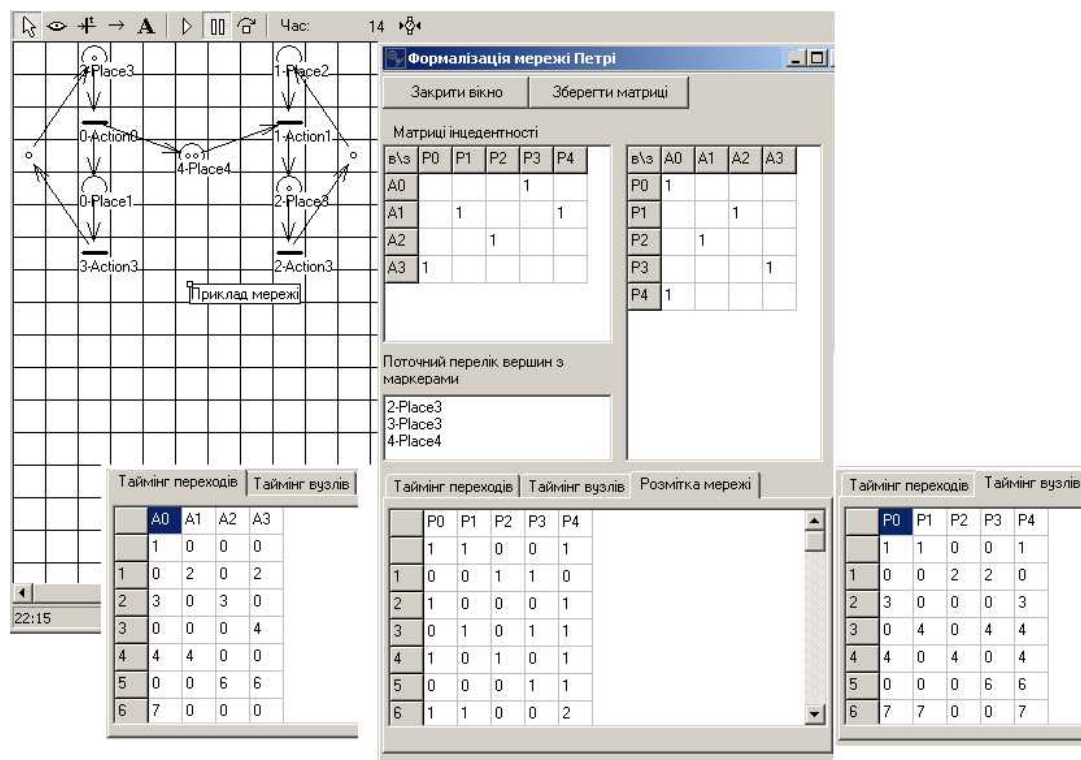


Рис. 4.14. Представлення модельних та експериментальних даних

– контроль алгоритму роботи, стану мережі та ТК. Функції зводяться до аналізу розмітки мережі – ідентифікація відхилень від еталону. Тестування алго-

ритмів здійснюється шляхом випадкової генерації маркерів у вершинах мережі. Бажано використовувати рівномірний закон розподілу, використовуючи функцію  $round(random(P))$ , де  $P$  – кількість вершин;

– таймінг. Оцінка появи маркерів та спрацювань переходів повинна здійснюватись на основі експертних, модельних або виробничих даних. Вказаний час повинен відображати об'єкт управління або контролю. Крім того, необхідно пам'ятати, що контроль роботи виконавчих механізмів, як правило, потребує додаткових вимірювальних пристроїв, що збільшує вартість АСК та не відповідає концепції даної роботи. Тому деякі виконавчі механізми повинні виступати в якості умовних точок відліку, а вимірювальні пристрої (рівень компонентів та струму завантаження, положення засувки та перекидних клапанів, ваги тощо) – кінцевих інформативних точок. Така взаємодія потребує достовірного моделювання або експертних знань. Генерація зовнішніх впливів може здійснюватись за нормальним законом з контрольованими параметрами (амплітуда та дисперсія збурень);

– стаціонарність ТП. Зазвичай стаціонарний режим описується системою алгебраїчних рівнянь, отриманих з системи диференціальних рівнянь стану шляхом прирівнювання похідних по часу до нуля. У нашому ж випадку достатньо довести що відхилення часових елементів модельованого та еталонного матричного представлення МП не є статистично значущим. При розробці відповідних функцій необхідно враховувати, що стаціонарність ТП у контексті ОТК малої продуктивності необхідно розглядати з урахуванням можливого неперервного та порційного принципу дії.

Вхідні дані для функцій оцінки таймінгу та визначення стаціонарності ТП залежать від постійної (конструктивні особливості елементів ТК, режими роботи приводного обладнання) та змінної (вплив властивостей компонентів комбікорму на режим роботи елементів ТК) складових. Тому при розробці ПЗ динамічного моделювання роботи МП та ОТК виробництва комбікорму можна вивчити окремо систематичний вплив постійної та стохастичний вплив змінної складової на роботу функцій.

**Системні вимоги:** Операційна система: Windows 98/2000/NT/XP.

Тактова частота процесора: не менше 300 МГц.

Вільне місце на жорсткому диску: 10 Мбайт.

Оперативна пам'ять: від 64 Мб.

Встановлене програмне забезпечення пристроїв збору інформації, керування та обробки даних. Клавіатура та комп'ютерна миша.

Розроблене ПЗ забезпечує можливість динамічного моделювання МП, які відображають роботу ОТК виробництва комбікорму малої продуктивності. Це дозволяє розробити типові структури для модульного технологічного обладнання, що спростить розробку нових технологічних схем та моделювання їх роботи.

ПЗ та функції, які не належать до загальної структури класів, забезпечують можливість тестування сервісних функцій АСК з метою їх формалізації та удосконалення, визначення характеру повідомлень при оцінці МП, алгоритму роботи ТК, таймінгу та стаціонарності ТП. При вдалим алгоритмічних рішеннях результати роботи можуть лягти в основу АСК ТП виробництва комбікорму на комплексах малої продуктивності, яка буде відрізнятися гнучкістю налагодження, високою інформативністю та науковою ємністю.

#### 4.3 Аналіз споживчих характеристик та конкурентоспроможності результатів досліджень

Для розробки АСК ТП ВК на автоматизованих ОТК в умовах господарств рекомендовано такий розподіл фінансування розробки та впровадження АСК ТП: попереднє вивчення об'єкта, розробка технічного завдання та техніко-економічного обґрунтування 10-15% від кошторисної вартості; розробка апаратних та програмних засобів – 50-70%; упровадження та введення в експлуатацію – 20-30% [150]. В свою чергу, технічні та економічні норми на проектування, розробку, створення, упровадження та супровід АСК ТП не розповсюджуються на підготовчі та науково-дослідницькі індивідуальні розробки та концепції [151].

Оскільки ТП ВК на сучасних автоматизованих ОТК розглянуто як процес дискретний у просторі, ефективність АСК слід розглядати не у контексті ефекти-

вності регулювання або стабілізації визначених параметрів, а у ракурсі забезпечення керованості ТК, інформативності АСК та задоволення потреб споживача (споживчих характеристик) (рис. 4.15). Саме тому, аналіз АСК інших виробників та порівняння пропонованої АСК доцільно виконувати на основі SWOT-аналізу.



Рис. 4.15. Параметри споживчої оцінки та перелік поширених SCADA-систем

У подальших дослідженнях акцентується увага на функціональному забезпеченні та експлуатаційних характеристиках АСК на основі МП, при одночасному абстрагуванні від економічної складової та якості регулювання параметрів неперервних процесів у енергоємному технологічному обладнанні. Останнє пов'язано з тим, що ці показники залежать від людського фактору на етапах програмування, упровадження, реалізації та експлуатації АСК та ОТК в цілому, а також чисельних факторів господарської діяльності, які виходять за межі дослідження.

На основі обов'язкового набору виконуваних функцій АСК (табл. 4.1) та функціональних характеристик SCADA-систем (табл. 4.2) складена матриця SWOT-аналізу (табл. 4.3) у порівнянні поширеної з аналогічним поширеним та доступним продуктом TraceMode [144], який дозволяє проектувати АСК широким спектром об'єктів та позиціонується, як SCADA-система для бюджетних проектів з широким асортиментом функціональних можливостей.

Таблиця 4.1.

## SWOT-аналіз АСК у контексті дискретних у просторі ТП

Показник	Сильні сторони		Слабкі сторони		Можливості		Загрози	
	APCS	ТМ	APCS	ТМ	APCS	ТМ	APCS	ТМ
<p><b>- інформаційні функції:</b></p> <p>1. попередня обробка, якщо необхідно, вхідних сигналів;</p> <p>2. неперервне, періодичне та/або за викликом оператора вимірювання, оперативне відображення і реєстрація значень технологічних параметрів та стану устаткування;</p> <p>3. виявлення, оперативне відображення, реєстрація і сигналізація відхилень значень технологічних параметрів і показників стану устаткування від заданих;</p> <p>4. контроль, оперативне відображення, реєстрація і сигналізація спрацювання пристроїв блокування та захисту;</p> <p>5. оперативне відображення і реєстрація результатів математичних розрахунків та логічного аналізу, що виконується комплексом технічних засобів системи;</p> <p>6. непрямі вимірювання технологічних параметрів і показників стану обладнання;</p> <p>7. обчислення і аналіз узагальнених показників поточного стану ТК;</p> <p>8. аналіз спрацювань пристроїв блокування та захисту;</p> <p>9. діагностика протікання технологічного процесу і стану устаткування;</p>		+	+		+			

Показник	Сильні сторони		Слабкі сторони		Можливості		Загрози	
	APCS	TM	APCS	TM	APCS	TM	APCS	TM
10.прогнозування ходу технологічного процесу і стану устаткування;					+	+		
11.розрахунок техніко-економічних і експлуатаційних показників функціонування технологічних об'єктів керування;							+	+
12.підготовка інформації та виконання процедур обміну інформацією з системами керування які знаходяться на одному або різних рівнях.		+	+				+	
<b>Всього</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
<b>- керуючі функції:</b>								
1. вибір раціонального режиму ведення технологічного процесу;			+			+	+	
2. керування запуском та зупинення технологічного обладнання у відповідності до визначеної послідовності та алгоритму;	+	+						
3. формування та передача на входи виконавчих пристроїв керуючих впливів, що забезпечують реалізацію вибраного режиму;	+	+						
4. можливість реалізації оптимального та адаптивного керування механізмами;			+	+		+	+	
5. автоматичний захист устаткування та обслуговуючого персоналу від аварій;					+	+	+	
6. програмна зміна АСК ТП параметрів ТП та умов його реалізації у режимі реального часу, заздалегідь заданим алгоритмом або за ініціативою оператора;	+						+	+

Показник	Сильні сторони		Слабкі сторони		Можливості		Загрози	
	APCS	TM	APCS	TM	APCS	TM	APCS	TM
7. оперативне керування розподілом матеріальних потоків;					+	+	+	
8. видача оператору рекомендацій з керування технологічним процесом;						+	+	
Всього	3	2	2	1	2	5	6	1
<b>- внутрішньосистемні функції:</b>								
1. диспетчеризація роботи підсистем та пристроїв системи;	+	+						
2. забезпечення взаємодії між ієрархічними рівнями керування в системі;		+			+		+	
3. контроль справності та діагностика відмов пристроїв системи збору, передавання, обробки, зберігання та відображення інформації;					+		+	+
4. оцінка дієздатності та якості функціонування математичного та програмного забезпечення у режимі реального часу;			+		+			+
5. планування та контроль проведення ремонтів елементів системи;	+							+
6. поточне метрологічне забезпечення технічних та програмних засобів.			+			+	+	
Всього	2	2	2	0	3	1	3	3
Загальні значення	9	8	8	3	8	12	12	5



Таблиця 4.2.

## Перелік функціональних характеристик SCADA-систем

Показник	Сильні сторони		Слабкі сторони		Можливості		Загрози	
	APCS	ТМ	APCS	ТМ	APCS	ТМ	APCS	ТМ
- збір первинної інформації від пристроїв нижнього рівня (датчики, прилади)	+	+						
- обробка первинної інформації		+	+		+			
- візуалізація параметрів ТП й устаткування на мнемосхемах, графіках, таблицях		+			+		+	
- виклик необхідних даних або ділянок технологічного процесу на екран дисплею		+			+		+	
- дистанційне керування ТП та об'єктами	+	+						
- повідомлення про передаварійні і аварійні ситуації (світлова, звукова сигналізація)	+					+		
- реєстрація позаштатних ситуацій і накопичення архівних даних	+	+						
- надання поточних і накопичених даних у зручній для аналізу формі			+	+				
- зберігання інформації з можливістю її пост обробки	+					+		
- автоматизована розробка, створення алгоритмів керування без програмування	+							+
- зміна, та редагування функцій SCADA-систем:								
додавання або видалення датчиків, виконавчих механізмів,	+							+
зміна їхніх характеристик,			+			+		
зміна параметрів настроювання технологічних змінних,	+					+		
додавання нових функцій,			+	+				

Продовження таблиці 4.2.

Показник	Сильні сторони		Слабкі сторони		Можливості		Загрози	
	APCS	TM	APCS	TM	APCS	TM	APCS	TM
<p>коректування й створення трендів та таблиць)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- передача даних до систем управління виробництвом верхнього рівня</li> <li>- забезпечення діагностичних процедур</li> <li>- забезпечення надійності ведення ТП і всієї системи (повна підтримка "гарячого" резервування, автоматичний перехід резерв і відновлення, настроювання і резервування повинно здійснюватись без додаткового програмування)</li> <li>- захист від несанкціонованого доступу</li> <li>- визначення ділянок та рівнів для кожного оператора</li> <li>- вбудовані командні мови</li> <li>- засоби мережної підтримки</li> <li>- підтримка баз даних</li> <li>- відкритість системи</li> <li>- супровід та технічна підтримка</li> <li>- економічні характеристики;</li> </ul>		+					+	
	+		+		+			
		+				+	+	
		+				+	+	
		+			+			
		+	+			+	+	
		+		+		+	+	
		+				+	+	
		+						+
Всього	10	14	6	3	5	8	8	3

Таблиця 4.3.

Загальна рангова оцінка конкурентоспроможності розробленого  
ПЗ MiniAPCSCombi у порівнянні з SCADA-системи TraceMode

Сильні сторони		Можливості		Параметр оцінки
MiniAPCSCombi	TraceMode	MiniAPCSCombi	TraceMode	
0,35	0,31	0,31	0,46	Функції АСК: - інформаційні - керуючі - внутрішньосистемні SCADA-система
0,33	0,33	0,25	0,5	
0,38	0,25	0,25	0,63	
0,33	0,33	0,5	0,17	
0,36	0,5	0,18	0,29	
Слабкі сторони		Загрози		
MiniAPCSCombi	TraceMode	MiniAPCSCombi	TraceMode	
0,31	0,12	0,46	0,19	Функції АСК: - інформаційні - керуючі - внутрішньосистемні SCADA-система
0,33	0,17	0,25	0,08	
0,25	0,13	0,75	0,13	
0,33	0	0,5	0,5	
0,21	0,11	0,29	0,11	

В результаті аналізу отриманих даних (табл. 4.3) конкурентоспроможність та комерційний потенціал пропонованого програмного продукту, а також акцентування уваги на подальших аспектах розробки та супроводу АСК у контексті інших дискретних у просторі ТП з можливістю впровадження в інших галузях сільськогосподарства та промисловості.

Необхідно зазначити, що більшість переваг існуючих комерційних SCADA-систем зводиться до можливості підключення відповідних функціональних бібліотек, структура яких залежить від платформи, на якій АСК реалізується. В умовах сільськогосподарських підприємств різноманіття платформ та кількість обладнаних автоматизованих робочих місць зводиться до мінімуму, що одночасно спрощує функціональне насичення АСК та ускладнює технічні рішення щодо поєднання з об'єктом керування – ОТК ВК.

## Висновки по розділу

1. Розроблене ПЗ дозволяє виконати систематизацію типових елементів ОТК ВК, забезпечити автоматизоване проектування ТС та визначити загальну структуру АСК. Крім того, стає можлива автоматизована структурна ідентифікація ОТК в умовах господарства, що спрощує подальшу модернізацію та розробку комплексної АСК.

2. ПЗ "MiniAPCSCombi" забезпечує розробку моделей ОТК ВК на основі МП, за якою здійснюється керування ним АСК на основі мережних моделей ТК, які повністю відбивають ТП, з використанням пропонованих інформаційних функцій.

3. На даному етапі досліджень та реалізації програмного продукту необхідно зазначити, що при врахуванні слабких сторін, можливостей та загроз за напрямками функціонального забезпечення у контексті графічного інтерфейсу та засобів відображення даних є можливість його повноцінного використання для проектування АСК ТП з дискретним характером роботи виконавчих елементів та датчиків. Особливо привабливим є інтерпретація результатів досліджень мовою SFC, що дозволить інтегруватись до сучасних SCADA/HMI пакетів, забезпечити повторне використання елементів ОТК на інших об'єктах та спростить модернізацію існуючих, але ці задачі, здебільшого, мають комерційний характер.

## ВИСНОВКИ

У дисертації розв'язується науково-прикладна задача удосконалення інформаційних функцій автоматичної системи керування організаційно-технічним комплексом виробництва комбікормів в умовах господарств за рахунок удосконалення засобів інформаційного забезпечення. Запропонований в роботі підхід до синтезу АСК ОТК ВК полягає у тому, що розширення функцій спостереження можливе шляхом розроблення та експлуатації автоматизованої системи керування процесами в організаційно-технічному комплексі виробництва комбікормів на основі еталонної мережної моделі, а реалізація функції спостереження – протоколювання керуючих впливів системи керування та процесів в організаційно-технічному комплексі за допомогою часових діаграм та розмітки мережної моделі, оцінка яких виконується математичним апаратом гармонійного аналізу.

За результатами досліджень, виконаних в дисертаційній роботі, можна зробити такі висновки:

1. В результаті аналізу наукових досліджень щодо проектування ОТК ВК, його узгодження із технологією господарства, синтезу АСК та класифікації подій, які призводять до зниження надійності роботи ОТК, якості комбікормів, збільшення втрат ресурсів та аварійної ситуації ним встановлено, що керованість ОТК, надійність його роботи та удосконалення інформаційних функцій АСК забезпечується при розгляді ТП ВК як дискретного у просторі.

2. Аналіз ОТК з дискретним режимом роботи елементів дозволив визначити, що для проектування АСК ВК на ТК, розробки імітаційних моделей ТП ВК, моніторингу ТП та стану елементів ТК необхідно використовувати розмічені ординарні та живі мережі Петрі з функціональними підмережами.

3. Узгодження виконавчих елементів та датчиків з мережною моделлю ОТК (з елементами мереж Петрі), дозволило реалізувати АСК ним та окремо технологічними модулями, а також формалізувати процес проектування системи керування та практичної реалізації інформаційних функцій.

4. Вплив коливання властивостей компонентів комбікорму та параметрів мережі живлення у зоні припустимих відхилень 5% на роботу транспортерів, таймінг логічних датчиків положення та рівня статистично незначущий. При порушенні кругового магнітного поля хід засувки стандартної заслінки склав  $0,147 \pm 0,0044$  м ( $\pm 3\%$ ), а при несиметрії напруги –  $\pm 1,3\%$ . Отже, при припустимій похибці 5% відхилення показань може бути технічно значущим і відбивати потенційно аварійну ситуацію. Таким чином, відхилення від нормального режиму роботи обумовлено зміною властивостей компонентів комбікормів, порушенням технологічного процесу, не розрахунковим, потенційно аварійним або аварійним режимом роботи елементів ОТК.

5. Вхідні дані спрацювання дискретних датчиків та виконавчих елементів необхідно представляти у нормованому виді ( $x_{ni} = x_i / \bar{X}$ ) – відносно середнього арифметичного, що дозволяє узагальнити вхідну інформацію відносно різного технологічного обладнання та законів розподілу.

6. В результаті аналізу теоретичних та експериментальних даних доведена інформативність арифметичної суми гармонік амплітудно-частотної характеристики вибірки даних аналізованих швидким перетворенням Фур'є, на основі якої приймається рішення про технічну або статистичну значущість події (мінімальний об'єм вибірки – 16).

7. Наукові результати, отримані у роботі, дозволили:

- розробити нову методику та програмне забезпечення для синтезу АСК ТК ВК відповідно до вимог господарств за результатами аналізу технологічної схеми та вибраного обладнання ТК, методику оцінки часу спрацювання виконавчих елементів та датчиків;
- отримати імітаційні моделі роботи технологічного обладнання та виробництва комбікорму з використанням ОТК на основі функціональних мереж Петрі та формалізувати правила складання мережних моделей технологічного процесу;
- забезпечити гнучкість та універсальність алгоритму оцінки поточних даних часу спрацювань виконавчих елементів та датчиків, застосувати математичний апарат гармонійного аналізу для визначення аварійних режимів роботи ділянок

ОТК або таких, що потребують уваги оператора (при виробничих випробуваннях кількість аварій знижена на 7,7%);

– удосконалити математичне та інформаційне забезпечення АСК ТК на основі мережних моделей ТП ВК на проектованому ОТК.

8. Господарські випробування проведені на ТОВ «Агропромислова компанія» м. Мелітополя Запорізької області підтвердили ефективність застосування розроблених методик у складі існуючих АСК у формі методики оцінки часових діаграм, таблиць еталонного часу роботи елементів ТК та наочної інформації. Проектований економічний ефект за цінами 2010 року складає 92 тис. грн. за рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Тютченко Ю. М.* Ресурсозбереження у технологіях кормоприготування і годівлі свиней – головний фактор покращення конкурентоспроможності вітчизняного свиначства [Текст]/ *Ю. М. Тютченко* // Ефективне тваринництво. – 2011. – №1. – С. 4-6.
2. Україна у цифрах – 2010. Статистичний збірник [Текст] / Держ. ком. статистики України ; ред. *О. Г. Осауленка*. – К.: Держаналітінформ, 2011 р. – 252с.
3. Сільське господарство України за 2008 рік. Статистичний збірник [Текст]/ Держ. ком. статистики України ; ред. *Ю. М. Остапчук*. – К.: Держаналітінформ, 2009 р. – 370 с.
4. Сільське господарство України за 2009 рік. Статистичний збірник / Держ. ком. статистики України ; ред. *Ю. М. Остапчук*. – К.: Держаналітінформ, 2010 р. – 376 с.
5. *Кандиба В. М.* Стан і пріоритетні напрямки розвитку науки про нормовану годівлю сільськогосподарських тварин в Україні / *В. М. Кандиба* // Ефективні корми та годівля. – 2010. – №8. – С. 8-11.
6. Статистичний щорічник України за 2009 рік. Статистичний збірник / Держ. ком. статистики України ; ред. *О. Г. Осауленка*. – К.: Держаналітінформ, 2010 р. – 567 с.
7. Концепція комплексної державної програми реформ та розвитку сільського господарства України (проект) [Електронний ресурс] / Міністерство аграрної політики та продовольства України. 2010. – 196с. – Режим доступу: <http://minagro.gov.ua/files/00010461/Konceptiy.doc>
8. Комплексна державна програма енергозбереження України [Електронний ресурс] / КМУ [постанова від 5.02.1997 №148]. 1997. – 201 с. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc>
9. Державна цільова програма розвитку українського села на період до 2015 року [Електронний ресурс] / Міністерство аграрної політики та продовольст-



ва України [затверджено 19.09.2007 постановою КМУ №1158], 2010. – 196с. – Режим доступу: <http://minagro.gov.ua/files/00010461/Концерсіу.doc>

10. Пріоритетні завдання аграрної науки України [Електронний ресурс] / [Зубець М.В., Ситник В.П., Безуглий М.Д. та ін.]. – К.: ННЦ "Інститут аграрної економіки", 2008. – 32с. – Режим доступу: [http://www.uaan.gov.ua/files/prioritet\\_2008.pdf](http://www.uaan.gov.ua/files/prioritet_2008.pdf).

11. Концепція наукового забезпечення установами УААН розвитку галузей агропромислового комплексу України в 2011-2015 роках [Електронний ресурс] / УААН [затверджено загальними зборами УААН 17.12.2009], 2009. – 24 с. – Режим доступу: <http://www.uaan.gov.ua/files/koncept.doc>.

12. *Діордієв В. Т.* Енергозбереження на етапі складання рецептів комбікормів [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь ТДАТА, 2007. – Вип. 7, Том 1. – С 26-33.

13. *Діордієв В. Т.* Використання програмних комплексів оптимізації рецептів комбікормів та заходів з підготовки компонентів для подрібнення [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – Вип. 8, Том 1. – С. 23 – 30.

14. *Діордієв В. Т.* Синтез та формалізація технологічних схем приготування комбікормів на малогабаритних комбікормових установках [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – Вип. 8, Том 5. – С. 26-36.

15. Пат. №30697 Україна. МПК<sup>6</sup> B02B1/00. Пристрій для обробки зерна ультразвуком у потоці / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* / Заявник та власник патенту Таврійський державний агротехнологічний університет. – №u200711839 заявл. 26.10.2007; опубл. 11.03.2008. бюл. № 5/2008.

16. *Диордиев В. Т.* Особенности малогабаритных комбикормовых установок как системотехнических комплексов [Электронный ресурс] / *В. Т. Диордиев, А. А. Кашкарёв* // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 1, Том 1. – Режим доступу до публікації: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau/2011\\_1](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau/2011_1).

17. *Діордієв В. Т.* Функціональність АСК технологічним комплексом виробництва комбікормів [Електронний ресурс] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 1, т. 2. – Режим доступу до публікації: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau/2011\\_2](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau/2011_2).

18. *Діордієв В. Т.* Засоби моделювання технологічних комплексів виробництва комбікормів малої продуктивності [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, Том 8. – С. 51-58. – Режим доступу до публікації: [http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Ptdau/2010\\_10\\_8](http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ptdau/2010_10_8).

19. *Діордієв В. Т.* Теоретические аспекты математического описания процесса производства комбикормов [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 87. – С 45-49. – Режим доступу до публікації: [http://www.nbu.gov.ua/portal/Natural/Vkhdtusg/2009\\_87/zmist.htm](http://www.nbu.gov.ua/portal/Natural/Vkhdtusg/2009_87/zmist.htm).

20. *Діордієв В. Т.* Методика експериментальних досліджень АСУ комплексом виробництва комбікормів [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, Том 9. – С. 187-193. – Режим доступу до публікації: [http://nbu.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Ptdau/2010\\_10\\_9](http://nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ptdau/2010_10_9)

21. *Кашкарьов А. О.* Аналіз випадкових процесів за допомогою швидкого перетворення Фур'є [Текст] / *А. О. Кашкарьов, О. М. Терентьєв* // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, Том 10. – С. 158-162. – Режим доступу до публікації: [http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Ptdau/2010\\_10\\_10](http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ptdau/2010_10_10).

22. *Діордієв В. Т.* Автоматизація електротехнологічного комплексу виробництва комбікорму в умовах господарств [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету – 2010. – №2. – С. 169-173. – Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Vddau](http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/Vddau)

23. *Діордієв В. Т.* Таймінг датчиків технологічного комплексу виробництва комбікорму як сервісна функція автоматизованої системи управління на базі мереж Петрі [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // „Проблеми сучасної електротехніки-2010”: Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, ПСЕ-2010, К.: НАН України, 31 травня – 4 червня 2010 р. – Частина 2. – С. 169-173. – Режим доступу до публікації: [http://fel.kpi.ua/ppedisc/doc/s5/5\\_8.pdf](http://fel.kpi.ua/ppedisc/doc/s5/5_8.pdf).

24. *Діордієв В. Т.* Ідентифікація режиму роботи елементів технологічних комплексів виробництва комбікормів [Електронний ресурс] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 1, Том 1. – Режим доступу до публікації: [http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/nvtdau/2011\\_1](http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/nvtdau/2011_1)

25. *Діордієв В. Т.* Використання мереж Петрі для моделювання технологічного процесу приготування комбікормів [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – №12., Т2. – С. 55 – 61.

26. *Діордієв В. Т.* АСК технологічними комплексами виробництва комбікормів у контексті наскрізного алгоритму керування виробництвом [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 117. – С. 125-128.

27. Пат. №54511 Україна. МПК<sup>9</sup> А23N 17/00, G06Q 10/00 . Спосіб автоматизованого керування технологічним процесом виробництва комбікорму [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* / Заявник та власник патенту Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201006332; заявл. 25.05.2010; опубл. 10.11.2010, бюл. № 21/2010.

28. А.с. 36841 України Комп'ютерна програма "MiniAPCSCombi" [Текст] / *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* / Заявник та власник Таврійський державний агротехнологічний університет. – № 37087; заявл. 08.12.2010; опубл. 08.02.2011.

29. *Кашкарьов А. О.* Спосіб моніторингу та діагностування організаційно-технічних комплексів виробництва комбікормів [Текст]/ *А. О. Кашкарьов* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 130. – С. 47-49.
30. *Зупер А. Ф.* Растительные корма. Производство и применение [Текст]/ *А. Ф. Зупер*. – М.: АСТ; Донецк: Сталкер, – 2005. – 219 с.
31. *Зінченко О. І.* Кормовиробництво: Навчальне видання [Текст]/ *О. І. Зінченко*. – 2-е вид., доп. і перероб. – К.: Вища освіта, 2005. – 448 с.
32. *Діордієв В. Т.* Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК: Навчальний посібник/ *В. Т. Діордієв* // М-во освіти і науки України. – Сімферополь: ДОЛЯ, 2004. – 138 с.
33. *Кулик М. Ф.* Раціональне використання зерна у годівлі сільськогосподарських тварин [Текст]/ *Кулик М. Ф., Бабійчук М. В., Хіміч В. В.* – К.: Урожай, 1988. – 86 с.
34. *Мельников С. В.* Механизация и автоматизация животноводческих ферм [Текст]/ *С. В. Мельников* – Л.: Колос, 1976. – 560 с.
35. *Ревенко І. І.* Умови ефективного використання кормових ресурсів [Текст]/ *І. І. Ревенко, Ю. І. Ревенко* // Пропозиція, 2000. – №6. – С.100-103.
36. Подготовка кормов к скармливанню [Електронний ресурс]/ *Родионов Г. В.*/ По матеріалам "Справочника бригадира молочной фермы", 2000, С. 115-116. – Режим доступу: <http://www.dnsgb.kiev.ua>. – Заголовок с екрана.
37. Справочник по кормам и кормовым добавкам [Текст]/ *Г. А.Богданов, А. И.Зверев, Л. С.Прокопенко, О. Е. Привалов*. – К.: Урожай, 1984. – 248 с.
38. *Кашкарьов А. О.* Про ефективність складання рецептів комбікормів [Текст]/ *А. О. Кашкарьов* // Вісник степу. Науковий збірник. – Кіровоград: Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН, 2007. – Вип. 4. – С. 123-126.
39. *Диордиев В. Т.* Оптимизация рецептов комбикормов – путь повышения эффективности использования фермерских комбикормовых установок [Текст]/

*В. Т. Диордиев, А. Г. Сабо, Р. Н. Диордиева* // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь ТДАТА, 2005. – Вип. 31. – С. 19-23.

40. *Панин И. Г.* Технологические аспекты оптимизации рецептов комбикормов с гарантируемой питательностью [Текст]/ *И. Г. Панин* // Хранение и переработка зерна. – 2008. – №7 – С. 37 -42.

41. *Егоров Б. В.* Эволюция комбикормовых технологических систем [Текст]/ *Б. В. Егоров* // Хранение и переработка зерна, – №7, – 2008. – С. 33-42.

42. Исследование процесса измельчения ИК-обработанного зерна пшеницы [Текст]/ *Л. Н. Крикунова, О. С. Стребкова, М. М. Гернет* // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 5. – С. 34-36.

43. *Изотова А. И.* О влиянии СВЧ-обработки на качество некоторых кормовых продуктов [Текст]/ *А. И. Изотова, Л. Э. Шварц* // Зерновое хозяйство. – 2003. – №4. – С. 23-25.

44. *Зверев С.* Аппарат для "взрыва" зерна [Текст]/ *С. Зверев, В. Михайлов, И. Дадаян* // Комбикорма. – 2003. – №4. – С. 22.

45. *Афанасьев В. А.* Специальная обработка зерна и комбикормов [Электронный ресурс]/ *В. А. Афанасьев, Н. М. Сухарева.* // Кролиководство и свиноводство. – №4. – 2002. – Режим доступа: <http://www.sarkrolik.ru/biblioteka.php?mode=bib&id=38> – Заголовок с экрана.

46. Новый способ повышения питательной ценности корма и обеззараживания зернового сырья: ИК – обработка при производстве комбикормов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.pcstart.ru/article/mixed\\_food.html](http://www.pcstart.ru/article/mixed_food.html) – Заголовок с экрана.

47. *Ревенко Ю. І.* Удосконалення технологічного процесу і агрегату для приготування комбикормів в умовах господарств: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. «машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва»/ *Ю. І. Ревенко.* – Київ, 2007. – 24 с.

48. *Григорьев А. М.* Винтовые конвейеры [Текст]/ *А. М. Григорьев.* – М.: Машиностроение, 1972. – 184с.

49. *Діордієв В. Т.* Спосіб визначення витрати компоненту комбікорму під час експлуатації елементів технологічної лінії [Текст]/ *В. Т. Діордієв, А. О. Кашкарьов* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 87 – С 50-53.

50. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 4-х томах. Т.1. Изд. 2-е перераб. И доп. /Под ред. *М. И. Клецкина*. – М.: Машиностроение. – 1967. – 730 с.

51. *Зимнович И. А.* Совершенствование кормовой базы для интенсивного производства молока [Текст]/ *И. А. Зимнович* // Достижения науки и техники АПК, 1990. – № 2. – С. 11-13.

52. *Лазаревич А. П.* Эффективная система кормления животных с элементами технологического обеспечения в экстремальных условиях производства [Текст]/ *А. П. Лазаревич, А. А. Лазаревич*. – К.: Аграрная наука, 2004. – 192 с.

53. *Малаев М. Д.* Обоснование двухстадийного измельчения зерна [Текст]/ *М. Д. Малаев* // Труды Челябинского ин-та мех. и электриф. с. х. (Мех. произв. процессов в жив-ве), 1981. – Вып. 161. – С. 34-37.

54. *Пилипенко А. Н.* Механизация переработки и приготовления кормов в личных подсобных хозяйствах [Текст]/ *А. Н. Пилипенко, А. В. Тимановский* – М.: Росагропромиздат, 1989. – 144 с.

55. *Сторожук Л. О.* З історії розвитку в Україні техніки для переробки зернового корму в індивідуальних підсобних господарствах [Електронний ресурс]/ *Л. О. Сторожук* // Історія науки і біографістика. – 2007. – Вип.1. – Режим доступу: <http://www.dnsgb.kiev.ua>. – Заголовок з екрану.

56. *Сторожук Л. О.* Еволюція створення машин з переробки зерна на корм в Україні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 07.00.07 «Історія науки і техніки»/ *Л. О. Сторожук*. – Київ, 2007. – 24 с.

57. *Селезнев А. Д.* Экологические и энергосберегающие технологии производства комбикормов в хозяйствах [Текст]/ *А.Д. Селезнев, В.Н. Дашков, В.Н. Савиных* // Хранение и переработка зерна – 2008. – №6 – С. 46-48.

58. *Храмцова Н. П.* Обоснование параметра малогабаритного комбикормового агрегата: дис. ... кандидата техн. наук: 05.20.01 / *Храмцова Наталья Павловна.* – Новосибирск., 2004. – 160 с.

59. *Пилипенко О. М.* Ресурсозбережні варіанти виробництва комбікормів [Текст]/ *О. М. Пилипенко, Ю. І. Ревенко, С. М. Чібіс*// Механізація сільськогосподарського виробництва. Збірник наукових праць НАУ. – К.: Видавництво НАУ, 2000. – Т. 8. – С. 274-281.

60. *Демский А. Б.* Оборудование для дробления и измельчения компонентов комбикормов [Текст]/ *А. Б. Демский, В. Ф. Веденьев* // Совершенствование комбикормового оборудования промышленных предприятий. – М.: Колос, 1982. – С. 21-37.

61. *Кулаковский И. В.* Машины и оборудование для приготовления кормов [Текст]/ *И. В. Кулаковский, Ф. С. Кирпичников, Е. И. Резник*– М.: Машиностроение, 1989. – ч. 2. – 286 с.

62. Мінікомбікормова установка МКУ-0,5; МКУ-1. Технічні умови ТУ У 29.3-00238167.018-2004. – Архів Новоград-Волинського з-ду сільгоспмашин. – Ф.7. – Оп. 5. – Арк. 113-126.

63. Обладнання виробництва комбікормів ОВК-2 “Комбі”. Технічні умови ТУ У 29.3-00238167.009-2003. – Архів Новоград-Волинського з-ду сільгоспмашин. – Ф.7. – Оп. 5. – Арк. 211-226.

64. Оборудование для переработки с/х продукции ООО "Гарант-Агро" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garantagro.com/content/1>

65. *Погорілий Л. А.* Малогабаритні комбікормові агрегати за рубежом [Текст]/ *Л. А. Погорілий, В. Х. Ясенцький* // Техніка АПК. – 1997. – №4. – С. 6-7.

66. *Ревенко І. І.* Принципи розробки та вибору кормоприготувальних машин для малих ферм [Текст]/ *Ревенко І. І., Потапова С. Є., Ревенко Ю. І.*// Техніка АПК. – 1999. – №3. – С. 26-27.

67. Установка для приготування комбікормів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.cmc-agro.com/Product/product\\_9\\_3\\_ua.html](http://www.cmc-agro.com/Product/product_9_3_ua.html)

68. Установка малогабаритная комбикормовая УМК-Ф-2 [Текст]/ [Зацепин В. Г., Гдазун В. Ф., Коцар М. В. и др.; ред.. В. И. Сидорова]. – М.: Инфоагротех, – 1990. – 48 с.

69. Сыроватка В. И. Перспективы производства комбикормов в хозяйствах [Текст]/ В. И. Сыроватка, А. С. Комарчук // Техника в сельском хозяйстве. – 2001. – №6. – С. 3-6.

70. Сторожук Л. О. До створення музейної експозиції подрібнювачів фуражного зерна [Текст] / Сторожук Л. О., Мудрук О. С., Пилипенко О. М.// Український технічний музей: історія, досвід, перспективи: Матеріали VI Всеукр. наук.-практ. конф. Коростень, 16-19 травня 2007 р. – К., 2007. – С. 80-82.

71. Червінський Л. С. Розвиток техніки для переробки зернового корму в індивідуальних підсобних господарствах в Україні [Текст]/ Червінський Л. С., Сторожук Л. О. // Наук. вісник НАУ. – К., 2007. – № 115. – С.112-117.

72. Блок-модуль комбикормовий автоматизований БМКА-1. Акт прийомки від 17.05.1995 р. – Архів Новоград-Волинського з-ду сільгоспмашин. – Ф.5. – Оп. 9. – Арк. 11.

73. Згуровський М. З. Основи системного аналізу [Текст]/ М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: Видавнича група ВНУ, 2007. – 544 с.

74. Автоматизовані системи керування технологічними процесами [Текст]/ Фурман І. О., Краснобаєв В. А., Рожков П. П., Тимчук С. О., Радченко С. С. / За ред.. І.О. Фурмана: Підручник для ВНЗ. – Харків: Факт, 2006. – 317 с.

75. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов: учебник [Текст]/ И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М.: Колос, 2003. – 344 с.

76. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник [Текст]/ Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є., Ковальов В. О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.

77. Чаусов С. В. Обґрунтування енергозберігаючих режимів роботи силового електрообладнання малогабаритних комбикормових агрегатів. – автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.16 «Електротехнології та



електрообладнання в агропромисловому комплексі» / С. В. Чаусов. – Мелітополь, 2003. – 28 с.

78. *Терещено М. А.* Управління конкурентними перевагами підприємства на ринку комбікормової продукції: дис. ... кандидата ек. наук: 08.00.04 / *Терещенко Максим Анатолійович.* – Мелітополь., 2007. – 188 с.

79. Патент України № 58596, А23L 3/30. Способ измельчения зерна молотковой дробилкой и установка для его осуществления / *И. И. Ревенко, С. И. Козупиця.*; заявитель и правообладатель Национальный аграрный университет – № 2000127169. Заявл. 13.12.2000. Опубл. 17.06.2002, Бюл. №6.

80. *Головин В. В.* Совершенствование бункерного устройства для хранения и выпуска готовых комбикормов и их компонентов в условиях хозяйств: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / *В. В. Головин.* – Оренбург, 2007. – 20 с.

81. *Егоров Б. В.* Комбикормовый комплект-завод на модульной основе [Текст] / *Б. В. Егоров* // Механизация и электрификация сельского хозяйства – 1990. – №4 – С. 28-29.

82. *Діордієв В.Т.* Синтез і аналіз узагальненої структури малогабаритної комбікормової установки [Текст] / *В. Т. Діордієв* // Праці Таврійської державної агротехнологічної академії. Мелітополь: ТДАТА, – 2001. – Вип. 1, Т. 18 – С. 14-19.

83. Слепцов А. И. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких производств [Текст] / [А. И. Слепцов, А. А. Юрасов]; Под ред. Б.Н. Малиновского. – К.: Техніка, 1986. – 110 с.

84. Автоматизированная система управления технологическим процессом [Текст] / *Н. П. Волчуков, А. В. Зубенко, В. Я. Корнейчук* // Энергетика и электрификация. – 2001. – №12 – С. 43-49.

85. *Глухов Ф. В.* Сравнение SCADA-систем по соотношению «цена/качество» / *Ф. В. Глухов* [Электронный ресурс]. – Режим доступа к публикации: [http://www.adastra.ru/reports/expo10/gluhov-SCADA\\_comparation\\_.htm](http://www.adastra.ru/reports/expo10/gluhov-SCADA_comparation_.htm)

86. Механизация приготовления кормов [Текст]/ [Сыроватка А. В., Демин А. Х. Джаликов и др.]; Под общей редакцией В. И. Сыроватка. – М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.

87. *Кашкарьов А.О.* Основні положення автоматизованого проектування малогабаритних комбикормових установок та систем керування ними/ *А.О. Кашкарьов* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Вип. 73 . – Том 2.– С. 64-66.

88. *Гируцкий И. И.* Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для откорма свиней: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / И. И. Гируцкий. – Москва, 2008. – 32 с.

89. *Банди Б.* Методы оптимизации. Вводный курс [Текст]/ *Б. Банди.* Пер. с англ. О.В. Шихеевой. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.

90. *Лазарев В. Г.* Построение программируемых управляющих устройств [Текст]/ *В. Г. Лазарев, Е. И. Пийль, Е. Н. Турута.* – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 192 с.

91. *Деменков Н. П.* К вопросу о сравнительном анализе и тенденциях развития SCADA-систем [Электронный ресурс]/ *Н. П. Деменков.* – Режим доступа: [www.adastra.ru/reports/expo9/Demenkov-SCADA\\_trends\\_and\\_benchmarks.htm](http://www.adastra.ru/reports/expo9/Demenkov-SCADA_trends_and_benchmarks.htm).

92. *Лысогор В. Г.* Автоматизация – не роскошь, а необходимый компонент успеха современного производства [Текст]/ *В. Г. Лысогор, Ю. Я. Скидан* // Хранение и переработка зерна, №2. – 2001. – С. 61 – 65. Режим доступа: <http://www.apk-inform.ru/showart.php?id=10772> – Заголовок с экрана.

93. *Савушкин А.* Необходимость в автоматизации предприятия и ее уровень зависит от готовности самого предприятия к использованию новых принципов управления [Текст]/ *Артем Савушкин* // Деньги и технологии. – 2004. – Август – сентябрь. – С. 17 – 20.

94. *Тараненко Л.* Деятельность под контроллером [Текст]/ *Леонид Тараненко* // Деньги и технологии. – 2003. – Октябрь. – С. 24-27.

95. *Авраменко И. А.* Автоматизация – инструмент повышения рентабельности [Текст]/ *И. А. Авраменко* // Хранение и переработка зерна. – 2010. – №9 – С. 23-25.
96. *Дидух М. С.* Модернизация линий дозирования [Текст]/ *Дидух М. С., Скидан Ю. А., Данилюк В. С.* // Хранение и переработка зерна. – 2003. – №2 – С. 49-50.
97. *Зелинский С.* Цифровой мир производства [Текст]/ *Сергей Зелинский* // Деньги и технологии. – 2003. – Апрель – С. 25-29
98. *Кондаков В.* Автоматизация по-малому [Электронный ресурс]// Компьютерра-ONLINE. – 8 октября. – 2002. Режим доступа: <http://www.computerra.ru/softterra/util/20773/> – Заголовок с экрана.
99. *Скворцов Д.* «Пряники» для станков [Текст]/ *Д. Скворцов, А. Якименко* // Деньги и технологии. Август – сентябрь. – 2004. – С. 30-32
100. *Бобков С. П.* Моделирование систем: учеб пособие [Текст] / *С. П. Бобков, Д. О. Бытев.* – Иваново, 2008. – 156 с.
101. *Нікольський Ю. В.* Дискретна математика [Текст]/ *Ю. В. Нікольський, В. В. Пасічник, Ю. М. Щербина.* – К.: Видавнича група ВНУ, 2007. – 368с.
102. *Мусин А. М.* Компьютерный анализ и синтез систем управления сельскохозяйственными объектами [Текст]/ *А. М. Мусин, А. А. Ерков*// Техника в сельском хозяйстве. – 1998. – №2. – С. 15-19.
103. *Лескин А. А.* Сети Петри в моделировании и управлении [Текст]/ *Лескин А. А., Мальцев П. А., Спиридонов А. М.* – Л.: «Наука», 1989. – 135 с.
104. *Мартыненко И. И.* Проектирование систем автоматики: учебное пособие [Текст]/ *И. И. Мартыненко, В. Ф. Лысенко.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, – 1990. – 243 с.
105. *Мищенко З. В.* Statistics Toolbox [Электронный ресурс]/ *З. В. Мищенко,* – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/statist/index.php>.
106. *Черных И. В.* Simulink: Инструмент моделирования динамических систем [Электронный ресурс]/ *И. В. Черных,* – Режим доступа к публикации: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/index.php>.
107. *Соколов В. А.* Автоматизация технологических процессов пищевой промышленности [Текст]/ *В. А. Соколов.* – М.: Агропромиздат, 1991. – 445 с.

108. *Пискунов Н. С.* Дифференциальные и интегральные исчисления для вузов. Учебное пособие для вузов. Том 2 [Текст]/ *Н. С. Пискунов.* – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1976. – 576 с.

109. *Бесекерский В. А.* Теория систем автоматического управления [Текст]/ *В. А. Бесекерский, Е. П. Попов.* – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб, Изд-во "Профессия", 2003. – 752 с.

110. *Олссон Густав.* Цифровые системы автоматизации и управления [Текст]/ *Густав Олссон, Джангуидо Пиани.* – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.

111. *Сергиенко А. Б.* Цифровая обработка сигналов [Текст]/ *А. Б. Сергиенко.* – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.

112. *Диордиев В. Т.* Основные факторы системотехнического и программно-целевого подходов к организации оптимального управления кормопроизводством [Текст] / *В. Т. Диордиев* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – В. 10, Т.10. – С. 14-21. – Режим доступу: [nbuv.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Ptdau/2010\\_10\\_10](http://nbuv.gov.ua/portal/Chem_Biol/Ptdau/2010_10_10).

113. *Котов В. Е.* Сети Петри [Текст]/ *В. Е. Котов.* – М.: Наука, 1984. – 160 с.

114. *Vedran K.* Petri Net. Theory and application [Текст]/ *Vedran Kordic.* – I-Tech Education and Publishing, 2008. – 544 p.

115. Software and Systems Engineering – High-Level Petri Nets – Transfer format (ISO/IEC 15909-2) [Текст], – University of Paderborn, 2005, – June 23– p. 54 ().

116. *Кузьмук В. В.* Класифікація мереж Петрі та приклади їх застосування для розв'язання прикладних задач [Електронний ресурс] / *В. В. Кузьмук, А. М. Парнюк, О. А. Супруненко* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011, – №2/9 – С. 40-43. – Режим доступа : <http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Vejpt>

117. *Зайцев Д. А.* Математические модели дискретных систем: Учебное пособие [Текст]/ *Д. А. Зайцев* // Одесса: ОНАС им. А.С.Попова, 2004, 40с

118. *Стеценко И. В.* Теоретические основы Петри-объектного моделирования систем [Електронний ресурс]/ *И. В. Стеценко* // Математичні машини і сис-

теми. – 2011, № 4. – С. 136-148. – Режим доступа:

[www.nbuu.gov.ua/portal/natural/MMS](http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/MMS)

119. *Зайцев Д. А.* Декомпозиция сетей Петри [Электронный ресурс]/ *Д. А. Зайцев* // Кибернетика и системный анализ, №5, 2004, с. 131-140. – Режим доступа: <http://daze.ho.ua/papersr.htm>

120. Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах [Текст] / [*Горюшинский И. В., Кононов И. И., Денисов В. В.* и др.]; под ред. *И. В. Горюшинского*. – Самара: СамГАПС, 2003. – 232 с.

121. *Алферов К. В.* Бункерные установки. Проектирование, расчет и эксплуатация [Текст] / *К. В. Алферов, Р. Л. Зенков*. М.: Машиностроение, 1955. – 308 с.

122. *Зенков Р. Л.* Бункерные устройства [Текст]/ *Р. Л. Зенков, Г. П. Гриневич, В. С. Исаев*. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.

123. *Гуляев Г. А.* Автоматизация процессов послеуборочной обработки и хранения зерна [Текст]/ *Г. А. Гуляев*. – М.: Агропромиздат. 1990. – 240 с.

124. *Опря А. Т.* Математична статистика [Текст]/ *А. Т. Опря*. – К.: Урожай, 1994 – 208 с.

125. *Митропольский А. К.* Техника статистических вычислений [Текст]/ *А. К. Митропольский*. – М.: Физматгиз, 1961. – 480 с.

126. *Третьяк Л. Н.* Обработка результатов наблюдений: Учебное пособие [Текст]/ *Л.Н. Третьяк*. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 171 с.

127. *Фоменков А. П.* Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий [Текст]/ *А. П. Фоменков*. – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Колос, 1984. – 288 с.

128. *Харви Дейтел.* Как программировать на С++ [Текст]/ *Харви Дейтел, Пол Дейтел*. – Бином-Пресс, 2008. — 1024 с.

129. АСУ ТП производства комбикормов на базе контроллера Fastwel RTU188-BS [Электронный ресурс] / *Виктор Букреев, Николай Гусев, Михаил Нечаев, Иван Краснов, Руслан Гурьев, Сергей Кремис* // СТА. - 2006. – №1. – С. 74 – 79. – Режим доступа до журн.: <http://www.cta.ru/Issues/299297.htm>.

130. *Скидан Ю. А.* Автоматизация комбикормовых производств [Электронный ресурс] / *Скидан Ю.А., Лысогор В.Г., Данилюк В.С., Кузнецов А.П.* // АПК-Информ – 2002. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.apk-inform.ru/showart.php?id=6367>
131. *Эмексузьян О.* Как мы совершенствовали производство комбикормов / *О. Эмексузьян* // Комбикорма. – 2003. – №2. – С. 23-24.
132. Algebraic Petri Nets Analyzer. AlPiNA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alpina.unige.ch/>
133. Eindhoven University of Technology. CPN Group. CPN Tools [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cpntools.org> .
134. Time Petri Net Analyzer. TINA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://projects.laas.fr/tina> .
135. *Dr. Hugh Jack* Automating Manufacturing Systems with PLCs [Электронный ресурс] / *Dr. Hugh Jack, P.Eng.* – Version 6.0 (August 11, 2009): Режим доступа: <https://sites.google.com/site/automatedmanufacturingsystems>
136. *Frank Petruzella D.* Programmable logic controllers [Текст] / *Frank D. Petruzella.* – 4th ed. – McGrawHill. 2010 – 414 p.
137. *Karl-Heinz John.* IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems [Электронный ресурс] / *Karl-Heinz John, Michael Tiegelkamp.* – Springer. 2001. – 240 p. – Режим доступа: [http://www.dee.ufrj.br/control\\_automatiko/cursos/IEC61131-3\\_Programming\\_Industrial\\_Automation\\_Systems.pdf](http://www.dee.ufrj.br/control_automatiko/cursos/IEC61131-3_Programming_Industrial_Automation_Systems.pdf)
138. *Parr E.A.* Programmable Controllers: An Engineer's Guide [Текст] / *E.A. Parr.* – 3th ed. – Newnes. 2003 – 442 p.
139. *MengChu Zhou.* Modeling, simulation, and control of flexible manufacturing systems a Petri net approach [Электронный ресурс] / *MengChu Zhou, Kurapati Venkatesh.* – World Scientific Printers. 1999. – 428 p. – Режим доступа : <http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/3376#t=aboutBook>
140. *Зайцев Д.А.* Программы и модели [Электронный ресурс] / *Д.А. Зайцев.* – Режим доступа: <http://daze.ho.ua/softr.htm> .

141. Нагирняк Б. Программа для построения сетей Петри VisualPetri [Электронный ресурс] / Богдан Нагирняк. – Режим доступа: <http://www.binmount.com> .
142. Офіційна сторінка ISaGRAF. ISaGRAF Workbench [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isagraf.com>
143. Офіційна сторінка Schneider Electric. Unity Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)
144. Офіційна сторінка AdAstrA Research Group. TRACE MODE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.adastra.ru>
145. Офіційна сторінка 3S-Smart Software Solutions GmbH. Controller Development System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.codesys.com/>
146. *Бобровский С. И.* Delphi 7. Учебный курс [Текст]/ *С. И. Бобровский* – СПб.: Питер, 2005. – 736 с.
147. *Дарахвелидзе П. Г.* Delphi 2005 для Win32 [Текст]/ *П. Г. Дарахвелидзе, Е. П. Марков.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1136 с.
148. *Скидан Ю. А.* Автоматизация комбикормовых производств [Электронный ресурс]/ *Ю.А. Скидан , Лысогор В.Г., В.С. Данилюк, А.П. Кузнецов*// АПК-Информ – 2002. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.apk-inform.ru/showart.php?id=6367>
149. *Эмексузьян О.* Как мы совершенствовали производство комбикормов / *О. Эмексузьян* // Комбикорма. – 2003. – №2. – С. 23-24.
150. *Андроник М. П.* Техничко-экономические аспекты автоматизации [Текст]/ *М. П. Андроник, В. П. Юрченко, А. В. Просянык* // Хранение и переработка зерна. – 2003. – №2. – С. 51-52.
151. Порядок определения стоимости разработки технической документации на автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) для объектов Москвы и ЛПЗП : МРР 3.2.26-99 [Электронный ресурс]. – [Действие с 1999-05-25]. – М.: Москомархитектура. – 1999. – 41 с. – Режим доступа – <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/482226>

## Додаток 1

### Акти

про проведення експериментальних досліджень та  
упровадження результатів науково-технічної роботи



ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор ТДАТУ

проф. Кюрчев В.М.

«21» грудня 2010 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

ТОВ "Агропромислова компанія"

Зам. директора

Белинський Г.А.

«21» грудня 2010 р.

**АКТ**  
**про проведення експериментальних досліджень**

Ми, що підписалися нижче, начальник комбікормового цеху №2 ЗАТ «Агропромислова компанія» (Запорізька обл., м. Мелітополь) Панасенко В.В., завідуючий кафедрою автоматизації сільськогосподарського виробництва Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ) професор, к.т.н. Діордієв В.Т., та здобувач Кашкар'єв А.О. склали цей акт про те, що на базі комбікормового цеху №2 ТОВ «Агропромислова компанія» були проведені експериментальні дослідження процесу виробництва комбікормів на автоматизованому технологічному комплексі середньої продуктивності. Дослідження виконувались у жовтні 2010 року.

Виконані дослідження дозволять підвищити якість розсипних комбікормів, за рахунок попередження аварійного режиму роботи технологічного обладнання та елементів технологічного комплексу, а саме: транспортне обладнання (шнек, норія, вимірювальні перетворювачі рівня), електрифіковані засувки та шибери.

Економічний ефект може бути отримано за рахунок моніторингу стану технологічного процесу та технологічного комплексу, попередження аварійної ситуації, зменшення часу реагування на несправність обладнання.

Представники ТДАТУ

Керівник НДР:

В.Т. Діордієв

Здобувач:

А.О. Кашкар'єв

Представники ТОВ

«Агропромислова компанія»

Керівник комбікормового цеху №2

В.В. Панасенко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор ТДАТУ

проф. Кюрчев В.М.

«21» грудня 2010 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

ТОВ "Агропромислова компанія"

Зам. директора

Белинський Г.А.

«21» грудня 2010 р.

## АКТ

про упровадження результатів науково-дослідницьких,  
дослідно-конструкторських та технологічних робіт

Ми, що підписалися нижче, представники ТОВ «Агропромислова компанія» (Запорізька обл., м. Мелітополь): Панасенко В.В. – начальник комбікормового цеху №2

(прізвище, ім'я, по батькові, посада)

та представники Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ): Діордієв В.Т. – професор, к.т.н., завідувач кафедри автоматизації сільськогосподарського виробництва; Кашкар'єв А.О. – здобувач

(прізвище, ім'я, по батькові, посада)

цим актом підтверджуємо те, що результати науково-дослідницької роботи ТДАТУ за Програмою 1. "Розробка наукових основ, систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України", Підпрограмою 1.7. "Автоматизація технологічних процесів в АПК", напрямком 1.7.1. "АСУТП малогабаритних комбікормових установок" упроваджено у ТОВ «Агропромислова компанія».

(найменування організації, підприємства, установи)

Вид впроваджених результатів: сервісні функції автоматизованої системи керування технологічним комплексом (ТК) виробництва комбікормів, на основі

(найменування машин, процесу пристрою)

тривалості роботи технологічних машин та часу спрацювання датчиків.

Форма впроваджених результатів: методика оцінки часових діаграм виконавчих механізмів та датчиків, таблиці еталонного часу роботи елементів ТК, наочна інформація.

(методика, метод)

Новизна результатів науково-дослідницької роботи: спрощена методика ідентифікації режиму роботи елементів ТК та стану технологічного процесу.

(принципово нові, якісно нові, модифікації, модернізація старих розробок)

Економічний ефект:

очікуваний: 21 т/рік 2500 грн/рік

фактичний: 0,5 т/місяць 150 грн/місяць

Об'єм впровадження: жовтень – грудень 2010 року

Представники ТДАТУ

Керівник НДР:

В.Т. Діордієв

Здобувач:

А.О. Кашкар'єв

Представники ТОВ

«Агропромислова компанія»

Керівник комбікормового цеху №2

В.В. Панасенко



ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор ТДАТУ,  
проф. Кюрчев В.М.

«2» 02 2010 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ВАТ «Уманьферммаш»  
Ліпкан А.В.

«29» 01 2010 р.

**АКТ****упровадження результатів науково-дослідницьких,  
дослідно-конструкторських та технологічних робіт**

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 р.

Ми, що підписалися нижче, представники Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ): \_\_\_\_\_

Діордієв В.Г. – професор, к.т.н., завідуючий кафедрою автоматизації сільськогосподарського виробництва; Лобода О.І. – інженер;

(прізвище, ім'я, по батькові, посада)

Гомонець О.П. – інженер; Кашкарьов А.О. – здобувач

та представники ВАТ «Уманьферммаш» (Черкаська область, м. Умань)

Ліпкан А.В. – директор

(прізвище, ім'я, по батькові, посада)

С.П. Жорницький – головний інженер; М.М. Гришак – гол. енергетик

В.В. Бакшаєва – головний бухгалтер

склали даний акт про те, що результати науково-дослідницької роботи ТДАТУ за Програмою 1. Розробка наукових основ, систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України, Підпрограмою 1.7. Автоматизація технологічних процесів в АПК, напрямком 1.7.1. АСУТП малогабаритних комбікормових установок,

передані ВАТ «Уманьферммаш» з метою використання їх при розробці нових зразків малогабаритних комбікормових установок та систем керування ними.

(найменування організації, підприємства, установи)

Передано: пакет документів щодо автоматизації електротехнічних комплексів виробництва комбікормів в АПК, методів проектування АСУ технологічним процесом виробництва комбікорму на комплексах малої

(найменування машин, процесу пристрою)

продуктивності; знезараження комбікорму в електромагнітному полі надвисокої частоти (НВЧ); визначення біологічної засіяності компонентів комбікорму за допомогою пристрою газорозрядної візуалізації (ГРВ) .


Від упровадження планується отримати ефект:

Підвищення якості розсипних комбікормів, за рахунок проектування складу МКУ, покращення гранулометричного складу, рівномірності змішування, точності дозування компонентів, знезараження комбікорму в електромагнітному НВЧ полі та ГРВ вимірювання засіяності компонентів комбікорму .

Пропозиції дозволяють підвищити конкурентну спроможність комплексів виробництва комбікормів виробництва ВАТ «Уманьферммаш». Термін окупності додаткових капіталовкладень при очікуваному впровадженні вказаних розробок складе 2-2,5 роки.

Представники ТДАТУ


Керівник НДР:

 В.Т. Діордієв

Здобувачі:

 А.О. Кашкар'юв

 О.І. Лобода

 О.П. Гомонец

Представники ВАТ «Уманьферммаш»

Гол. інженер  С.П. Жорницький

Гол. енергетик  М.М. Гришак

Гол. бухгалтер  В.В. Бакшасва



ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Таврійського державного  
агротехнологічного університету

проф. Кюрчев В.М.

2012 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова правління  
ПрАТ "Сімферопольський ремонтно-  
механічний завод"

Лавренюк М.А.

«10» квітня 2012 р.

**АКТ****упровадження результатів науково-дослідницьких,  
дослідно-конструкторських та технологічних робіт**

«10» квітня 2012 р.

Ми, що підписалися нижче, представники Таврійського державного  
агротехнологічного університету (ТДАТУ):

Діордієв В.Т. – професор, к.т.н., завідуючий кафедрою автоматизації сіль-  
ськогосподарського виробництва; Лобода О.І., Кашкарьов А.О. – інженери  
(прізвище, ім'я, по батькові, посада)

та представники ПрАТ "Сімферопольський ремонтно-механічний завод"  
(м. Сімферополь, АР Крим) Лавренюк М.А. – голова правління;  
(прізвище, ім'я, по батькові, посада)

Козін С.С. – начальник технічного відділу;

Саєнко В.М. – головний інженер

склали даний акт про те, що результати науково-технічної програми №1  
ТДАТУ на 2007-2010 роки (державний реєстраційний номер 0102V000678)  
"Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для забез-  
печення продовольчої безпеки Південного регіону України" (напрямок  
1.7.1. "АСУ ТП малогабаритних комбікормових установок") та проміжні  
результати науково-дослідної роботи "Автоматизація технологічних про-  
цесів виробництва та переробки продукції сільського господарства"  
(№ ДР 0111U002548, 2011-2015 р.),

передані ПрАТ "Сімферопольський ремонтно-механічний завод" з метою  
їх використання при розробці нових зразків технологічних комплексів ви-  
робництва комбікормів та систем керування ними.

(найменування організації, підприємства, установи)

Передано: пакет документів щодо автоматизації технологічних ком-  
плексів виробництва комбікормів за умовами господарств, методів проек-  
тування АСУ технологічним процесом виробництва комбікорму, алгорит-  
ми підвищення інформативності та програмне забезпечення, проект техні-  
чного рішення системи знезараження комбікорму в електромагнітному по-  
лі надвисокої частоти.

(найменування машин, процесу, пристрою)



Від упровадження планується отримати ефект:

- підвищення конкурентоспроможності ПрАТ "Сімферопольський ремонтно-механічний завод" - за рахунок розширення номенклатури продукції та послуг;
- зниження витрат на проєкті роботи: модульна будова технологічного обладнання та їх систем керування дозволяє уніфікувати процедуру узгодження існуючого обладнання замовника з продукцією виробника та інтегруватись до діючої системи керування; упровадження результатів досліджень робить можливим отримання експериментальних даних, з метою виконання наукових досліджень або удосконалення методів проєктування, без зупинки виробництва;
- використання інновацій сприятиме впровадженню сучасних інформаційних технологій, алгоритмів обробки даних у галузі сільського господарства, що позиціонується як прогресивні методи ведення господарства.

Пропозиції до подальшого упровадження результатів роботи:

- орієнтовний ринок збуту охоплює господарства, які використовують застаріле технологічне обладнання і мають системи управління, які обмежують функціональність сучасних засобів автоматизації (облік енергоресурсів та товару, моніторинг стану обладнання, прогнозування роботи підприємства, звітність), а ті господарства, які використовують елементи технологічної лінії закордонного виробництва не завжди у повному обсязі освоюють їх технологічний та сервісний потенціал.
- маркетингова діяльність може реалізовуватись за такими напрямками: обґрунтування удосконалення технологічного процесу; реалізація комп'ютерної моделі автоматизованої системи управління технологічним процесом виробництва комбікорму в умовах господарства; тестування та упровадження алгоритмів оцінки параметрів технологічного обладнання та поточного стану комплексу з виробництва комбікорму; пропозиції щодо апаратної реалізації розробленої моделі (типи контролерів та датчиків, орієнтовна вартість обладнання).

Термін окупності капітальних вкладень залежить від умов економічної діяльності замовника, напрямку використання комбікормів, рівня розвитку виробничого процесу та використання інформації.


Представники ТДАТУ

Керівник ИДР:

 В.Т. Діордієв

Інженери:

 О.І. Лобода

 А.О. Кашкарьов

Представники ПрАТ "Сімферопольський ремонтно-механічний завод"

Начальник технічного відділу

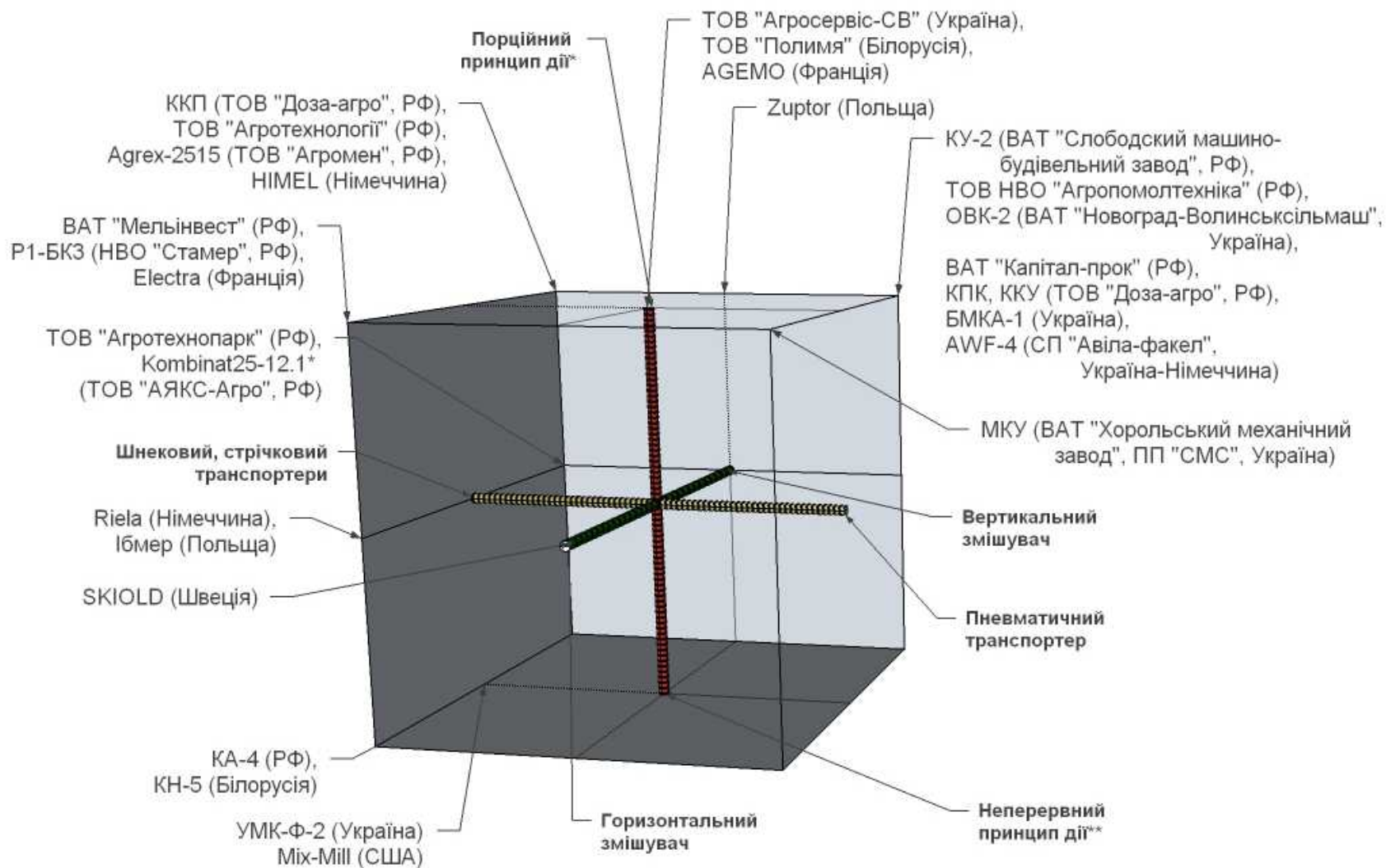
 С.С. Козін

Головний інженер

 В.М. Саєнко

## Додаток 2

Огляд технологічних комплексів для виробництва комбікормів  
в умовах господарств АПК України

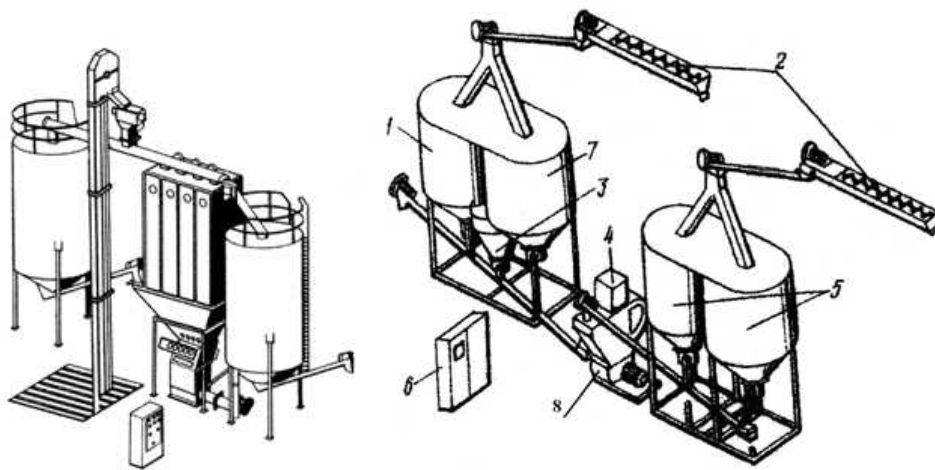


\* – дискретний характер роботи приводного електродвигуна

\*\* – необхідність регулювання роботи дозаторів

Рис. Д.2.1. Класифікація технологічних схем комплексів для виробництва комбікормів в умовах господарств АПК продуктивністю до 5 т/год за основними технологічними елементами та принципом дії

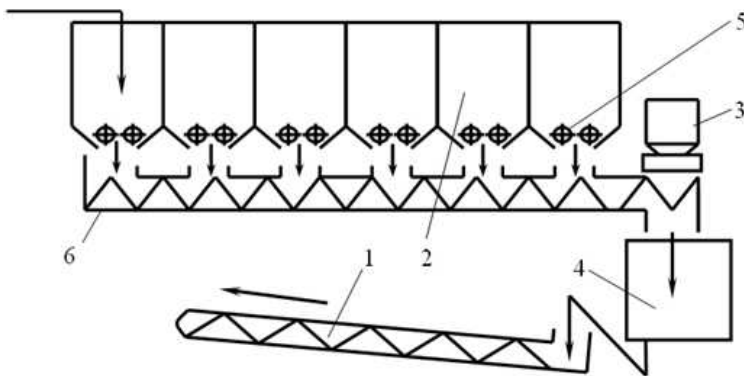




К-Н-5-1:

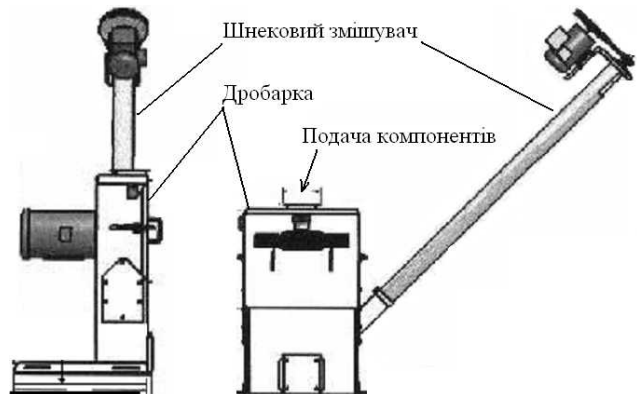
1, 3, 5, 7 – бункери-дозатори компонентів;  
 2 – завантажувальний шнек;  
 4 – змішувач дозатор;  
 6 – шафа керування;  
 8 – дробарка.

УМК-Ф-2



КА-4:

1 – вивантажувач;  
 2 – блок бункерів;  
 3 – дозатор БВД;  
 4 – дробарка;  
 5 – блок дозаторів;  
 6 – шнек-змішувач.



Міх-Мілл<sup>1</sup>: Блок дозування та подрібнення подрібнювач з вивантажувальним транспортером

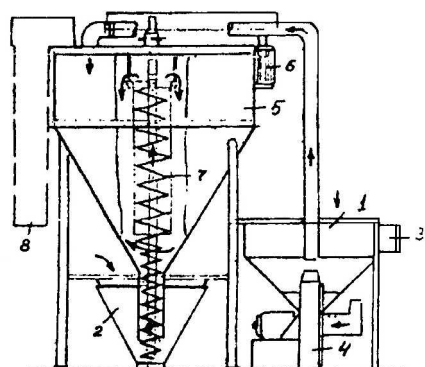
Рис. Д2.2. Технологічні схеми комплексів виробництва комбікормів

з неперервним принципом дії

<sup>1</sup> Sentry hammer mills (A.T. Ferrell Company). [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [www.mix-mill.com/mm\\_f\\_sHammerMills.php](http://www.mix-mill.com/mm_f_sHammerMills.php)

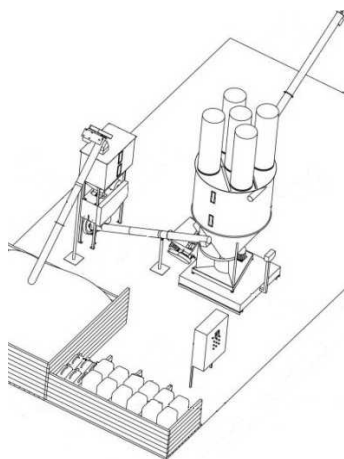
ТОВ НВО "Агромолтехніка"<sup>1</sup>КУ-2<sup>2</sup>:

- 1 – дробарка;
- 2 – змішувач;
- 3 – усмоктувальний трубопровід;
- 4 – сопло;
- 5 – ваги;
- 6 – вивантажувач.

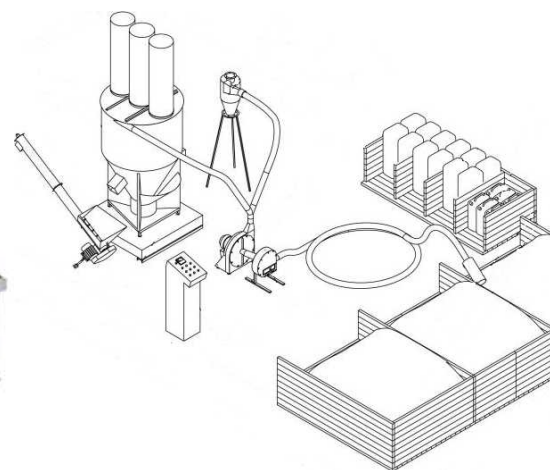
ВАН «Капітал-Прок»<sup>3</sup>

АWF-4:

- 1, 2 – бункери відно для зернових компонентів і бнених добавок;
- 3 – пульт керування;
- 4 – молоткова дробарка;
- 5 – змішувач;
- 6 – електричний привід;
- 7 – вертикальний шнек;
- 8 – фільтрувальний пристрій.

ТОВ «Доза-агро»<sup>4</sup>: ККП\*

КПК



ККУ

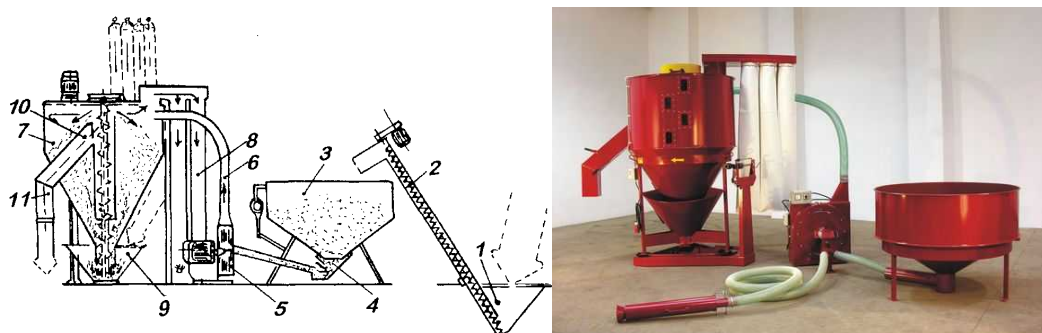
Рис. Д2.3. ОТК на основі пневматичного транспортера та вертикального змішувача(\* – шнековий транспортер).

<sup>1</sup> Офіційна сторінка ТОВ НВО "Агромолтехніка" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://agro.su/catalog/sel\\_technik/linii\\_kombikorm.html](http://agro.su/catalog/sel_technik/linii_kombikorm.html)

<sup>2</sup> Офіційна сторінка ВАН "Слободской машиностроительный завод" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.smsz.ru/products/ku2>

<sup>3</sup> Комбікормові заводи ВАН «Капітал-Прок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [prok.ru/catalog/kombikorm](http://prok.ru/catalog/kombikorm)

<sup>4</sup> Комбікормовые заводы и линии гранулирования. Комплексные решения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dozaagro.ru/technology>



“ZUPTOR”<sup>1</sup>: 1 – приймальний бункер завантажувального шнека; 2 – завантажувальний шнек; 3 – накопичувальний бункер; 4 – дозатор пневматичний; 5 – молоткова дробарка; 6 – пневмотрубопровід; 7 – бункер-змішувач; 8 – уловлювач; 9 – воронька для подрібнених компонентів, 10 – заслінка вивантажувального патрубку; 11 – вивантажувальний патрубок



ОВК-2<sup>2</sup>: 1 – завантажувач; 2 – приймальний бункер; 3 – дозатор; 4 – дробарка; 5 – пневматичний транспортер; 6, 7 – змішувач; 8, 9 – живильник БВД; 10 – вивантажувач



БМКА-1<sup>2</sup>



МКУ – 1<sup>2</sup>

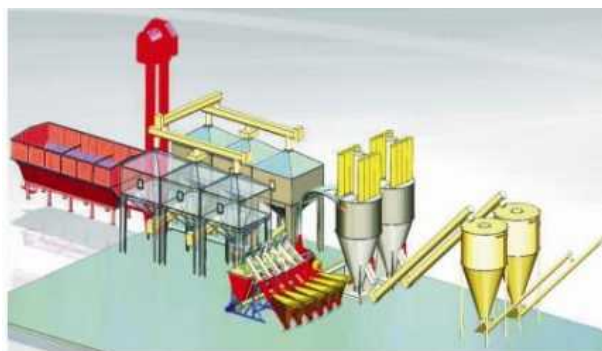
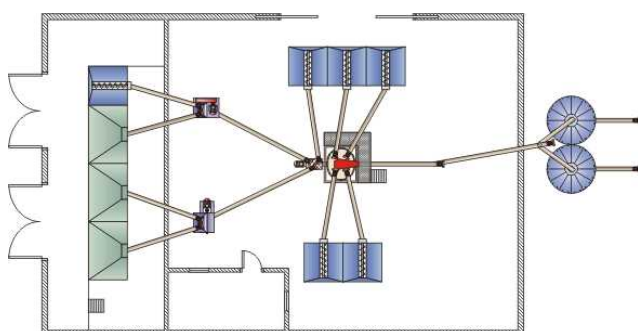
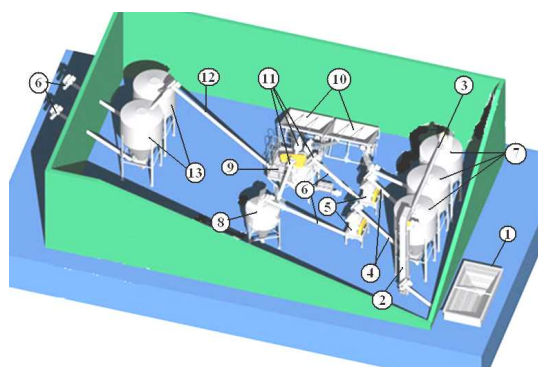
(з ОТК ККП (рис. Д.2.3))

Рис. Д2.4. ОТК ВК з використанням вертикального змішувача

<sup>1</sup> Комбикормовое оборудование Zuptor для малых и средних животноводческих хозяйств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uspeh-eu.com.ua/category/3/10>

<sup>2</sup> Оборудование производства комбикормов ОВК-2. ВАТ "Новоград-Волинськільмаш" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.silmash.net/index.php/produktsiya>



ТОВ «Полимя»<sup>1</sup>Agrex-2515<sup>2</sup>Kombinat 25-15.1<sup>3</sup>HIMEL<sup>4</sup>ТОВ «Агротехнопарк»<sup>5</sup>:ВАТ «Агротехнології»<sup>6</sup>:

1 – завальна яма; 2 – норія; 3 – розподільчий шнек; 4 – шнек живильник; 5 – дробарка; 6 – вивантажувальний шнек; 7 – бункер оперативного запасу компонентів; 8 – бункер основного компоненту; 9 – змішувач; 10 – лотки преміксів та добавок; 11 – дозатор; 12 – вивантажувач; 13 – бункери готової продукції

Рис. Д2.5. Комплексні проектні рішення з вертикальним змішувачем

<sup>1</sup> Заводы ООО "Полимя" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.polymya.ru/catalog/244.html>

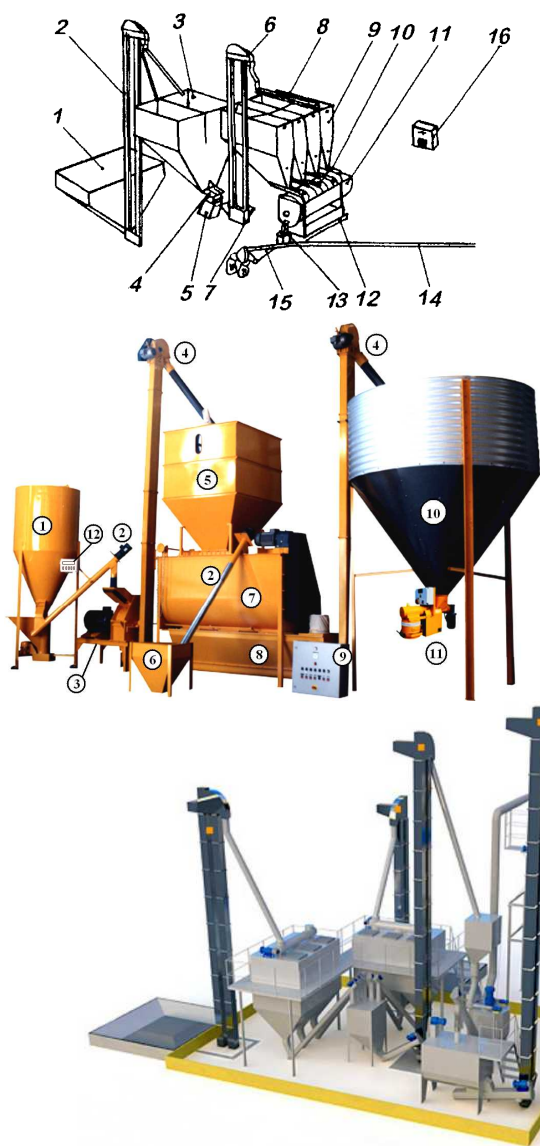
<sup>2</sup> Оборудование для производства комбикормов (AGREX) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.agroman.ru/p\\_equipment.php](http://www.agroman.ru/p_equipment.php)

<sup>3</sup> Каталог техники "АЯКС-АГРО". Установка для производства животноводческих комбикормов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ajax-agro.ru>

<sup>4</sup> Оборудование HIMEL. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.himel.de/ru>.

<sup>5</sup> Комбикормовые заводы ООО "Агротехнопарк" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrotp.ru/foodmills>

<sup>6</sup> Комбикормовые заводы и оборудование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.agrotechnology.ru/produkcija1/kombikormovye\\_chema](http://www.agrotechnology.ru/produkcija1/kombikormovye_chema)



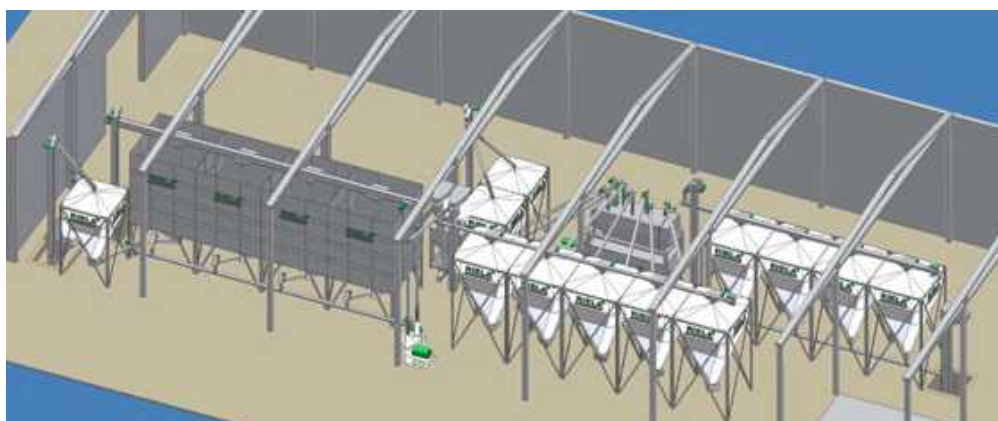
«ІВМЕР»:

1 – приймальний бункер; 2, 6 – норії; 3 – бункер; 4, 13 – шибери; 5 – дробарка, 7 – приймальна головка; 8 – розподільний транспортер; 9 – бункери компонентів; 10 – дозатор; 11 – змішувач; 12 – ваговий пристрій; 14, 15 – вивантажувальний шнек; 16 – пульт керування

ELECTRA<sup>1</sup>:

1 – завантажувальний бункер; 2 – живильник; 3 – дробарка; 4 – норія; 5 – бункер зважування; 6 – подача преміксів та добавок; 7 – змішувач; 8 – вивантажувальний транспортер; 9 – пульт керування; 10 – бункер готової продукції; 11 – фасувальний автомат (опція); 12 – АСК дробаркою.

ВАТ «Мельінвест»<sup>2</sup>



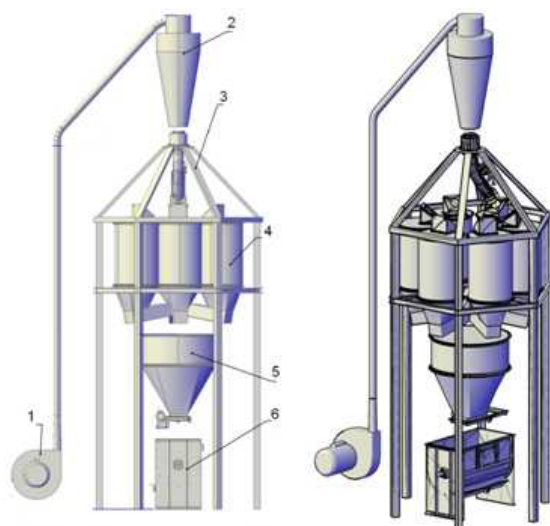
Riela<sup>3</sup>

Рис. Д2.6. Комплексні проектні рішення з використанням горизонтального змішувача, шнекових та стрічкових транспортерів

<sup>1</sup> Les matériels – Fabrique d'aliments "Export". Fabric "Electra" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.electra-elevage.fr/materiels\\_fabrique.php](http://www.electra-elevage.fr/materiels_fabrique.php)

<sup>2</sup> ОАО "Мельинвест". Продукция. Комбикормовые заводы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.melinvest.ru/index.php>

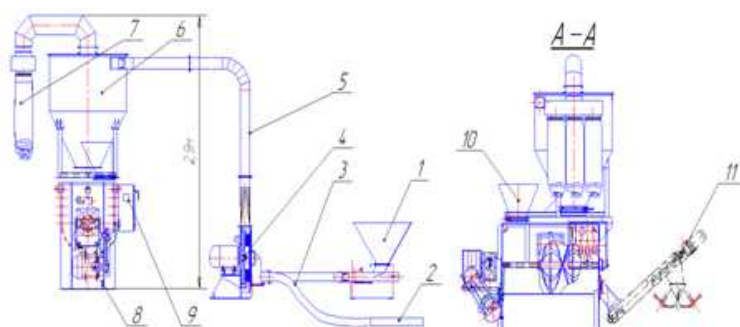
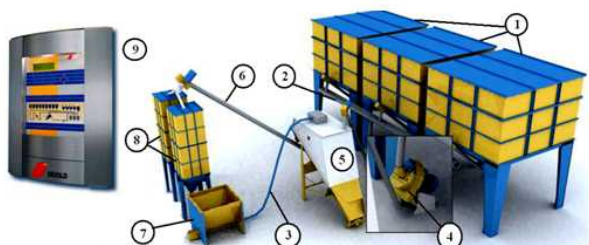
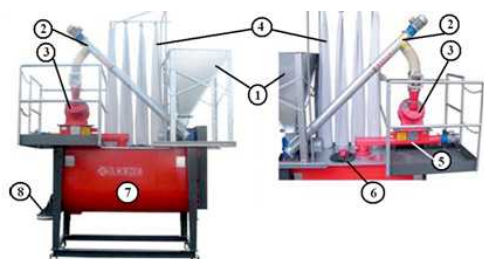
<sup>3</sup> Комбикормовые заводы RIELA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.riela.com.ua/kombicorm.php>



ТОВ «Агросервіс-СВ»: 1 – дробарка; 2 – циклон; 3 – модуль завантаження; 4 – блок дозаторів компонентів; 5 – ваги; 6 – змішувач



P1-BK3.



AGEMO: 1 – завантажувальна воронка; 2 – живильник; 3 – дробарка; 4 – фільтри; 5 – розвантажувач дробарки; 6 – вікно подачі преміксів та добавок; 7 – змішувач; 8 – вивантажувальне вікно

SKIOLD: 1 – бункери вхідних компонентів; 2 – об'ємні дозатори; 3 – шнек; 4 – дробарка; 5 – змішувач; 6 – вивантажувач; 7 – бункер добавок; 8 – бункери готової продукції; 9 – пульт

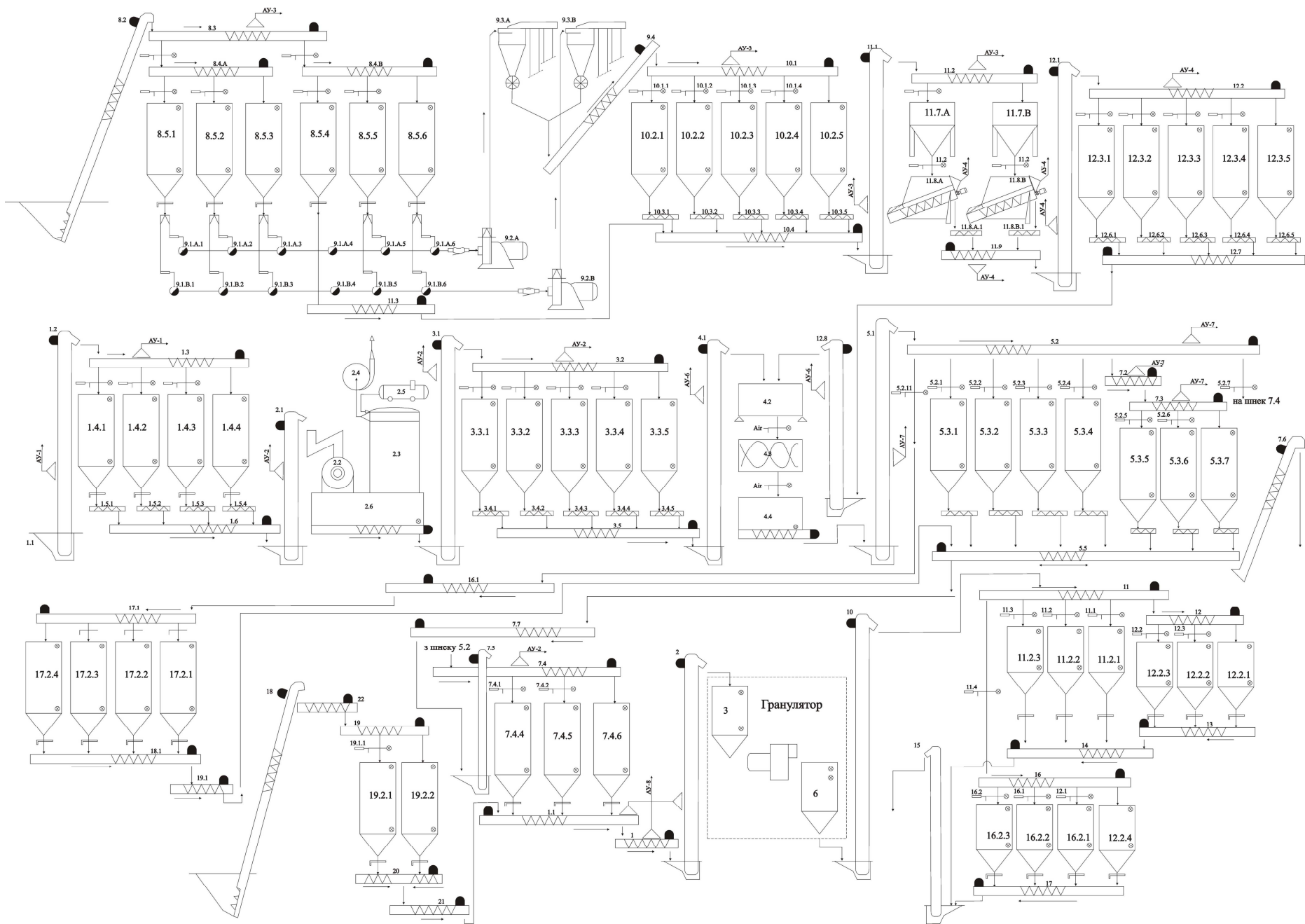
МКУ: 1 – воронка; 2 – пневматичний живильник; 3 – рукав; 4 – дробарка; 5 – кормопровод; 6 – бункер накопичувач; 7 – блок фільтрів; 8 – змішувач; 9 – пульт керування; 10 – воронка преміксів; 11 – вивантажувач

Рис. Д2.7. Комплексні проектні рішення з використанням горизонтального змішувача та пневматичного транспортера

### Додаток 3

Технологічна схема комплексу виробництва комбікормів  
ТОВ «Агропромислова компанія» м. Мелітополь, Запорізька обл.







Додаток 4

Установка малогабаритна комбікормова УМК-Ф-2.

Технологічна схема. Команди АСК

## Технологічна схема УМК-Ф-2

ОТК УМК-Ф-2 (рис. Д4.1) складається з: 1 – бункер для зерна або добавок; 2 – магнітна колонка; 3 – сепаратор; 4 – норія; 5 – розподільний шнек; 6 – засувки; 7 – п'яти секційний бункер вхідних компонентів; 8 – вертикальний шнек; 9 – бункер готової продукції; 10 – дозатори; 11 – дробарка; шафи керування.

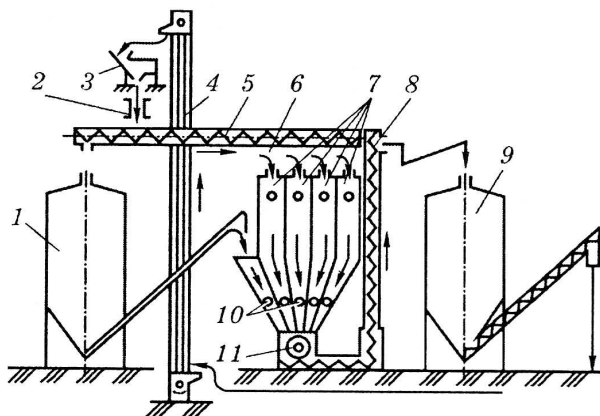


Рис. Д4.1. Схема комбікормового агрегату УМК-Ф-2

Вхідні компоненти, попередньо очищаються на 2 та 3, завантажуються в бункери накопичування через 1 та 7 за допомогою транспортерів 4 та 5, звідки подаються у п'ять секцій наддозаторного бункера, з яких компоненти дозаторами 10 подаються до дробарки 11. Подрібнений продукт горизонтальним і вертикальним шнеками 8 подається в бункер готової продукції 9. В процесі подрібнення і транспортування відбувається змішування компонентів. Якщо в рецепті є компоненти, що не потребують подрібнення, то за допомогою поворотних планок вони направляються на вертикальний шнек 8, минаючи камеру подрібнення 11. Змішування в цьому випадку відбувається в процесі транспортування в розширеній частині вертикального шнеку 8. При використанні установки в якості змішувача з дробильної камери витягається решето.

Контроль рівня завантаження бункерів виконується за допомогою датчиків верхнього та нижнього рівнів. Стан засувки – кінцевими вимикачами (датчики положення). Налаштування дозаторів виконується вручну перед початком роботи.

В автоматичному режимі завантаження дробарки регулюється автоматично за допомогою механізму дозування.

Таблиця Д4.1

## Команди АСК установки

Об'єкт (ТМ)	Команда АСК	Об'єкт (ТМ)	Команда АСК
бункер для зерна або добавок	Стан верхнього рівня	Засувки	Відкрити
	Стан нижнього рівня		Закрити
	Увімкнути живильник добавок	п'яти секційний бункер вхідних компонентів (у кожній секції)	Стан верхнього рівня
	Вимкнути живильник добавок		Стан нижнього рівня
магнітна колонка	Увімкнути	вертикальний	Увімкнути
	Вимкнути	шнек	Вимкнути
Сепаратор	Увімкнути	бункер готової продукції	Стан верхнього рівня
	Вимкнути		Стан нижнього рівня
норія	Увімкнути	Дозатори	Увімкнути
	Вимкнути		Вимкнути
розподільний шнек	Увімкнути ліво	Дробарка	Увімкнути
	Увімкнути право		Вимкнути
	Вимкнути		Регулювання завантаження

## Додаток 5

Дослідження роботи засувки та датчиків рівня.

Експериментальні данні та результати їх обробки за допомогою математичного апарату швидкого перетворення Фур'є

Таблиця Д. 5.1

## Дослідження часу роботи засувки

Вхідні дані, мс								
№	1	2	3	3`	4	5	6	7
1	15655	15765	16547	16547	17077	16593	17156	17125
2	15577	15906	16171	16171	17172	16624	17265	17187
3	16172	15922	16452	16452	17124	16594	17359	17077
4	19406	15796	16391	16391	17016	16624	17327	17141
5	15765	15735	16296	16296	17031	16640	17125	17094
6	15906	15765	16360	16360	17031	16594	17187	17172
7	15922	15812	16343	16343	17124	16656	17077	17202
8	15796	15796	16437	16437	16953	16531	17141	17327
9	15735	15750	16328	16328	16937	16515	17094	17296
10	15765	15640	16327	16327	16859	16545	17172	17187
11	15812	15639	16234	16234	16578	16592	17202	17264
12	15796	15672	16186	16186	16593	16531	17327	17296
13	15750	15625	16266	16266	16624	16656	17296	16844
14	15640	15750	16266	16266	16594	16594	17187	16813
15	15639	15733	15390	16139	16624	16592	17264	16795
16	15672	15766	16139	15390	16640	16577	17296	16859
$\bar{X}$	16001	15755	16258	16258	16874	16591	17217	17105
$S$	919	85	256	256	225	43	89	180
№ гармоніки	ШПФ							
1	4140	738	1368	1265	2187	226	576	1444
2	4121	245	891	714	683	238	503	986
3	3520	392	937	1039	594	102	127	604
4	3836	233	1018	769	504	99	363	265
5	3658	140	1281	889	126	174	345	451
6	3372	90	1118	963	354	163	66	400
7	3250	160	533	1330	210	135	185	54
8	3108	110	421	1077	261	218	329	285
$S_A$	29006	2108	7568	8045	4920	1355	2494	4489

Таблиця Д.5.2

## Результати дослідження часу роботи засувки (в.о.)

№	1	2	3	3`	4	5	6	7
1	0,9784	1,0007	1,0178	1,0178	1,01206	1,0001	0,9964	1,00117
2	0,9735	1,0096	0,9946	0,9946	1,01769	1,002	1,0028	1,0048
3	1,0107	1,0106	1,0119	1,0119	1,01484	1,0002	1,0082	0,99837
4	1,2128	1,0026	1,0082	1,0082	1,00844	1,002	1,0064	1,00211
5	0,9853	0,9988	1,0023	1,0023	1,00933	1,0029	0,9946	0,99936
6	0,9941	1,0007	1,0063	1,0063	1,00933	1,0002	0,9982	1,00392
7	0,9951	1,0036	1,0052	1,0052	1,01484	1,0039	0,9919	1,00567
8	0,9872	1,0026	1,011	1,011	1,00471	0,9964	0,9956	1,01298
9	0,9834	0,9997	1,0043	1,0043	1,00376	0,9954	0,9928	1,01117
10	0,9853	0,9927	1,0042	1,0042	0,99914	0,9972	0,9974	1,0048
11	0,9882	0,9927	0,9985	0,9985	0,98248	1,0001	0,9991	1,0093
12	0,9872	0,9948	0,9956	0,9956	0,98337	0,9964	1,0064	1,01117
13	0,9843	0,9918	1,0005	1,0005	0,98521	1,0039	1,0046	0,98474
14	0,9775	0,9997	1,0005	1,0005	0,98343	1,0002	0,9982	0,98293
15	0,9774	0,9986	0,9466	0,9927	0,98521	1,0001	1,0027	0,98188
16	0,9795	1,0007	0,9927	0,9466	0,98616	0,9991	1,0046	0,98562
$\bar{X}_H$	1							
$S_H$	<b>0,0574</b>	0,0054	<b>0,0157</b>	<b>0,0157</b>	0,0133	0,0026	0,0052	0,0105
№ гармоніки	ШПФ (рис. 3.7.)							
0	16	16	16	16	16	16	16	16
1	0,2588	0,0469	0,0842	0,0778	0,1296	0,0136	0,0335	0,0844
2	0,2576	0,0156	0,0548	0,0439	0,0405	0,0144	0,0292	0,0576
3	0,2200	0,0249	0,0576	0,0639	0,0352	0,0061	0,0073	0,0353
4	0,2397	0,0148	0,0626	0,0473	0,0299	0,0059	0,0211	0,0155
5	0,2286	0,0089	0,0788	0,0547	0,0075	0,0105	0,0200	0,0264
6	0,2107	0,0057	0,0688	0,0592	0,0210	0,0098	0,0038	0,0234
7	0,2031	0,0101	0,0328	0,0818	0,0125	0,0081	0,0107	0,0031
8	0,1942	0,0070	0,0259	0,0662	0,0155	0,0131	0,0191	0,0167
$S_{AH}$	<b>1,8128</b>	0,1338	<b>0,4655</b>	<b>0,4948</b>	0,2916	0,0817	0,1448	0,2624

Таблиця Д5.3

Результати спостережень таймінгу електрифікованих засувок ділянок ОТК

Засувка (рис. 3.9)		Тривалість роботи електрифікованої засувки					
		відкриття			закриття		
Рис. 3.9, рис. 3.11	1.3.1* ( $t_{10}/t_{13}$ )	9,6; 9,3; 9,0; 8,7; 8,8; 8,4; 8,9; 8,8; 9,7; 9,3	9,0; 8,9; 9,0; 9,3; 9,9; 9,1; 9,3; 9,3; 9,2; 9,4				
	1.3.2* ( $t_{20}/t_{23}$ )	9,6; 9,2; 9,1; 9,3; 9,5; 9,6; 9,0; 9,5; 9,1; 9,1	9,4; 9,5; 9,0; 8,8; 9,2; 9,4; 9,2; 9,7; 9,1; 9,4				
	1.3.3* ( $t_{30}/t_{33}$ )	8,9; 8,8; 9,2; 8,8; 8,8; 9,0; 8,8; 9,2; 9,0; 8,8	8,9; 8,9; 9,1; 8,6; 9,0; 8,8; 9,2; 9,2; 9,1; 9,1				
	1.1** ( $t_{121}/t_{125}$ , $t_{221}/t_{225}$ , $t_{321}/t_{325}$ , $t_{421}/t_{425}$ )	11,5; 11,4; 12,9; 13,0; 12,8; 11,4; 11,9; 11,9; 12,2; 11,7; 11,5; 11,8; 12,5; 13,2; 12,1; 11,9; 12,4; 11,8; 12,9; 12,6	11,9; 11,9; 11,9; 12,1; 11,7; 11,6; 12,3; 11,8; 12,1; 11,5; 11,9; 12,4; 11,6; 12,1; 11,9; 12,0; 11,8; 11,0; 11,9; 12,7				
Рис. 3.8, рис. 3.10	8.3.1* ( $t_{11}$ , $t_{21}$ , $t_{31}/t_{01}$ )	8,1; 8,9; 8,6; 8,8; 8,8; 8,6; 9,1; 9,0; 8,8; 9,2; 9,4; 8,6; 8,9; 8,6; 9,1	9,1; 8,7; 8,7; 8,7; 9,2; 8,8; 8,9; 8,5; 9,0; 9,7; 9,0; 8,5; 9,0; 8,5; 8,9				
	8.3.2* ( $t_{41}$ , $t_{51}$ , $t_{61}/t_{02}$ )	9,3; 9,6; 9,3; 8,8; 9,4; 9,0; 8,8; 9,9; 9,1; 8,7; 9,4; 9,8; 9,3; 9,4; 9,1	9,0; 9,4; 9,0; 9,1; 8,9; 8,8; 9,0; 8,6; 9,2; 9,1; 9,1; 8,2; 8,9; 9,2; 9,2				
	8.4.1* ( $t_{10}/t_{13}$ )	9,0; 9,0; 8,7; 9,1; 9,0; 9,1; 9,1; 9,0; 9,1; 8,9	8,9; 8,9; 8,8; 9,0; 9,2; 8,9; 8,9; 9,1; 9,0; 9,3				
	8.4.2* ( $t_{20}/t_{23}$ )	8,3; 8,6; 8,7; 9,9; 9,2; 8,8; 9,0; 8,9; 9,4; 9,0	9,3; 9,3; 8,9; 9,0; 9,1; 8,7; 8,9; 9,0; 8,6; 9,4				
	8.4.3* ( $t_{40}/t_{43}$ )	9,3; 9,4; 9,3; 9,7; 9,4; 9,2; 9,7; 9,8; 9,6; 9,5	9,3; 9,3; 9,7; 9,7; 9,4; 9,7; 9,5; 9,4; 9,3; 9,6				
	8.4.4* ( $t_{50}/t_{53}$ )	8,2; 8,3; 9,7; 8,9; 10,0; 8,8; 9,0; 9,3; 8,8; 8,7	9,5; 8,6; 9,2; 8,7; 9,2; 9,2; 8,6; 9,1; 9,3; 8,5				

Примітки: \* час спрацювання засувки за паспортом 9 с;

\*\* час спрацювання засувки за паспортом 12 с;

Таблиця Д5.4

## Результати спостережень таймінгу датчиків рівня окремих ділянок ОТК

Бункер (рис. 3.9) та компонент	Час спрацювання датчиків рівня		
	розр.	ДНР ( $t_{122}$ )	ДВР ( $t_{123}$ )
(рис. 3.9, рис. 3.11)			
1.4.1 пшениця ячмінь	31 /	30,9; 28,1; 25,9; 29,2; 31,2	2242; 2231; 2256; 2169; 2251
	2220	33,6; 32,2; 37,5; 32,8; 29,4	2296; 2395; 2244; 2364; 2313
1.4.2 ячмінь кукурудза	35 /	36,4; 36,5; 35,5; 36,2; 35,4	2321; 2368; 2343; 2409; 2355
	2223	32,0; 32,4; 33,2; 32,8; 29,4	2080; 2170; 2228; 2167; 2162
1.4.3 пшениця ячмінь шрот	38 /	38,4; 39,2; 38,0; 39,3; 39,2	2274; 2323; 2337; 2189; 2262
	2226	41,3; 41,2; 41,0; 38,3; 39,0	2421; 2346; 2373; 2390; 2426
		39,0; 36,5; 37,1; 39,0; 38,0	2279; 2237; 2375; 2293; 2208
1.4.4 шрот кукурудза	40 /	39,4; 39,1; 37,9; 38,4; 38,2	2207; 2083; 2262; 2280; 2135
	2228	40,6; 37,0; 39,7; 36,5; 36,8	2211; 2205; 2208; 2084; 2247
(рис. 3.8, рис. 3.10)			
8.5.1 ячмінь	55 /	61,6; 60,1; 58,1;	2384; 2480; 2441;
	2252	59,8; 58,4	2203; 2365
8.5.2 пшениця	62 /	58,0; 60,3; 64,8;	2262; 2334; 2255;
	2258	64,7; 61,8	2384; 2266
8.5.3 шрот	67 /	67,1; 67,9; 67,4;	2182; 2383; 2316;
	2264	67,5; 71,2	2325; 2236
8.5.4 висівки	66 /	65,4; 70,7; 70,6;	2553; 2185; 2585;
	2264	71,3; 68,8	2453; 2259
8.5.5 висівки добавки	73 /	79,7; 77,5; 79,5; 79,9; 81,0	2325; 2483; 2484; 2349; 2410
	2270	73,7; 79,3; 74,9; 68,3; 73,4	2531; 2317; 2374; 2462; 2473
8.5.6 горох добавки	78 /	78,5; 74,8; 78,7; 78,2; 82,2	2324; 2277; 2210; 2336; 2312
	2275	80,4; 82,5; 80,1; 78,4; 78,6	2394; 2218; 2215; 2423; 2306



## Додаток 6

Документи з охорони інтелектуальної власності

УКРАЇНА

UKRAINE



## ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 54511

СПОСІБ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА  
КОМБІКОРМУ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.11.2010.**

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності

М.В. Паладій



(11) **54511**(19) **UA**(51) МПК (2009)  
**A23N 17/00**  
**G06Q 10/00**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2010 06332</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>25.05.2010</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.11.2010</b></p> <p>(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: <b>10.11.2010, Бюл. № 21</b></p>	<p>(72) Винахідники: <b>Діордієв Володимир Трифонович, UA,</b> <b>Кашкар'ов Антон Олександрович, UA</b></p> <p>(73) Власник: <b>ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,</b> пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл. , 72312, UA</p>
--	---

(54) Назва корисної моделі:

**СПОСІБ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ**

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб автоматизованого керування технологічним процесом виробництва комбікорму, який включає централізований мікропроцесорний засіб керування, котрий виконує функції збору і обробки вхідної інформації, генерацію керуючих впливів, зберігання інформації, який відрізняється тим, що послідовність спрацювань виконавчих механізмів та етапів технологічного процесу задається відповідно до багаторівневої структурованої мережі Петрі, інформація про час спрацювання вимірювальних пристроїв зберігається у матрицях інцидентності зазначеної мережі, оцінка часу спрацювань виконавчих механізмів та вимірювальних пристроїв виконується математичним апаратом гармонійного аналізу, корегування параметрів та настроювань мікропроцесорного засобу керування відповідає результатам аналізу матриць інцидентності багаторівневої структурованої мережі Петрі та навантажувальних діаграм електродвигунного приводу технологічного обладнання.



УКРАЇНА

(19) UA (11) 54511 (13) U  
 (51) МПК (2009)  
 A23N 17/00  
 G06Q 10/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
 І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
 відповідальність  
 власника  
 патенту

(54) СПОСІБ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ

1

(21) u201006332  
 (22) 25.05.2010  
 (24) 10.11.2010  
 (46) 10.11.2010. Бюл.№ 21. 2010 р.  
 (72) ДІОРДІЄВ ВОЛОДИМИР ТРИФОНОВИЧ, КАШКАРЬОВ АНТОН ОЛЕКСАНДРОВИЧ  
 (73) ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
 (57) Спосіб автоматизованого керування технологічним процесом виробництва комбікорму, який включає централізований мікропроцесорний засіб керування, котрий виконує функції збору і обробки вхідної інформації, генерацію керуючих впливів, зберігання інформації, який відрізняється тим,

2

що послідовність спрацювань виконавчих механізмів та етапів технологічного процесу задається відповідно до багаторівневої структурованої мережі Петрі, інформація про час спрацювання вимірювальних пристроїв зберігається у матрицях інцидентності зазначеної мережі, оцінка часу спрацювань виконавчих механізмів та вимірювальних пристроїв виконується математичним апаратом гармонійного аналізу, корегування параметрів та настроювань мікропроцесорного засобу керування відповідає результатам аналізу матриць інцидентності багаторівневої структурованої мережі Петрі та навантажувальних діаграм електродвигунного приводу технологічного обладнання.

Корисна модель відноситься до автоматизації технологічних процесів і може бути використана при автоматизації процесу виробництва комбікорму на технологічних комплексах малої та середньої продуктивності.

Відомий спосіб керування виробництвом комбікорму [Пат. 2278527-С1 Российская федерация МПК А23N 17/00. - Спосіб управління процесом приготування комбікорма. - Бюллетень, - 2006. - №18], який складається із змішування розсипного комбікорму з гарячими гранулами, витримки рухомого шару отриманої суміші в охолоджувачах, які працюють у режимах конденсації і регенерації, подрібнення, фракціонування гранул, з наступним їх покриттям шаром жиру, з одночасним вимірюванням витрати розсипного комбікорму, витрати і температури гранул, витрати і тиску пари на етапі гранулювання та витрати і температури повітря при охолодженні гранул. Недоліком даного способу вважаємо жорсткість алгоритму початку роботи технологічних машин, наявність вимірювальних пристроїв дублюючих інформацію, опис технологічного процесу не пристосовано до реалізації інструментами мікропроцесорних засобів керування, розгалуженість технологічної лінії, насиченість процесу виробництва правилами та використання традиційного підходу розробки автоматизованої системи керування робить її жорсткою, що виклю-

чає її серійність, можливість зниження витрат на етапі розробки аналогічних систем та ускладнює її обслуговування і модернізацію.

Також відомий спосіб і система модифікації об'єктно-орієнтованих програм для керування автоматизованим устаткуванням [Пат. FR 2858436 А1 Республіка Франція МПК G06F 9/44. - Procédé et système pour modifier un programme orienté objet en cours d'exécution. - Бюллетень, - 2005. - № 5], який складається з проміжного коду програмного забезпечення, котрий може бути перетворений у код виконавчої машини під час виконання алгоритму обробки даних за допомогою генерації тимчасового зміненого програмного коду, його порівняння із початковим кодом і включення змін під час її роботи. Недоліком даного способу є непристосованість до автоматизованої системи керування технологічними процесами, що виражається необхідністю створення додаткових інтерфейсів між об'єктами. Крім того, у випадку комплексів виробництва комбікорму малої та середньої продуктивності, що характеризуються малою кількістю однотипного дискретного обладнання, об'єктно-орієнтований підхід втрачає свою ефективність.

Найбільш близьким за технічною сутністю до заявленого способу обрано автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва комбікорму, яка включає централізований

(19) UA (11) 54511 (13) U

мікропроцесорний засіб керування котрий виконує функції збору і обробки вхідної інформації, генерації керуючих впливів та зберігання інформації [Виктор Букреев, Николай Гусев, Михаил Нечаев и др. АСУ ТП производства комбикормов на базе контроллера Fastwel RTU188-BS. СТА №2, 2006. - С. 74-79].

Недоліком автоматизованої системи керування прототипу є жорсткість програмного забезпечення, складність корегування системи керування та модернізації програмного забезпечення відповідно до удосконалення технологічної схеми, невикористана можливість підвищення інформативності вимірювальних пристроїв та розширення переліку сервісних функцій системи керування.

В основу заявленого способу поставлена задача розробки гнучкої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва комбикорму на базі мікропроцесорних засобів автоматизації з універсальним алгоритмічним забезпеченням, що дозволить гнучко керувати послідовністю спрацювань виконавчих механізмів та етапами технологічного процесу, підвищити інформативність вимірювальних пристроїв, ідентифікувати аварійні режими роботи технологічного обладнання, підвищити надійність технологічного комплексу та системи керування і розширити перелік сервісних функцій.

Поставлена задача досягається за рахунок того, що спосіб автоматизованого керування технологічним процесом виробництва комбикорму, який складається з централізованого мікропроцесорного засобу керування, котрий виконує функції збору і обробки вхідної інформації, генерації керуючих впливів, зберігання інформації, який відрізняється тим, що послідовність спрацювань виконавчих механізмів та етапів технологічного процесу задається відповідно до багаторівневої структурованої мережі Петрі, інформація про час спрацювання вимірювальних пристроїв зберігається у матриці інцидентності зазначеної мережі, оцінка часу спрацювань виконавчих механізмів та вимірювальних пристроїв виконується математичним апаратом гармонійного аналізу, корегування параметрів та настроювань мікропроцесорного засобу керування відповідає результатам аналізу матриці інцидентності багаторівневої структурованої мережі Петрі та навантажувальних діаграм електродвигунного приводу технологічного обладнання.

Послідовність спрацювань виконавчих механізмів та етапів технологічного процесу згідно заявленого способу задається відповідно до багаторівневої структурованої мережі Петрі і забезпечує можливість розробки гнучкої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва комбикорму на базі мікропроцесорних засобів автоматизації з універсальним алгоритмічним забезпеченням, що дозволить гнучко керувати послідовністю спрацювань виконавчих механізмів та етапами технологічного процесу.

Зберігання інформації про час спрацювання вимірювальних пристроїв та виконавчих механізмів у матрицях інцидентності мережі Петрі дозволяє реалізувати алгоритми підвищення інформативності вимірювальних пристроїв.

Здійснення оцінки часу спрацювань виконавчих механізмів та вимірювальних пристроїв математичним апаратом гармонійного аналізу також дозволяє підвищити інформативність вимірювальних пристроїв та ідентифікувати аварійні режими роботи технологічного обладнання.

Корегування параметрів та настроювань мікропроцесорного засобу керування, котре відповідає результатам аналізу матриць інцидентності багаторівневої структурованої мережі Петрі та навантажувальних діаграм електродвигунного приводу технологічного обладнання, дозволить підвищити надійність технологічного комплексу, системи керування ним та розширити перелік сервісних функцій.

Таким чином, запропонований спосіб забезпечує можливість розробки гнучкої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва комбикорму на базі мікропроцесорних засобів автоматизації з універсальним алгоритмічним забезпеченням.

Технічна сутність і принцип дії запропонованого способу пояснюється графічним матеріалом:

на фіг. 1. - технологічна схема комплексу виробництва комбикорму;

на фіг. 2. - багаторівнева структурована мережа Петрі. Модель технологічної схеми комплексу виробництва комбикорму;

на фіг. 3. - підвищення інформативності вимірювальних пристроїв (оцінка часу спрацювань виконавчих механізмів та вимірювальних пристроїв);

на фіг. 4. - підвищення інформативності вимірювальних пристроїв (аналіз навантажувальних діаграм приводних електродвигунів).

Технологічний комплекс, на прикладі якого пояснюється спосіб, складається з завантажувальних транспортерів 1 та 2, засувок 3 та 4, двох бункерів початкових компонентів 5 та 6, дозаторів 7 та 8, дробарки 9, змішувача 10 та вивантажувального транспортеру 11.

Багаторівнева структурована мережа Петрі, котра складена відповідно до власних правил, яка відповідає прийнятому зразку, складається з двох рівнів. Перший рівень визначає послідовність технологічних операцій, який містить складені переходи, розкрита множина яких представляє другий рівень - рівень операцій. Топологією першого рівня визначається послідовність технологічних операцій, в яких комбикорм або компонент комбикорму транспортується на тривале або тимчасове зберігання чи проходить певні етапи зміни фізико-хімічних властивостей. Топологією другого рівня визначається послідовність операцій, які вимагають введення додаткових даних оператором, пуску і поточної роботи виконавчих механізмів та контролю стану вимірювальних пристроїв.

Алгоритм оцінки часу спрацювань виконавчих механізмів та вимірювальних пристроїв складається з таких блоків: початок роботи алгоритму 1, виконання процедури отримання номеру вимірювального пристрою 2, перевірка правильності отриманих даних 3, 4 процедура звернення до блоку 5 для отримання еталонних значень часу спрацювань  $x_{et}$  та розрахункової похибки  $\delta_{et}$ , 6



процедура отримання дозволу відліку з логічною перевіркою у блоці 7, ініціалізація змінної часу відліку  $x_{\text{всп}}$  у блоці 8 з наступним очікуванням 9, блоки сервісних повідомлень 10-13, блоки порівнянь поточних і експертних даних 14-17 з можливістю подальшого аналізу у блоках 18 та 19 та оцінкою розрахункових даних 20, блоки повідомлень 21 та 22, інтерфейсу експерту або користувача 23, блок закінчення алгоритму 24.

Алгоритм аналізу навантажувальних діаграм складається з таких блоків: 30 початок виконання алгоритму, 31 блок вибору машини з електродвигунним приводом та ініціалізації уставок і тривалості діаграми, 32 блок поєднання бази експертних даних 33 з відною інформацією, логічний блок перевірки роботи відповідної машини 34 з блоком повідомлення 35, 36 блок отримання навантажувальної діаграми, блок 37 обчислення отриманих даних та їх аналізу у блоці 38, блок 39 накопичення уставки, порівняння експертних та практичних значень уставок 40 з можливістю повтору алгоритму 41 та блоку 42 закінчення виконання алгоритму.

Спосіб керування реалізується за наступними принципами.

Відповідно до прийнятої технологічної схеми комплексу виробництва комбікорму експертом складається багаторівнева структурована мережа Петрі за концепцією, яка описана вище. З урахуванням математичного апарату мереж Петрі та рівня деталізації програмного забезпечення топологія обох рівнів структурованих мереж може змінюватись з огляду на технологічну схему комплексу виробництва комбікорму.

Згідно з правилами будови мережі Петрі, будуються матриці інцедентності, відповідно до прикладу (1-й рівень):

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
$P_1$	1			1		
$P_2$	1					
$P_3$		1				
$P_4$				1		
$P_5$			1			
$P_6$					1	
$P_7$					1	
$P_8$						1

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$
$t_1$			1					
$t_2$	1	1				1		
$t_3$	1			1			1	
$t_4$					1			
$t_5$								1
$t_6$								

Під час складання мережі визначаються вузли програмної генерації маркерів та які генеруються за правилами спрацювань мережі Петрі. Останні вузли здійснюють поточне керування технологічним процесом та інформують про його поточний етап. Вузли з програмною генерацією маркерів потрібні для синхронізації паралельних процесів або дозволу на виконання відповідного етапу тех-

нологічного процесу.

У випадку, коли кожний вхід будь-якого переходу 1-го рівня має у своєму складі маркер, здійснюється звернення до відповідної послідовності функцій моделі 2-го рівня, яка складається з нерозгалужених мереж, які мають матриці інцедентності з значенням «1» по головній діагоналі:

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$t_1$		1			
$t_2$			1		
$t_3$				1	
$t_4$					1

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$
$P_1$	1			
$P_2$		1		
$P_3$			1	
$P_4$				1
$P_5$				

Після виконання послідовності функцій мережі 2-го рівня маркер передається далі відповідно до розмітки 1-го рівня з відповідною індикацією на засобах візуалізації. Необхідно зазначити, що запропонований спосіб тільки координує послідовність реалізації функцій, які можуть складатись з традиційних алгоритмів керування певним технологічним обладнанням.

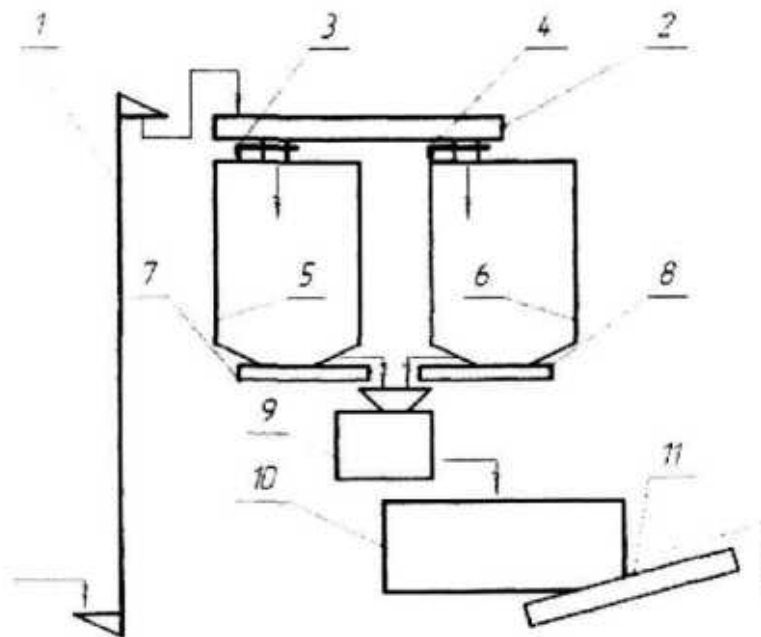
Поточні дані про тривалість спрацювань переходів кожного рівня зберігаються у відповідних матрицях інцедентності. В результаті уведення конструктивних даних технологічного обладнання, за допомогою програмного забезпечення, розраховуються матриці інцедентності еталонної моделі, в якій містяться розрахункові дані тривалості спрацювань виконавчих механізмів, вимірювальних пристроїв та їх похибки, і яка входить до бази експертних даних. При цьому, наявність одиниці у певній комірці матриці свідчить про прив'язку відповідного масиву даних.

Підвищення інформативності вимірювальних пристроїв за рахунок оцінки часу їх спрацювань та спрацювань виконавчих механізмів виконується у визначеній послідовності (фіг. 3.). Відповідно до етапів технологічного процесу, описаних мережею 2-го рівня, та необхідності контролю показань вимірювального пристрою здійснюється його вибір у блоці 2. Після чого з бази експертних даних 5 надходить інформація про еталонні данні  $x_{\text{ет}}$  та розрахункові похибки 8 (блок 4), а також ініціалізується змінна часу  $x_{\text{всп}}$  (блок 8), яка накопичується та порівнюється у блоці 9, котрий направляє подальші дії в залежності від стану вимірювального пристрою та величини  $x_{\text{всп}}$  за допомогою логічних блоків 14-17 та відповідних повідомлень 10-13 за допомогою інтерфейсу експерта або користувача 23. У випадку спрацювання вимірювального пристрою у межах допустимих значень виконується аналіз отриманої інформації за допомогою дискретного перетворення Фур'є (блок 18, 19), що дозволяє визначити статистичну значущість відхилень (20) та ідентифікувати зміну режиму роботи виконавчого механізму або самого вимірювального

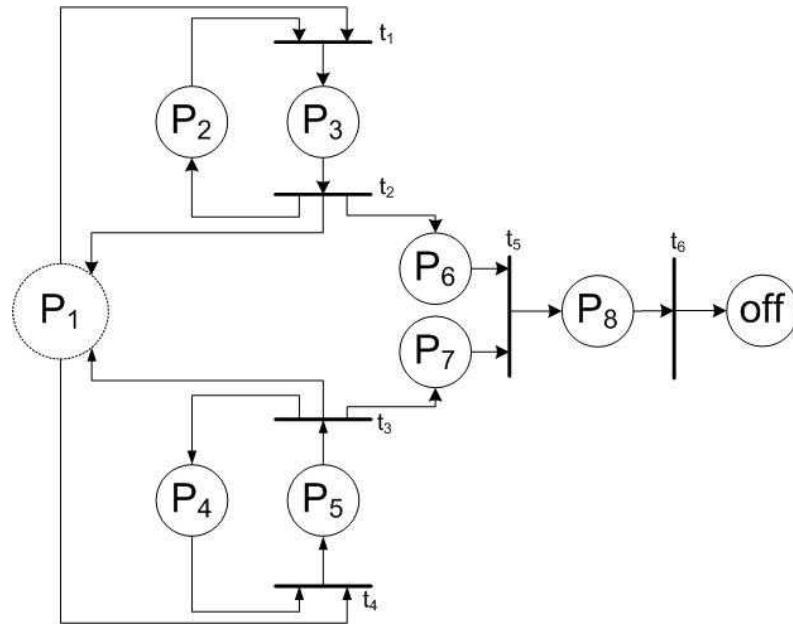
пристрою (21, 22) з індикацією на інтерфейсу експерта або користувача 23.

Підвищення інформативності вимірювальних пристроїв за допомогою аналізу навантажувальних діаграм приводних електродвигунів виконується за спрощеним алгоритмом (фіг. 4). Відповідно до етапів технологічного процесу, описаних мережею 2-го рівня, на ділянках транспортування, дозування та переробки компонентів комбікорму або готової комбікормової суміші здійснюється вибір машини у блоці 31 з визначенням накопиченої уставки  $S_{уст}$ , тривалості ділянки навантажувальної діаграми  $t_{вар}$  та ініціалізації тимчасової змінної уставки  $S'_{уст}$ . За обраною машиною з бази експертних даних 33 до блоку 32 надається інформація про навантажувальну діаграму обраної машини у

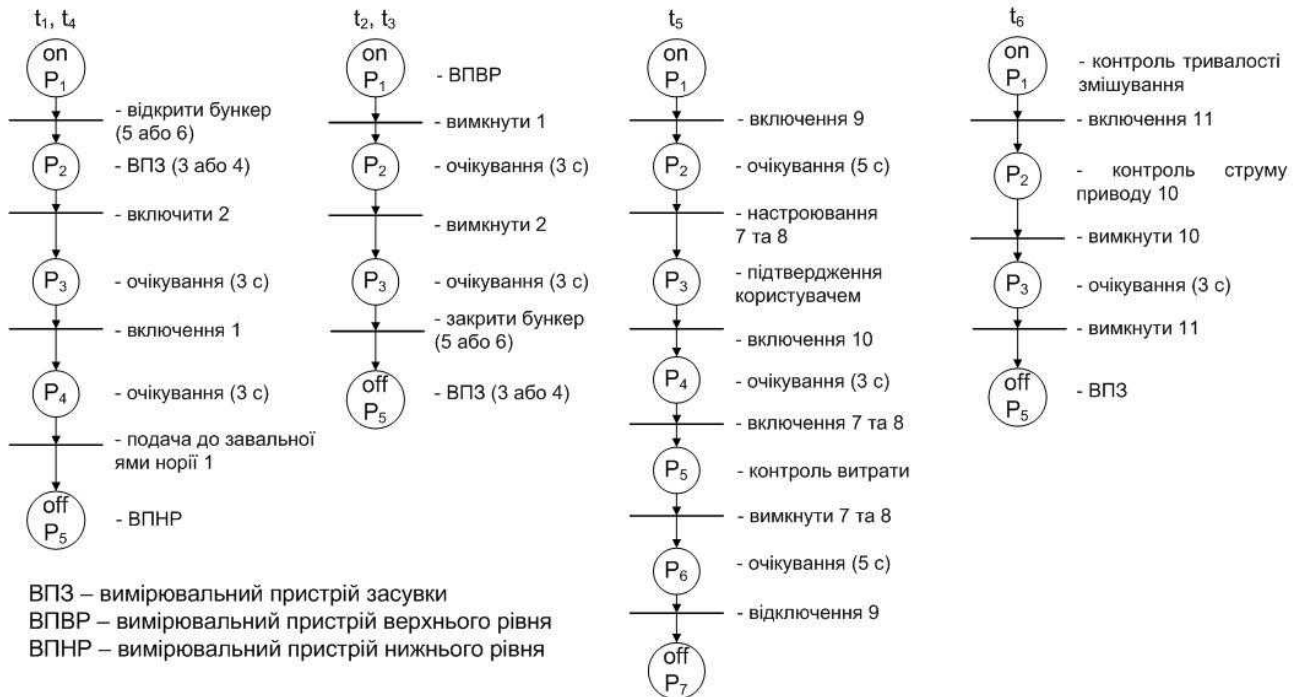
режимі холостого ходу у вигляді неперервної функції  $f_x(t)$ . Одночасно з увімкненням відповідного приводу технологічної машини (34) ініціалізується змінна початку відліку  $t_{start}$ . У блоці 36 виконується реєстрація даних за інтервал часу  $t_{вар}$ , по закінченню якого у блоці 37 за допомогою дискретного перетворення Фур'є формується неперервна функція  $f_{темп}(t)$  в інтервалі  $[t_{start}, t_{вар}]$  з подальшим обчисленням у блоці 38 величини уставки  $S_{темп}$  на заданому інтервалі, як різниці площ визначених інтегралів функцій отриманої навантажувальної діаграми  $f_{темп}(t)$  та  $f_x(t)$ . У блоці 39 отримане значення  $S_{темп}$  додається до  $S'_{уст}$  і порівнюється з  $S_{уст}$  (40). При приблизно рівному значенні уставок виконання алгоритму припиняється.



Фіг. 1



1-й рівень

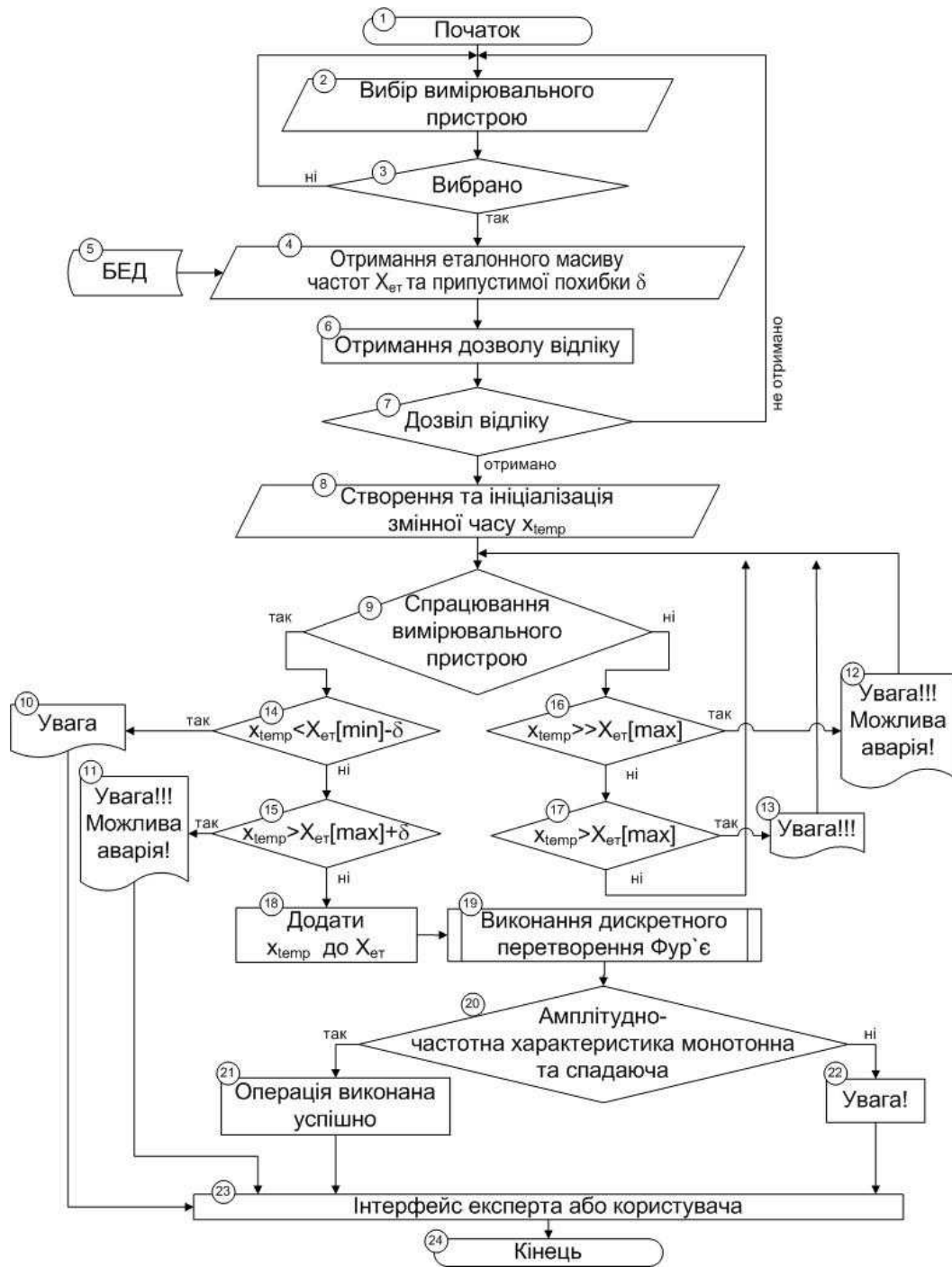


ВПЗ – вимірювальний пристрій засувки  
 ВПВР – вимірювальний пристрій верхнього рівня  
 ВПНР – вимірювальний пристрій нижнього рівня

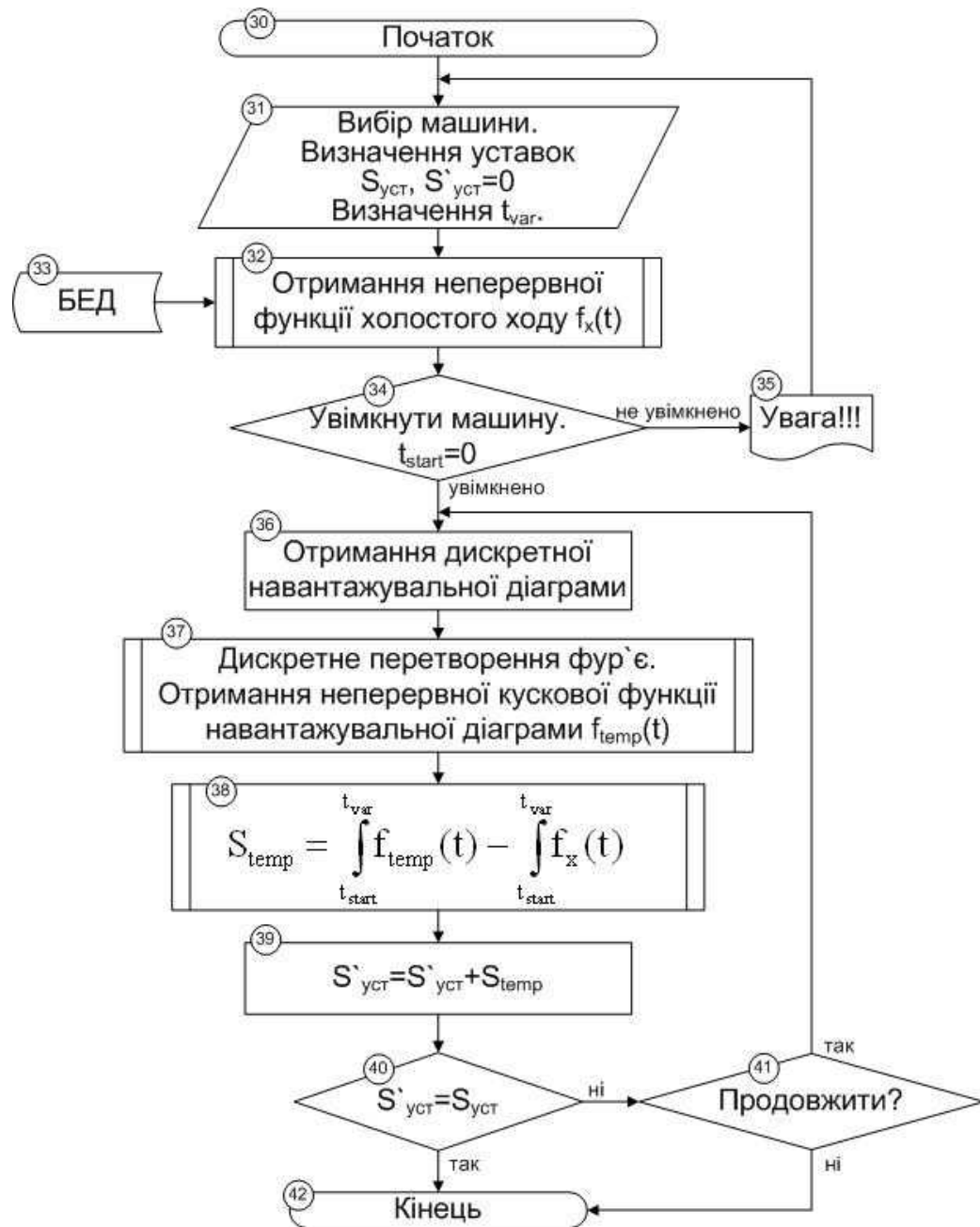
2-й рівень

Фіг. 2.





Фіг. 3.



Фіг. 4.



УКРАЇНА  
Міністерство освіти і науки України  
Державний департамент інтелектуальної власності

# СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 36841

**Комп'ютерна програма "MiniAPCSCombi"**

(вид, назва службового твору)

**Автор(и) Діордієв Володимир Трифонович, Кашкар'єв Антон Олександрович**

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

**Авторські майнові права належать Таврійський державний агротехнологічний університет, пр-т Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312**

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації

08.02.2011

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності



М.В.Паладій