

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОЇ
ІНФРАСТРУКТУРИ ПРИ ЗБИРАННІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР»**

Виконав:

здобувач вищої освіти
освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
денної форми навчання

САМОЙЛЕНКО Роман Анатолійович

Керівник:

кандидат технічних наук, доцент

КОМАРНІЦЬКИЙ Сергій Петрович

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

« ____ » _____ 2025 р.

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія»,
кандидат технічних наук,
доцент _____

ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ У НАУЦІ ТА ПРАКТИЦІ | 10 |
| 1.1 Аналіз науково-методичних засад обґрунтування параметрів комплексів зернозбиральних комбайнів | 10 |
| 1.2 Аналіз чинних методів обґрунтування потреби у транспортних засобах | 15 |
| РОЗДІЛ 2 СИСТЕМНО-ПОДІЄВІ ЗАСАДИ ПРОЦЕСУ УЗГОДЖЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ І ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ | 18 |
| 2.1 Означення підсистем, подій робіт та задач у проектах збирання ранніх зернових культур..... | 18 |
| 2.2 Системно-чинниковий підхід та особливості вирішення задач узгодження збиральних і транспортних робіт | 23 |
| РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УЗГОДЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ І ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ..... | 30 |
| 3.1 Методи організації виконання збиральних і транспортних робіт..... | 30 |
| 3.2 Часові зв'язки між роботами збирання урожаю та транспортного обслуговування комбайнів..... | 33 |
| 3.3 Ситуаційні стани технологічних складових проектів під час організації виконання збирально-транспортних робіт | 37 |
| 3.4 Метод узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі оперативного їх планування..... | 42 |
| РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ УЗГОДЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ І ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ-ПРОЕКТІВ «ПОЛЕ-КОМБАЙНИ-ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ» | 50 |
| 4.1 Алгоритм узгодження збиральних і транспортних робіт у проектах збирання ранніх зернових культур | 50 |

| | |
|---|----|
| 4.2 Статистична імітаційна модель системи-проекту «поле-комбайни-транспортні засоби»..... | 55 |
| 4.3 Результати дослідження агрометеорологічно допустимого та організаційно відкоригованого добових фондів робочого часу збирання..... | 62 |
| 4.4 Результати дослідження функціональних показників роботи комбайнів у підсистемах-проектах «поле-комбайни»..... | 66 |
| 4.5 Тенденції зміни показників ефективності функціонування системи-проекту «поле-комбайни-транспортні засоби»..... | 72 |
| ВИСНОВКИ | 78 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 81 |

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін
Освітній ступінь «Магістр»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри,

к.т.н., доцент

_____ Василь ДУГАНЕЦЬ

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувачу вищої освіти

САМОЙЛЕНКО Роману Анатолійовичу

1. Тема роботи: **«ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПРИ ЗБИРАННІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР»**

керівник роботи: Комарніцький Сергій Петрович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом ЗВО «ПДУ» від «04» квітня 2025 року № 355с _____

2. Строк подання закінченої роботи 14 листопада 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: а) науково-технічна література з питань організації перевезень вантажів агропромислового комплексу; б) результати виробничої практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

ВСТУП

1. СТАН ПИТАННЯ У НАУЦІ ТА ПРАКТИЦІ
2. СИСТЕМНО-ПОДІЄВІ ЗАСАДИ ПРОЦЕСУ УЗГОДЖЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ І ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ
3. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УЗГОДЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ І ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ
4. РЕЗУЛЬТАТИ УЗГОДЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ І ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ-ПРОЕКТІВ «ПОЛЕ-КОМБАЙНИ-ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ»

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Тема, мета та завдання роботи
2. Складові системи-проекту «поле-комбайни-транспортні засоби»
3. Визначеність подій під час планування робіт у проектах збирання зернових культур
4. Методи організації виконання та складові збиральних і транспортних робіт
5. Структура основних складових збиральної та транспортної роботи
6. Можливі варіанти взаємодії підсистем «комбайн» та «автомобіль»
7. Метод узгодження збиральних і транспортних робіт у проектах збирання зернових культур
8. Блок-схема алгоритму статистичного імітаційного моделювання системи-проекту «поле-комбайни-транспортні засоби» (початок)
9. Блок-схема алгоритму статистичного імітаційного моделювання системи-проекту «поле-комбайни-транспортні засоби» (закінчення)
10. Схема алгоритму узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі тактичного та оперативного планування (початок)
11. Схема алгоритму узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі тактичного та оперативного планування (закінчення)
12. Тенденції зміни середньодобового темпу збирання та коефіцієнтів простоїв технічних засобів

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|-----------------------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Консультант з нормоконтролю | Девін В.В., доцент | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання розділів роботи | | Підпис керівника |
|-------|--|---------------------------------|------------|------------------|
| | | планово | фактично | |
| 1 | Вступ | 11.04.2025 | 11.04.2025 | |
| 2 | Стан питання у науці та практиці | 23.05.2025 | 23.05.2025 | |
| 3 | Системно-подієві засади процесу узгодження дослідження збиральних і транспортних робіт | 27.06.2025 | 27.06.2025 | |
| 4 | Науково-методичні основи узгодження збиральних і транспортних робіт | 18.09.2025 | 18.09.2025 | |
| 5 | Результати узгодження збиральних і транспортних робіт на основі моделювання систем-проектів «поле-комбайни-транспортні засоби» | 20.10.2025 | 20.10.2025 | |
| 6 | Висновки | 27.10.2025 | 27.10.2025 | |
| 7 | Список використаних джерел | 04.11.2025 | 04.11.2025 | |

Здобувач _____ **Роман САМОЙЛЕНКО**Керівник роботи _____ **Сергій КОМАРНИЦЬКИЙ**

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розкриваються науково-методичні засади, обґрунтовуються метод та алгоритм, а також наводяться результати вирішення науково-прикладної задачі узгодження збиральних і транспортних робіт у проектах збирання ранніх зернових культур на основі врахування ймовірнісного впливу проектного середовища на ці роботи. З огляду на це, кваліфікаційна робота є актуальною як у науковому, так і в практичному відношеннях.

ANNOTATION

Scientifically-methodical principles open up in diploma work, a method and algorithm are grounded, and also the results of decision of the scientifically-applied task of concordance of collective and transport works are driven to the projects of collection of early grain-crops on the basis of taking into account of probabilistic influence of project environment on these works. Taking into account it, diploma work is actual both in scientific and in practical relations.

ВСТУП

Актуальність теми.

Трансформаційні процеси, що нині відбуваються в аграрному секторі України, суттєво впливають на традиційну систему вирощування та збирання зернових культур. У галузі одночасно функціонують як великі аграрні підприємства з десятками тисяч гектарів ріллі, так і невеликі господарства, землекористування яких не перевищує 50 гектарів. Проте для більшості сільськогосподарських підприємств характерною є проблема зношеності та нестачі зернозбиральної техніки. Через неможливість своєчасно виконувати збирання ранніх зернових культур у встановлені агротехнічні терміни втрати врожаю щороку сягають 12–15%.

Процес збирання зернових за допомогою комбайнів є складною інженерно-технологічною діяльністю, що реалізується у межах спеціалізованих інжинірингових проєктів. Ефективне управління такими проєктами потребує врахування невизначеностей і випадкових чинників проєктного середовища, які значно впливають на результативність збиральних робіт. Натомість існуючі підходи до планування та організації таких проєктів здебільшого орієнтовані на детерміновані умови і не враховують стохастичної природи процесів, що ускладнює узгодження роботи комбайнів і транспортних засобів та знижує загальну ефективність збирання.

У кваліфікаційній роботі сформовано науково-методичні основи, запропоновано відповідний метод і алгоритм, а також наведено результати вирішення прикладної задачі узгодження збиральних і транспортних операцій у проєктах збирання ранніх зернових культур з урахуванням ймовірного впливу проєктного середовища. Це підкреслює актуальність дослідження як з наукової, так і з практичної точки зору.

Метою роботи є підвищення ефективності управління проєктами збирання ранніх зернових культур шляхом розроблення та застосування методів, моделей і алгоритму узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі їх оперативного планування.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан проблеми у практиці та наукових дослідженнях і підтвердити необхідність створення нового методу та алгоритму узгодження збиральних і транспортних робіт у проєктах збирання ранніх зернових культур.

2. Визначити коло задач і розкрити системні особливості їх розв'язання для обґрунтування параметрів технологічних елементів системи «поле – комбайни – транспортні засоби», які забезпечують узгодженість виконання робіт.

3. Розробити системно-подієвий підхід до моделювання збиральних і транспортних процесів і визначити особливості планування подій у проєктах збирання ранніх зернових.

4. Обґрунтувати ознаки та здійснити класифікацію методів організації збиральних і транспортних робіт, а також розкрити причинно-наслідкові зв'язки між складовими цих процесів, що впливають на рівень їх узгодження.

5. Створити метод і обґрунтувати алгоритм системного забезпечення нормативної тривалості виконання проєкту збирання ранніх зернових на конкретному полі шляхом оперативного узгодження збиральних і транспортних робіт.

Об'єкт дослідження – процес координації збиральних і транспортних робіт у проєктах збирання ранніх зернових культур.

Предмет дослідження – причинно-наслідкові зв'язки між параметрами проєктного середовища та показниками ефективності збиральних і транспортних робіт, а також методи та моделі, що дозволяють забезпечити їх узгодженість.

Методи дослідження.

Для реалізації поставленої мети застосовано комплекс наукових методів, включаючи аналітичні та експериментальні підходи, принципи системного аналізу та управління проєктами. Використано статистичні методи оцінювання, регресійно-кореляційний аналіз, статистичне імітаційне моделювання, а також ітераційні методи для оптимізації параметрів узгодження робіт.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ У НАУЦІ ТА ПРАКТИЦІ

1.1 Аналіз науково-методичних засад обґрунтування параметрів комплексів зернозбиральних комбайнів

Наукові дослідження, присвячені визначенню параметрів технічного забезпечення проєктів зі збирання зернових культур, проводилися як на рівні окремих сільськогосподарських підприємств [2; 10; 11; 12], так і на рівні окремих регіонів [6]. У цих працях технічні параметри формуються за вартісним критерієм, який охоплює сукупні витрати на створення комплексу техніки, безпосереднє виконання збиральних робіт, а також вартісну оцінку можливих втрат урожаю. Такий підхід дає змогу комплексно врахувати економічні наслідки кожного етапу збирання.

Разом із тим підкреслюється, що параметри проєктів збору зернових суттєво залежать від мінливості проєктного середовища. До таких стохастичних факторів належать урожайність, рівень солонистості, показники вологості зерна, наявний добовий фонд робочого часу та інші природно-виробничі умови. Встановлено, що для підприємств, які функціонують у різних природно-кліматичних зонах, оптимальні технічні параметри мають істотні відмінності [1, 6, 12]. Це обумовлено неоднорідністю агротехнічних умов, що впливають як на продуктивність машин, так і на організацію процесів збирання.

Окрему увагу в наукових джерелах приділено проблемі узгодження параметрів парку зернозбиральних комбайнів із сезонною виробничою програмою збирання ранніх зернових культур. У роботі [8] зазначено, що централізоване виконання збиральних робіт часто організовується підприємствами технологічного сервісу (ПТС), які працюють за запитом сільськогосподарських підприємств. У такій моделі саме ПТС формує річну сезонну програму використання свого парку зернозбиральних комбайнів, беручи до уваги потреби багатьох господарств та часові обмеження.

Для оптимізації сезонної програми збирання ранніх зернових r -м комбайном у [8] запропоновано спеціальний алгоритм дослідження, який включає всі ключові етапи моделювання та оптимізації збирального процесу (рис. 1.1). Алгоритм дозволяє врахувати технічні характеристики машин, стохастичні умови проєктного середовища та вимоги до строків виконання робіт, що значно підвищує точність планування та ефективність використання комбайнового парку.

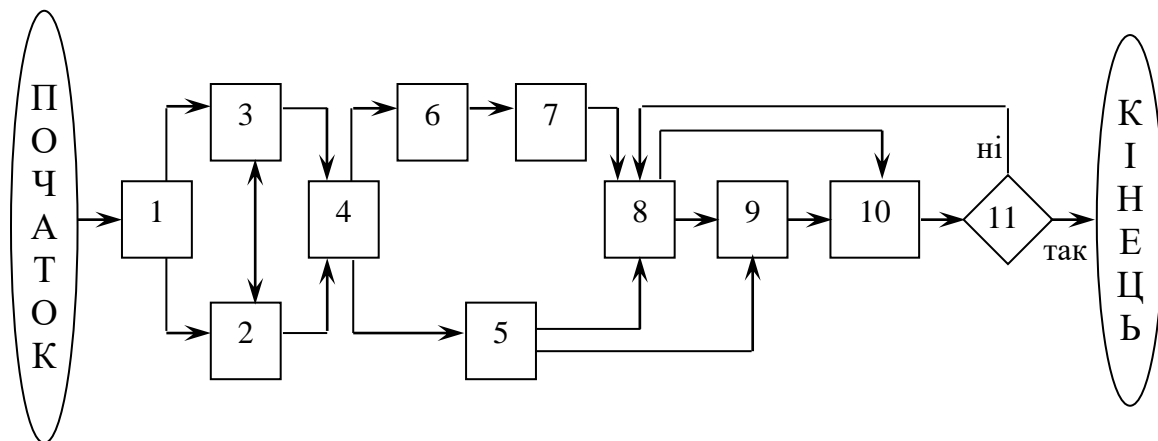


Рис. 1.1. Схема узагальненого алгоритму узгодження системних функціональних показників комбайнів із керованими характеристиками проєктного середовища

Запропонований алгоритм відображає поетапну методику стратегічного планування роботи зернозбиральних комбайнів протягом сезону. Основною метою є узгодження технічних характеристик комбайнів з умовами проєктного середовища, що включають площі полів, агрометеорологічні фактори та графік досягання зернових, для формування оптимальної сезонної програми. Основні етапи алгоритму включають:

1. Обґрунтування оптимізаційної функції;
2. Розробку концептуальної моделі віртуальної системи «комбайн – множина полів»;
3. Визначення основних чинників ефективності зернозбирального проєкту;

4. Розробку концептуальної моделі проекту збирання зернових культур;
5. Обґрунтування причинно-наслідкових зв'язків у потоці замовлень на виконання робіт на окремих полях сезонної програми;
6. Обґрунтування впливу агрометеорологічних умов на формування дозволеного фонду часу для збирання ранніх зернових культур;
7. Визначення організаційного режиму роботи комбайна протягом доби;
8. Створення алгоритму та проведення статистичного імітаційного моделювання роботи комбайна на окремому полі;
9. Створення алгоритму та моделювання роботи комбайна на всіх полях сезонної програми;
10. Визначення показників ефективності проекту;
11. Пошук оптимальних характеристик сезонної програми комбайна, що забезпечують мінімальне значення узагальненого показника ефективності зернозбирального процесу.

Слід зазначити, що даний алгоритм призначений для стратегічного планування на рівні всього сезону і не дозволяє тактично коригувати виробничу програму відповідно до наявного технічного забезпечення за умов змінної погоди та агрометеорологічних факторів.

Щодо тактичного планування потреби в комбайнах та їх залучення у підприємствах технологічного сервісу розроблено низку методик. Зокрема, у роботі Ю.К. Кіртбая запропоновано визначення необхідної кількості машин для виконання заданого обсягу збирання. Автори підкреслюють, що різні ґрунтово-кліматичні умови та агробіологічні особливості потребують раціонального поєднання комбайнів різних типів та технологій збирання. Водночас залишається невирішеним питання кількості транспортних засобів для обслуговування більш і менш потужних машин.

Ефективність збору зернових культур значною мірою залежить від оперативного управління збиральними роботами, яке передбачає:

- формування збирально-транспортних комплексів для окремих полів;
- розподіл комбайнів між полями із достиглим урожаєм;
- маневрування технологіями збирання.

Методика розподілу комбайнів по полях із достиглим урожаєм базується на моделюванні погодних умов із використанням теорії ланцюгів Маркова. Однак її недоліком є те, що час досягання зернових і площі полів розглядаються як детерміновані величини, що не враховує реальної мінливості погодних умов.

Ф.С. Завалішин пропонував визначати оптимальний термін початку збиральних робіт на основі закономірностей розвитку та досягання культур, щоб досягти максимального збору урожаю. Проте цей метод не враховує мінливий характер агрометеорологічних умов і не розглядає узгодження збиральних і транспортних робіт.

Г.Є. Чепурін та Г.П. Воровкін запропонували метод оперативного вибору технологій збирання на основі детермінованого розрахунку дат досягання врожаю. Недоліки цього підходу полягають у тому, що він не враховує ймовірнісну природу опадів, їх тривалість та кількість, а також не дає змоги оцінити потребу в комбайнах і транспорті для конкретних полів.

У випадку прямого комбайнування більшість дослідників рекомендують починати збирання при повній стиглості зерна, коли припиняється нагромадження сухої речовини, а вологість зерна становить 17–20%, що забезпечує оптимальні умови для збирання.

О.Т. Табашников запропонував детерміновану модель для визначення оптимальної тривалості збирання зернових культур [9]. Хоча ця методика враховує експлуатаційні витрати на транспортних роботах, вона не розглядає питання узгодження збиральних і транспортних робіт. Крім того, модель не відображає залежність потреби у комбайнах та транспортних засобах від

таких факторів, як площі полів, урожайність, солоність, терміни досягання, види та сорти зернових культур, а також агрометеорологічні умови.

Сучасні методи і моделі обґрунтування термінів виконання проектів, зокрема, не дозволяють адекватно планувати початок та тривалість збиральних робіт, оскільки не враховують мінливий характер агрометеорологічних умов, добову продуктивність комбайнів, строки досягання різних зернових культур та площі полів, на яких їх вирощують.

Дослідження щодо ієрархічної структури подій і явищ, що визначають початок робіт у аграрних проектах, показують, що головними подіями є події потоку замовлень, тобто множина полів сезонної програми для виконання збиральних робіт [7]. Окрім цього, до подій проекту включаються агрометеорологічні умови:

1. непогожі (дощові) та погожі (сухі) інтервали часу;
2. росянисті проміжки часу, характерні для погожих інтервалів.

Тривалість цих проміжків визначає природнозумовлений фонд часу для збирання зернових культур, оскільки впливає на стан зерностеблової маси.

Ситуаційне планування роботи наявного технічного забезпечення відповідно до виробничої програми та очікуваних агрометеорологічних умов безпосередньо впливає на простоту та ефективність використання парку комбайнів. О.М. Грибинюк запропонував методіку ситуаційного управління парком зернозбиральних комбайнів сільськогосподарського підприємства, яка поєднує імітаційні та детерміновані моделі. Проте ця методіка не враховує потребу в узгодженні збиральних і транспортних робіт на основі визначення параметрів комбайнового та транспортного комплексів. Основним недоліком є те, що час досягання полів з різними культурами та площі полів розглядаються як детерміновані величини, і не враховується ймовірнісний характер цих параметрів.

1.2 Аналіз чинних методів обґрунтування потреби у транспортних засобах

Проблемою обґрунтування потреби у транспорті займалися М.С. Капланович, Н.Н. Биков, В.А. Гоберман, Л.Г. Заснчик, А.М. Криков, М.О. Брайловський, К.І. Жукевич, Е.А. Фінн, Т.А. Воркут та ін. Вони розробили методи визначення потреби у транспортних засобах для різних проектів, у тому числі сільськогосподарських.

У наукових працях час виконання збиральних робіт розглядається як детермінована величина. Строки збирання зернових культур, урожайність полів, продуктивність техніки та тривалість робочого фонду часу вважаються незмінними. Транспортна система описується спрощено: один постачальник (парк збиральної техніки) і один споживач (пункт приймання зерна) на середній відстані перевезень. Розрахунок проводиться для умовної транспортної одиниці, використовуючи однотипні автомобілі.

Для зменшення витрат на перевезення пропонується застосовувати автомобілі різної вантажності. Визначається середньорічна продуктивність автомобілів та їх необхідна кількість залежно від обсягу перевезень конкретного виду вантажу.

М.І. Рафф запропонував вибір типу автомобіля виходячи із максимальної продуктивності та мінімальної собівартості, порівнюючи різні моделі за однакових умов. Собівартість 1 т·км визначається для кожного транспортного засобу, і обирається автомобіль із найменшою собівартістю.

Таким чином, більшість методів обґрунтування потреби у транспорті є детермінованими. У проектах збирання зернових, де збиральні роботи мають стохастичний характер, застосування таких методів призводить до невідповідності реальним умовам та зниження ефективності управлінських рішень.

Для підвищення точності використовується теорія масового обслуговування, яку застосовує Ф.С. Завалішин. Він враховує ймовірнісні

параметри обслуговування комбайнів транспортними засобами, зокрема ймовірність та тривалість їхніх простоїв.

Більшість досліджень у сфері теорії масового обслуговування зосереджена на простому потоці вимог, що характеризується ординарністю та стаціонарністю, а тривалість обслуговування розподіляється за експоненційним законом. У таких підходах не враховується ймовірний час простою зернозбиральної техніки, який впливає на розподіл потоку замовлень комбайна на вивантаження бункера та визначає потребу в транспортних засобах.

Для більш детального дослідження збирально-транспортних робіт у проектах збирання застосовується імітаційне моделювання. При цьому приймається, що досягання культур відбувається дискретно і не залежить від агрометеорологічних умов та характеристик полів. Тривалість між фазами стиглості вважається однаковою для всіх полів, а збирально-транспортні ланки формуються з однотипних комбайнів та транспортних засобів. Водночас враховується вплив погодних умов на роботу комбайнів, зокрема ймовірність цілодобового простою та ймовірнісний характер нарощування продуктивності після тривалих опадів.

Транспортні засоби обслуговують комбайни груповим способом, без закріплення за конкретним комбайном. Їхні характеристики включають технічні параметри, середню технічну швидкість руху з вантажем та без, а також середню тривалість перебування на пункті приймання. При цьому не враховуються технічні відмови транспортних засобів та стан доріг, що впливає на тривалість перевезень.

Рішення задач щодо формування парків транспортних засобів, їх взаємодії та використання в умовах ринкової економіки здійснюється за допомогою статистичного моделювання процесів транспортного обслуговування. Проте розрахунок необхідної кількості автомобілів проводиться за відомими аналітичними формулами, що дають лише

наближені результати. У даному дослідженні основна увага зосереджена на ефективності використання наявного парку транспортних засобів.

Хоча наукові праці з використанням ймовірнісних моделей транспортних робіт є важливими для дослідження, їхні результати не можна безпосередньо застосувати для узгодження збиральних і транспортних робіт, оскільки ця задача системно не розв'язувалася.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз досліджень проектного середовища та організації роботи зернозбиральних комбайнів показує, що зернові культури збираються комбайновими комплексами, які можуть працювати як на внутрішньогосподарській, так і на міжгосподарській основі, проте відсутні дані про особливості управління цими комплексами.

2. Існуючі науково-методичні підходи до обґрунтування параметрів комплексів зернозбиральних комбайнів не враховують необхідності узгодження їх параметрів з параметрами транспортних засобів.

3. Сучасні методики обґрунтування потреби технологічних систем у транспортних засобах є важливими, але не дають достатньої підстави для узгодження збиральних і транспортних робіт у динамічних проектах збирання ранніх зернових культур, де тривалості робіт мають ймовірнісний характер.

РОЗДІЛ 2

СИСТЕМНО-ПОДІЄВІ ЗАСАДИ ПРОЦЕСУ УЗГОДЖЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ І ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ

2.1 Означення підсистем, подій робіт та задач у проектах збирання ранніх зернових культур

Сутність процесів управління змістом та часом визначається властивостями об'єктів управління, якими є проекти. Проекти збирання ранніх зернових культур мають низку специфічних рис, що відрізняють їх від інших видів проектів та обумовлюють необхідність розробки спеціальних методів і моделей для обґрунтування процесів управління.

Аналізуючи такі проекти з позицій системного підходу, можна зауважити, що вони є складовими відповідних програм і значною мірою визначають їх ефективність. Водночас ці проекти мають унікальний характер, який зумовлюється ймовірнісним впливом агрометеорологічних та предметних чинників (грунту, рослин) на властивості проектного середовища.

Цей вплив разом із ефективністю виконання робіт у попередніх проектах вирощування ранніх зернових культур визначає такі характеристики предметної складової проектного середовища, як урожайність, солонистість, забур'яненість та полеглисть зерностеблостою відповідних культур. Крім того, він впливає на час початку виконання проектів, тривалість агрометеорологічних перерв у роботах, момент настання втрат урожаю на полях та економічно доцільний час завершення збирання.

Ідентифікація складових часу виконання збиральних робіт у таких проектах здійснюється на основі певних критеріїв, що формуються шляхом оцінки стану предметної (П) та агрометеорологічної (А) складових проектного середовища. Таким чином, у проектах збирання ранніх зернових культур виділяється низка подій, пов'язаних зі змінами предметної та

агрометеорологічної складових середовища, які можна графічно відобразити для окремих (γ) полів із певними (k) культурами (рис. 2.1).

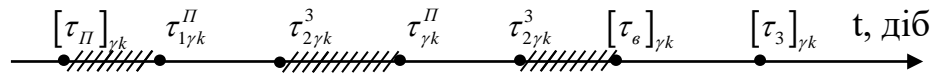


Рис. 2.1. Графічне відображення характерних подій щодо зміни стану предметної складової проектного середовища

Аналіз причин появи зазначених подій на календарній вісі часу, які відображають зміни предметної складової проектного середовища, дозволяє зробити висновок, що вони визначаються природними процесами та явищами, що можуть бути класифіковані як агрометеорологічні, біологічні та фізичні.

Агрометеорологічні явища проявляються у природі та характеризуються такими показниками, як вологість і температура повітря, наявність опадів, роса та сила вітру. Ці фактори впливають на біофізичний стан зерностеблостою, який оцінюється через такі показники, як міра стиглості, вологість, урожайність, забур'яненість, солонистість і полеглисть зерностеблостою.

Збирання зернових культур є складним процесом і включає основні, транспортно-складські та допоміжні роботи. Основні роботи в проектах збирання ранніх зернових культур забезпечують безпосереднє отримання врожаю і виконуються відповідно до встановлених технологій. Вони складаються з послідовних операцій, що формують технологічний процес: зрізання зерностеблостою, подача зрізаного матеріалу до механізму обмолоту, обмолот, розділення зернового вороху та соломи, очищення зерна, накопичення в бункері комбайна та його вивантаження.

Накопичене у бункері зерно потім вивантажується у транспортний засіб, який доставляє його на місце тимчасового зберігання, первинної обробки, складування на току або коморі сільськогосподарського

підприємства, а також на пункт тривалого зберігання (елеватор). Таким чином, роботи у проектах збирання ранніх зернових культур є багатокомпонентними і можуть бути представлені окремо для кожного поля та для множини полів предметної складової проектного середовища відповідного проекту.

Транспортно-складські операції враховують характеристики кожного автомобіля та причіпної місткості, що використовуються у проектах збирання. Важливим елементом є також простоти транспортних засобів під час очікування навантаження, зважування та розвантажування. Основна мета управління транспортними роботами полягає у мінімізації простоїв.

Рішення цієї задачі є складним, оскільки воно системно пов'язане з визначенням потреби в комбайнах, зважувально-облікових пунктах, сушарках, площах токів, місткостях складів (елеваторів) та інших елементах технічного оснащення проектів.

Іншими словами, ефективність управління транспортними роботами та їх узгодження із збиральними роботами у проектах збирання сільськогосподарських культур залежить від рівня взаємної узгодженості параметрів технологічних складових технічного оснащення систем-програм виробництва зерна (рис. 2.2).

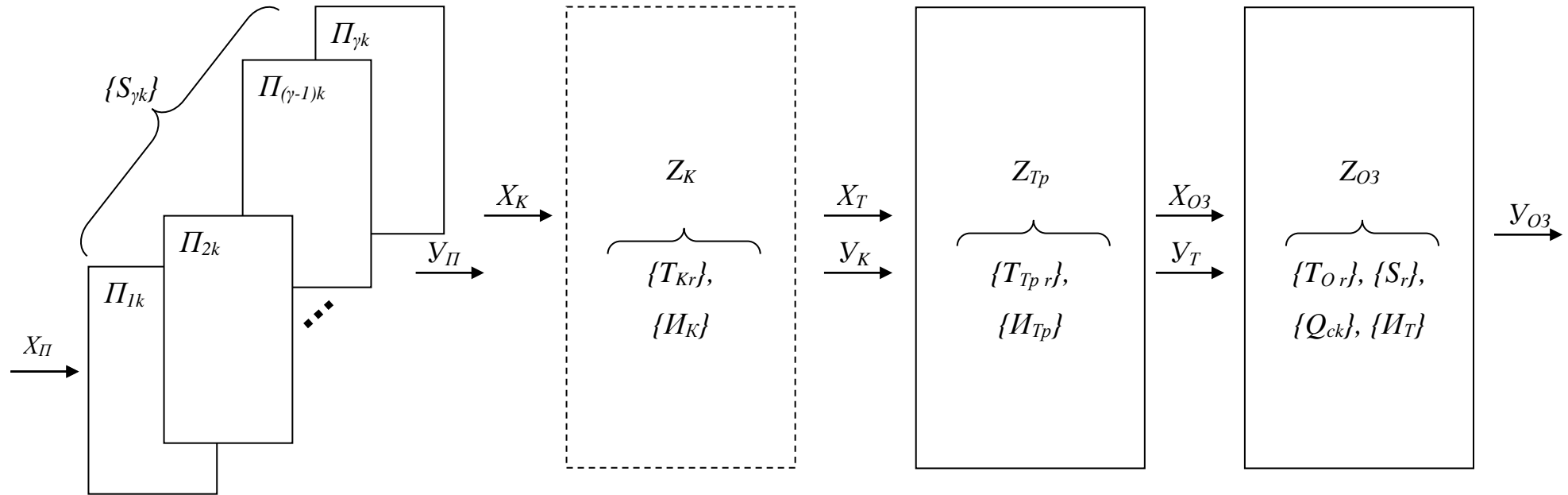


Рис. 2.2 Спрощена структура зернозбирально-складської системи-програми збирання зернових культур: – узагальнена характеристика предметної підсистеми вирощеного врожаю та параметри підсистем парку зернозбиральних комбайнів, парку транспортних засобів, первинної обробки та зберігання зерна; – відповідно, характеристики вхідних потоків підсистем вирощеного врожаю, парку комбайнів, парку транспортних засобів, первинної обробки зерна; – відповідно, показники вихідних потоків підсистем вирощеного врожаю, парку комбайнів, парку транспортних засобів, первинної обробки зерна; – відповідно, множини комбайнів, транспортних засобів та обладнання для післязбиральної обробки зерна; – відповідно, множини площ токів та складів для зберігання зерна; – відповідно, множини виконавців – комбайнерів, водіїв (трактористів) та робітників токів.

Вирішення зазначеної задачі можливо лише за умови застосування системного підходу, що передбачає одночасне обґрунтування параметрів усіх складових системи. Досягнення цього здійснюється шляхом використання методів ітераційного та статистичного імітаційного моделювання. Важливою умовою достовірності отриманих результатів є управління взаємодіями між складовими системи, зокрема між множиною комбайнів, що працюють на полях, та транспортними засобами, а також між ними і підсистемами зважування та токами. Управління транспортними роботами суттєво впливає на ефективність цих взаємодій і загальну ефективність проектів збирання ранніх зернових культур.

Цей висновок підкреслює не лише значення транспортних робіт у збиральних проектах, але й обґрунтовує методологічні підходи до системного визначення параметрів транспортних засобів та управлінських рішень щодо змісту та часу виконання транспортних операцій. У методологічному плані виділяються дві основні задачі: 1) обґрунтування парку транспортних засобів із урахуванням управління транспортними роботами; 2) визначення управлінських дій щодо транспортних робіт при наявному парку транспортних засобів. Обидві задачі повинні вирішуватися у системній єдності з іншими складовими: характеристиками предметної підсистеми, параметрами парку комбайнів та параметрами звантажувально-облікових систем і токів.

Обґрунтування парку транспортних засобів розглядається як задача технічного оснащення проектів збирання ранніх зернових культур, яка нерозривно пов'язана з визначенням парку комбайнів. Ці задачі належать до стратегічних. Для усталених систем, що реалізують проекти збирання за фіксованого парку комбайнів, визначення парку транспортних засобів та управління ними ускладнюється імовірнісним характером часу досягання культур, станом полів та нестабільністю агрометеорологічних умов.

За 2–3 тижні до початку збирання урожаю на окремих полях інформація про час досягання та характеристики культур стає

прогнозованою, що дозволяє більш достовірно обґрунтувати сезонну потребу в комбайнах і транспортних засобах. У цей період здійснюється тактичне планування збирально-транспортних робіт на полях із першим достиглим урожаєм. Для інших полів процеси управління можуть належати до тактичного або оперативного планування.

Однією з ключових задач планування та організації збиральних і транспортних робіт є узгодження параметрів системи «поле–комбайни–транспортні засоби». Залежно від конкретної постановки управлінського завдання, результати можуть відрізнятися: 1) зібрати урожай без втрат у технологічно оптимальний термін мінімальною кількістю комбайнів і транспортних засобів; 2) зібрати урожай за визначений термін без простоїв комбайнів; 3) зібрати максимальний урожай заданою кількістю комбайнів за обмежених транспортних ресурсів; 4) зібрати максимальний урожай за обмежених людських ресурсів. Ці варіанти визначаються особливостями перебігу проектів збирання.

Отже, вирішення задач узгодження збиральних і транспортних робіт у проектах збирання ранніх зернових культур потребує системного алгоритму, який враховує: структуру управлінських задач у стратегічному, тактичному та оперативному плануванні; зміни змісту задач для кожного етапу; системний зв'язок між управлінням збиральними, транспортними та іншими роботами у проектах.

2.2 Системно-чинниковий підхід та особливості вирішення задач узгодження збиральних і транспортних робіт

Як вже зазначалося, у проектах виробництва зерна СГП під час його збирання можна виділити такі основні роботи: 1) збирання зерна та наповнення бункерів комбайнів; 2) вивантаження зерна з бункерів у транспортні засоби та його перевезення до токів і елеваторів; 3) зважування транспортних засобів із зерном і розвантаження його на токах та елеваторах. Для виконання цих робіт застосовуються відповідні технічні засоби –

зернозбиральні комбайни та транспортні засоби, які фактично визначають параметри виробничих підсистем: парк комбайнів та парк транспортних засобів. Для кожної з них, відповідно до методології системного підходу, визначаються вхідні та вихідні потоки, а також технологічні перетворення.

Щодо управлінського процесу узгодження збиральних і транспортних робіт, його розглядають за певної ідеалізації – за відсутності впливу на підсистеми збирання та транспортування функціонування підсистем первинної обробки та зберігання. Іншими словами, у дослідженні приймається припущення, що потік транспортних засобів обслуговується підсистемою обробки та зберігання зерна без затримок, пов'язаних, наприклад, з відсутністю площ для вивантаження.

Концептуально прояв зазначених чинників розглядається відносно основних системних складових підсистем збирання та транспортування зерна на післязбиральну обробку та зберігання. Для підсистеми збирання предметом праці є достиглий зерностеблестій на конкретному полі. Виробничі умови визначаються конфігурацією та рельєфом поля, агрометеорологічні чинники – станом погоди, наявністю або дефіцитом вологості, що впливає на вологість та масу зерностеблестою. Соціальна група чинників відображає параметри підсистеми – кількість і кваліфікацію комбайнерів. Технологічні чинники характеризують застосовувані методи збирання (роздільне або пряме комбайнування). Технічні чинники визначають техніко-експлуатаційні показники комбайнів. Управлінські та інформаційні чинники визначають зміст і періодичність прийняття рішень щодо функціонування підсистеми, а ресурсно-енергетичні – вплив ресурсів (паливо, мастильні матеріали) на її діяльність.

Стосовно підсистеми транспортування зерна предметом праці є зерно, яке відрізняється видами та сортами культур, його вологістю, засміченістю, об'ємом та масою окремих порцій. Ця група чинників зумовлює технічні потреби – кількість та вантажність транспортних засобів. Виробничі чинники визначаються станом доріг і відстанню між полями та токами. Соціальні

чинники включають чисельність і кваліфікацію шоферів і трактористів. Управлінські та інформаційні чинники впливають на періодичність управлінських рішень і наявність необхідної інформації для координації робіт.

Управлінський процес узгодження збиральних і транспортних робіт стосується управління змістом і часом їх виконання в межах стратегічного, тактичного та оперативного управління проектами. Рівень узгодження оцінюється показниками, які можна визначити лише під час виконання робіт. З одного боку, це тривалість очікування комбайнів із наповненим бункером на транспортні засоби для вивантаження зерна. З іншого боку – тривалість очікування транспортних засобів на завантаження. Простаї комбайнів безпосередньо впливають на їх продуктивність і своєчасність виконання збирального процесу. Простаї транспортних засобів не впливають на темп збирання, проте свідчать про неефективне використання капітальних вкладень.

Крім простоїв, важливим показником є несвоєчасність виконання збирально-транспортних робіт на конкретному полі, яка визначається як різниця між фактичним завершенням збирання к-ї культури та оптимальним агротехнічним терміном завершення її збирання.

Розглядаючи узгодження робіт для комбайнового збирання ранніх зернових культур на конкретному полі, спостерігається причинно-наслідковий зв'язок між характеристиками предметної складової проектного середовища (ХПС), параметрами комбайнового комплексу (ПКК) та параметрами транспортного комплексу.

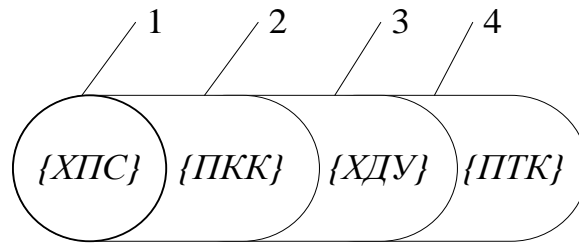


Рис. 2.3. Графічне представлення системи «поле-комбайни-транспортні засоби»: – характеристики предметної складової проектного середовища (поля з достиглим урожаєм); – параметри комбайнового комплексу;

– характеристики дорожніх умов; – параметри транспортного комплексу;

1 – задача визначення характеристик предметної складової проектного середовища;

2 – задача визначення параметрів комбайнового комплексу;

3 – задача оцінювання характеристик дорожніх умов;

4 – задача визначення параметрів транспортного комплексу.

Множина характеристик предметної складової проектного середовища впливає не лише на параметри комбайнового комплексу, але й на параметри транспортного комплексу {ПТК}, що ускладнює традиційний причинно-наслідковий зв'язок. У таких умовах можуть формуватися декілька збирально-транспортних комплексів, кожен із яких одночасно може застосовуватися на різних полях.

Ефективність управління проектом збирання ранніх зернових культур досягається через вирішення таких основних задач:

1. визначення пріоритетів у збиранні множини полів із достиглим урожаєм;

2. обґрунтування кількості полів, урожай на яких збирається одночасно;

3. розподіл наявного (обмеженого) парку комбайнів і транспортних засобів між полями, що обслуговуються першочергово.

Графічне представлення системи «поле-комбайни-транспортні засоби» та означення основних задач щодо обґрунтування її параметрів наведено на рис. 2.4.

Вирішення ключових задач для системи, що складається з множини полів із одночасно достиглим урожаєм, потребує врахування причинно-наслідкових зв'язків не лише для окремих підсистем «поле-комбайни-транспортні засоби», а й проведення системного аналізу прогнозованих результатів управлінського рішення щодо розподілу комбайнів і транспортних засобів між полями предметної складової проектного середовища.

Без детального розгляду методичних аспектів зазначеної задачі слід підкреслити, що узгодження збиральних і транспортних робіт є одним із ключових чинників забезпечення ефективності проектів збирання ранніх зернових культур у СГП.

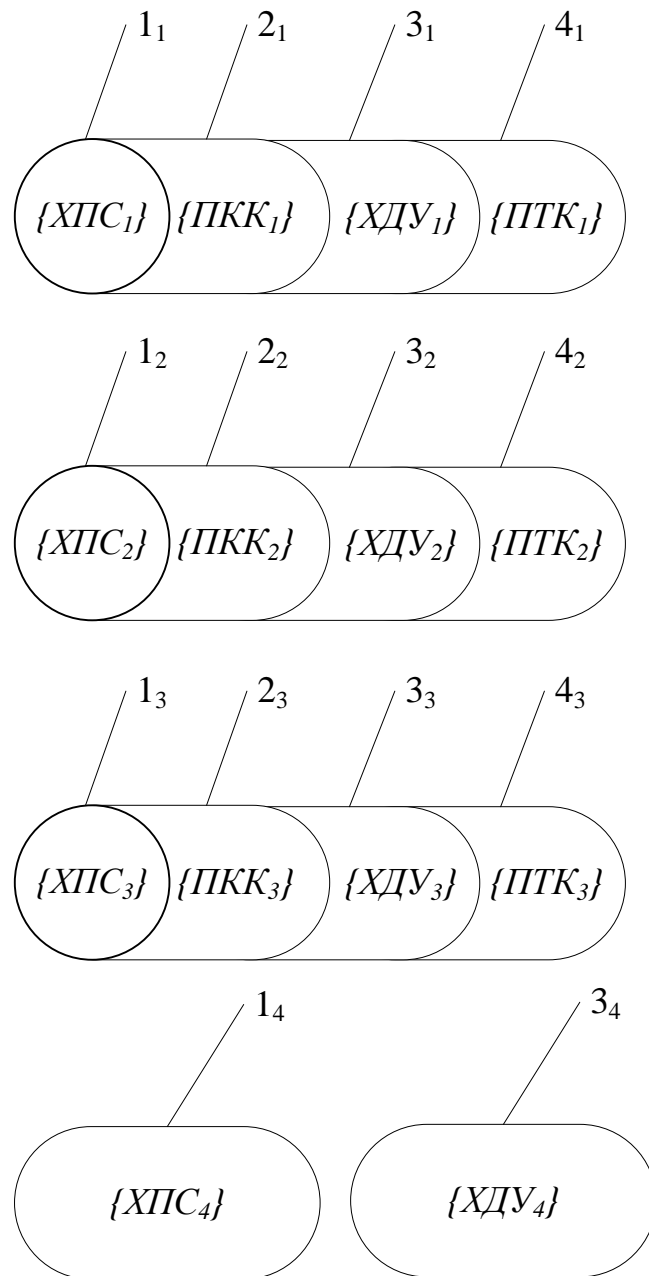


Рис. 2.4. Графічне відображення системи «поля-комбайни-транспортні засоби»

Висновки до розділу 2

1. Проаналізовані характерні події зміни стану предметної складової проектного середовища, їхні причини та зміст операцій збиральних і транспортних робіт у проектах збирання ранніх зернових

культур дозволили виділити специфіку управлінської задачі узгодження цих робіт.

2. Структурування проектів збирання ранніх зернових культур на прикладі окремих сільськогосподарських підприємств дало можливість визначити чотири ключові підсистеми, описати їхні характерні системні складові та розкрити зміст задач узгодження збиральних і транспортних робіт у процесах стратегічного, тактичного та оперативного планування.

3. Застосування системно-чинникового підходу до вирішення управлінської задачі узгодження збиральних і транспортних робіт дозволило деталізувати складові збиральної та транспортної підсистем, що є підґрунтям для створення моделей цих підсистем та мінімізації управлінських помилок.

4. Особливості розв'язку задач узгодження збиральних і транспортних робіт визначаються структурою системи-проекту «поля-комбайни-транспортні засоби» та нерівномірністю досягання урожаю ранніх зернових культур на окремих полях. Системний підхід до вирішення цих задач забезпечує узгодження робіт як для окремих полів, так і для скінченої множини полів із одночасно достиглим урожаєм.

5. Визначення та класифікація подій у проектах збирання ранніх зернових культур дозволили розкрити їх системну множину та ієрархічну структуру. Встановлено, що в процесах стратегічного, тактичного та оперативного узгодження збиральних і транспортних робіт результати прогнозування їх кількості та часу появи характеризуються різним рівнем невизначеності, що зумовлює застосування різних методів їх аналізу.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УЗГОДЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ І ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ

3.1 Методи організації виконання збиральних і транспортних робіт

Відомо, що проекти комбайнового збирання ранніх зернових культур можуть виконуватися за двома основними технологіями: 1) роздільною та 2) прямого комбайнування [4]. Роздільна технологія передбачає попереднє укладання достиглої до молочно-воскової стиглості зерностеблевої маси у валки, її досягання у валках до повної стиглості та подальший комбайновий обмолот валків [6]. У такому випадку час досягання зерностеблевої маси від молочно-воскової до повної стиглості скорочується на 3–5 діб. Тому безвтратне збирання ранніх зернових культур на полі можна забезпечити шляхом поєднання двох технологій: частина площ збирається за роздільною технологією, інша — прямим комбайнуванням. Однак при застосуванні роздільної технології існує ризик того, що укладену у валки масу можуть намочити опади, а тривале перебування у вологому стані призведе до більших втрат врожаю, ніж при прямому комбайнуванні. Таким чином, вибір технології збирання є важливим фактором підвищення ефективності проектів за умови обмеженого парку комбайнів та погодних особливостей у період жнив. Це обґрунтовує необхідність розробки методів узгодження збиральних і транспортних робіт з урахуванням обох технологій.

Аналізуючи роздільну технологію збирання, слід зазначити, що під час укладання зерностеблевої маси у валки транспортні засоби не задіяні, тому ці роботи доцільно не враховувати. Досліджуватимемо лише операції обмолоту зерностеблевої маси та транспортування намолоченого зерна від комбайнів. До таких робіт належить обмолот маси, укладеної у валки. Процес збирання у цьому випадку аналогічний прямому комбайнуванню, відмінність полягає лише в операції зрізання зерностеблестою та орієнтації його мотовилом, а при обмолоті валків здійснюється додаткова операція підбору

укладеної маси. У обох технологіях зазначені операції виконуються під час руху комбайна по полю з достиглим урожаєм.

Таким чином, переміщення комбайна по полю є складовою збиральної роботи. Під час руху здійснюються технологічні операції: обмолот зерностеблевої маси, відділення зерна від соломи, очищення та наповнення бункера. Для забезпечення руху по обмеженій геометрії поля комбайн виконує розвороти на кінцях гону та зупинки для вивантаження зерна. Додатково до складу роботи комбайна входять технологічні зупинки, зумовлені надмірними обсягами зерностеблевої маси, її полеглистю або засміченням бур'янами та ґрунтом [108].

Збирання на полі зазвичай виконують декілька комбайнів паралельно, що дозволяє швидше завершити роботу. Вплив простоїв одного комбайна на інші у цьому випадку відсутній завдяки поділу поля на загінки та незалежній роботі кожного комбайна (рис. 3.1). Таким чином досліджується складова проекту збирання, яка називається зернозбиральною системою «поле-комбайни-транспортні засоби». Елементарною одиницею цієї системи є комплекс «поле-комбайн-транспортні засоби».

Інтенсивність збиральних робіт цього року визначається числом комбайнів, що одночасно (паралельно) здійснюють збір урожаю.

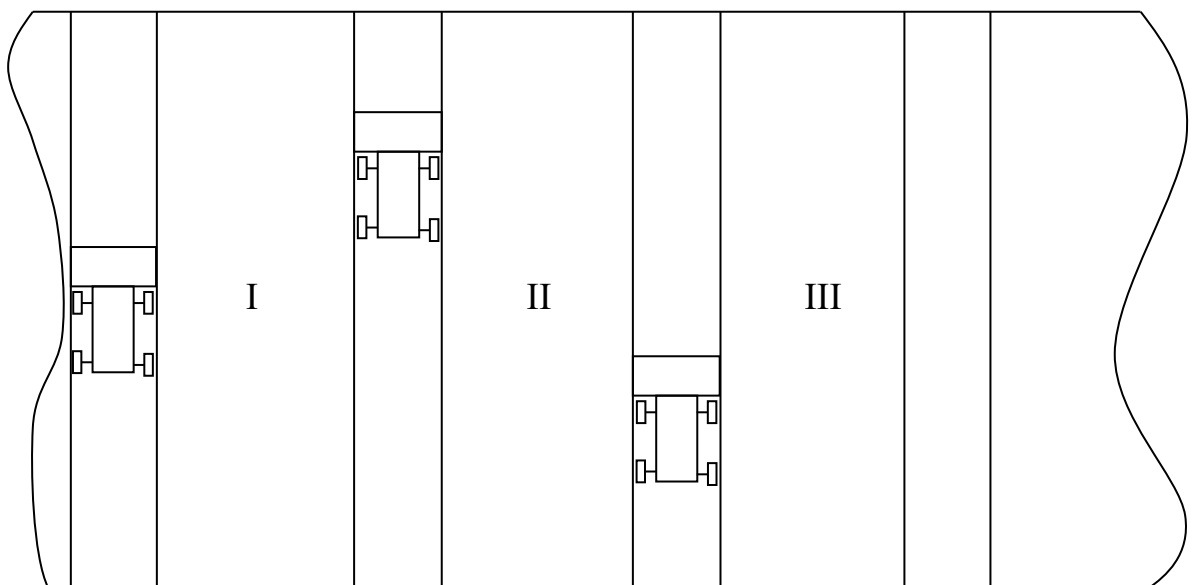


Рис.3.1 Схема паралельної (незалежної) роботи трьома комбайнами: I, II, III – відповідно три загінки. При розгляді транспортних робіт у проектах

збирання ранніх зернових культур слід зауважити, що їх організація може бути різною. Зокрема, транспортні роботи для окремого поля з достиглим урожаєм ранніх зернових культур можуть виконуватися знеособлено або безпосередньо щодо окремих комбайнів (рис.3.2).

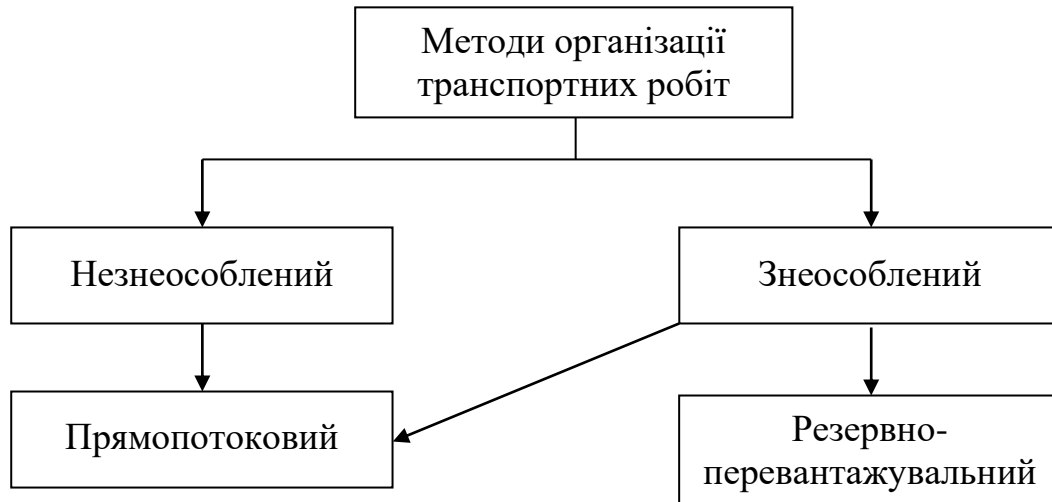


Рис.3.2 Схема класифікації методів організації транспортних робіт у проектах збирання ранніх зернових культур

Знеособлений метод організації транспортних робіт передбачає, що обслуговування будь-якого комбайна здійснює перший транспортний засіб, який прибув з току та готовий до роботи. Тобто транспортні засоби не закріплюються за конкретними комбайнами. Інакше організовується незнеособлене обслуговування, коли кожен комбайн у системі «поле-комбайни-транспортні засоби» має закріплені транспортні засоби.

Переваги та недоліки обох методів зумовлені стохастичним характером потоку замовлень на вивантаження зерна від комбайнів, тобто інтервали між ними не є детермінованими і описуються теоретичними законами розподілу. Тривалість перебування транспортних засобів на маршруті (поле-тік) також є випадковою величиною. За знеособленого методу часто виникають невідповідності між інтервалами замовлень і часом перебування транспортних засобів на маршруті, що призводить до простоїв комбайнів і транспорту, ускладнює усунення простоїв за мінімальної кількості транспортних засобів та облік намолоченого зерна.

Незнеособлений метод спрощує облік зерна, оскільки кожен транспортний засіб обслуговує тільки закріплений комбайн, що дозволяє усунути простої комбайнів за мінімальної кількості транспортних засобів. При цьому місткість бункерів комбайнів повинна відповідати або бути кратною місткості кузовів транспортних засобів.

Базові методи організації транспортних робіт включають знеособлений та незнеособлений. Знеособлений метод поділяється на прямопотоковий і резервно-перевантажувальний. За прямопотокового методу зерно завантажується з бункера комбайна у кузов транспортного засобу та доставляється на тік. Резервно-перевантажувальний метод передбачає використання додаткових місткостей-причепів для тимчасового зберігання зерна при відсутності вільного транспорту, що дозволяє уникнути простою комбайна.

Класифікація методів виконання транспортних робіт відбувається за двома ознаками: 1) способом обслуговування комбайнів; 2) організацією потоку зерна. Прямопотоковий метод економить час і ресурси, але обмежений наявністю комбайнів і транспорту в СГП. Вибір методу обслуговування комбайнів є ключовою задачею узгодження збиральних і транспортних робіт.

3.2 Часові взаємозв'язки між роботами збирання та транспортного обслуговування комбайнів

Не враховуючи витрати енергії двигуна комбайна та її баланс, слід зазначити, що комбайн зупиняється, якщо потужність двигуна дорівнює потужності, витрачуваній на збирання. Тому швидкість руху комбайна є критичною. Крім того, її обмежує допустимий рівень втрат зерна через недостатній обмолот. Пропускна здатність молотарки визначає масу зерностеблевої маси, яку можна ефективно обмолотити за секунду,

враховуючи допустимі втрати. Сучасні комбайни автоматично регулюють швидкість руху для мінімізації втрат.

Отже, під час виконання збиральної роботи комбайн здебільшого рухається автоматично, з дотриманням часу роботи на полі. Час руху переривається потребою вивантаження бункера, технологічними зупинками, дозаправленням або фізіологічними паузами комбайнера. Таким чином, час руху комбайна у загінці визначається всіма складовими часу збиральної роботи.

У процесі збирання ранніх зернових культур на окремих полях для кожного комбайна можна виділити цикли появи окремих складових робіт. Кількість таких циклів (n) та їх тривалість є невід'ємними характеристиками виконання збирального процесу. Особливо важливими для узгодження збиральних і транспортних робіт є цикли формування замовлень комбайнів на вивантаження намолоченого зерна з бункера.

Для кожного циклу виконання окремих складових збиральної роботи слід враховувати не лише час їх здійснення, а й періодичність виникнення (рис.3.3).

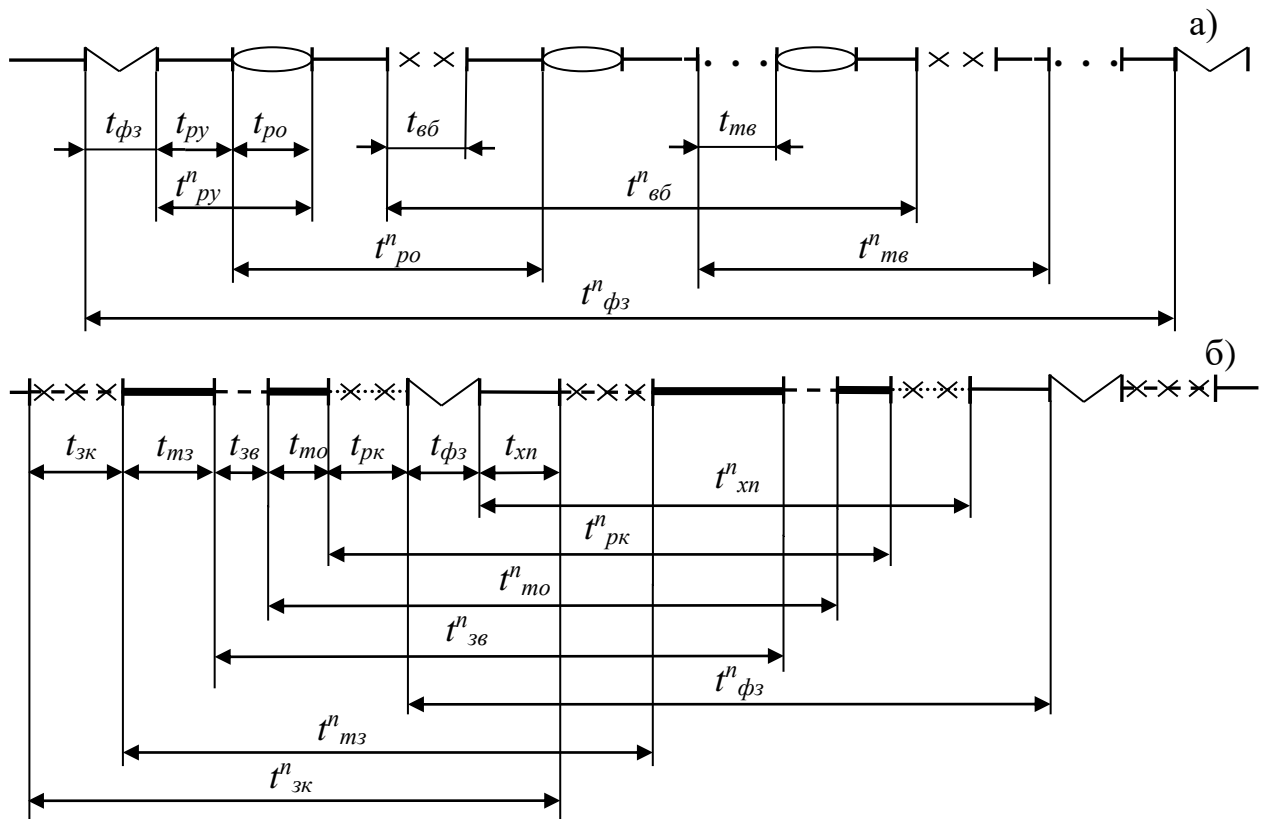


Рис.3.3 демонструє структуру основних складових збиральної (а) та транспортної (б) робіт.

При цьому операція «вивантаження бункера» не повністю збігається за часом із операцією «завантаження транспортного засобу». Вони частково перекриваються у часі виконання. Операція вивантаження бункера складається з двох етапів: очікування комбайном прибуття транспортного засобу та власне вивантаження зерна з бункера у кузов транспорту. У свою чергу, операція завантаження транспортного засобу також має два етапи: очікування моменту появи замовлення від комбайна та безпосереднє завантаження зерна (рис.3.4).

Таким чином, аналіз виконання операцій вивантаження бункера та завантаження транспортного засобу з урахуванням замовлень комбайнів на вивантаження зерна дозволяє виділити три можливі варіанти:

1. замовлення обслуговується із запізненням – комбайн простоює, а операція вивантаження бункера триває довше, ніж завантаження транспортного засобу;
2. замовлення обслуговується своєчасно – транспортний засіб простоює, а завантаження триває довше, ніж вивантаження бункера;
3. замовлення обслуговується вчасно – комбайн і транспортний засіб працюють без простоїв (рис.3.4, в).

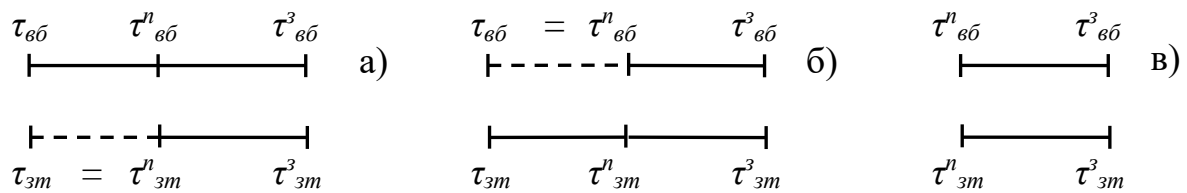


Рис.3.4 ілюструє графічне представлення складових операцій «вивантаження бункера» та «завантаження транспортного засобу» за трьома умовами:

- а) замовлення на вивантаження бункера виконано із запізненням, комбайн перебуває у простої;
- б) замовлення виконано своєчасно, транспортний засіб очікує на завантаження;
- в) замовлення виконано своєчасно, комбайн і транспортний засіб працюють без простоїв.

Найефективнішим варіантом є третій, коли обидва засоби не зазнають простоїв. У першому варіанті простой комбайна можуть призвести до несвоечасного виконання збиральної роботи на полі, що загрожує втратами врожаю. У другому варіанті простой транспортних засобів «заморожують» капітальні ресурси, що підвищує собівартість збирання. Саме тому узгодження збиральних і транспортних робіт є ключовим фактором підвищення ефективності проектів збирання ранніх зернових культур.

Узгодження робіт із збирання та транспортування врожаю передбачає врахування не лише операцій вивантаження бункера і завантаження

транспортного засобу, а й періодичності появи замовлень комбайнів та готовності транспортних засобів до їх обслуговування.

3.3 Ситуаційні стани технологічних складових проектів при організації збирально-транспортних робіт

Ефективне управління збиральними і транспортними роботами, зокрема їхнє узгодження, неможливе без детального аналізу ситуацій, характерних для технологічних складових систем-проектів. Такі події є важливими елементами моделі збирально-транспортних робіт, проте самі по собі вони не повністю відображають всі можливі взаємодії між об'єктами праці та технічними засобами, які здійснюють збір та транспортування зерна на полі та до току. Ігнорування цих ситуацій у моделюванні часто призводить до помилкових управлінських рішень і знижує ефективність проектів.

Розглядаючи події у проектах збирання ранніх зернових культур, слід враховувати стани зерностеблевої маси, комбайнів та транспортних засобів, а також причинно-наслідкові зв'язки, які формують ці стани та є підставою для їх моделювання і прийняття управлінських рішень. Стани технічних засобів проекту можуть стосуватися різних етапів їх життєвого циклу. У цьому випадку розглядаються стани тільки під час організації виконання збирально-транспортних робіт на конкретному полі з достиглим врожаєм, тобто взаємодія комбайнів та транспортних засобів характеризується часом початку та завершення їхніх основних станів.

Форми організації виконання транспортних робіт безпосередньо визначають стан технологічних складових. Розглянемо незнеособлений метод організації обслуговування комбайнів. За умови закріплення за кожним комбайном одного транспортного засобу можливі наступні ситуації:

1. відбувається вивантаження зерна – комбайн і транспортний засіб взаємодіють;

2. вивантаження не відбувається через незаповненість бункера – комбайн працює на полі, транспортний засіб виконує перевезення;
3. вивантаження не відбувається через незаповненість бункера – комбайн працює, транспортний засіб очікує;
4. заповнений бункер не вивантажується через відсутність транспортного засобу, який перебуває у дорозі між полем і током.

Таким чином, без врахування технічних і технологічних відмов виділяються чотири основні ситуаційні стани технічних засобів: комбайн працює; комбайн на вивантаженні; комбайн очікує вивантаження; транспорт у дорозі; транспорт очікує наповнення бункера; транспорт завантажується.

Аналіз таких станів показує, що збиральні і транспортні роботи узгоджені у першій і другій ситуаціях, коли ні комбайн, ні транспортний засіб не простоюють. Кожен із цих станів виникає імовірно і має певну тривалість, яка визначається періодичністю наповнення бункера комбайна та перебування транспортного засобу у дорозі, з урахуванням часу на вивантаження бункера та завантаження транспортного засобу, у ідеальних умовах взаємного впливу збиральних і транспортних робіт періодичність (тривалість) наповнення та вивантаження бункера комбайна співпадає з тривалістю завантаження транспортного засобу та його перебування у дорозі між полем і током. Для аналізу узгодження цих робіт розглядаються теоретичні розподіли відповідних величин – тривалості робочого циклу комбайна (наповнення та вивантаження бункера) і тривалості робочого циклу транспортного засобу (завантаження зерном та рейс між полем і током) (рис.3.5).

Якщо математичне сподівання тривалості циклу комбайна менше за відповідне сподівання тривалості робочого циклу транспортного засобу, то в структурі множини ситуаційних станів переважатимуть небажані ситуації, пов'язані з простоєм комбайна. Іншими словами, простої комбайна будуть більшими, ніж простої транспортного засобу.

Інша картина спостерігається, коли математичне сподівання тривалості циклу комбайна більше за тривалість циклу транспортного засобу (рис.3.5, б). У цьому випадку кількість ситуацій за певний проміжок часу (наприклад, за робочу добу), пов'язаних із простоєм транспортного засобу, перевищує кількість ситуацій із простоєм комбайна.

Простої комбайна і транспортного засобу будуть рівними, якщо їхні математичні сподівання робочих циклів збігаються.

Розглянуті ситуаційні стани технологічних складових системи-проекту збирання ранніх зернових культур для незнеособленого методу організації транспортних робіт також характерні для випадків, коли один комбайн обслуговується двома або більше транспортними засобами. У таких умовах кількість можливих ситуаційних станів системи зростає зі збільшенням числа транспортних засобів.

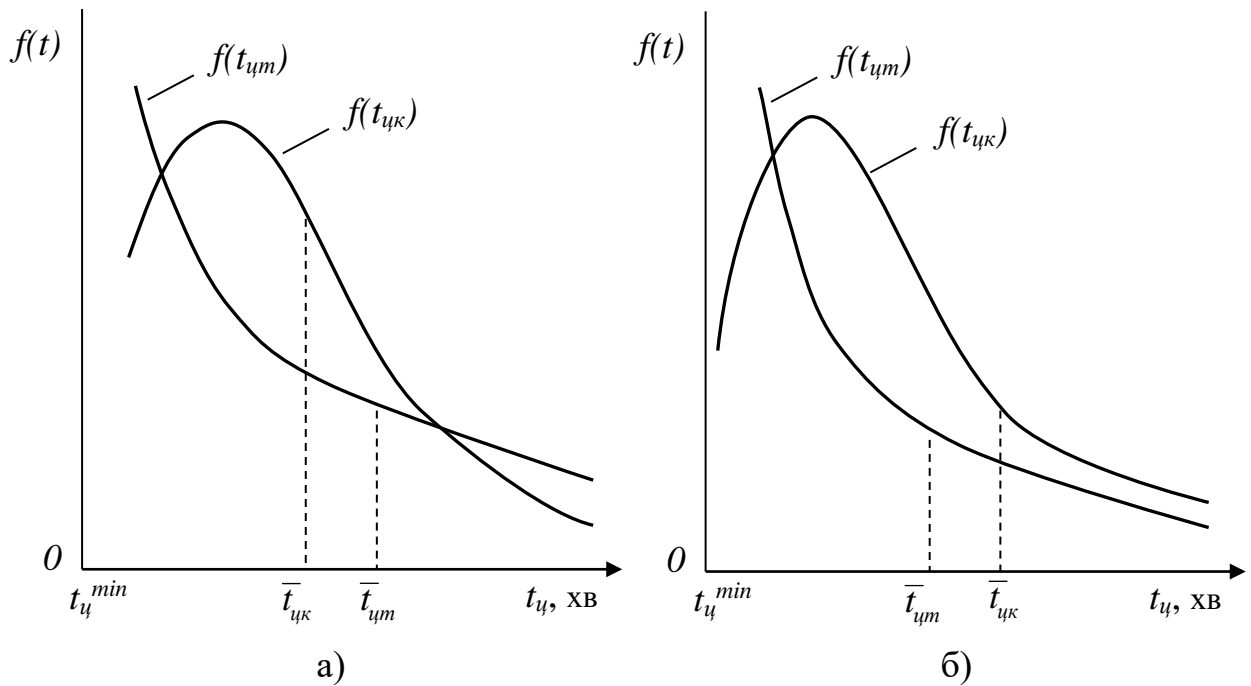


Рис.3.5. Розподіли тривалостей робочих циклів комбайна та транспортного засобу за відсутності взаємовпливів для характерних умов: а) математичне сподівання робочого циклу комбайна менше, ніж робочого циклу транспортного засобу; б) математичне сподівання робочого циклу транспортного засобу менше, ніж робочого циклу комбайна.

Аналіз ситуаційних станів системи-проекту «поле-комбайн-два транспортні засоби» показує, що найбільша кількість ситуаційних станів транспортних засобів виникає, коли комбайн перебуває у стані «вивантаження зерна з бункера». У цьому випадку один транспортний засіб завантажується, а інший або перебуває у дорозі, або очікує на завантаження. Якщо комбайн працює на полі, два транспортні засоби можуть одночасно очікувати на завантаження, перебувати у дорозі, або один очікує, а інший – у дорозі. Комбайн простоє тоді, коли обидва транспортні засоби знаходяться у дорозі.

Для ефективного функціонування системи-проекту необхідно, щоб розподіли тривалостей робочих циклів транспортних засобів були однаковими. При цьому інтервали між надходженнями транспортних засобів, готових обслуговувати комбайни, підкоряються певному теоретичному розподілу. За ідеалізованих умов роботи системи (коли транспортні засоби

без затримок обслуговують комбайн) математичне сподівання цих інтервалів буде вдвічі меншим за математичне сподівання тривалості робочого циклу одного транспортного засобу.

Розглянуті ситуаційні стани технологічних складових системи «поле-комбайн-два транспортні засоби» є актуальними для аналізу зернозбиральних систем-проектів із знеособленим транспортним обслуговуванням, тобто коли кілька комбайнів обслуговуються кількома транспортними засобами за принципом: «будь-який комбайн обслуговується першим доступним транспортним засобом». У такому випадку кількість ситуаційних станів системи залежить від числа комбайнів і транспортних засобів, що їх обслуговують. На практиці число комбайнів у груповому методі зазвичай становить 2–5 одиниць, а число транспортних засобів – у тих самих межах.

Для узгодження збиральних і транспортних робіт важливо знати параметри розподілів тривалостей між суміжними замовленнями комбайнів на вивантаження бункера та між суміжними появами транспортних засобів на полі після обслуговування окремих замовлень. За умови однакових вантажностей бункерів комбайнів і транспортних засобів можлива організація знеособленого обслуговування.

Особливу увагу слід приділити системі «поле-комбайни-перевантажувачі-транспортні засоби». Кожен комбайн цієї системи може перебувати у трьох станах: робота на полі, вивантаження, простої (очікування вивантаження). Перевантажувальний засіб – у станах: завантаження, очікування на завантаження, очікування на розвантаження та розвантаження у транспортні засоби. Транспортні засоби можуть бути у станах: перебування у дорозі, очікування завантаження, завантаження з бункера комбайна або з перевантажувача. Ситуаційні стани системи визначаються одночасним станом комбайнів, перевантажувачів і транспортних засобів.

Найбільш небажаним станом є простої комбайна (очікування вивантаження), що виникає у двох випадках: перевантажувач завантажує

транспортний засіб або заповнений зерном, а транспортний засіб перебуває у дорозі між полем і током.

За використання резервно-перевантажувального методу важливим є вибір черговості обслуговування. Наприклад, якщо комбайн готовий до вивантаження бункера і є альтернатива – перевантажувач або транспортний засіб, перевагу слід віддавати завантаженню безпосередньо у транспортний засіб, щоб уникнути додаткової операції перевантажування зерна.

3.4 Метод узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі оперативного їх планування

У процесі оперативного планування збиральних і транспортних робіт на окремих полях вирішується задача визначення параметрів комбайнового та транспортного комплексів для кожного окремого поля. Ця задача носить системний характер, оскільки її вирішення здійснюється одночасно із задачею розподілу комбайнів і транспортних засобів між полями з достиглим урожаєм ранніх зернових культур [6].

Результатом розв'язання зазначеної задачі є визначення мінімальних параметрів комбайнового та транспортного комплексів, які забезпечують виконання проекту збирання зернових культур на заданому полі протягом визначеного календарного часу. Такий час може встановлюватися на основі різних критеріїв, враховуючи потребу одночасного збирання зернових культур на різних полях. Зазвичай календарний термін збирання k -ї ранньої культури на j -му полі обмежується моментом появи явища, пов'язаного з початком втрат врожаю через механічне осипання (випадання з колоска) та «стікання» [57].

Відомо, що для більшості ранніх зернових культур втрати врожаю починаються на п'яту добу після досягнення повної стиглості на полі. Вважається, що п'ять діб є оптимальним терміном, протягом якого збирання зернових культур може здійснюватися без втрат [5]. Таким чином, термін у

п'ять діб лежить в основі обґрунтування параметрів комбайнового та транспортного комплексів.

Водночас у цей період можуть виникати агрометеорологічні умови, за яких збирання врожаю неможливе. Тому управлінська задача часто формулюється таким чином: визначити параметри комбайнового та транспортного комплексів, які забезпечать збирання ранньої зернової культури на полі протягом п'яти діб.

Ймовірні події агрометеорологічного та предметного середовищ, а також імовірні події, що стосуються виконання складових збиральних і транспортних робіт, є основними підставами для розробки статистичного методу вирішення цієї управлінської задачі.

Розгляд методу починається з аналізу фонду робочого часу. Для регламентованого календарного терміну збирання урожаю ранньої зернової культури на полі завжди існує агрометеорологічно допустимий фонд робочого часу, протягом якого проект збирання виконуваний, а також фонд неробочого часу, за якого виконання проекту неможливе. Отже, першим етапом методу є встановлення агрометеорологічно допустимого фонду робочого часу, який може бути обмежений як потребою виконання проекту без втрат врожаю, так і за допустимих втрат.

Ймовірний характер виникнення росянистих проміжків часу та їх тривалості є підставою для імовірнісного прогнозування робочого часу. Прогнозування здійснюється на основі статистичного імітаційного моделювання подій виникнення роси та її тривалості протягом сезону (рис.3.6). Ймовірний час початку роси (або зниження дефіциту вологості повітря до 4 гПа [3]) тієї чи іншої доби дозволяє обґрунтувати теоретичний розподіл часу і визначити його статистичні характеристики [17].

Крім часу початку роси кожної доби важливим є також час її завершення наступної доби. Різниця між цими величинами визначає тривалість росянистих проміжків, що дозволяє розрахувати

агрометеорологічно допустимий добовий фонд робочого часу для виконання збирально-транспортних робіт (рис.3.6).

Проте для ефективного управління збиральними і транспортними роботами одного статистичного аналізу часу початку та завершення роси недостатньо. Необхідно також знати фактичний час початку та завершення виконання збиральних робіт кожної доби, щоб планування було реалістичним і забезпечувало максимальну продуктивність системи.

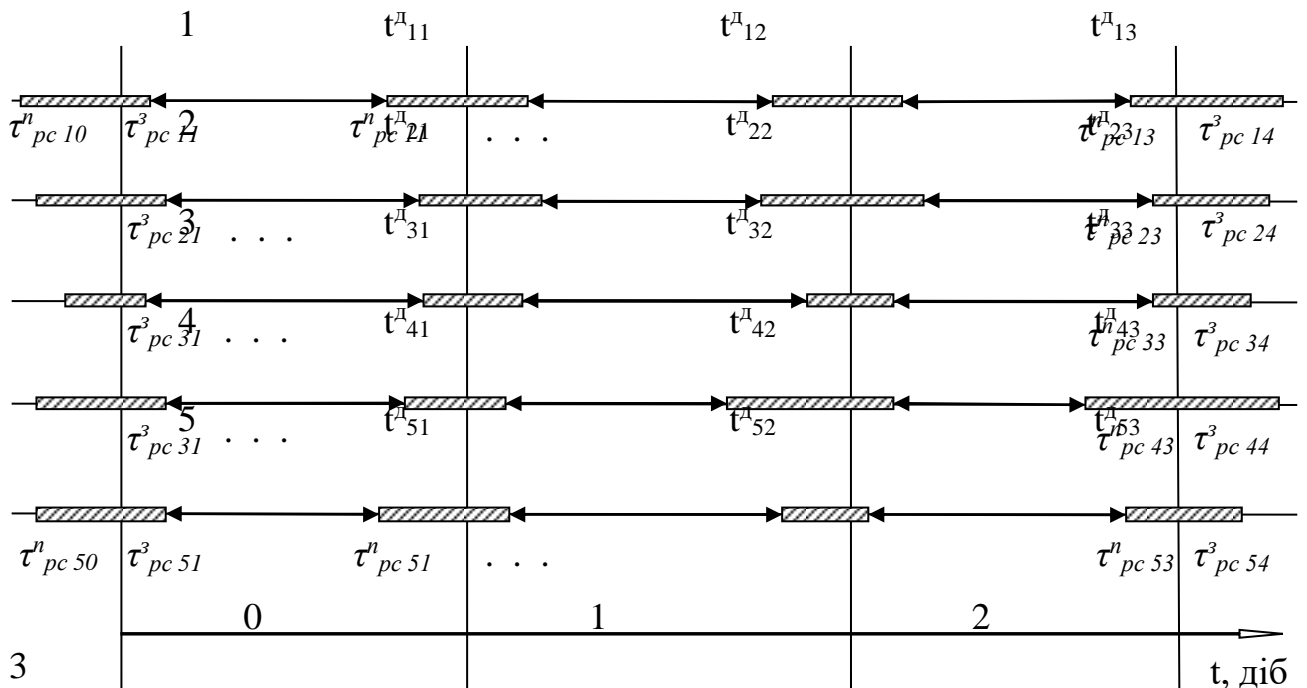


Рис.3.6 відображає графічну інтерпретацію ймовірного формування агрометеорологічно допустимого фонду робочого часу у п'яти реалізаціях виконання проекту збирання ранніх зернових культур для третьої доби. На схемі використано умовні позначення: для росянистого проміжку часу та агрометеорологічно допустимого фонду робочого часу.

Часові обмеження формуються у проектах збирання на основі допустимих режимів роботи виконавців – комбайнерів, їх помічників, водіїв транспортних засобів, працівників токів тощо. За двозмінної організації збирально-транспортних робіт, яка наразі є найбільш поширеною в Україні, загальна тривалість робочого часу протягом доби становить 16 годин.

Однак наявність роси зменшує ефективний робочий час. Тому, з урахуванням агрометеорологічних факторів та організаційних обмежень,

формується організаційно відкоригований добовий фонд робочого часу, який визначає фактичний період, доступний для виконання збирально-транспортних робіт у конкретну добу (рис.3.7).

Розглядаючи плановий час початку збирання урожаю та час завершення роси, можна визначити ситуальний час початку збирання, тобто фактичний момент, коли роботи можуть розпочинатися з урахуванням реальних агрометеорологічних умов і організаційних обмежень.

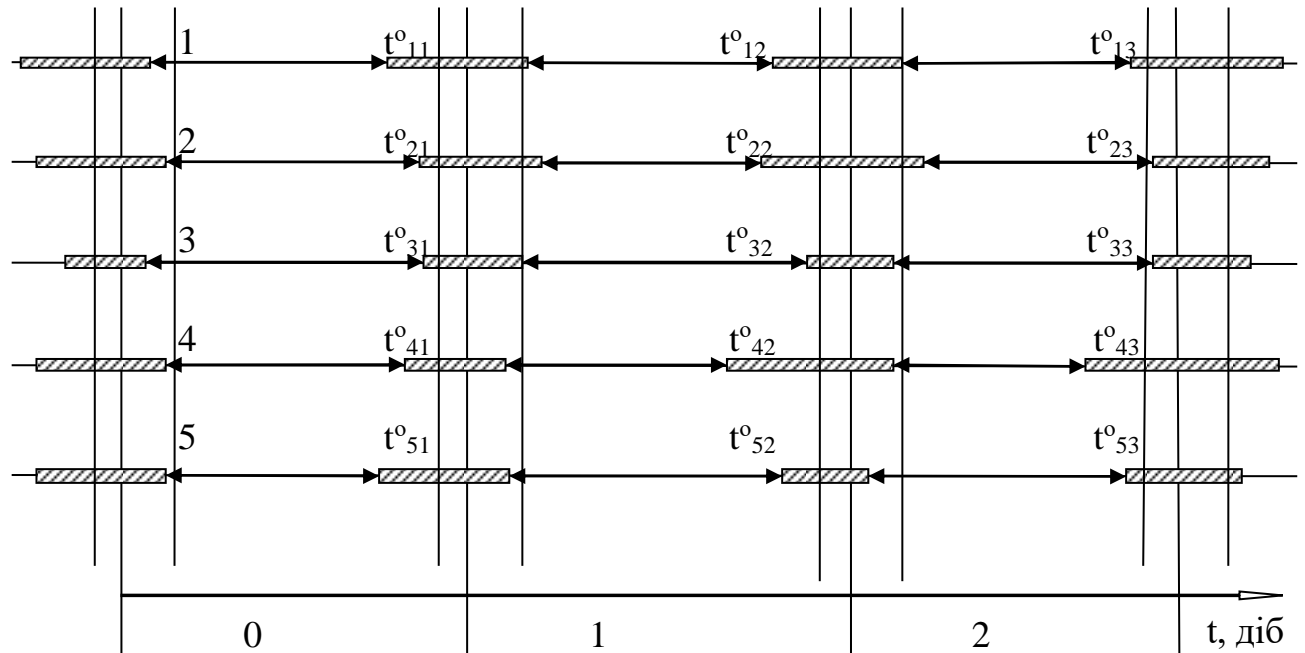


Рис.3.7 показує графічну інтерпретацію формування організаційно відкоригованого фонду робочого часу у п'яти реалізаціях виконання проекту збирання ранніх зернових культур для третьої доби.

Подібну картину спостерігаємо і для планового часу завершення збирання. Він може бути меншим, рівним або більшим за момент появи роси, що відображає три ситуації:

1. Завершення збирання до появи роси;
2. Завершення збирання одночасно з появою роси;
3. Завершення після появи роси.

Для кожної з ситуацій реальний час завершення робіт на полі у певну добу визначається відповідним значенням. Організаційно відкоригований

добовий фонд робочого часу у j -ту добу формується з урахуванням цих обмежень.

Щодня цей фонд часу може змінюватися. Його розподіл і статистичні характеристики залежать від часу початку та завершення роси, а також планових часових параметрів збирання. При відомих статистичних характеристиках (математичне сподівання та дисперсія) можна визначити характеристики розподілу організаційно відкоригованого фонду робочого часу для декількох діб, спираючись на теоретичні положення ймовірнісної теорії [18].

Порівняння математичних сподівань розподілів організаційно відкоригованого добового фонду та потрібного фонду робочого часу дозволяє оцінити ризики своєчасного або несвоєчасного виконання проекту збирання ранньої зернової культури на заданому полі (рис.3.8).

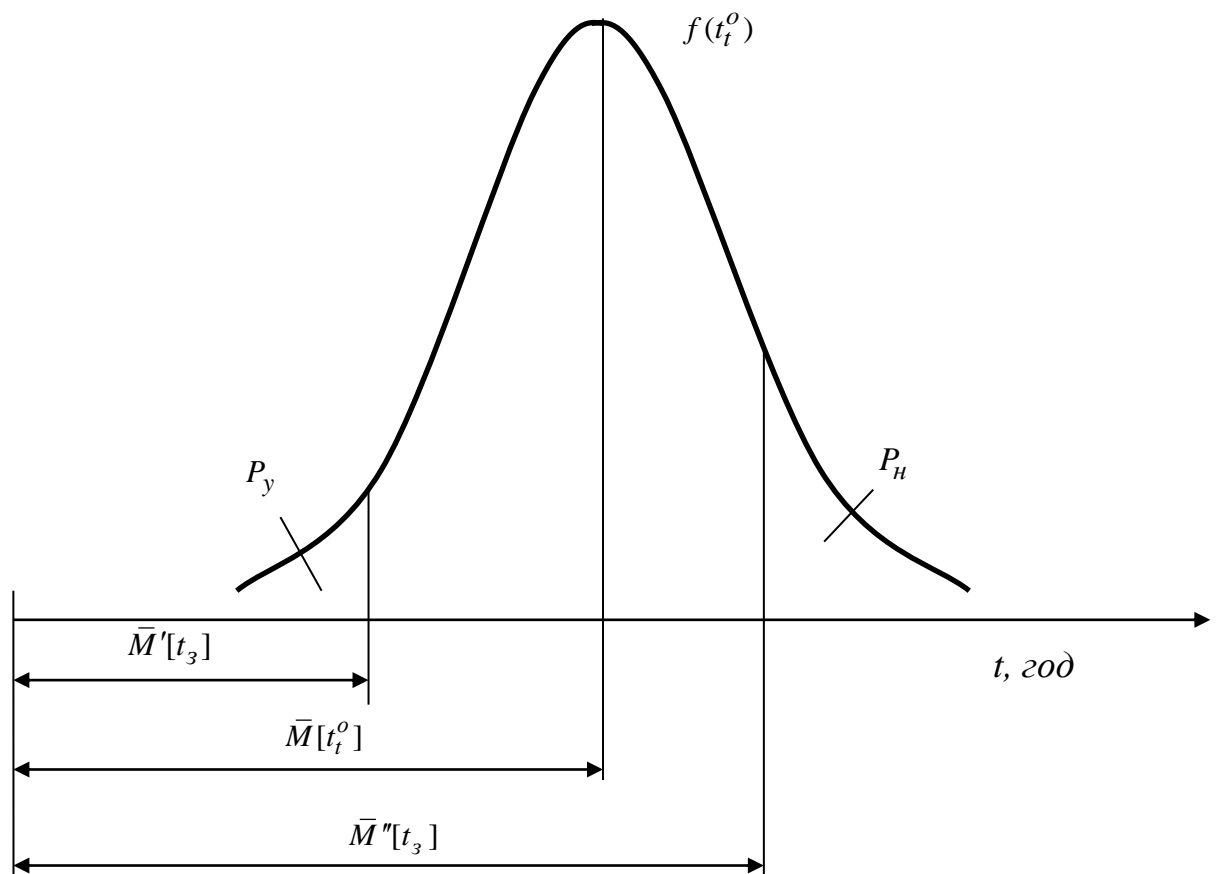


Рис. 3.8 демонструє графічне відображення ймовірностей узгодженого та неузгодженого функціонування системи-проекту «поле–комбайни–транспортні засоби» при відомому розподілі організаційно відкоригованого

фонду робочого часу збирання для різних значень математичного сподівання планової тривалості збирання. Тут – оцінка математичного сподівання розподілу організаційно відкоригованого фонду робочого часу збирання.

Як видно з рисунка, у випадку ризик (ймовірність) своєчасного, тобто узгодженого, виконання збирально-транспортних робіт, що визначається площею правої частини розподілу, перевищує ймовірність несвоечасного виконання. І навпаки, за умов ситуація змінюється відповідно. Допустимий рівень ризику неузгодженого (несвоечасного) виконання робіт може слугувати критерієм для встановлення відповідності площі планової тривалості збирання та параметрів комбайнового і транспортного комплексів.

Визначення статистичних характеристик, зокрема математичного сподівання розподілу тривалості циклів, а також встановлення його значення, яке забезпечує задану ймовірність своєчасного виконання робіт, на основі багатоваріантного статистичного імітаційного моделювання системи «поле–комбайни–транспортні засоби» за змінних параметрів комплексів потребує значних обчислювальних витрат.

Для оптимізації цього процесу пропонується методичний підхід, який включає:

1. визначення календарного терміну збирання культури на заданому полі;
2. встановлення статистичних характеристик розподілу організаційно відкоригованого фонду робочого часу для цього терміну;
3. розрахунок статистичних характеристик годинної продуктивності кожного комбайна r -ї марки за ідеального транспортного обслуговування;
4. обґрунтування допустимого ризику неузгодженості роботи системи;
5. визначення допустимої тривалості збирання;
6. встановлення потрібного годинного темпу збирання;

7. підбір оптимальної кількості комбайнів для досягнення необхідного темпу;
8. прогноз середньої тривалості циклу між замовленнями комбайнів на вивантаження бункера;
9. визначення середньої тривалості перебування автомобілів на маршруті;
10. визначення необхідної кількості транспортних засобів;
11. оцінка доцільності використання перевантажувача;
12. уточнення параметрів комбайнового та транспортного комплексів за допомогою статистичного імітаційного моделювання системи.

Таким чином, запропонований підхід дозволяє системно узгодити збиральні та транспортні роботи з мінімальними витратами комп'ютерного експериментування.

Висновки до розділу 3

1. В Україні поширені дві технології збирання ранніх зернових культур – пряме комбайнування та роздільне. Вони мають свої переваги та обмеження, що визначаються наявністю техніки та мінливими агрометеорологічними умовами. Вибір технології впливає на регулювання часу виконання збиральних і транспортних робіт, узгодження яких не залежить від конкретної технології.
2. Класифікація методів організації транспортних робіт за двома ознаками створює базу для формування можливих управлінських рішень щодо координації збирально-транспортних робіт.
3. Аналіз часових взаємозв'язків між складовими робіт дозволяє визначити фактори, що впливають на тривалість та періодичність їх виконання, а також умови узгодження операцій

вивантаження бункера комбайна та завантаження кузова транспортного засобу.

4. Встановлено, що під час виконання робіт періодично виникають ситуаційні стани технологічних складових систем-проектів, які залежать від методу організації транспортного обслуговування та числа комбайнів, перевантажувачів і транспортних засобів.

5. Доведено, що узгодження робіт досягається за умови рівності тривалостей між суміжними замовленнями комбайнів на вивантаження бункера та між суміжними появами транспортних засобів на полі. Ймовірний характер цих тривалостей потребує прогнозування параметрів та теоретичних законів їх розподілів для обґрунтування управлінських рішень.

6. Узгодження збиральних і транспортних робіт здійснюється системно в рамках систем-проектів «поле–комбайни–транспортні засоби» з урахуванням характеристик поля та тривалості робіт.

7. Розроблений метод дозволяє визначити параметри комбайнових і транспортних комплексів, які забезпечують виконання систем-проектів у встановлені терміни за мінімальних значень техніки.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ УЗГОДЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ І ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ-ПРОЕКТІВ «ПОЛЕ-КОМБАЙНИ-ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ»

4.1 Алгоритм узгодження збиральних і транспортних робіт у проектах збирання ранніх зернових культур

Виконаний аналіз особливостей процесів узгодження збиральних і транспортних робіт на етапах стратегічного, тактичного та оперативного планування слугує підґрунтям для розроблення алгоритму цього процесу, який може стати складовою інформаційно-аналітичної системи управління проектами збирання зернових, олійних та бобових культур. Підставою для створення такого алгоритму є обґрунтований метод узгодження зазначених робіт для кожного окремого поля з достиглим урожаєм ранньої зернової культури, а також статистична імітаційна модель системи-проекту «поле–комбайни–транспортні засоби» і статистичні моделі основних подій та складових робіт, які використовуються при статистичному імітаційному моделюванні цієї системи.

Алгоритм узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі оперативного планування в системі-проекті «поле–комбайни–транспортні засоби» складається з 21 блоку. Він системно забезпечує виконання процесу узгодження робіт у проектах збирання ранньої зернової культури на заданому полі за мінімальної кількості комбайнів і транспортних засобів протягом планового календарного терміну (рис. 4.1). Перші п'ять блоків алгоритму передбачають оцінювання характеристик предметної та виробничої складових проектного середовища.



Рис. 4.1 Ілюстрація початкового етапу алгоритму узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі оперативного планування.



Рис. 4.1 Продовження схеми алгоритму узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі оперативного планування.

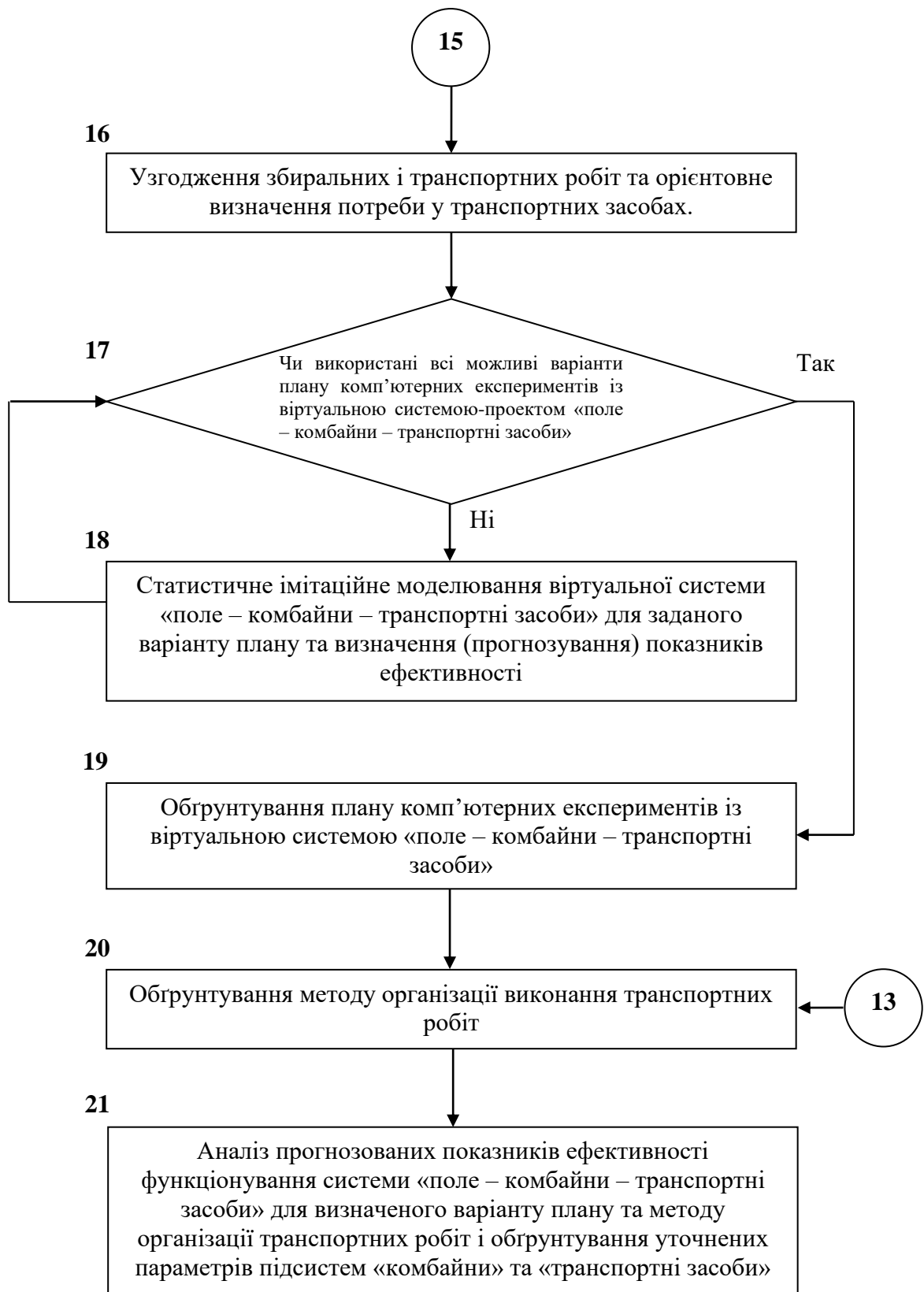


Рис. 4.1 Завершальна частина схеми алгоритму узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі оперативного планування.

Першим етапом алгоритму є оцінка часу настання повної стиглості урожаю ранньої зернової культури на конкретному полі. Зазвичай цей параметр використовується для оперативного планування виконання проекту збирання на обраному полі. Додатково визначають виробничі характеристики поля – його конфігурацію, ухил та середню довжину гону (блок 2). Важливим є також визначення характеристик урожаю – урожайності, соломистості, полеглистості, забур'яненості тощо (блок 3). Четвертий блок алгоритму передбачає прогнозування часу початку втрат врожаю через осипання та «стікання».

До початкових даних також належать дорожні умови для транспортування зерна від поля до току – відстань, складові шляхи та клас доріг (блок 5). Блок 6 регламентує організаційний параметр – тривалість збирання урожаю на полі, що обґрунтовується різними критеріями, зокрема прогнозом агрометеорологічних умов або часом настання втрат врожаю.

Блоки 7 і 8 забезпечують визначення розподілів та статистичних характеристик агрометеорологічно допустимого та організаційно відкоригованого фондів робочого часу для виконання збирання ранньої зернової культури протягом заданого календарного періоду. Ці процедури реалізуються методом статистичного імітаційного моделювання росянистих проміжків часу та планового початку й завершення збирання кожної доби.

На основі планової площі поля та розподілу організаційно відкоригованого фонду робочого часу визначається плановий темп збирання – кількість площі, що має збиратися щогодини (блок 9). Цей темп оцінюється за критерієм допустимого ризику несвоєчасного виконання робіт. Блок 10 присвячено прогнозуванню середньогодинної продуктивності кожного комбайна, потенційно залученого до збирання, за умов ідеального транспортного обслуговування.

Орієнтовна потреба у комбайнах визначається шляхом порівняння планового середньогодинного темпу збирання та продуктивності кожного комбайна (блок 11). Використовуючи ці дані, а також місткість бункера,

розраховується середнє значення потоку замовлень комбайнів на вивантаження (блок 12).

Блок 13 передбачає визначення можливих методів організації транспортних робіт, а блоки 14–15 прогнозують середню тривалість перебування транспортних засобів на маршруті. Порівняння цього часу з потоком замовлень комбайнів дозволяє орієнтовно визначити необхідну кількість транспортних засобів для забезпечення узгодження збиральних і транспортних робіт (блок 16).

Блок 17 передбачає аналіз альтернативних варіантів узгодження характеристик проектного середовища та параметрів комбайнового і транспортного комплексів. Для кожного варіанту виконується статистичне імітаційне моделювання системи «поле-комбайни-транспортні засоби» та прогнозуються показники ефективності (блок 18). Перевіряється повнота розгляду всіх варіантів (блоки 19–20), аналізуються результати моделювання та уточнюються параметри комплексів, що забезпечують узгодження робіт (блок 21).

Таким чином, розроблений алгоритм дозволяє оперативно узгоджувати збиральні і транспортні роботи у системі-проекті «поле-комбайни-транспортні засоби».

4.2 Статистична імітаційна модель системи-проекті «поле-комбайни-транспортні засоби»

Узгодження збиральних і транспортних робіт на полі ранніх зернових культур здійснюється у два етапи:

1. Орієнтовне визначення параметрів комбайнового та транспортного комплексів (кількості комбайнів і транспортних засобів) та розробка плану комп'ютерних експериментів зі статистичною імітаційною моделлю.

2. Уточнене визначення параметрів комплексів на основі аналізу результатів моделювання відповідно до першого етапу.

Таким чином, моделювання системи-проекту «поле-комбайни-транспортні засоби» також проводиться у два етапи: спершу моделюється підсистема «поле-комбайни», а на другому етапі – вся система проекту.

На першому етапі прогнозуються параметри потоку вимог комбайнів на вивантаження бункера та годинна продуктивність кожного комбайна за умов ідеального транспортного обслуговування. Це дозволяє обґрунтувати план комп'ютерних експериментів для визначення мінімального числа комбайнів, необхідних для своєчасного збирання урожаю. Для реалізації цього етапу розроблено відповідний алгоритм та програмне забезпечення.

Блок-схема укрупненого алгоритму імітаційного статистичного моделювання середньогодинної продуктивності комбайнів та параметрів потоку замовлень наведена на рис. 4.2. Алгоритм складається з 21 блока, кожен з яких забезпечує адекватне відображення процесу збирання ранньої зернової культури на полі. Функції блоків визначаються на основі науково-методичних засад, зокрема системно-подієвого підходу до створення статистичної імітаційної моделі підсистеми «поле-комбайни».

Основні етапи укрупненого алгоритму:

1. Введення характеристик проектного середовища: площа поля, довжина гону, ухил, культура, урожайність, солоність.
2. Введення параметрів парку комбайнів: кількість, пропускна здатність, ширина захвату, місткість бункера, потужність двигуна, маса, кількість барабанів.
3. Контроль числа здійснених реалізацій моделювання (n). Якщо n менше заданого значення (i), виконуються наступні етапи моделювання, інакше виводяться результати та завершуються обчислення.

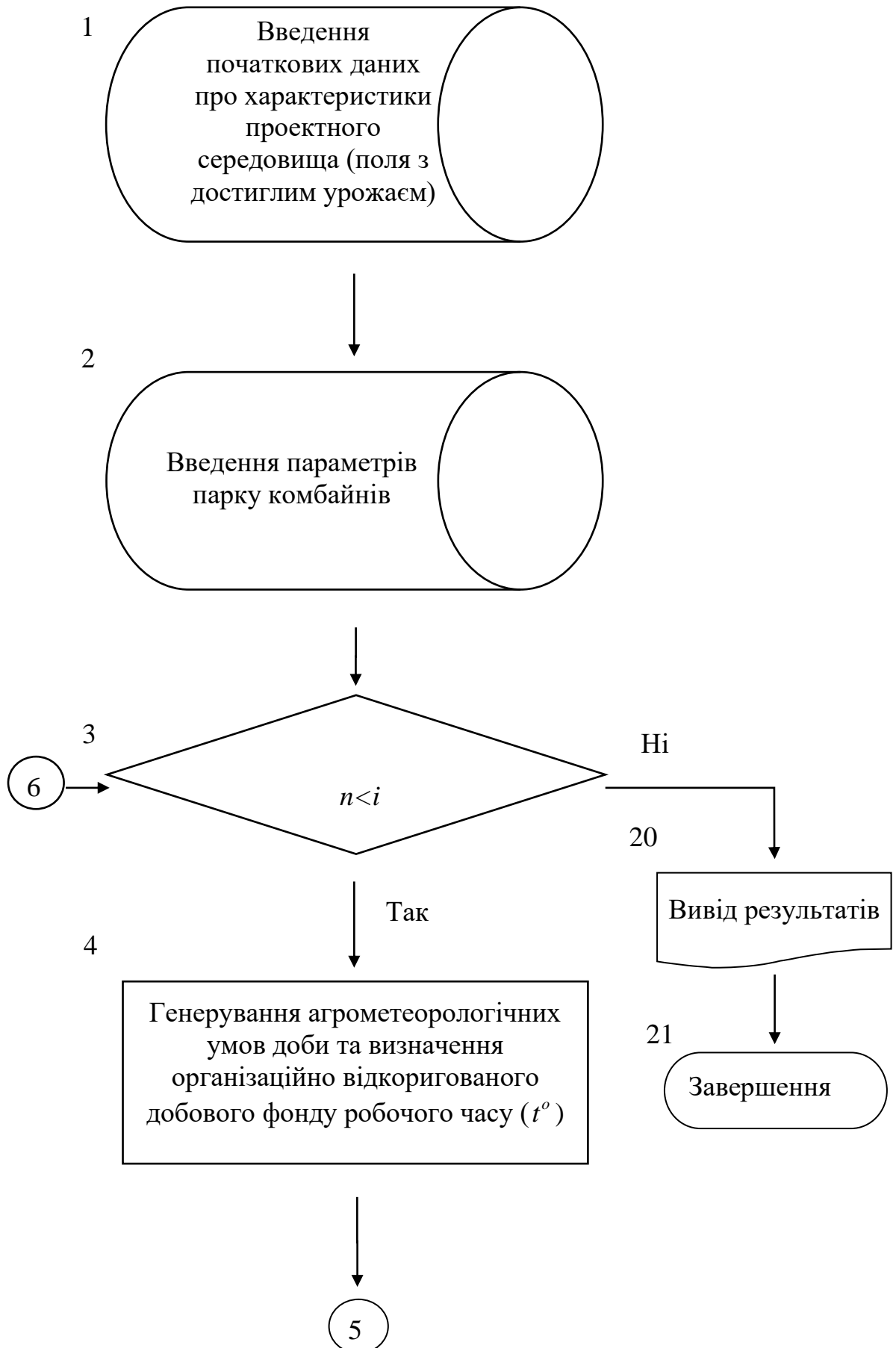


Рис. 4.2. Блок-схема укрупненого алгоритму статистичного імітаційного моделювання роботи комбайнів на полі.

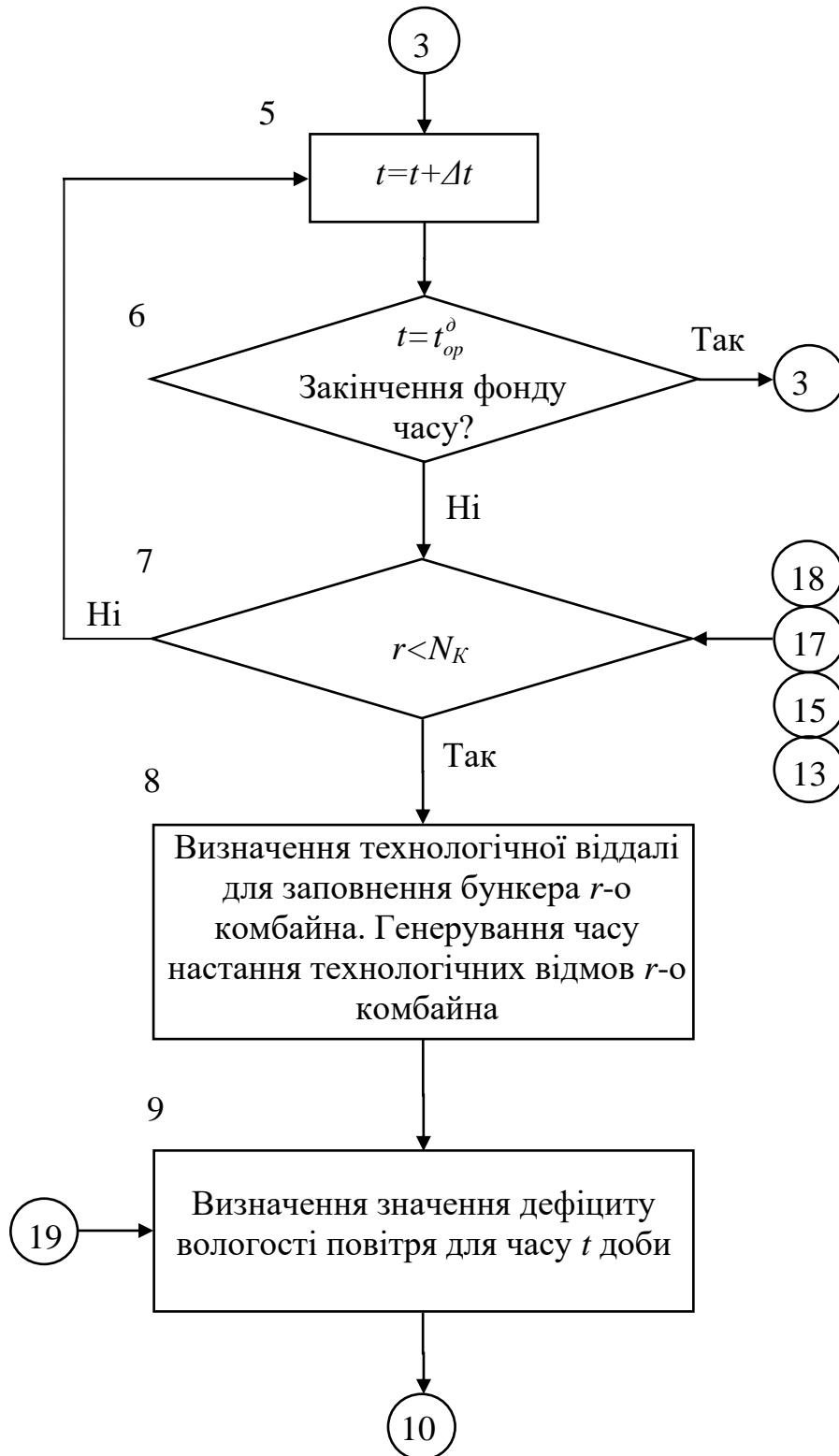


Рис. 4.2. Блок-схема укрупненого алгоритму статистичного імітаційного моделювання роботи комбайнів на полі для прогнозування середньої годинної продуктивності кожного комбайна та параметрів потоку замовлень на вивантаження бункера (продовження етапу моделювання).

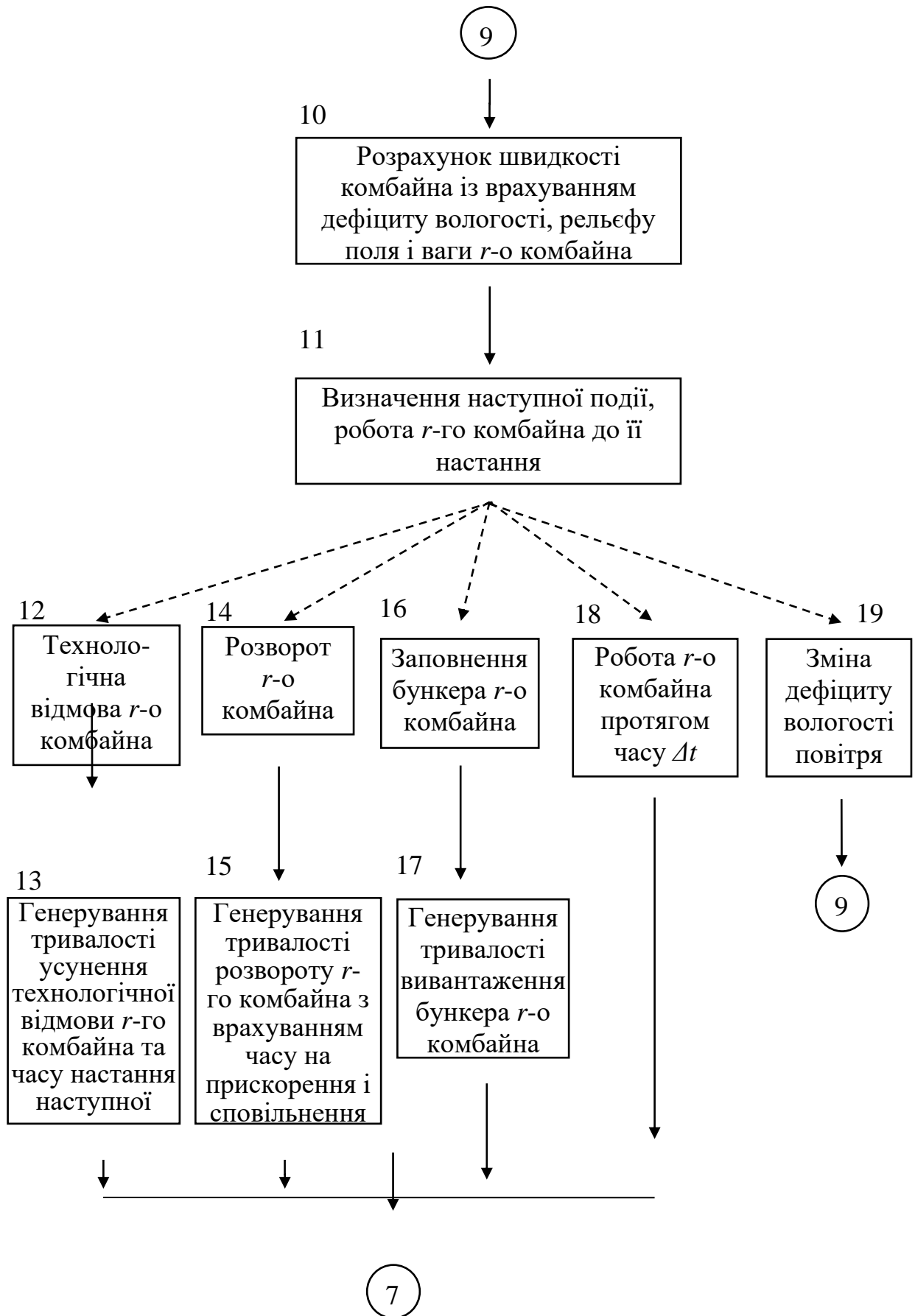


Рис. 4.2. Блок-схема алгоритму статистичного імітаційного моделювання роботи комбайнів на полі для прогнозування середньої годинної продуктивності кожного комбайна та параметрів потоку замовлень.

4. Генерування агрометеорологічних умов поточної доби та визначення організаційно відкоригованого добового фонду робочого часу. Визначаються початок і тривалість безросянистого проміжку часу доби (агрометеорологічно допустимий фонд робочого часу доби) та організаційно відкоригований фонд робочого часу r -о комбайна впродовж доби.

5. Задання часу роботи комбайна впродовж доби, який за кожної реалізації збільшується на проміжок

6. Перевірка, чи закінчився добовий фонд часу. Коли тривалість роботи r -о комбайна t стає рівною організаційно-відкоригованому добовому часу роботи, здійснюється наступна реалізація роботи комбайна (п.3), якщо ні – проводяться наступні етапи статистичного імітаційного моделювання роботи комбайна на полі.

7. Перевірка індексу комбайна відповідно до заданої кількості комбайнів. Коли, проводяться наступні етапи імітаційного моделювання, якщо ні – час роботи комбайна збільшується на проміжок (п. 5).

8. Визначення технологічної відстані, що потрібно пройти комбайну для заповнення бункера, а також генерування часу настання технологічних відмов. Для заданих умов визначається технологічна відстань, за якої заповнюється бункер r -о комбайна, а також визначається час настання кожної окремої технологічної відмови r -о комбайна.

9. Визначення значення дефіциту вологості для заданого часу доби. Знаючи закономірність зміни дефіциту вологості повітря впродовж доби, значення якого залежать від агрометеорологічно допустимого добового фонду робочого часу, визначається значення дефіциту вологості для часу t доби.

10. Розрахунок швидкості комбайна із врахуванням дефіциту вологості, рельєфу поля і маси r -о комбайна. Із зменшенням дефіциту вологості збільшується вологість зерностеблової маси i , відповідно, знижується пропускна здатність комбайна. Робоча швидкість комбайна прямопропорційно залежить від його пропускної здатності. Також, як відомо, робоча швидкість залежить від опору переміщення комбайна по полю, який,

в свою чергу, залежить від маси комбайна та ухилу площини поля (спуск чи підйом).

11. Визначення наступної події, робота г-о комбайна до її настання. Визначається подія, яка наступить першою з-поміж множини подій (технологічних відмов г-о комбайна, розворотів г-о комбайна, заповнення бункера г-о комбайна, робота г-о комбайна впродовж часу та моделюється робота г-о зернозбирального комбайна до її настання.

12. Виникнення технологічної відмови г-о комбайна. Визначається час настання технологічної відмови, після чого робота г-о комбайна зупиняється на період усунення цієї відмови.

13. Генерування тривалості усунення технологічної відмови г-о комбайна та моделювання роботи г-о комбайна до настання наступної події.

14. Настання розвороту г-о комбайна. Визначення затрат часу на виконання розвороту г-о комбайна, який залежить від способу руху та робочої швидкості комбайна.

15. Генерування тривалості розвороту г-о комбайна з врахуванням часу на прискорення і сповільнення. Генерується тривалість розвороту, під час якого враховуються затрати часу на прискорення і сповільнення комбайна.

16. Заповнення бункера г-о комбайна. Генерується час настання події заповнення бункера г-о комбайна.

17. Генерування тривалості вивантаження бункера г-о комбайна.

18. Моделювання роботи г-о комбайна впродовж часу.

Після виконання п. 13 або 15, або 17, або 18 здійснюється перехід до п.7.

19. Зміна дефіциту вологості повітря. Якщо впродовж агрометеорологічно допустимого добового фонду часу роботи г-о комбайна дефіцит вологості повітря зменшується нижче допустимого, то робота комбайна припиняється, тому повторно визначається значення дефіциту вологості повітря (п. 9).

20. Вивід результатів моделювання. Виводяться дані щодо настання потреби г-о комбайна на вивантаження бункера.

21. Завершення роботи програми.

Доповнення цього алгоритму блоками, що відображають роботу транспортного комплексу за заданих дорожніх умов дає змогу здійснювати статистичне імітаційне моделювання всієї системи-проекту «поле-комбайни-транспортні засоби».

4.3 Результати аналізу агрометеорологічно можливого та організаційно скоригованого добових фондів робочого часу збирання

Агрометеорологічно можливий добовий фонд робочого часу під час збирання ранніх зернових культур визначали на основі багаторічних даних Кам'янець-Подільської агрометеорологічної станції Хмельницької області. Як відомо [109], ці дані містять числову інформацію щодо кількості опадів у міліметрах, що випадали протягом окремих діб, а також відомості про момент початку та завершення роси у кожен погодні добу. На основі цих відомостей, а також з урахуванням прийнятих критеріїв дефіциту вологості повітря менше 4 гПа (тобто за умов відсутності опадів і роси), сформували базу даних щодо часових меж початку та завершення погожих і непогожих (з погляду збирання ранніх зернових) інтервалів. У результаті отримали дані про проміжки часу з наявністю та відсутністю опадів, а також для кожної погожої доби (без опадів) визначили початок і тривалість росянистих періодів. Варто відзначити, що погожі, непогожі та росянисті інтервали встановлювали в межах зернозбирального сезону, коли здійснюється реалізація відповідних проектів, – з 1 липня до 15 серпня. Дані зібрано за останні тридцять років, що забезпечило їх достатню репрезентативність.

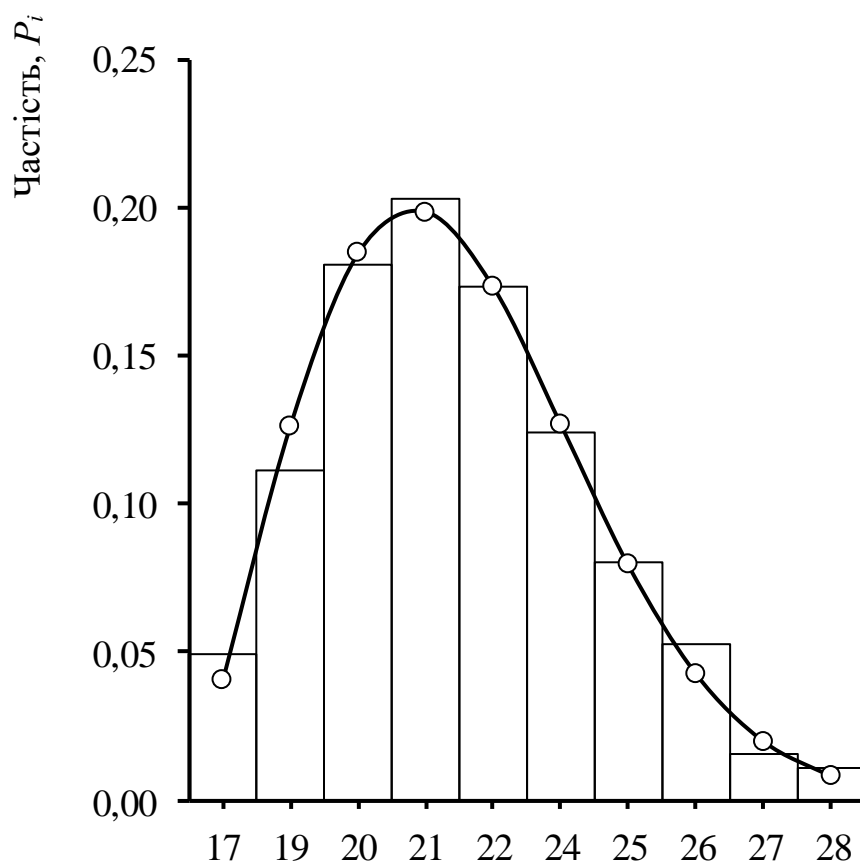
Математична обробка цих масивів даних відомими статистичними методами дала можливість визначити закономірності тривалості погожих (без опадів) і непогожих (із опадами) проміжків часу, виражених у добах. Зокрема, встановлено, що ці інтервали підпорядковуються теоретичному

закону розподілу Вейбулла–Гніденка, густина функції якого є такою. Така залежність має природне пояснення: із початком світлової частини доби сонце піднімається над горизонтом, підвищується температура повітря і роса поступово зникає. Ймовірність наявності роси зменшується зі збільшенням часу в ранкові години та близько 11–12 год повністю зникає.

Суттєвий розкид кореляційної залежності між часом початку росянистого проміжку і його тривалістю засвідчує складність цього природного процесу та формує додаткові вимоги до його моделювання.

На основі відомостей про початок і тривалість росянистих періодів було визначено для кожної погожої доби вибірки організаційно скориговане значення добового фонду робочого часу збирання (рис. 4.4). Його обчислювали для таких організаційних параметрів виконання робіт: запланований початок робочого процесу о 9 годині, а його завершення – о 1 годині наступної доби.

Подальша математична обробка отриманих даних щодо організаційно скоригованого добового фонду робочого часу дозволила встановити, що цей показник також описується теоретичним законом розподілу Вейбулла–Гніденка



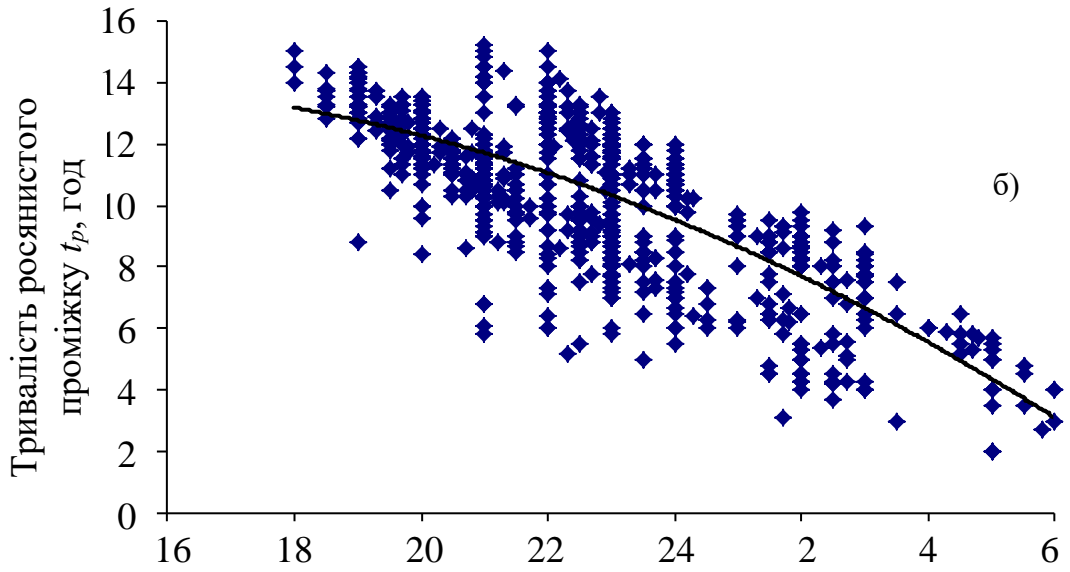
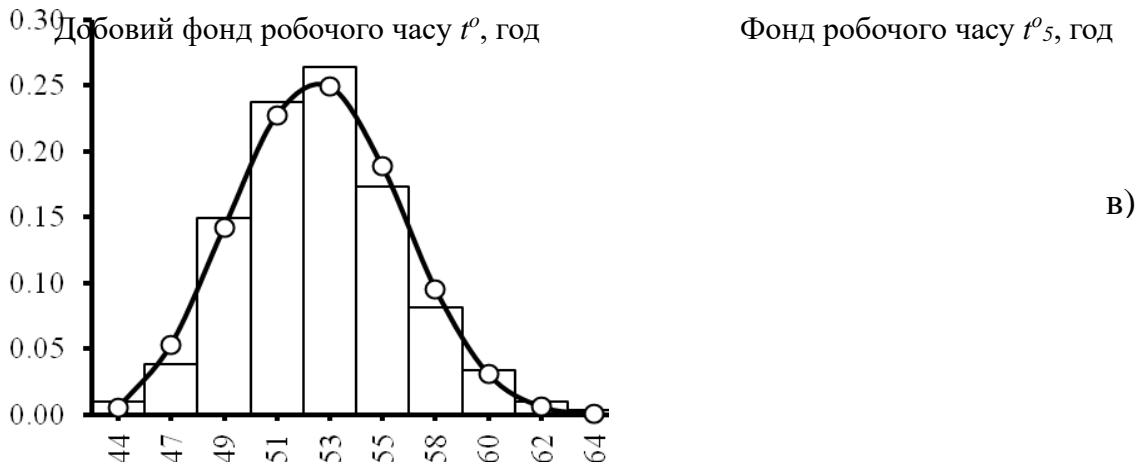
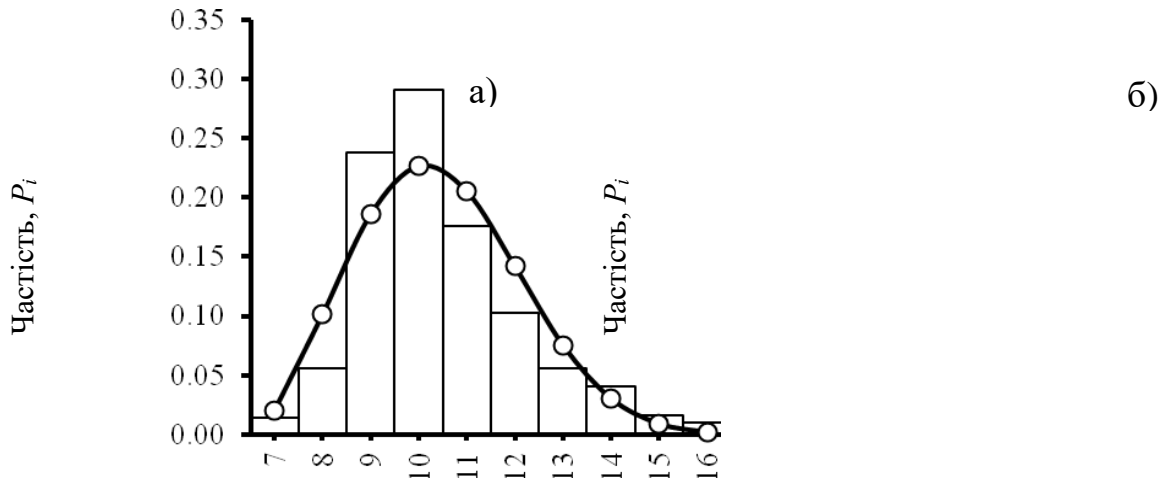


Рис. 4.3. Гістограма розподілу моменту початку росянистих інтервалів (а) та кореляційна залежність між часом їх виникнення і тривалістю (б).



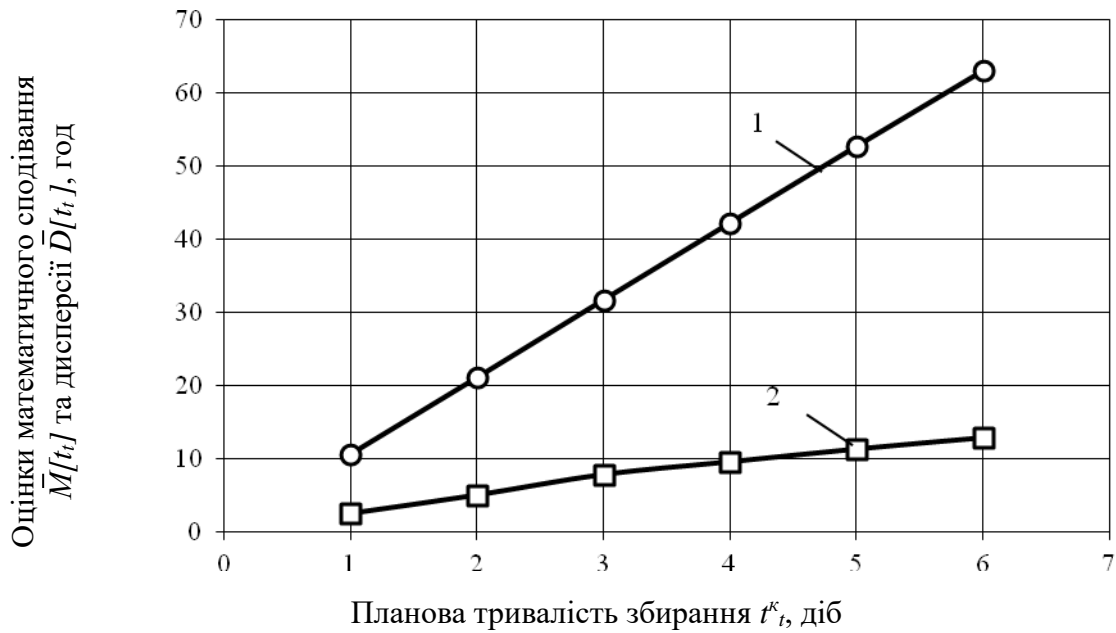


Рис. 4.4. Гістограма та відповідна теоретична крива розподілу організаційно скоригованого добового фонду робочого часу (а), розподіл організаційно скоригованого фонду робочого часу (б), а також залежність оцінок математичного сподівання (1) і дисперсії (2) цього фонду від запланованої тривалості збирання (в).

Для забезпечення узгодженості між збиральними та транспортними операціями в системах-проектах типу «поле – комбайни – транспортні засоби» використовують плановий календарний час, у межах якого аналізуються отримані статистичні дані. На цій основі для різних його значень визначають розподіл організаційно скоригованого добового фонду робочого часу. Математична обробка емпіричних матеріалів дала змогу встановити, що зі зміною оцінок математичного сподівання та дисперсії цього розподілу вони підпорядковуються певним емпіричним закономірностям (рис. 4.4, в).

4.4 Результати дослідження функціональних показників роботи комбайнів у підсистемах-проектах «поле – комбайни»

Для ефективної координації збиральних і транспортних процесів у системах-проектах «поле – комбайни – транспортні засоби» необхідно володіти прогнозованими функціональними показниками роботи комбайнів. До таких належать параметри потоку вимог на вивантаження бункера (тривалість інтервалів між суміжними запитами), а також середньогодинна продуктивність кожного комбайна. Як уже зазначалося, саме ці показники дають можливість визначити мінімальну кількість комбайнів, потрібних для виконання проекту зі збирання ранніх зернових культур на конкретному полі.

Оцінювання параметрів потоку вимог комбайнів на розвантаження бункера та середньогодинної продуктивності кожного з них здійснювали за допомогою статистичного імітаційного моделювання їх роботи відповідно до розробленого алгоритму (рис. 4.2) та створеної комп'ютерної програми. Початкові дані для моделювання сформовано на основі аналізу тривалості складових збирального процесу (див. рис. 3.3). Ці тривалості залежать як від конструктивно-технічних параметрів комбайна, так і від характеристик виробничої та предметної складових проектного середовища.

До виробничих характеристик середовища належать довжина гону та ухил поля. До предметних – урожайність, солонистість і вологість зерностеблестою. Інші чинники (конфігурація поля, наявність перешкод, забур'яненість, полеглість стеблостою тощо) не враховували через неможливість коректного відображення їх впливу в моделі.

Для дослідження закономірностей зміни середньогодинної продуктивності окремих комбайнів та параметрів потоку вимог на розвантаження бункера було використано обґрунтований набір початкових даних. У результаті статистичного імітаційного моделювання роботи комбайнів на полях із заданими виробничими характеристиками та при фіксованих параметрах зерностеблестою (предметна складова) за умов

ідеального транспортного обслуговування встановлено характер залежності середньогодинної продуктивності (зібраної площі) від таких факторів:

1. пропускної здатності комбайна;
2. урожайності культури;
3. солемистості зерностеблестою;
4. довжини гону поля.

Технічні параметри комбайнів, використані для комп'ютерного моделювання, брали з їх нормативно-технічних характеристик. На основі моделювання було отримано відповідні результати, наведені у таблиці 4.4.

Виробнича складова проектного середовища визначалася варіантами довжини гону, значення якої змінювалися в діапазоні від 300 до 900 м. Предметна складова описувалася п'ятьма варіантами показників урожайності (20, 35, 50, 65, 80 ц/га) та солемистості (1.0, 1.15, 1.3, 1.45, 1.6).

Агрометеорологічна складова проектного середовища відповідала умовам природно-виробничої зони Лісостепу, зокрема району спостережень Кам'янець-Подільської аграрно-метеорологічної станції. При цьому враховано стохастичний характер тривалості росянистих інтервалів, а також параболічну зміну дефіциту вологості повітря протягом погожого періоду кожної погожої доби.

У результаті проведення серії комп'ютерних експериментів за допомогою статистичної імітаційної моделі встановлено такі закономірності:

1. для фіксованих параметрів проектного середовища (урожайність 50 ц/га, солемистість 1,3 та довжина гону 600 м) зі збільшенням пропускної здатності комбайна середньогодинна продуктивність зростає за параболічним законом (рис. 4.5, а);
2. зі збільшенням урожайності зернової культури (за солемистості 1,3 та довжині гону 600 м) середньогодинна продуктивність комбайна знижується нерівномірно (рис. 4.5, б);
3. подібна тенденція спостерігається й при зміні солемистості за фіксованої урожайності 40 ц/га (рис. 4.5, в);

4. збільшення довжини гону (за урожайності 40 ц/га та солемистості 1,3) спричиняє зростання середньогодинної продуктивності комбайна (рис. 4.5, г).

Водночас варто зазначити, що темпи приросту середньогодинної продуктивності зі збільшенням довжини гону поступово знижуються, про що свідчать дані таблиці 4.5.

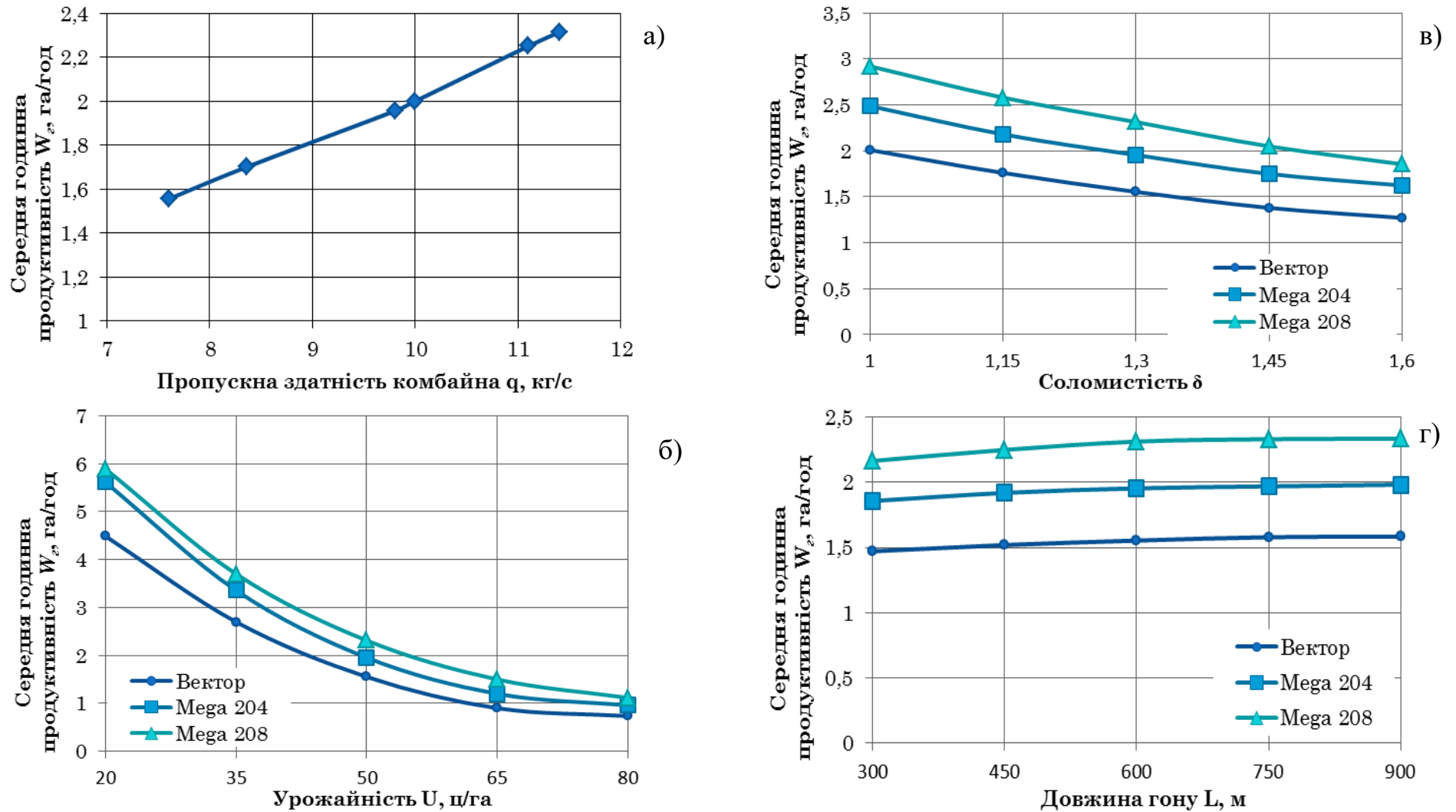


Рис. 4.5. Закономірності зміни середньогодинної продуктивності залежно від пропускної здатності комбайна (а), урожайності (б), соломистості (в) і довжини гону (г) за таких параметрів проектного середовища: культура – пшениця; урожайність – 50 ц/га; соломистість – 1,3; довжина гону – 600 м.

Як зазначалося раніше, ключовим параметром для узгодження роботи збиральних і транспортних ланок є середнє значення (оцінка математичного сподівання) інтервалу між послідовними вимогами комбайнів щодо вивантаження бункера. Дослідження цього параметра потоку здійснювали шляхом комп'ютерного моделювання із застосуванням статистичної імітаційної моделі. За результатами випробувань роботи комбайнів Claas Mega 204 визначено характер зміни середнього інтервалу часу залежно від ключових характеристик проектного середовища — довжини гону, урожайності та солемистості — за різної кількості задіяних машин (рис. 4.6). Отримані залежності мають лінійний характер. Коефіцієнти регресії для цих моделей наведено в таблиці 4.6.

Аналіз результатів (рис. 4.6, а) демонструє, що зі збільшенням довжини гону математичне сподівання інтервалу між суміжними зверненнями комбайна щодо вивантаження бункера зменшується за лінійною залежністю. Це пояснюється скороченням часу на виконання розворотів, унаслідок чого тривалість активної фази збирання підвищується, а обсяг намолоченого зерна — відповідно збільшується.

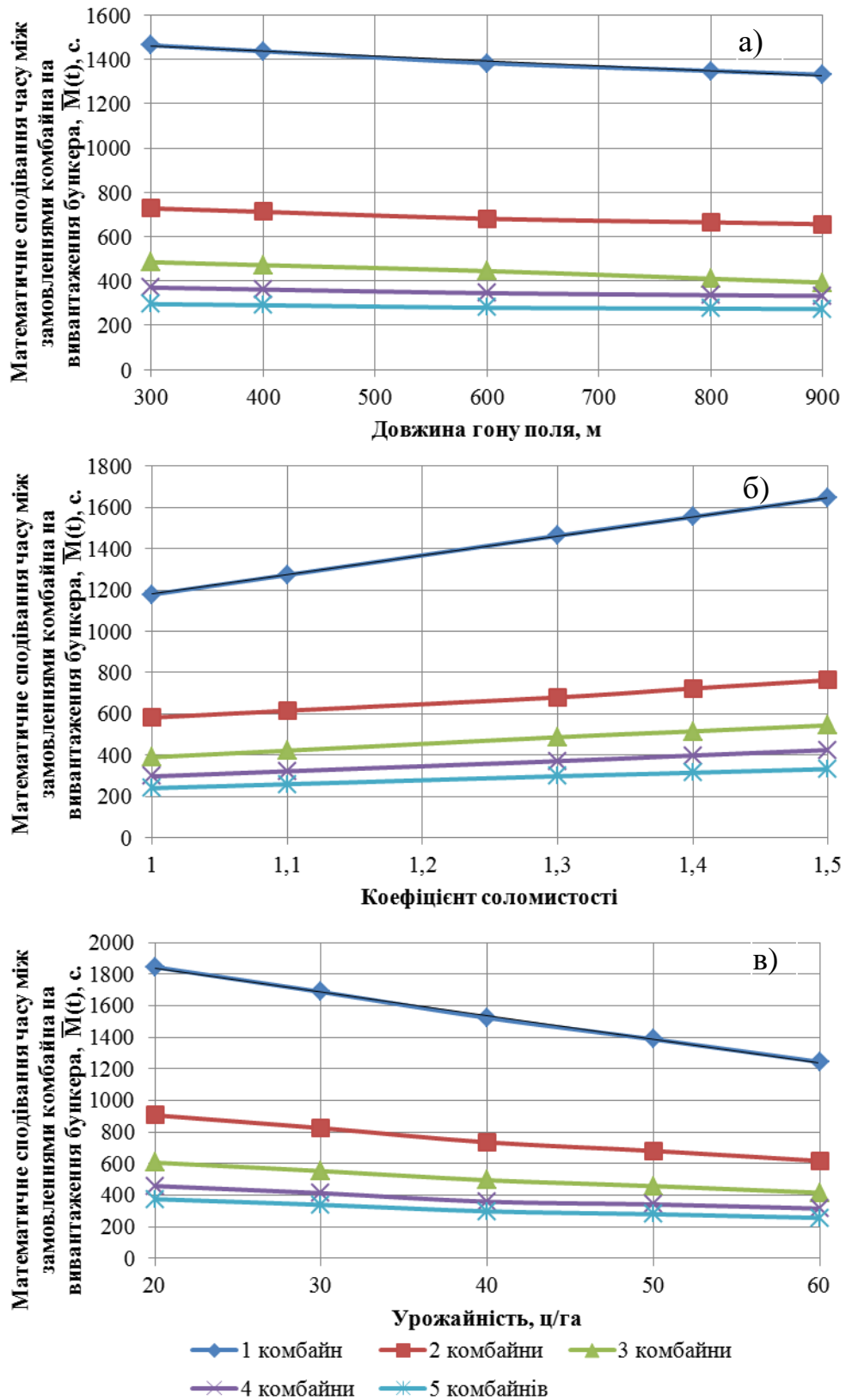


Рис. 4.6. Закономірності зміни оцінки математичного сподівання інтервалу часу (t) між послідовними зверненнями комбайна для вивантаження бункера залежно від: а) довжини гону поля; б) показника соломистості; в) урожайності культури.

Зі зростанням урожайності ранніх зернових культур математичне сподівання інтервалу між послідовними надходженнями вимог комбайна на вивантаження бункера зменшується (рис. 4.6, в). Це пояснюється тим, що за високої урожайності комбайн проходить меншу відстань до заповнення бункера, відповідно зменшується кількість розворотів і витрати часу на їх виконання. За низької урожайності, навпаки, інтервал між суміжними подіями потоку вимог збільшується. У таких умовах зростає кількість розворотів, а молотильний апарат працює з меншим навантаженням, що призводить до тривалішого наповнення бункера. Хоча за низької урожайності комбайн може рухатись із більшою робочою швидкістю для забезпечення достатнього завантаження молотарки, ця швидкість обмежується регламентом.

Щодо впливу коефіцієнта солемистості на середній інтервал між заявками комбайна на вивантаження бункера (рис. 4.6, б), то ця залежність має лінійно зростаючий характер. Це зумовлено тим, що зі збільшенням солемистості зменшуються робоча швидкість та продуктивність комбайна, що відповідно збільшує час між послідовними вивантаженнями.

Отримані за допомогою статистичного імітаційного моделювання залежності середньогодинної продуктивності комбайна та часу між його зверненнями на вивантаження бункера становлять основу для узгодження збиральних і транспортних операцій.

4.5 Тенденції зміни показників ефективності функціонування системи-проєкту «поле – комбайни – транспортні засоби»

Результати моделювання підсистеми «поле – комбайни» застосовуються для орієнтовного узгодження збиральних і транспортних процесів у межах системи «поле – комбайни – транспортні засоби». Для здійснення детальнішого узгодження цих робіт між собою, а також з характеристиками проєктного середовища, згідно з передбаченим алгоритмом (рис. 4.1), необхідно дослідити функціонування системи за такими варіантами параметрів комбайнового та транспортного комплексів, які відповідають умовам попереднього узгодження збиральних і транспортних операцій. Відповідні дослідження виконували методом

комп'ютерного експериментування на основі статистичної імітаційної моделі.

Проаналізуємо тенденції зміни ключових функціональних показників роботи комбайнів і транспортних засобів у системі «поле – комбайни – транспортні засоби» для таких умов проектного середовища та параметрів технічних засобів:

1. характеристики зерностеблестюю — озима пшениця з урожайністю 40 ц/га та солонистістю 1,3;
2. характеристики поля — прямокутна форма, довжина гону 600 м, ухил поверхні 1°;
3. параметри комбайнового комплексу — комбайн Dominator Mega-204, одночасно працюють чотири комбайни;
4. параметри транспортного комплексу — автомобіль ЗіЛ-130, тракторний перевантажувач із місткістю бункера 18,6 м³; кількість автомобілів змінювалася від 1 до 10;
5. дорожні умови — ґрунтова дорога; віддаль перевезень становила 10–20 км з кроком 5 км.

Дослідженню підлягали такі функціональні показники:

1. середньодобовий темп збирання (W_d), га;
2. тривалість простоїв комбайнів та автомобілів.

Вибір саме цих показників обумовлений тим, що вони відображають роботу системи в межах тривалого періоду (добового циклу), враховуючи організаційні особливості перебігу проєкту, зокрема вплив динаміки дефіциту вологості повітря на темп збирання. Крім того, добовий інтервал дає можливість виражати простої технічних засобів у годинах та співставляти їх з організаційно скоригованим добовим фондом робочого часу.

Графічне подання залежності середньодобового темпу збирання озимої пшениці чотирма комбайнами від кількості автомобілів та віддалі перевезень для двох варіантів організації транспортного процесу — з

використанням перевантажувача та без нього — дало змогу встановити характерні тенденції зміни цього показника (рис. 4.7, а).

Зі збільшенням кількості автомобілів за фіксованої віддалі перевезень середньодобовий темп збирання описується складною залежністю: початковий її відрізок має параболічну форму, а подальша частина є прямою, паралельною осі абсцис. Така тенденція зберігається як для варіанта транспортного обслуговування із застосуванням перевантажувача, так і без нього, а також для всіх розглянутих віддалей перевезення. При цьому значення коефіцієнтів регресії змінюються залежно від віддалі транспортування (табл. 4.7).

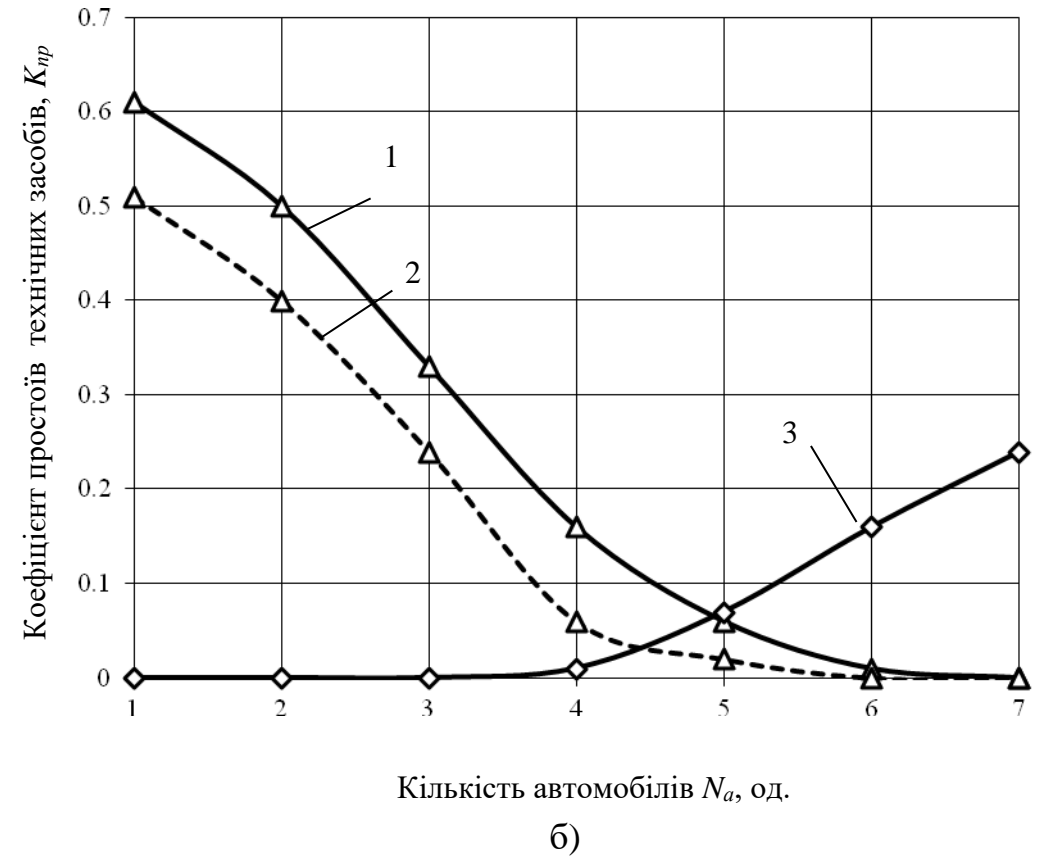
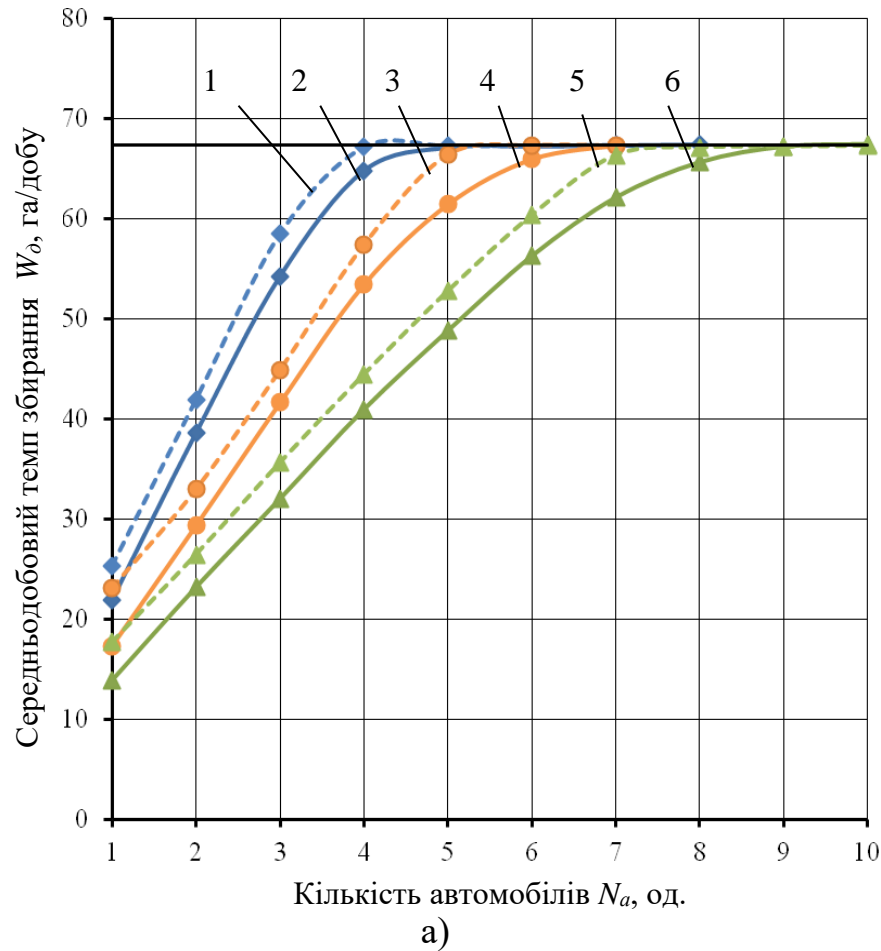


Рис. 4.7 Динаміка змін середньодобового темпу збирання (а) (1, 3, 5 – для відстаней 10, 15, 20 км із первантажувачем; 2, 4, 6 – без первантажувача) та коефіцієнт простоїв технічних засобів для 10 км (б) (1, 2 – для комбайнів без та з первантажувачем; 3 – для транспортних засобів).

Аналіз тенденцій зміни середньодобового темпу збирання показує, що залучення додаткового автомобіля до транспортного комплексу забезпечує більший приріст середньодобового темпу збирання порівняно з використанням перевантажувача в системі-проекті. Лише за значних відстаней перевезень та при збільшенні числа автомобілів залучення перевантажувача дає приріст середньодобового темпу збирання, близький до приросту від додаткового автомобіля.

Аналіз зміни тривалості одиничних простоїв технічних засобів свідчить про логічну закономірність: із збільшенням кількості автомобілів тривалість простоїв транспортних засобів зростає, а тривалість простоїв комбайнів зменшується (рис. 4.7, б).

Висновки до розділу 4

1. Розроблений алгоритм узгодження збиральних і транспортних робіт базується на методі їх планування, складається з 21 блока і дозволяє визначати мінімальну кількість комбайнів і транспортних засобів, необхідних для своєчасного збирання зернової культури на заданому полі.

2. Створена статистична імітаційна модель системи-проекту «поле–комбайни–транспортні засоби» забезпечує можливість дослідження як її підсистеми «поле–комбайн», так і системи загалом. Модель підсистеми «поле–комбайн» дозволяє прогнозувати середньогодинний темп збирання та середню тривалість інтервалів між зверненнями комбайна на вивантаження бункера, що є підґрунтям для орієнтовного визначення параметрів комбайнового та транспортного комплексів. Модель системи «поле–комбайни–транспортні засоби» дає змогу уточнено визначати параметри відповідних комплексів.

3. Дослідження агрометеорологічно допустимого та організаційно відкоригованого добових фондів робочого часу збирання

ранніх зернових культур для умов Кам'янець-Подільського району показало, що організаційно відкоригований добовий фонд збирання підпорядковується теоретичному закону розподілу Вейбулла-Гніденка. За тривалості календарного періоду понад 3 доби розподіл трансформується у нормальний.

4. Встановлені залежності математичного сподівання та дисперсії організаційно відкоригованого фонду робочого часу від тривалості планової календарної роботи дозволяють прогнозувати статистичні характеристики цього фонду для оперативного узгодження збиральних і транспортних робіт.

5. Результати статистичного імітаційного моделювання підсистеми «поле–комбайни» дозволили аналізувати тенденції зміни показників роботи комбайнів залежно від їх фізичних характеристик та властивостей проектного середовища, формуючи базу для узгодження збиральних і транспортних процесів.

6. Моделювання системи «поле–комбайни–транспортні засоби» дало змогу оцінити ефективність її функціонування та встановити вплив способу організації збирально-транспортних робіт на середньодобовий темп збирання, що є підставою для уточненого визначення параметрів комбайнового та транспортного комплексів.

ВИСНОВКИ

Робота присвячена обґрунтуванню процесу узгодження збиральних і транспортних робіт у проектах збирання ранніх зернових культур сільськогосподарськими підприємствами з урахуванням стохастичної поведінки проектного середовища та системних взаємозв'язків між технологічними складовими.

1. Аналіз стану досліджень з управління змістом і часом виконання робіт у проектах різних галузей показує, що існуючі методи та моделі не забезпечують ефективного управління складними процесами, зокрема, узгодження збиральних та транспортних робіт у проектах збирання ранніх зернових культур, які мають технологічно нероздільний характер та ймовірні часові зв'язки.
2. Використання системно-чинникового підходу для узгодження збиральних і транспортних робіт дозволило визначити основні задачі формування систем-проектів «поля–комбайни–транспортні засоби» підприємств та виявити системні особливості їх вирішення й обґрунтування ефективних параметрів підсистем «комбайновий комплекс» і «транспортний комплекс», що забезпечують узгоджене виконання робіт на окремих полях та їх множинах.
3. Доведено, що управлінську задачу узгодження збиральних і транспортних робіт можна вирішувати шляхом визначення для кожного поля з достиглим урожаєм ранньої зернової культури параметрів комбайнового комплексу (числа та потужності комбайнів), які визначаються характеристиками предметної складової проектного середовища, а також параметрів транспортного комплексу (методу виконання транспортних робіт, числа та потужності транспортних засобів), які системно залежать від характеристик предметної складової, параметрів комбайнового комплексу та дорожніх умов.

4. Розвинений системно-подієвий підхід для моделювання збиральних і транспортних робіт передбачає розгляд систем-проектів «поля–комбайни–транспортні засоби», функціонування яких визначається часовими причинно-наслідковими зв'язками між подіями проектного середовища та складовими робіт, що є підставою для створення статистичної імітаційної моделі.
5. Класифікація подій у проектах збирання ранніх зернових культур та встановлення їх ієрархії дозволили обґрунтувати різний рівень визначеності подій у стратегічному, тактичному та оперативному плануванні робіт, що використовується для розробки методів дослідження.
6. Обґрунтовані три методи організації транспортних робіт та причинно-часові зв'язки між збиральними та транспортними операціями дозволили визначити можливі варіанти обслуговування та забезпечити планування комп'ютерних експериментів і статистичного імітаційного моделювання для узгодження робіт на окремих полях.
7. Виявлені причинно-часові залежності між складовими робіт дозволили визначити ситуаційні стани технологічних компонентів системи-проекту на окремих полях, а також аналітично довести, що рівень узгодження робіт характеризується співвідношенням тривалостей між суміжними замовленнями комбайнів на вивантаження та між суміжними появами транспортних засобів. Прогнозування статистичних характеристик цих тривалостей є основою планового узгодження робіт.
8. Розроблений метод оперативного узгодження збиральних і транспортних робіт базується на статистичному імітаційному моделюванні процесів збирання ранніх зернових культур на окремих полях та дозволяє визначати ефективні параметри комбайнового та транспортного комплексів за критерієм ймовірності своєчасного виконання робіт.

9. Визначені етапи алгоритму оперативного узгодження робіт на окремих полях забезпечують практичну реалізацію методу та формують базу знань інформаційно-аналітичної системи управління проектами збирання.
10. Збір та статистичне опрацювання даних агрометеорологічної станції щодо термінів появи та тривалості росянистих проміжків дозволили обґрунтувати статистичні моделі та, у поєднанні з моделями подій і робіт на окремих полях, створити статистичну імітаційну модель для системного вирішення задачі узгодження робіт.
11. Статистичне імітаційне моделювання проекту збирання ранньої зернової культури на окремому полі дає змогу оцінити вплив керованих складових проекту на його функціональні показники та виявити систему залежностей, що лежить в основі оперативного обґрунтування узгоджених параметрів комбайнового та транспортного комплексів за заданих характеристик предметної складової та ймовірності своєчасного виконання проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брусловський Ю. Р. Обґрунтування структури парку бурякозбиральних машин / Ю. Р. Брусловський, О.М. Ушаков, О. В. Носко // Механізація і електрифікація сільського господарства. – 1976.–№ 9. – С.11–13.
2. Веденяпін Г. В. Експлуатація машино-тракторного парку / Г.В. Веденяпін, Ю. К. Кіртбая, М. П. Сергєєв – К. : Урожай, 1969. – 343 с.
3. Грибинюк О. М. Дослідження умов функціонування і розробка методу оптимізації парку зернозбиральних комбайнів сільськогосподарського підприємства : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Технології і засоби механізації сільського господарства» / О. М. Грибинюк. – Глеваха, 1994. – 16 с.
4. Завалішин Ф. С. Основи розрахунку механізованих процесів в рослинництві / Ф. С. Завалішин. – К. : Урожай, 1973. – 319 с.
5. Кіртбая Ю. К. Резерви у використанні машино-тракторного парку / Ю. К. Кіртбая. – К. : Урожай, 1982. – 320 с.
6. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, С.П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. – 52 с.
7. Погорілий Л. Проблеми створення базових комплексів сільськогосподарської техніки нового покоління для рільництва / Л. Погорілий // Вісник аграрної науки. – 1996. – № 11. – С. 48-53.
8. Сидорчук Л. Л. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків між подіями у проекті збирання ранніх зернових / Л. Л. Сидорчук // Вісник Львівського державного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – 2007. – №11. – С. 26-29.
9. Синк Д. С. Управління продуктивністю : планування, вимірювання і оцінка, контроль і підвищення / Д. С. Синк. – К. : Прогресс, 1989. – 215 с.

10. Табашніков О. Т. Підвищення продуктивності зернозбирального комбайна / О. Т. Табашніков // Механізація і електрифікація сільського господарства. – 1983. – № 9. – С. 5-6.
11. Фере Н. Е. Посібник з експлуатації машино-тракторного парку / Н.Е. Фере. – К. : Урожай, 1978. – 256 с.
12. Фінн Е. А. Обґрунтування складу машино-тракторного парку / Фінн Е. А. – К. : Знання, 1983. – 159 с.
13. Фінн Е. А. Комплектування машинно-тракторного парку колгоспів і радгоспів / Е. А. Фінн, М. Л. Варшавський, І. Є. Черватюк – К. : Урожай, 1989. – 176 с.
14. Чепурін Г. Є. Оперативне маневрування технологіями збирання в залежності від погодніх умов / Г. Є Чепурін, Г. П. Воровкін // Зернові культури. – 1997. – № 2. – С. 5-7.
15. Anderson A. Factors affecting machinery costs in grain production / A. Anderson // ASAE paper. – 1988. – № 88. – P. 1-10.
16. Frame Davidson J. The New Project Management / Frame Davidson J. – San Francisc : Jossey-Bass Publishers, 1994. – 328 p.
17. Hertz D. B. Risk analysis in capital investments, Harvard Business Review, 57 (September/October 1979. – P. 169–81).
18. Kerzner H. Project Management : A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling / H. Kerzner. – ed2k stats. – 2003. – 891 p.
19. Pierre N. Robillard. Martin P. Robillard. Types of collaborative work in software engineering / N. Pierre // The Journal of Systems and Software. – 2000. – vol. 53. – P. 219-224.
20. PROGEST MANAGEMENT / Управление проектами : толковый англо-русский словарь-справочник / под. ред. проф. В. Д. Шапиро. – М. : Высш. шк., 2000. – 379 с.
21. Project management handbook. Applying Best Practices across Global Industries / ed. Cleland D., Ireland L. – Mc Graw Hill, 2007. – 547 p.

The US WTO Agricultural Proposal for Global Trade Reform. – [http://
www.usda.gov/](http://www.usda.gov/)