

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **“ Інформаційно-аналітична система узгодження змісту
проектів осінньої підготовки ґрунту та сівби ”**

Виконав: ст. гр. Іт-61

Спеціальності 126 – «Інформаційні системи та
технології»
(шифр і назва)

Бальо Олег Петрович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.е.н., доц. Смолінський В.Б.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: _____
(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній ступінь «Магістр»
126 – «Інформаційні системи та технології»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____
д.т.н., проф. А.М. Тригуба
“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Бальо Олег Петрович

1. Тема роботи: «Інформаційно-аналітична система узгодження змісту проектів осінньої підготовки ґрунту та сівби»

Керівник роботи Смолінський Валентин Броніславович, к.е.н., доцент.
Затверджені наказом по університету №140/к-с від 28.02.2025.

2. Строк подання студентом роботи 01.12.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Статистичні закономірності щодо агрометеорологічних умов та розвитку озимих культур; 2) Методика опрацювання даних та математична статистика; 3) Технологія статистичного імітаційного моделювання; 5) Правила проектування інформаційних систем.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз стану питання в теорії та практиці

2. Теоретичні передумови побудови інформаційно-аналітичних систем

3. Методика моделювання ІАС та узгодження змісту проектів

4. Результати використання інформаційно-аналітичної системи для комп'ютерних експериментів

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки та пропозиції.

Бібліографічний список.

Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу: 1 та 2 – Тема, мета, завдання роботи; 3 – Аналіз сучасних ІТ-сервісів для планування; 4 – Аналіз метеоплатформ; 5 – Властивості та завдання ІАС; 6 – Особливості предметної галузі та вимоги до ІАС; 7 – Графічне відображення способу моделювання; 8 – Блок-схема алгоритму; 9 – Особливості мови С++ та розробка програми; 10 та 11 – Результати моделювання; 12 – Оцінення ризику коректності узгодження змісту проектів.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 4	Смолінський В.Б., доцент кафедри інформаційних технологій		
5	Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки		

7. Дата видачі завдання – 28 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Написання першого розділу та означення головних завдань роботи	01.03-01.05.25	
2.	Виконання другого розділу та опис інформаційних технологій для виконання завдань роботи	01.03-01.05.25	
3.	Виконання третього розділу, методика вирішення завдань та елементи наукових досліджень	01.05-01.07.25	
4.	Виконання четвертого розділу, представлення результатів та їх узагальнення	01.05-01.07.25	
5.	Написання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	01.07-01.09.25	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційних матеріалів	01.09-01.11.25	
7.	Завершення роботи в цілому	01.11-01.12.25	

Студент _____ Бальо О.П.
(підпис)

Керівник роботи _____ Смолінський В.Б.
(підпис)

УДК: 004.9:631.4:631.57

Кваліфікаційна робота: 80 с. текст. част., 23 рис., 4 табл., 12 слайдів, 21 джерел.

Інформаційно-аналітична система узгодження змісту проектів осінньої підготовки ґрунту та сівби. Бальо О.П. Кафедра ІТ. – Дубляни, Львівський НУВМБ, 2025.

Розглянуто проблематику підвищення ефективності управління технологічними процесами агровиробництва шляхом використання інформаційно-аналітичних систем.

Проаналізовано сучасний стан інтеграції ІТ-сервісів в управління агровиробництвом України, визначено властивості та основні завдання інформаційно-аналітичних систем, а також охарактеризовано можливості застосування метеоплатформ для підтримки технологічних рішень у рослинництві.

Сформовано теоретичні передумови побудови ІАС: наведено основи теорії управління виробничими системами, розкрито особливості моделювання процесів осінньої підготовки ґрунту, а також обґрунтовано вимоги до розроблюваної ІАС з урахуванням специфіки мови програмування C++.

Розкрито методику моделювання інформаційно-аналітичної системи та узгодженню змісту проектів: описано підхід до відображення технологічних робіт у вигляді імітаційної моделі, подано алгоритм моделювання технологічних процесів агровиробництва, розглянуто структуру програмного коду моделі та особливості його реалізації, а також наведено методику опрацювання статистичних даних і результатів комп'ютерних експериментів.

Представлено результати застосування розробленої ІАС.

Ключові слова: інформаційно-аналітична система, моделювання, програмний код, C++, управління агропроектами, підготовка ґрунту, сівба.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ.....	9
1.1 Інтеграція ІТ-сервісів в управління агровиробництвом України...	9
1.2 Властивості та основні завдання інформаційно-аналітичних систем.....	13
1.3 Використання даних метеоплатформ для управління технологічними процесами в агровиробництві.....	16
2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИХ СИСТЕМ.....	20
2.1. Основи теорії управління виробничими системами та їх ефективність.....	20
2.2. Особливості прикладної сфери – моделювання процесів осінньої підготовки ґрунту.....	24
2.3. Вимоги до проекрованої ІАС та особливості мови програмування C++.....	29
3. МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ІАС ТА УЗГОДЖЕННЯ ЗМІСТУ ПРОЕКТІВ.....	34
3.1. Методика відображення імітаційною моделлю робіт в технологічній системі.....	34
3.2. Алгоритм імітаційної моделі технологічних процесів агровиробництва.....	38
3.3. Побудова програмного коду імітаційної моделі та його особливості.....	40
3.4. Методика опрацювання статистичних даних та результатів моделювання.....	45
4. РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....	49
4.1. Результати моделювання ґрунтообробно-посівних робіт у виробничій системі.....	49

4.2. Результати оцінення ризику несвоечасності виробничих процесів	54
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
5.1. Структурно функціональний аналіз технологічного процесу.....	60
5.2. Методика моделювання процесу виникнення травм та аварій і розробка логіко-імітаційної моделі.....	60
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	63
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	69

ВСТУП

У сучасних умовах цифрової трансформації підприємницької діяльності аграрний сектор опинився серед галузей, де впровадження інформаційних технологій демонструє найбільш відчутні результати [2, 6]. Розвиток цифрових платформ, систем моніторингу стану ґрунту, аналітичних модулів для планування технологічних операцій і засобів автоматизованого управління виробничими процесами створює передумови для якісно нового рівня організації землеробства. Особливого значення набуває можливість інтеграції різнорідних даних у єдиному інформаційному просторі, що забезпечує прозорість, підвищує точність прийняття управлінських рішень і сприяє формуванню оптимальних технологічних регламентів.

У таких умовах актуальним є створення інформаційно-аналітичних систем, здатних узгоджувати зміст проектів осінньої підготовки ґрунту та сівби. Ці технологічні процеси визначають подальшу продуктивність агроєкосистеми, а тому потребують точного планування, врахування метеорологічних, ґрунтових, технічних і організаційних факторів. Система, орієнтована на комплексний аналіз і формування узгоджених проектних рішень, стає важливим елементом цифрової інфраструктури агровиробництва. Вона дає змогу мінімізувати ризики, підвищити ефективність використання ресурсів і створити умови для стабільного та науково обґрунтованого ведення землеробства.

Мета роботи – розробити інформаційно-аналітичну систему для узгодження змісту проектів осінньої підготовки ґрунту та сівби, що дозволяє підвищити ефективність управлінських рішень в агровиробництві.

Завдання дослідження:

- 1) проаналізувати існуючі методи планування та узгодження агротехнологічних проектів;
- 2) визначити структурні та функціональні вимоги до інформаційно-аналітичної системи;

3) розробити архітектуру та прототип ІАС реалізовану як імітаційну модель в мові C++;

4) застосувати ключові функціональні модулі системи, включно з аналізом даних, формуванням звітів та узагальнити результати.

Об'єкт роботи – процеси агропланування та узгодження проектів осінньої підготовки ґрунту та сівби, а також інформаційно-аналітичні системи, що інтегрують бази даних, програмні інтерфейси та модулі генерування й відтворення поведінки ймовірнісної системи.

Предмет роботи – методи, алгоритми та програмні компоненти ІАС, включно з модулями збору даних (*data acquisition*), базами знань (*knowledge bases*), системами підтримки прийняття рішень (*Decision Support Systems, DSS*), алгоритмами оптимізації та візуалізації даних, що забезпечують узгодження проектів підготовки ґрунту та сівби.

Новизна результатів: полягає у створенні ІАС, яка інтегрує дані щодо ґрунтового-кліматичних умов, ресурси та агротехнологічні норми для узгодження проектів підготовки ґрунту та сівби. Система забезпечує оптимізацію планування, підвищення точності прогнозів та скорочення часу на прийняття управлінських рішень.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ

1.1 Інтеграція ІТ-сервісів в управління аровиробництвом України

Значна частина агрохолдингів сьогодні прийшла до такого етапу свого розвитку, що конкуренція на ринку АПК змушує їх використовувати не тільки продуктивні технології виробництва продукції із застосуванням дедалі нових сортів, добрив та хімічного захисту, але й використання сучасних ІТ для ефективного використання наявних ресурсів та управління виробництвом загалом. Переважно, такі системи є платними і доволі важко досяжні для менших господарств. Вони також є дещо узагальненими та не розглядають особливості виробничих процесів на рівні окремих технологічних операцій.

Цю прогалину можна заповнити розробкою спеціальних прикладних програм для підтримки прийняття рішень – цьому завданню і присвячено кваліфікаційну роботу [6, 19, 20].



Рисунок 1.1 – ІТ-ресурс управління агропідприємством – Cropio

Схожим є інформаційний сервіс FarmingOS – це платформа для візуалізації аграрного бізнесу. За допомогою FarmingOS можна приймати рішення ґрунтуючись на реальних цифрах, доступних в один клік. За її використання операційний прогрес, витрати, доходи і маржинальність

доступні в розрізі будь-якого проміжку часу, полів, культур і основних видів діяльності тощо.



Рисунок 1.2 – Digital-візуалізація показників агро-бізнесу у системі FarmingOS

Застосування FarmingOS дає змогу [6, 19, 20]:

- 1) спостерігати за станом аграрного підприємства (сівоzmіна в розрізі сезонів, витрати, доходи та маржинальність, площа і стан кожного типу культур, статус виконання робіт);
- 2) слідкувати за динамікою виконання робіт (план-факт виконання агрооперацій, фільтр за культурами, видами робіт на полях, вибір сезону і типу прямих витрат тощо);
- 3) набір інструментів для аналізу планових і фактичних витрат, а також моніторингу накопичених витрат (середня вартість за 1 га, планові витрати, фактичні витрати, фільтри по культурам, видам робіт і полях тощо).

Microsoft Project став фактично стандартом серед засобів автоматизації індивідуальної роботи менеджерів проектів. Свою популярність він заслужив завдяки вдалому поєднанню простоти використання, дружнього інтерфейсу і найбільш необхідних інструментів управління проектами.

Microsoft Project входить у сімейство Microsoft Office, що підтверджується наступними його властивостями:

- побудова інтерфейсу і довідкової системи на єдиних з Microsoft Office принципах;
- можливість збереження даних проектів у базі даних Access;
- двосторонній обмін даними з Outlook.

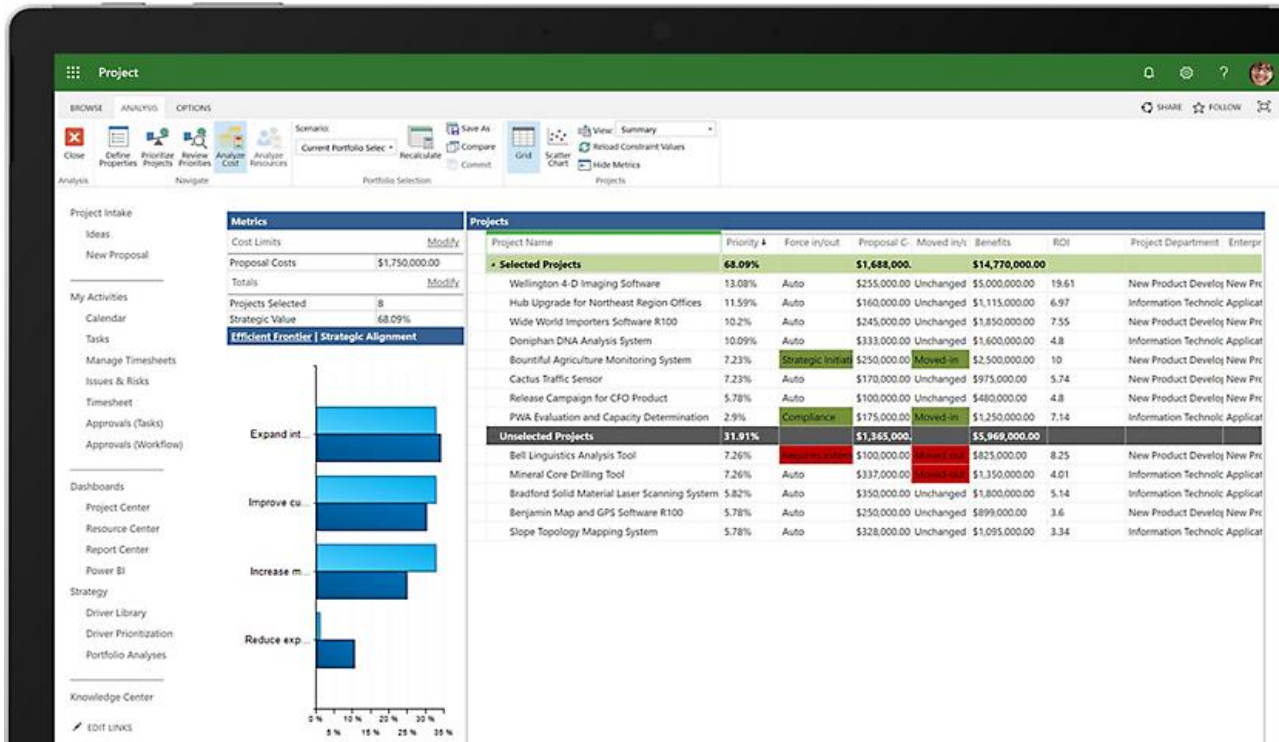


Рисунок 1.3 – Вікно планування в MS Project [6, 19, 20]

Переважна більшість менеджерів, які користуються Microsoft Project, використовують його для планування невеликих задач. За оцінками, половина користувачів планує проекти обсягом до 50 робіт, і лише від 10% до 20% – проекти, в яких більш 100 робіт. Проте, сучасні версії Microsoft Project цілком придатні для використання управління і великих проектів.

Power BI – це комплексне програмне забезпечення бізнес-аналітики від Microsoft. Фактично, це колекція програмних служб, програм та з'єднувачів, які взаємодіють один з одним, щоб перетворити розрізнені джерела даних на узгоджені, візуально іммерсивні та інтерактивні аналітичні дані. Дані можуть бути електронною таблицею Excel, або колекцією хмарних та локальних

гібридних сховищ даних тощо. Power BI дозволяє легко підключатися до джерел даних, візуалізувати та дізнатися, що важливо, та поділитися ними із корпоративними учасниками проєктів що приймають участь в аналітиці тощо.

Power BI складається з кількох елементів, які працюють разом, починаючи з цих трьох основних принципів:

- Класична програма Windows з ім'ям Power BI Desktop .
- Веб-служба як послуга (SaaS) називається служба Power BI .
- Програми Power BI Mobile для пристроїв Windows, iOS та Android.

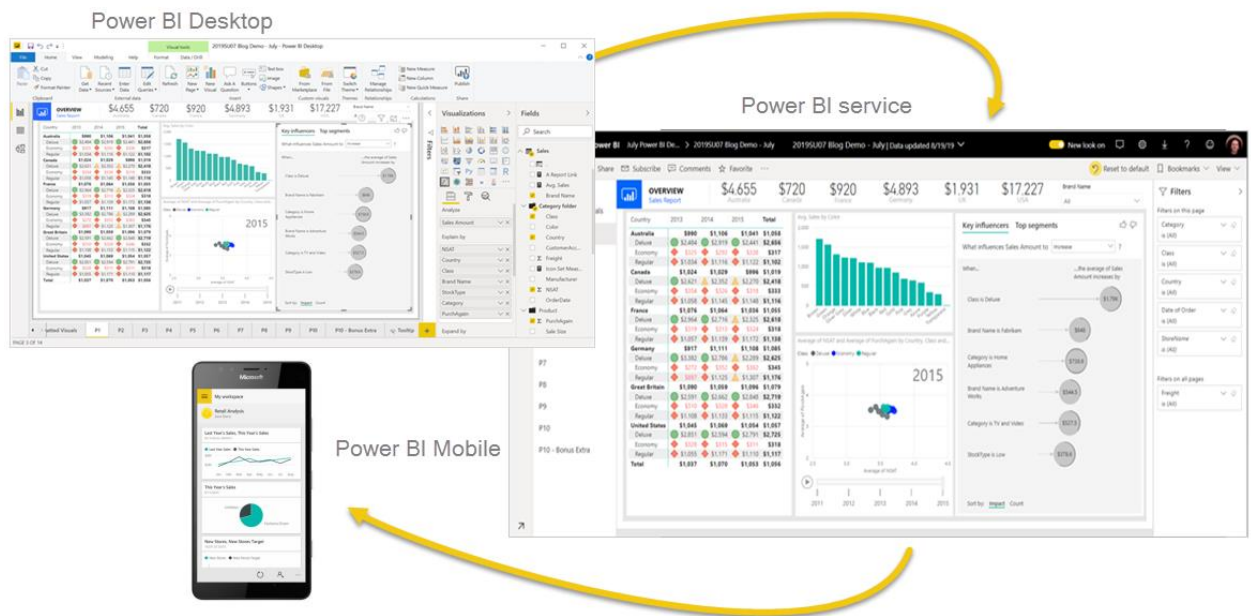


Рисунок 1.4 – Інтегрована платформа Power BI [6, 19, 20]

Локальні звіти за допомогою сервера звітів Power BI. Сервер звітів Power BI – це рішення, яке розгортається за брандмауером, а потім доставляє звіти користувачам вибірково, незалежно від того, переглядають їх у веб-браузері, мобільному пристрої або у вигляді електронної пошти. Так як сервер звітів Power BI сумісний з Power BI у хмарі, можна перейти в хмару, коли на це є потреба.

Розгляд цих інформаційних систем дає підстави стверджувати що основну увагу приділено бізнес-процесам та управління ними. Однак завдання що стосуються планування використання ресурсів підприємства та, зокрема, планування робіт із застосуванням відповідних машин для

виконання польових робіт (комбайнів для збирання врожаю культур) нажаль відсутні.

1.2 Властивості та основні завдання інформаційно-аналітичних систем

Інформаційно-аналітична система (ІАС) – це комплекс програмних засобів, моделей, баз даних, методів обробки та візуалізації інформації, призначений для збору, зберігання, аналізу й інтерпретації аграрних даних (про ґрунтово-кліматичні умови, структуру посівів, ресурси, технологічні операції тощо) з метою підтримки прийняття управлінських рішень в агробізнесі. Така система поєднує ІТ з галузевими знаннями аграрного виробництва і забезпечує можливість оперативно узгоджувати плани робіт, оцінювати ефективність проектів, мінімізувати ризики та підвищувати продуктивність агропідприємства [6, 7].

Інтеграція інформації в мережі інформаційно-маркетингових центрів здійснюється на основі електронного реєстра ContentNet і електронного репозитарія, що базуються на міжнародному стандарті ebXML. Структурування інформації в ІАС здійснюється на основі класифікатора видів економічної діяльності (КВЕД).

Доступ до послуг ІАС. Робота з ІАС, що розгортаються на базі мережі інформаційно-маркетингових центрів, можлива при підключенні користувача до мережі Інтернет, а також у телефонному режимі через оператора інформаційно-маркетингового центра або через систему автоінформатора. Доступ до сервісів ІАС через Інтернет здійснюється за допомогою Web-Сайту www.content.net.ua. Для доступу до послуг можуть використовуватися різні термінальні пристрої (персональні комп'ютери, мобільні телефони та ін.).

Призначення ІАС. Метою ІАС є надання суб'єктам ринку необхідної інформаційної підтримки, що охоплює онлайн-доступ до постійно актуалізованої ринкової інформації з галузей і регіонів (загальнодоступної, нормативної, рекламної, маркетингової, спеціалізованої) на основі сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, включаючи використання можливостей мережі Інтернет і цифрової телефонної мережі загального доступу [16]. Інформаційно-аналітичні системи забезпечують єдиний інформаційний простір для внутрішньогалузевого й міжгалузевого міжкорпоративного електронного документообігу, електронного обміну даними й створюють інтерфейс для автоматизації ділових операцій на базі міжнародних стандартів. Це дозволяє органам виконавчої влади формувати рішення в області економічної політики галузей і регіонів.

Основними завданнями розгортання ІАС регіонів і галузей є:

- *надання інформації про інфраструктуру ринку в розрізі галузей і регіонів*, що припускає подання в уніфікованому форматі інформації про всіх суб'єктів економічної діяльності в розрізі галузей і регіонів з метою взаємного обміну цією інформацією і її функціональним використанням для рішення різних виробничих, маркетингових і економічних завдань;

- *надання інформації про ресурси в розрізі галузей і регіонів*, що припускає подання в уніфікованому форматі динамічної інформації про наявні у галузях і регіонах матеріальні і нематеріальні ресурси;

- *надання інформації про електронні сервіси для здійснення операційної й аналітичної діяльності в режимі онлайн* – для оптимізації проведення господарських операцій (транзакцій) у рамках галузей і регіонів на основі електронних транзакційних і розрахунково-клірингових систем.

Функції ІАС. Функції ІАС галузей/регіонів можна розбити на наступні основні групи [16]:

1. *Підтримка системи обміну комерційною, діловою й фінансовою інформацією*, що базується на основі Web-Служб. Спрямовано на забезпечення інформаційної підтримки бізнес-процесів на основі сучасних

підходів до інтеграції інформаційних ресурсів і організації взаємодії по обміну інформацією.

2. Бізнес-Аналіз – набір методик і процедур для здійснення моніторингу, проведення аналізу, а також підтримки прийняття рішень (синтезу управляючих впливів) у завданнях управління економічними процесами. Методики бізнес-аналізу є елементом ІАС і дозволяють вирішувати широке коло завдань:

- Аналіз попиту-пропозиції на ринку.
- Ресурсний баланс ринків.
- Ціновий моніторинг ринків.
- Статистичний моніторинг ринкових операцій.
- Консолідація фінансової звітності.
- Визначення економічного потенціалу й стабільності підприємств, груп підприємств, галузі, регіону як у цілому, так і по видах економічної діяльності.

-Динамічний аналіз економічних і фінансових показників і т.д.

3. Операції з ринковими ресурсами й активами підприємств:

-Послуги електронних торговельних майданчиків (глобальних і локальних) по розміщенню електронних каталогів, прайс-листів, а також заявок на купівлю й продаж товарів і послуг.

-Контроль, реєстрація й супровід угод між контрагентами на електронних торговельних майданчиках.

-Використання фінансових інструментів для збільшення економічної вигоди й управління економічним потенціалом.

-Обслуговування потреб біржового ринку.

4. Розрахунково-клірингове обслуговування:

-Оптимізація взаєморозрахунків між контрагентами.

-Зменшення ризиків і забезпечення гарантованих платежів.

-Обслуговування різномірних електронних транзакцій і операцій з відкладеним платежем.

5. Розгортання й обслуговування ринкових формувань (ринків, віртуальних співтовариств):

- забезпечення компаній ефективними формами інтеграції ресурсів і здійснення ринкової взаємодії на основі вільного зв'язування економічних потенціалів у швидкоплинних умовах ринку. Здійснення ринкової взаємодії на основі самоорганізації й самоврядування, для забезпечення максимальної адаптивності й стабільності ведення бізнесу.

- забезпечення стабільності й зменшення стихійного ринкового розвитку за рахунок широких можливостей по досягненню самодостатності й конкурентоспроможності в рамках віртуальних економічних співтовариств.

- захист регіональних ринків, виробників і реалізація соціально-економічних програм на основі політики організованих ринків.

1.3 Використання даних метеоплатформ для управління технологічними процесами в агровиробництві

Windy.com – це один з кращих онлайн-сервісів для прогнозу погодних умов. Це не просто «погодник», а цілий онлайн-метеоцентр з погодинними подобовими/ щотижневими/ щомісячними прогнозами погоди, радарми, супутниками, мапами вітрів та магнітних хвиль й іншими корисними фішками. Сервіс зручний тим, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг за вибраними місцями з автоматичними оповіщеннями на електронну пошту.

Windy може збирати численні аналітичні дані, зокрема [10, 11, 20]: 1) сила і напрям вітру; 2) стеження за пересуванням хмар; 3) температурна карта; 4) опади та атмосферні явища: сніг, дощ, блискавка, шторми, урагани і т.д.; 5) атмосферний тиск; 6) магнітні бурі; 7) якість повітря; 8) точка роси; 9) індекс CAPE; 10) концентрація CO.

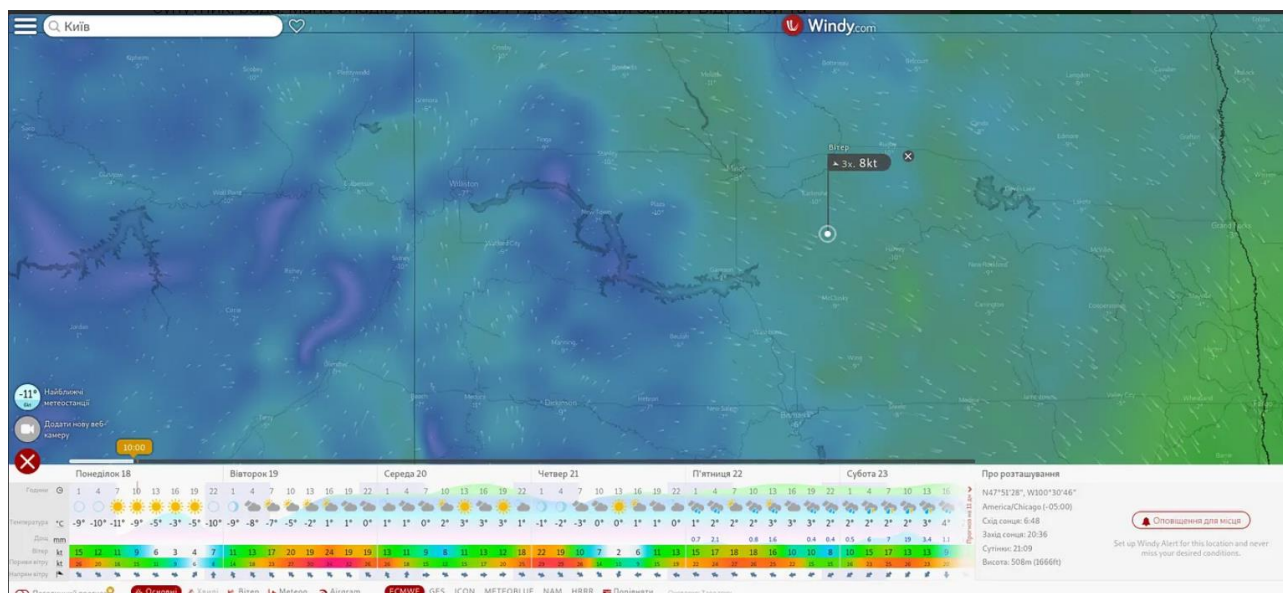


Рисунок 1.5 – Інтерфейс сервісу Windy

З додаткових можливостей слід виділити також підтримку API, можливість відображення поточної ситуації в аеропортах, показ місць, придатних для дельтапланеризму, відображення онлайн-камер і таке інше. Окрім всього, Windy має вбудований мікросервіс веб-камер, які можна знаходити та переглядати по всьому світу:

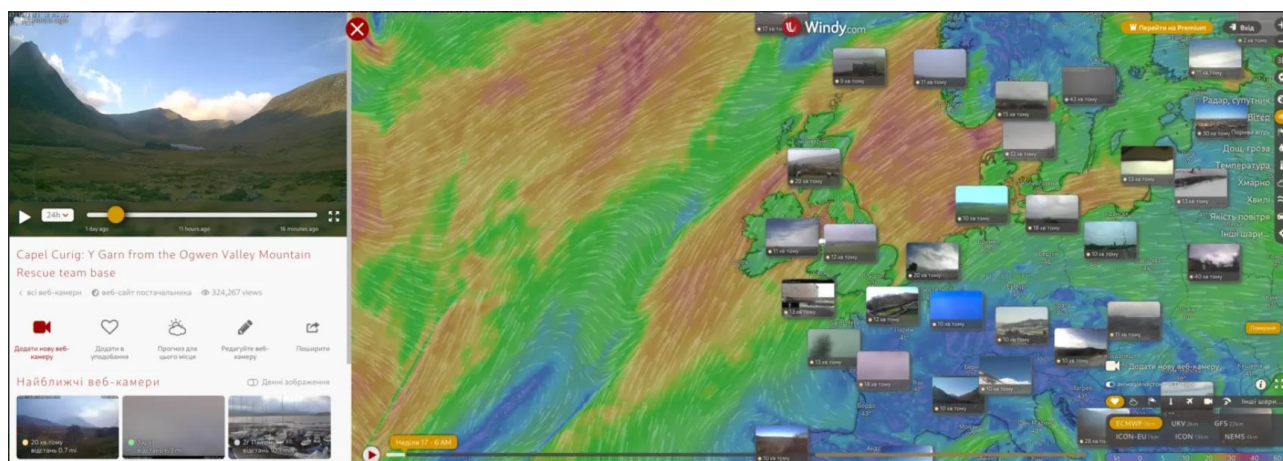


Рисунок 1.6 – Інтерфейс мікросервісу веб-камер Windy

WunderMap – простенький інтерактивний сервіс для спостереження за погодними умовами. Збирає базові метрики (температура, опади, вітри, вологість, забруднення повітря та ін.) і відображає все це на онлайн-мапі. Підтримує різні режими відображення: радар, сателіт, атмосферні явища.

Дозволяє експортувати усі налаштування в файл. З недоліків—довго завантажується і рендерить нові шари [10, 11, 20].

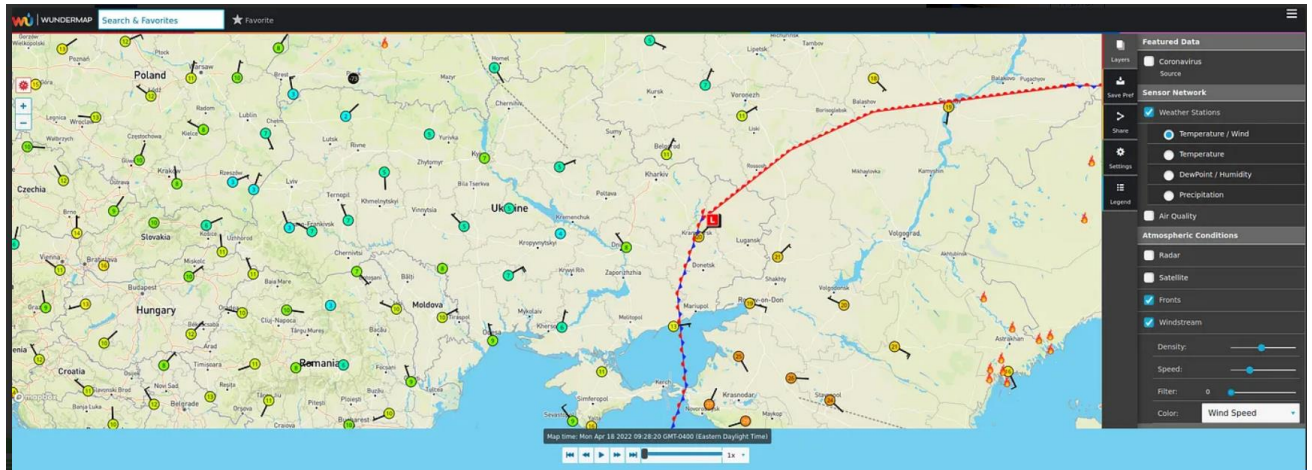


Рисунок 1.7 – Інтерфейс сервісу WunderMap

ZoomEarth – це сервіс у вигляді онлайн-мапи з численними радарними, відображенням погодних умов, атмосферними явищами у реальному часі з використанням анімації.



Рисунок 1.8 – Інтерфейс сервісу ZoomEarth

Прогнози погоди оновлюються кожні 10-15 хвилин з геостаціонарних супутників: NOAA GOES, NASA-NOAA, JMA Himawari-8, EUMETSAT Meteosat. Треки тропічних циклонів і прогнозні карти створені з використанням останніх даних від NHC, JTWC, NRL та IBTrACS. Анімовані мапи прогнозу швидкості приземного вітру створюються за допомогою моделі NOAA-NWS GFS. Радарні карти дощу надаються RainViewer. Теплові

карти показують місця пожеж та джерел високої температури з використанням даних FIRMS та InciWeb.

Meteoblue – онлайн-сервіс з поглибленими метеорологічними властивостями. Корисний для прогнозування погодніх явищ.

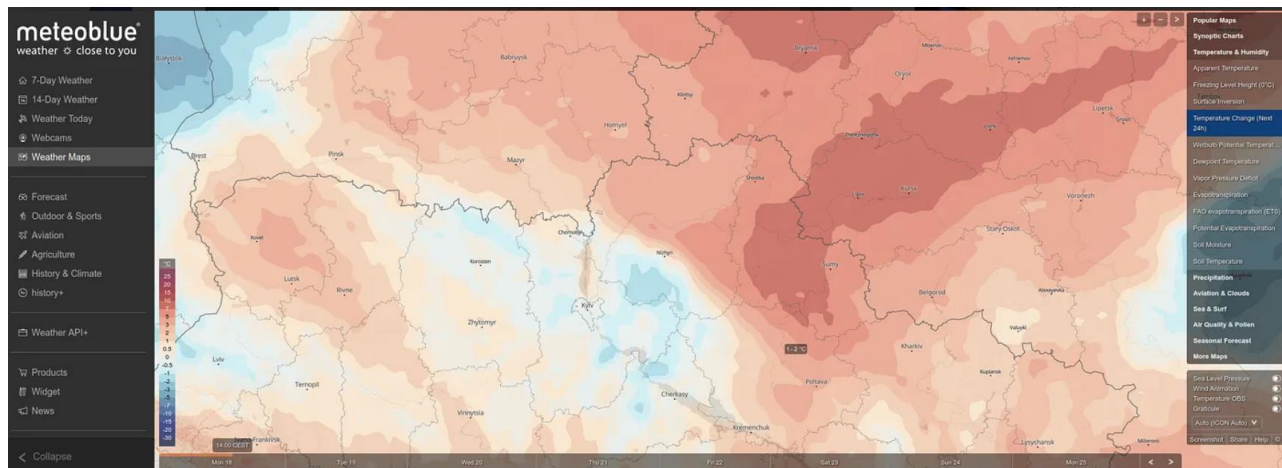


Рисунок 1.9 – Інтерфейс сервісу Meteoblue

Онлайн-мапа MeteoBlue підтримує величезну кількість шарів накладання: хмари, температура, опади, море, повітря, сонячна активність і т.д. Кожен шар володіє численними режимами і характеристиками відображення [10, 11, 20].

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИХ СИСТЕМ

2.1. Основи теорії управління виробничими системами та їх ефективність

Аналіз виробничої системи вирощування сільськогосподарських культур та, зокрема, структури робіт, які виконують у сільськогосподарському підприємстві (СГП), переконує в тому, що вона сформована із скінченної множини підсистем, які технологічно поєднані між собою у просторі та часі (рис. 2.1). Кожна з цих підсистем відрізняється предметом праці, структурою робіт щодо його перетворення, термінами їх виконання тощо, а також характеризується вагомістю у формуванні показників системної ефективності функціонування згаданої виробничої системи.

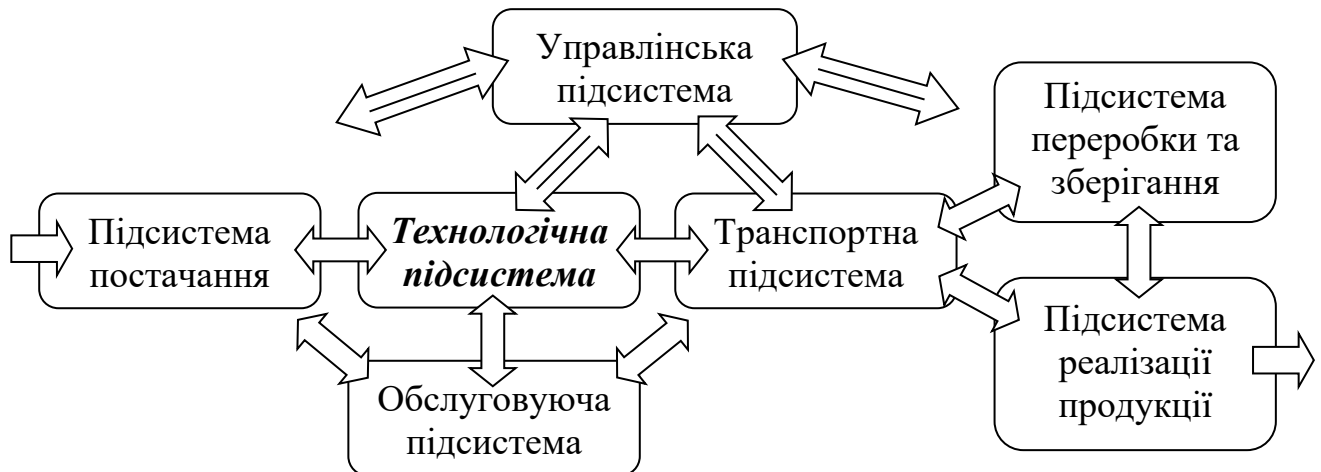


Рисунок 2.1 – Складові виробничої системи вирощування культур:

↔ – речові (матеріальні) зв'язки; ⇔ – інформаційні зв'язки

У магістерській роботі основну увагу приділено технологічній підсистемі та, зокрема, процесам механізованого обробітку ґрунту та сівби озимих культур, тому, не заглиблюючись у сутність інших підсистем,

зазначимо, що кожна з них має свої функції, підпорядкованість та обмеження.

Технологічна підсистема виконує роботи, які безпосередньо пов'язані з перетворенням вхідних матеріалів у вихідний продукт. У технологічній підсистемі виконують механізовані процеси обробітку ґрунту та сівби, процеси догляду за рослинами та процеси збирання врожаю, які скеровані на почергове перетворення предмета праці (агрофону поля) з одного якісного стану в інший з метою досягнення кінцевого результату її функціонування – отримання врожаю рослинної продукції.

Системний аналіз механізованих технологічних процесів ОГС озимих культур переконує в тому, що їм притаманні властивості складних систем. Згідно з положеннями загальної теорії систем [9], для їх дослідження необхідно використовувати методи системного підходу, зокрема методи аналізу й синтезу, виокремлення чинників ефективності, а також розкриття їх причинно-наслідкових зв'язків та сукупного впливу на функціональні показники заданих процесів.

Відповідно до цих положень та сутності системного підходу технологічну систему з обробітку ґрунту та сівби слід розглядати як замкнуту систему, що представлена у вигляді вхідних впливів (X), параметрів (Z) та характеристик (Y) її функціонування. Ця система є об'єктом наших досліджень, метою яких є розкриття впливу характеристик виробничої програми сівби озимих культур (X) та параметрів комплексу машин (Z) на показники її функціонування (Y).

Такий підхід у дослідженні механізованих процесів ОГС дає змогу об'єктивно врахувати особливості їх перебігу у часі (T) та особливості системного формування характеристик (Y) (показників ефективності). Вважається, що технологічна система складається зі скінченної множини взаємопов'язаних елементів, які перебувають у взаємодії між собою та сукупно формують показники її функціонування.

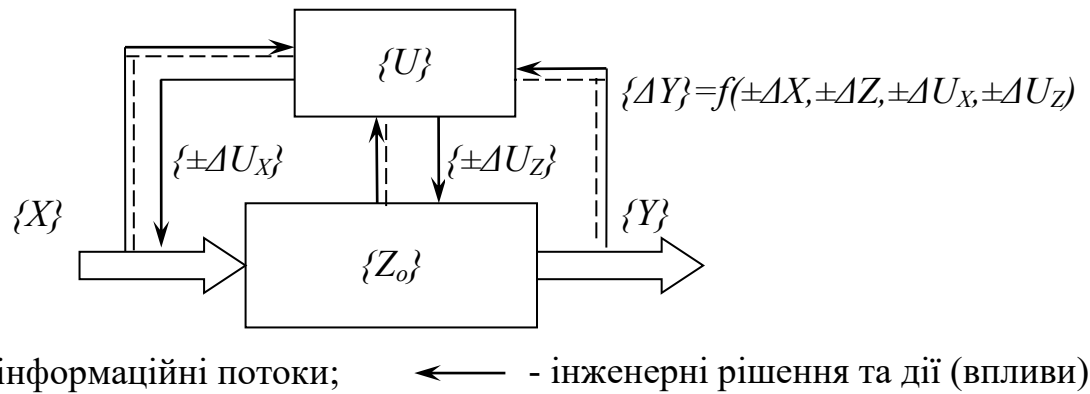


Рисунок 2.2 – Схема системного зв'язку складових елементарної технологічної системи «виробнича програма – агрометеорологічні умови – комплекс машин»

Врахування взаємозв'язків між складовими X , Z та Y (рис. 2.2) дає змогу встановити закономірності зміни характеристик $\{Y\}$ внаслідок організаційно-технологічних дій $\{U\}$ на керовану складову зовнішніх впливів $\{\pm\Delta X\}$ (на підставі зміни характеристик виробничої програми) та параметри $\{\pm\Delta Z\}$ системи для заданого періоду (T) її функціонування [15].

Для цього розв'язують задачі аналізу та синтезу [15]. Розв'язок задачі аналізу дає змогу відшукати залежність характеристик $\{Y\}$ системи від множини її зовнішніх впливів $\{X\}$, параметрів $\{Z\}$ та модельного часу T :

$$\{Y\} = f(\{X\}, \{Z\}, T). \quad (2.1)$$

Зокрема, аналізуються залежності характеристик системи $\{Y\}$ від множини її параметрів $\{Z\}$ за умови, що зовнішні впливи є постійними (константами), а також характеристик $\{Y\}$ від множини зовнішніх впливів $\{X\}$ за умови, що параметри $\{Z\}$ є незмінними:

$$Y = f'(\{Z\}, T), \text{ за умови } X \rightarrow \text{const}; \quad (2.2)$$

$$Y = f''(\{X\}, T), \text{ за умови } Z \rightarrow \text{const}. \quad (2.3)$$

Задача синтезу полягає у визначенні оптимальних параметрів ТС, за яких характеристики $\{Y\}$ сягатимуть свого екстремуму:

$$Z^{opt} = f'''(\{X\}, Y, T) \text{ за умови } \{X\} \rightarrow \text{const}, \text{ а } Y \rightarrow \text{extr}. \quad (2.4)$$

Системний аналіз механізованих процесів ОГС озимих культур свідчить про залежність їх функціональних показників від таких складових ТС, як: 1) виробнича програма озимих культур; 2) природно-виробничі характеристики полів СГП; 3) структура комплексу машин; 4) технічні характеристики машинних агрегатів; 5) кваліфікація трактористів; 6) агротехнічні вимоги до якості та термінів робіт; 7) агрометеорологічні умови відповідного календарного періоду. З огляду на це розв'язок задачі синтезу (2.5) необхідно виконувати, ґрунтуючись на результатах розкриття взаємозв'язків між цими змінними.

Розгляд показників ефективності (E) механізованих процесів ОГС озимих культур через призму системної взаємодії множини елементів цієї системи переконує в тому, що їх скінченну кількість можна об'єднати у певні групи чинників: 1) агрометеорологічну (A_m); 2) предметну (природно-рельєфну (Pr) та агрофонову (A_f)); 3) технологічну (T_l); 4) технічну (T_n); 5) ресурсну (P); 6) інформаційну (I); 7) якісно-агротехнічну (Ya); 8) організаційну (O); 9) соціальну (C). Ця залежність у неявному вигляді відображається так:

$$E = f(A_m, Pr, A_f, T_l, T_n, P, I, Ya, O, C). \quad (2.5)$$

Ці чинники, фактично, є відображенням вищерозглянутих складових елементарної технологічної системи із ОГС – X, Y, Z та U . Розкриємо сутність кожної групи чинників.

Результати аналізу множини елементарних складових, що формують відповідні групи чинників ефективності процесів ОГС, дають підстави констатувати, що вони характеризуються різним ступенем керованості. Відповідно до цього чинники можна класифікувати на керовані, частково керовані та некеровані.

2.2. Особливості прикладної сфери – моделювання процесів осінньої підготовки ґрунту

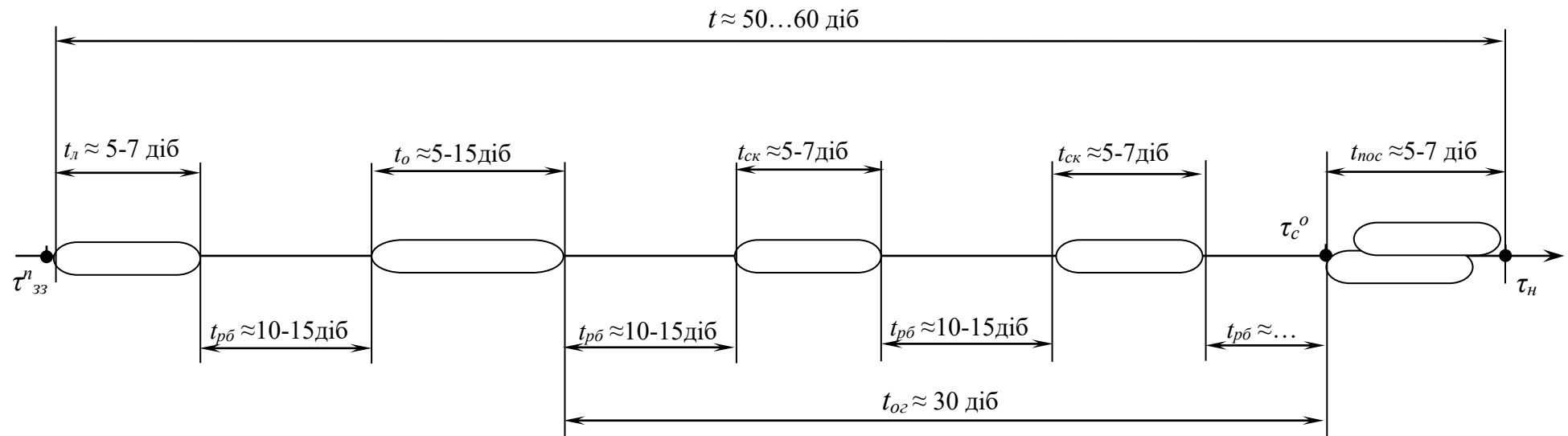
Особливістю ґрунтообробно-посівних процесів під ту чи іншу озиму культуру в літньо-осінній період є те, що цей технологічний процес зумовлений завершенням збирання культури-попередника. Зокрема, календарні терміни початку застосування того чи іншого машинного агрегату на полях СГП зумовлені як термінами досягання попередника, так і тривалістю виконання технологічних операцій із збирання його врожаю. Аналіз часу досягання (τ_{∂}) потенційних попередників озимих культур переконує у тому, що ці терміни є системно зумовленими:

$$\tau_{\partial} = f(\tau_c, Am, Bo), \quad (2.6)$$

де τ_c – час сівби попередника, доба; Am – агрометеорологічні умови періоду його вегетації; Bo – сортові і біологічні особливості росту та розвитку попередника.

Встановлення зв'язку між τ_c та τ_{∂} можна здійснити на підставі таких показників, як: 1) календарні терміни сівби відповідних попередників (у добах); 2) тривалість (t_{∂}) їх вегетації [5, 9]. Для чисельного оцінення цих показників встановлено точку відліку – 1 січня, відносно якої визначається кількість діб до настання відповідних подій τ_c та τ_{∂} . У нашій роботі визначення τ_c та τ_{∂} здійснено на підставі термінів настання відповідних фенологічних фаз розвитку культурних рослин, які зафіксовані у звітних таблицях ТСХ-1 метеорологічної станції. Не заглиблюючись у методологію метеорологічних спостережень, зазначимо, що вони виконуються згідно зі встановленими правилами [5, 9], а тому отримані дані слід вважати вірогідними.

Використовуючи ці результати багаторічних спостережень, сформовано базу початкових даних для чисельного оцінення термінів τ_c та τ_{∂} .



Терміни виконання робіт, діб.

Рисунок 2.3 – Графічне відображення агротехнічних вимог до термінів виконання ґрунтообробно-посівних процесів під озимі культури (за усереднених агрометеорологічних умов та стерньового попередника, який рано звільняє поле): $t_{\text{л}}, t_{\text{о}}, t_{\text{ск}}, t_{\text{нос}}$ – відповідно тривалість операції лущення, оранки, суцільної культивуації (знищення бур'янів), передпосівного обробітку та сівби культур; $t_{\text{рб}}$ – терміни розвитку бур'янів; $t_{\text{оз}}$ – фонд часу на фізичні процеси осідання зораного шару ґрунту.

Таким чином, початок ґрунтообробно-посівних процесів на полях для вирощування озимих культур зумовлений термінами досягання попередника та завершенням процесів збирання його врожаю.

Щодо наступних робіт, то їх виконання відбувається згідно із вимогами технології (традиційна, мінімального обробітку, *No-till* тощо), яка використовується для обробітку ґрунту та сівби озимих культур у ТС ОГС. Зокрема, для традиційної технології, як і для інших, існують певні агротехнічні вимоги щодо термінів виконання відповідних технологічних операцій (рис. 2.3).

Виходячи із рис. 2.3, терміни настання таких технологічних операцій, як оранка та суцільна культивуація (знищення бур'янів), зумовлені термінами початку та завершення операції лушення, наявністю непогожих проміжків упродовж їх виконання, інтенсивністю розвитку бур'янів тощо. Відповідно до цього терміни виникнення потреби у виконанні цих операцій є системно зумовленими і для їх дослідження необхідно застосовувати системний підхід та, зокрема, методи статистичного імітаційного моделювання, за яких уможлиблюється врахування імовірнісного впливу окремих складових зовнішнього середовища на перебіг ґрунтообробно-посівних процесів у літньо-осінній період.

Завершальним етапом механізованих процесів, що виконуються в літньо-осінній період на полях під озимі культури, є технологічна операція сівби. В основі методу визначення агрометеорологічно зумовлених календарних термінів сівби (τ_c^o) озимих культур лежить потреба врахування біологічних особливостей їх росту та розвитку в осінній період. Сутність цих особливостей зводиться до створення сприятливих умов для гартування сходів озимих культур та досягнення ними фенологічної фази кушіння на початок зимового періоду. У цьому разі рослина краще зимує, протистоїть хворобам та негативній дії низьких температур тощо. Багато вчених агрономів рекомендують виконувати сівбу озимих культур з огляду на тенденції розвитку агрометеорологічних умов та з такого розрахунку, щоб за

період осінньої вегетації рослина встигла накопичити певну суму ефективних (понад $+5^{\circ}\text{C}$) середньодобових температур ($\Sigma_{T_{ef}}$). Так, для озимої пшениці ця сума $\Sigma_{T_{ef}}$ повинна бути в межах 300°C , для озимого жита – а на 50°C більше, для озимого ріпаку відповідно у межах 700°C [5, 9].

Враховуючи цю біологічну особливість росту та розвитку озимих культур, використано метод визначення агрометеорологічно зумовленого часу початку (τ_c^o) технологічної операції сівби (рис. 2.4), яка ґрунтується на врахуванні тенденцій розвитку агрометеорологічних умов літньо-осіннього періоду та, зокрема, такого показника, як сума ефективних температур.

Проміжок часу, за якого агрометеорологічні умови літньо-осіннього періоду забезпечать необхідну для озимих культур суму ефективних середньодобових температур, визначався відносно часу припинення їх осінньої вегетації.

Відомо [5, 9], що осіння вегетація озимих культур відбувається до моменту "стійкого переходу" через середньодобову температуру повітря $+5^{\circ}\text{C}$. Зокрема, останній показник визначається на підставі комп'ютерного моделювання тенденцій зміни температурних умов літньо-осіннього періоду, що здійснено на основі: 1) закономірності зміни середньодобової температури повітря впродовж календарного проміжку літньо-осіннього періоду; 2) розподілу відхилення середньодобової температури повітря від її середньобагаторічного значення.

Використання цієї методики дає змогу об'єктивно відтворити в інформаційній системі та, зокрема, статистичній імітаційній моделі ґрунтообробно-посівних процесів терміни виникнення потреби виконання технологічної операції сівби та їх терміни.

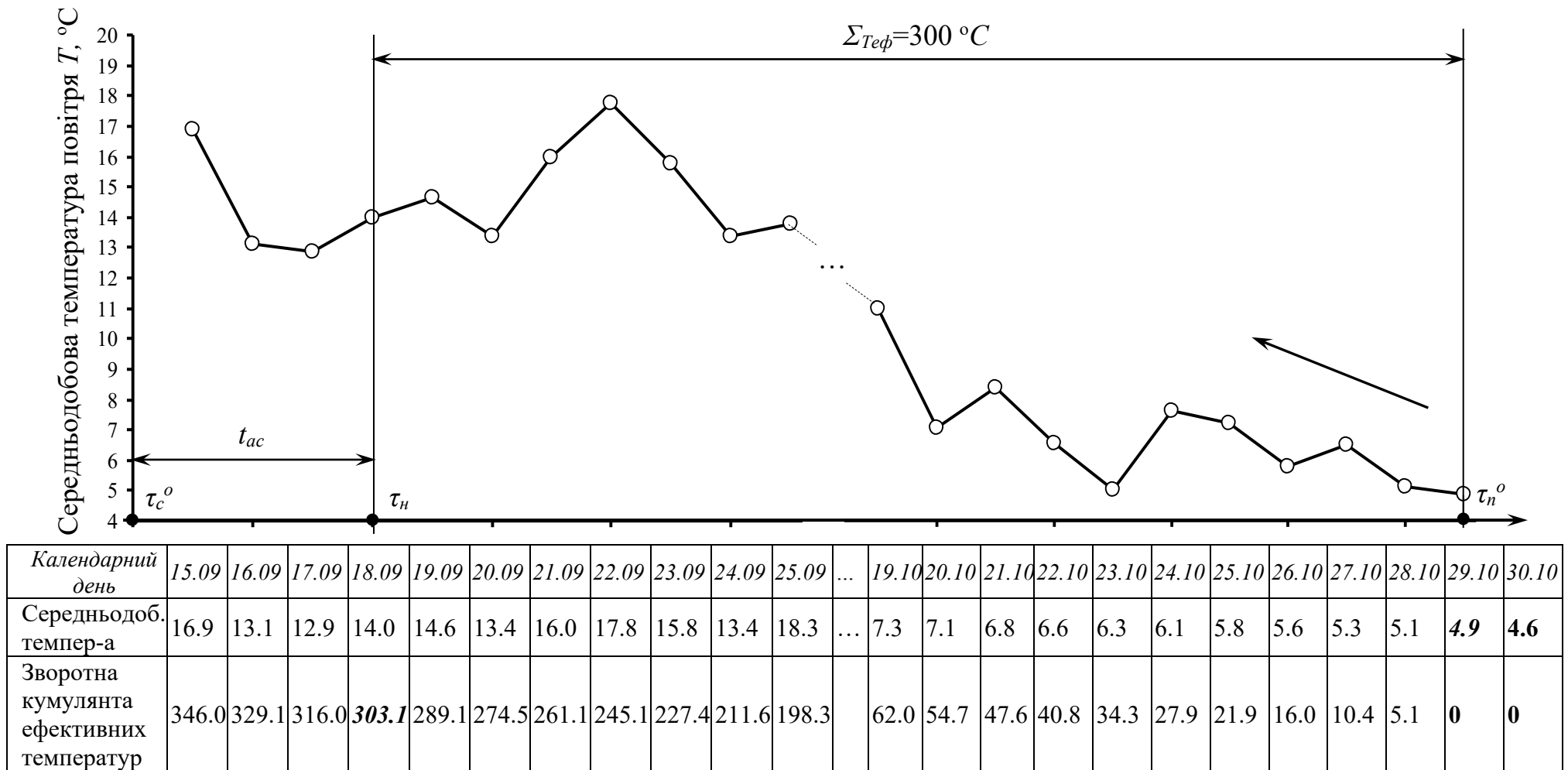


Рисунок 2.4 – Графічна інтерпретація методу визначення агрометеорологічно зумовленого часу початку сівби озимої пшениці: τ_c^o – агрометеорологічно зумовлений час початку сівби культури, доба; τ_n – час початку несвоєчасної сівби культури та виникнення технологічних втрат, доба; τ_n^o – час припинення осінньої вегетації озимої культури, доба; t_{ac} – агротехнічно дозволена тривалість технологічної операції сівби, діб.

2.3. Вимоги до проектованої ІАС та особливості мови програмування C++

Існує декілька умов, що визначають необхідність використання моделі процесу. Очевидною умовою є те, що рішення повинне безпосередньо ґрунтуватися на первинному процесі, що аналізується.

По-друге, поведження процесу необхідно прогнозувати в сильному або слабкому змісті. Процес розглядається як прогнозований у сильному змісті, якщо його внутрішня динаміка відома й описана математично. При цьому модель процесу може бути використана для його прогнозування поза межами встановлених «нормальних» умов функціонування. Поведження процесів, для яких неможливо створити точний математичний опис, також можна прогнозувати (екстраполювати) на основі спостережень, якщо вони є у достатньому обсязі.

Передумовою використання моделі процесу є те, що необхідно мати дані, що характеризують його поведження в минулому. Відсутність цих даних можна замінити, в деякій мірі, експертними оцінками. Тобто при розробці моделі необхідно скористатися як знаннями експерта, так і числовими даними, якщо вони є в наявності. Правила вибору конкретної моделі процесу представлені на рис. 2.5.

Вибір конкретної моделі процесу ґрунтується на деяких додаткових характеристиках. Ці характеристики можна отримати за допомогою даних, зібраних на етапі декомпозиції задачі. Першою такою характеристикою є присутність невизначеностей (невизначеностей у вихідних даних, в динаміці або в даних на виході). Якщо невизначеності мають місце, то необхідно вибрати стохастичну модель. Якщо ж невизначеності не грають істотної ролі, то процес можна розглядати як детермінований.

Якщо ж процес стохастичний і використовується прогноз на основі відношення вихід-вхід то під час проектування ІАС необхідно скористатися ймовірнісною моделлю процесу. У цьому випадку зв'язок між вхідними і

вихідними змінними процесу встановлюється на основі результатів теорії ймовірностей і статистики.

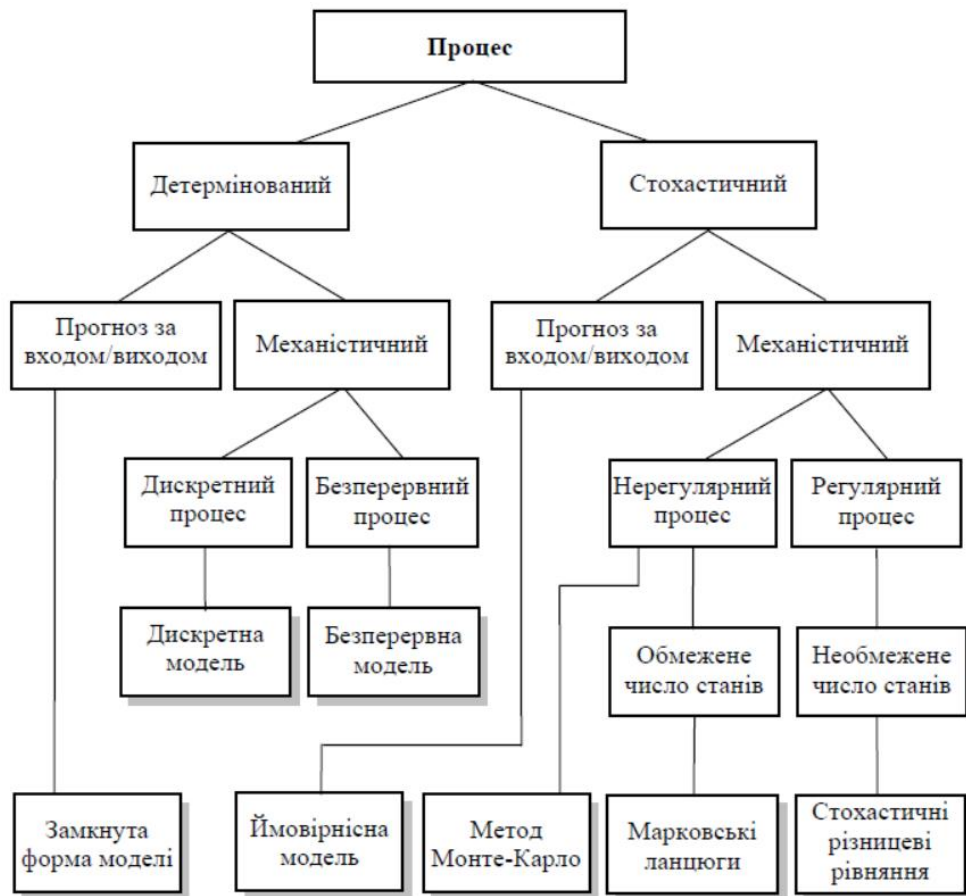


Рисунок 2.5 – Структура моделей процесу під час проектування ІАС

Якщо процес класифікується як стохастичний з обмеженим числом станів і регулярний, а форма прогнозування механістична, то під час проектування необхідно вибрати модель на основі Марковських ланцюгів і т.д. Підхід до моделювання на основі методу Монте-Карло (*імітаційне моделювання*) розглядають як «останню» можливість. У даному випадку вважається, що зовсім немає можливості вивчити процес або зібрати обсяг даних, необхідний для побудови адекватної математичної моделі, але вважається, що є достатній обсяг обчислювальних ресурсів і часу для побудови подібної моделі.

Щодо розробки програмного коду такої ІАС то слід розглянути мову програмування. Нами використано загальновідому мову C++ [3, 21], створена Б'ярном Страуструпом на базі мови C у 1983 році. Її головна мета – поєднати

високу продуктивність і контроль над апаратними ресурсами з можливостями абстракції та об'єктно-орієнтованого програмування (ООП). C++ зберігає сумісність із C, що дозволяє використовувати існуючий код та розширювати його сучасними технологіями.

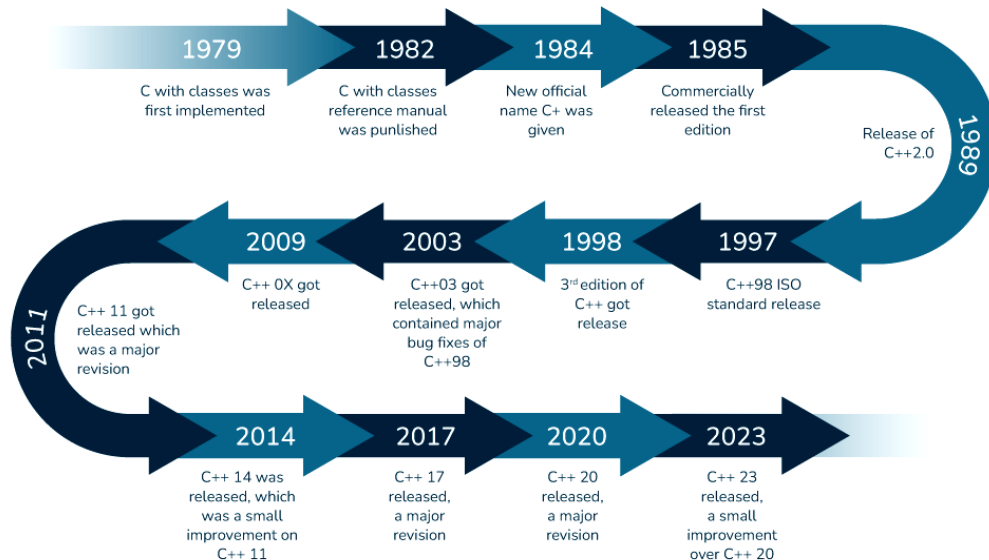


Рисунок 2.6 – Етапи розвитку компілятора мови C++ [3, 21]

Сьогодні C++ широко застосовується в системному програмуванні, розробці ігор, фінансових і наукових обчисленнях, embedded-системах і високопродуктивних обчисленнях. C++ відзначається багатопарадигмовістю: вона підтримує процедурний, об'єктно-орієнтований та шаблонний підходи.

Основні особливості мови включають [3]:

- **об'єктно-орієнтоване програмування**: класи, наслідування, поліморфізм і інкапсуляція забезпечують структуровану та гнучку організацію коду.
- **шаблони та модульність**: шаблонні функції та класи дозволяють створювати універсальні компоненти, які повторно використовуються в різних проєктах.
- **управління пам'яттю**: робота з покажчиками, виділення і звільнення пам'яті (new/delete) дає розробнику високий контроль та продуктивність.

- **стандартна бібліотека (STL):** готові контейнери та алгоритми спрощують розробку складних програм.

- **висока продуктивність:** близькість до апаратного рівня дозволяє створювати ресурсоощадні й швидкі програми.

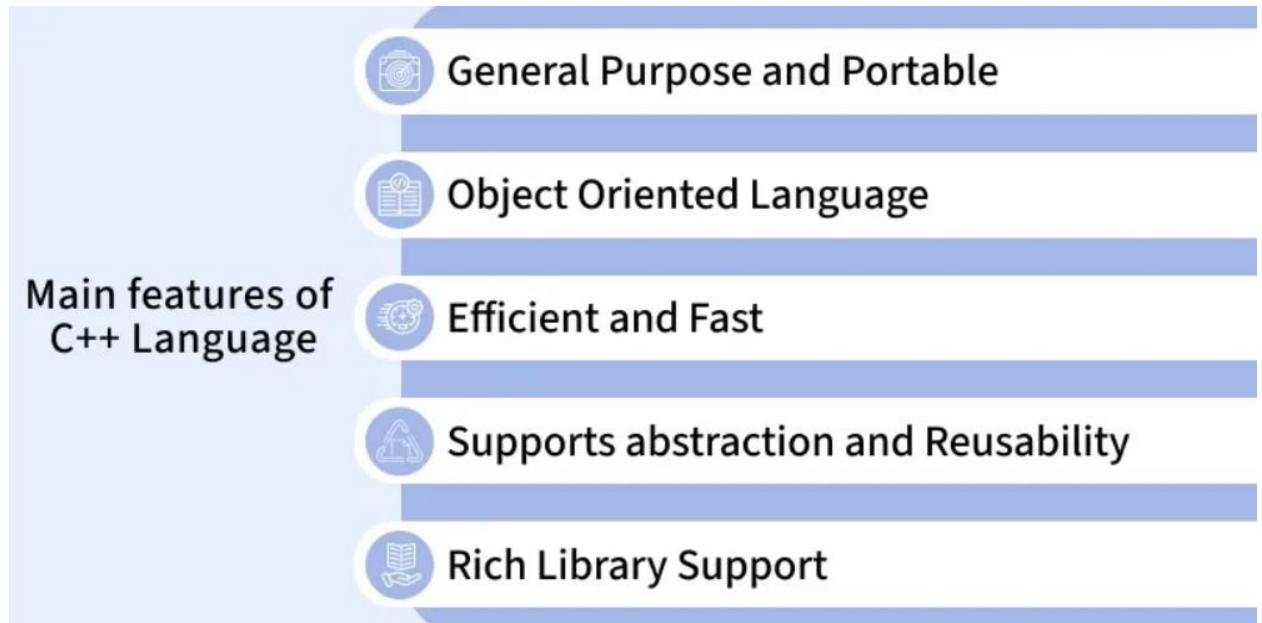


Рисунок 2.7 – Головні відмінності мови програмування C++ [21]

Синтаксис та вигляд коду в C++ наступний:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Student {
private:
    string name;
    int age;
public:
    Student(string n, int a) : name(n), age(a) {}
    void display() { cout << "Name: " << name << ", Age: " << age << endl; }
};

int main() {
    Student s("Ivan", 24);
    s.display();
    return 0;
}
```


Мова активно розвивається: стандарти C++11, C++14, C++17 та C++20 вводять нові конструкції – автоматичне виведення типів (auto), lambda-функції, smart pointers, покращення багатопотоковості та роботи з ресурсами. Сьогодні C++ – це функціональна і потужна мова, яка отримала в спадок від Сі масу ключових можливостей з управління пам'яттю. За цією причиною він активно застосовується у системному програмуванні. Ось ключові сфери використання: 1) розробка операційних систем. у тому числі система Windows переважно базується на C++; 2) створення драйверів; 3) написання програм з нуля; 4) розробка і підтримка антивірусних додатків і іншого.

Надзвичайно багато ігрових двигунів, призначених для візуалізації величезного ігрового світу, базуються на C++. За останні роки все більше мобільних додатків використовують цю мову. Навіть у сфері веба знайшлося місце цій мові. Всілякі веб-додатки активно використовують C++, не обов'язково як основу, може просто для реалізації допоміжних функцій, але факт залишається фактом. Якщо підсумувати: складніше знайти сфери, де C++ не може застосовуватися, ніж там, де використовується ця мова.

Для написання програми на C++ обов'язковий компілятор, який перетворює початковий код у відповідний до виконання у файлі. Сьогодні компіляторів нелічenna кількість. Вони відрізняються за масою параметрів, зокрема за способом реалізації стандартів. На етапі вибору компілятора краще вибирати ті, що постійно підтримуються та оновлюються.

Для роботи з C++ необхідно встановити середовище розробки. Можна встановити будь-яке зручне середовище, або ж взагалі скористатися онлайн компілятором. Серед найпопулярніших середовищ розробки можна відзначити такі, як: Visual C++, Xcode (тільки Мак), GCC, Intel C++ Compiler, Embarcadero (Borland) C++ Builder.

3. МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ІАС ТА УЗГОДЖЕННЯ ЗМІСТУ ПРОЕКТІВ

3.1. Методика відображення імітаційною моделлю робіт в технологічній системі

Кількісне оцінення функціональних характеристик ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду, що виконуються під вирощування озимих культур, здійснено на підставі використання статистичної імітаційної моделі цих процесів. Розкриємо сутність методу відображення ґрунтообробно-посівних процесів статистичною імітаційною моделлю.

Перш за все зазначимо, що для зниження складності моделей виробничих систем здійснюють їх декомпозицію [15]. Зокрема, процеси механізованого обробітку ґрунту та сівби озимих культур розглядаємо на трьох рівнях декомпозиції ТС: 1) узагальненому; 2) часткових процесів; 3) операційному. Кожен із цих рівнів системно пов'язаний з іншим. Отримані результати того чи іншого рівня залежать від попереднього та доповнюють початкові дані для відображення механізованих процесів у наступному.

Нами використано цей підхід для дослідження показників ефективності ґрунтообробно-посівних процесів під озимі культури для заданого комплексу машин та змінних характеристик виробничої програми сівби цих культур.

Щодо машинного агрегату, то в механізованих процесах рільництва, зокрема ґрунтообробно-посівних, насамперед розглядають такі його характеристики, які позначаються на темпах робіт. Зокрема, для встановлення добової ($W_{доб}^r$) продуктивності r -го машинного агрегату користуються відомою формулою:

$$W_{доб}^r = W_{год}^r \cdot T \cdot k_{зм} \cdot k_{взм}, \quad (3.1)$$

де $W_{год}^r$ – нормативна годинна продуктивність r -го машинного агрегату, га/год; T – тривалість зміни, год; $k_{зм}$ – коефіцієнт змінності; $k_{взм}$ – коефіцієнт використання часу зміни.

Результати моделювання, які отримують на операційному рівні, відображають хід ґрунтообробно-посівних процесів у розрізі кожної окремої доби. До них відносимо: 1) обсяг виконаної технологічної операції r -м машинним агрегатом ($\Omega_e^{r,k,d}$) під k -ту культуру в d -ту календарну добу, га; 2) обсяг несвоєчасно оброблених та посіяних площ k -ї озимої культури ($Z_n^{k,d}$), га·діб.

Як уже зазначалося, зміст та обсяг робіт кожної з вимог зумовлені характеристиками виробничої програми сівби озимих культур та технологією, за якою виконують ґрунтообробно-посівні роботи, часові характеристики їх виконання – відповідно системним впливом агрометеорологічної та предметної складових цього процесу (рис. 3.1).

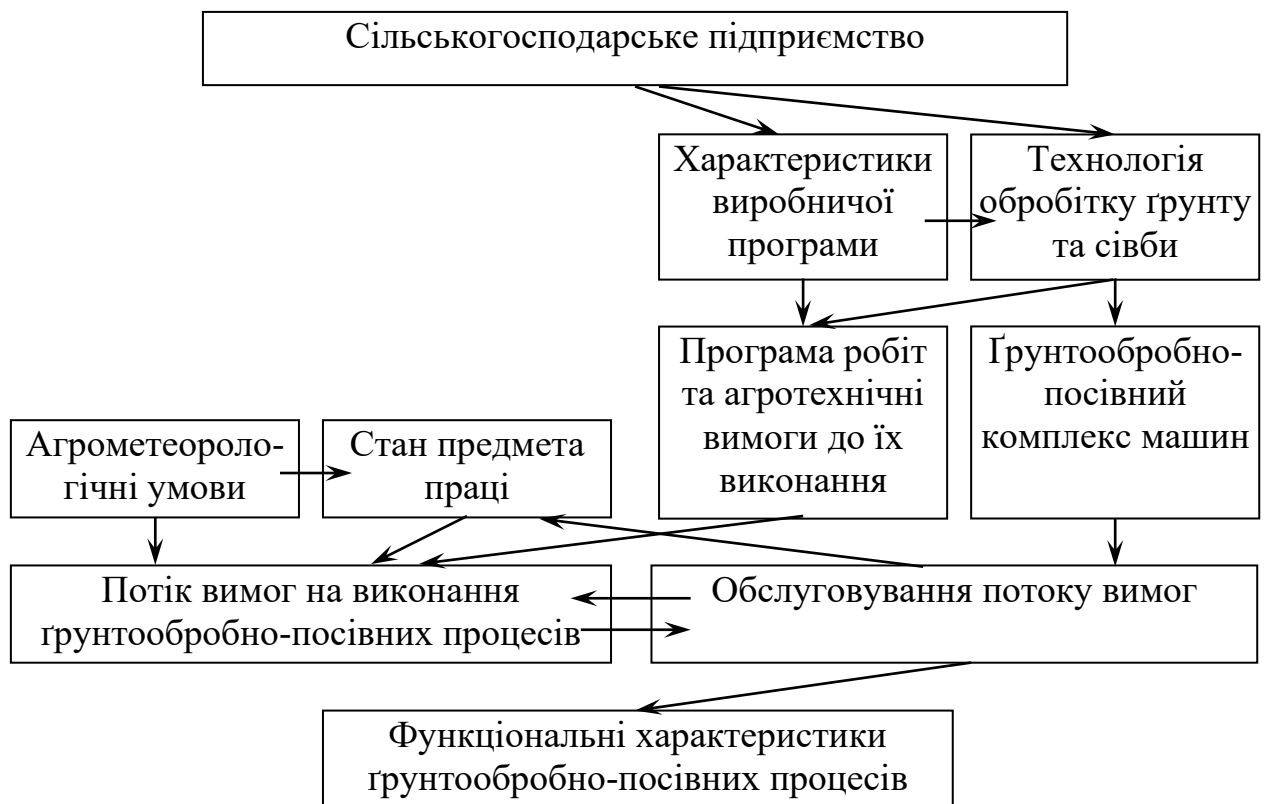


Рисунок 3.1 – Методологія формування потоку вимог на виконання робіт в імітаційній моделі ІАС

Отже, відображення потоку вимог у відповідній моделі здійснюється на підставі системно-подієвого відтворення зміни стану предмета праці (як під впливом агрометеорологічної складової, так і в результаті виконання множини технологічних операцій), обсягу виконаних та програми наступних робіт, а також темпів функціонування ТКГП (рис. 3.2).

Процес обслуговування потоку вимог на виконання тієї чи іншої технологічної операції з обробітку ґрунту та сівби k -ї озимої культури в j -ту добу відображається відніманням добової продуктивності ($W_{доб}^{rj}$) r -го машинного агрегату від площі поля (S_{kj-1}^H), яка підлягає обробітку:

$$S_{kj}^H = S_{kj-1}^H - W_{доб}^{rj}, \quad (3.2)$$

де S_{kj}^H - площа k -ї культури, яка залишилась необробленою в j -ту добу, га.

Необроблена площа S_{kj}^H залишається на наступну добу ґрунтообробно-посівних робіт. Необхідно зазначити, що коли наступна доба виявиться непогожою, то польові роботи не відбуваються, у цьому разі $S_{kj}^H = S_{kj+1}^H$ і т.д. Зазначені роботи відбуваються до моменту досягнення умови $S_{kj}^H = 0$ га. Після цього переходять до обслуговування наступного замовлення потоку вимог і т.д. У разі, коли обслуговування певного замовлення завершено, а наступного ще немає, виникає простій техніки (t_{np}).

Запізнення із ґрунтообробно-посівними процесами відносно їх оптимальних термінів на практиці призводить до зниження біологічної врожайності культур [5]. Для кількісного оцінення втрат врожаю озимих через несвоєчасність робіт використано методику пошуку обсягів (Z_n) несвоєчасно оброблених та засіяних площ [9, 15]. Сутність цієї методики полягає у встановленні суми добутків несвоєчасно засіяної площі (S^n) та кількості днів (t_{nc}) запізнення з виконанням сівби, що вимірюється у гектародобах. За отриманим значенням Z_n виникає можливість вартісно оцінити технологічні втрати [9].

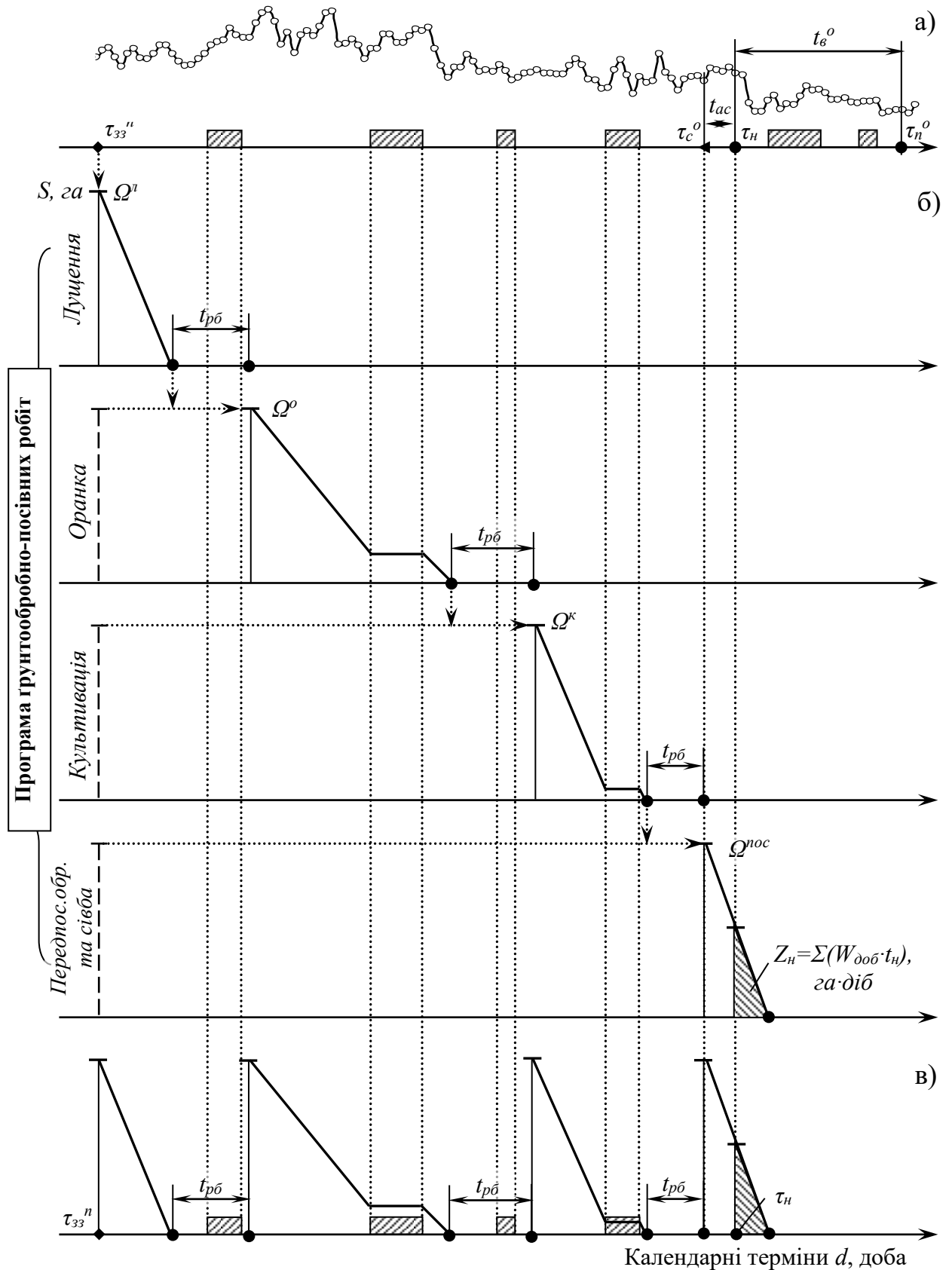


Рисунок 3.2 – Графічна інтерпретація методики відображення ґрунтообробно-посівних процесів у статистичній імітаційній моделі: а) агрометеорологічно зумовлені події; б) окремі технологічні операції; в) послідовність технологічних операцій та несвоєчасність сіви культури

3.2. Алгоритм імітаційної моделі технологічних процесів агровиробництва

Блок-схему алгоритму статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів розроблено з метою відображення особливостей виконання технологічних процесів в реальних природно-виробничих умовах (для літньо-осіннього періоду).

Алгоритм складається з 24 блоків і наведений в Додатку А.

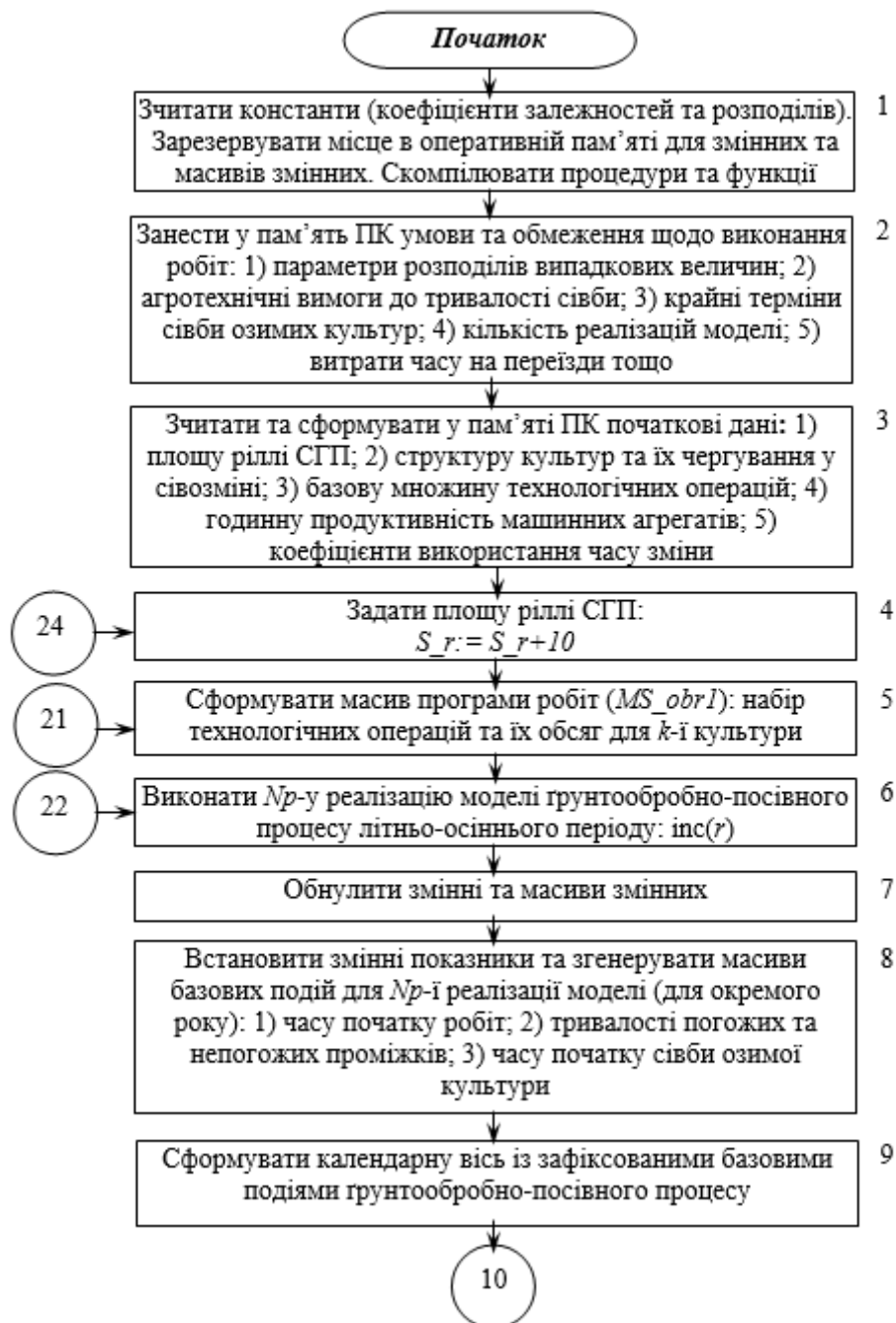


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму статистичної імітаційної моделі

грунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду

Зокрема, перший, другий і третій блоки призначені для встановлення режимів роботи програмного коду, зчитування констант, виділення місця у пам'яті ПК для формування змінних величин і масивів, компіляції коду програми, процедур та функцій, а також формування початкових даних тощо.

Блок 4 організовує циклічне повторення імітаційного моделювання грунтообробно-посівних процесів за різних значень площі озимих культур та її покрокового збільшення на 10 га.

У 5-му блоці формується масив значень, який, відповідно до інтерактивного введення початкових даних, фіксує програму технологічних операцій для окремої реалізації імітаційної моделі.

Блок 6 ініціює внутрішній цикл моделювання грунтообробно-посівних процесів для заданої площі S_r , за якого моделюють зміни у розрізі часу агрометеорологічної та предметної складових (для Np -ї реалізації). Задана кількість реалізацій (ітерацій) – Np – моделі має за мету відтворити скінченну множину варіантів зміни характеристик агрометеорологічної та предметної складових, які об'єктивно впливають на терміни й темпи відповідних технологічних операцій, а також на своєчасність обробітку ґрунту та сівби озимих культур.

Блоки 7-22 є внутрішніми "кроками" щодо відтворення грунтообробно-посівних процесів у розрізі окремого календарного року (тобто в розрізі окремої Np -ї реалізації моделі).

На підставі розкриття змісту блоків розробленого алгоритму створено комп'ютерну програму на мові C++ (Додаток Б.) для статистичного імітаційного моделювання грунтообробно-посівних процесів осіннього періоду.

3.3. Побудова програмного коду імітаційної моделі та його особливості

Побудований програмний код реалізує статистичне імітаційне моделювання сільськогосподарських робіт на полі, де враховуються як погодні умови, так і фізіологічні характеристики культур. Основна мета програми моделі полягає в імітуванні виконання польових робіт, включаючи планування та розподіл ресурсів, контроль часу дозрівання культур, облік тривалості робіт та періодів простою техніки через несприятливі умови.

Для реалізації моделі у C++ застосовуються стандартні бібліотеки. Зокрема, `<iostream>` використовується для вводу і виводу даних, `<cmath>` надає доступ до математичних функцій, таких як обчислення синусів, експонент та квадратних коренів, що необхідні для розрахунку температур, сонячного освітлення та статистичних величин. Бібліотеки `<cstdlib>` і `<ctime>` використовуються для генерації випадкових чисел та ініціалізації генератора випадкових чисел з урахуванням системного часу, що дозволяє моделювати випадкові події у процесі роботи на полі. Для обчислення мінімальних і максимальних значень у масивах застосовується бібліотека `<algorithm>`:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <cmath>
#include <vector>
#include <string>
#include <cstdlib>
#include <ctime>
```

```
using namespace std;
```

Зокрема `using namespace std` - є директивою, яка вказує компілятору, що всі імена (функції, класи, об'єкти) з простору імен `std` можуть використовуватися без явного префікса.

У стандартній бібліотеці C++ майже всі елементи зберігаються в namespace std: std::cout, std::cin, std::string, std::vector, std::map, std::endl тощо.

Код активно використовує двовимірні масиви для відображення стану поля та роботи техніки. Масиви MS_obr1 та MS_obr відображають обробку поля та залишок роботи на ділянках. Масив Burjany використовується для моделювання затримок через бур'яни, а Truv_Ochikuv зберігає час очікування техніки, коли вона не зайнята.

Додаткові масиви, такі як MS_Vux_zna4, MS_Vux_zna4_0 та MS_Vux_zna4_1, служать для тимчасового зберігання результатів обробки, а Wljax і Wljax1 відображають залишки робіт на техніці. Масиви MS_Pr_agr та MS_Pr_agr1 містять норми обробки, тобто кількість роботи техніки за одиницю часу. Погодні умови та параметри сонячного освітлення моделюються через масиви Pogoda_O, Dow4_O та Pids_O:

```
// Сонячне освітлення
Sx_Sun = 6.725 - 2.295 * sin(((Min_zn1 - 81) / 365.0) * 2 * M_PI);
Zx_Sun = sin(((Min_zn1 - 81) / 365.0) * 2 * M_PI) * 3.33 + 18.88;
Tr_Sun = Zx_Sun - 9;

// Обробка погоди
if (IsBadWeather(Dobu)) {
    Vub_pr = 0;
    Prostoi_pog_O += 1;
    Dobu++;
    continue;
}
```

Логіка роботи коду полягає у щоденному плануванні робіт. На початку кожного дня визначається мінімальний час дозрівання культур, що дозволяє обчислити, які ділянки готові до обробки. Потім враховуються погодні умови та сонячне освітлення для визначення фактичного часу виконання робіт.

```
// Приклад обчислення MS_Pr_agr1
for (int d2 = 6; d2 <= 11; d2++) {
    MS_Pr_agr1[d2] = MS_Pr_agr[d2] * Tr_Sun * MS_K4as_zm[d2];
```

```

    }

    // Робота по полі
    for (int i = 2; i <= 7; i++) {
        if (Wljax[i][0] != 0) {
            Wljax[i][0] -= MS_Pr_agr1[i];
            if (Wljax[i][0] < 0) {
                double Zaluwk_4as = abs(Wljax[i][0]) / (MS_Pr_agr[i + 4] * MS_K4as_zm[i]);
                Wljax[i][0] = 0;
                if (Zaluwk_4as > Truv_pere1zdy) {
                    for (int j = 2; j <= 7; j++)
                        MS_Pr_agr1[j] = (Zaluwk_4as - Truv_pere1zdy) * MS_Pr_agr[j + 4] *
MS_K4as_zm[j];
                }
            }
        }
    }
}

```

Якщо погодні умови несприятливі, відбувається простій техніки, який враховується у відповідних змінних. Після цього обсяг роботи розподіляється між доступними ділянками, оновлюється стан обробки та ведеться облік виконаних робіт. У коді також передбачено обробку часткових обсягів роботи, коли техніка не встигає завершити завдання за один день, і перенесення залишку на наступний день.

Функції коду, такі як CHAS_DOSTUG, відповідають за обчислення часу доступу для виконання робіт, тоді як IsBadWeather перевіряє стан погоди на конкретний день. Основний цикл роботи поля реалізований у функції ProcessFields, яка імітує виконання польових робіт день за днем, враховуючи всі наведені параметри та обмеження.

Особливістю цього коду є поєднання математичного моделювання та логічного імітування реальних технологічних процесів на полі з культурою. Використання обернених диференціальних функцій та генераторів псевдовипадкових величин, дозволяє імітувати природні цикли такі як зміни тривалості світлового дня та коливання температури, термінів виникнення заморозків, випадання опадів дощу тощо.

Використання масивів і циклів забезпечує масштабованість моделі,

дозволяючи додавати нові культури, ділянки або типи робіт без суттєвої зміни логіки коду. У цілому, код є прикладом складного моделювання агротехнічних процесів з урахуванням різних факторів, що впливають на продуктивність та ефективність виконання польових робіт.

Основний цикл обробки реалізований через повторюваний блок repeat...until. На початку кожного ітераційного циклу визначається час дозрівання культур (Min_zn), перевіряється готовність ділянок до обробки та оцінюється погодні умови. Якщо погода несприятлива (Pogoda_O = 0), встановлюється проста техніки, і обробка переноситься на наступний день. Якщо погода сприятлива, обсяг роботи розподіляється між ділянками відповідно до норм (MS_Pr_agr) і сонячного освітлення (Tr_Sun).

```
// Ряд середньодобових температур
for (int i = 180; i <= 359; i++) {
    RowOfTemper[i - 180] = (-0.00000005865 * pow(i, 4) + 0.00008 * pow(i, 3) -
0.0396 * pow(i, 2) + 8.2531 * i - 591.52)
    - (-12.4 + 13.431 * exp((1 / 3.234) * log(-log((double)rand() / RAND_MAX))));
}

// Пошук Zav_Fiz_st
for (int i = 0; i < 180; i++) {
    if (RowOfTemper[i] <= 4 && RowOfTemper[i + 1] <= 4 &&
        RowOfTemper[i + 2] <= 4 && RowOfTemper[i + 3] <= 4 && RowOfTemper[i + 4]
<= 4) {
        Zav_Fiz_st = i + 180 - 1;
        break;
    }
}

// Сумарний ефективний температурний фонд
int j = 0;
do {
    double Sum_TempPov = 0;
    for (int i = 180 + j; i <= Zav_Fiz_st + 179; i++) {
        if (RowOfTemper[i - 180] > 5) Sum_TempPov += RowOfTemper[i - 180] - 5;
    }
    if (Sum_TempPov <= 310) Chas_siv_O = 179 + j - 5;
    if (Sum_TempPov <= 660 && Chas_siv_Rip == 0) Chas_siv_Rip = 179 + j - 5;
    j++;
} while (Chas_siv_O == 0);
```

Далі відбувається оновлення стану масивів. Техніка виконує частину роботи, залишки зберігаються у Wljax1. Масив MS_obr1 оновлюється відповідно до виконаного обсягу, а якщо обсяг робіт на ділянці завершено, записується час закінчення та оновлюється масив бур'янів Burjany. Після цього обчислюються ефективні температури та втрати врожаю для кожної культури (MS_Vux_zna4, MS_Dobu_MXT).

```
MS_obr1[10][0] = Chas_siv_Rip;
MS_obr1[10][1] = Chas_siv_O;
MS_obr1[10][2] = Chas_siv_O - 5;

// Визначення MS_Vux_zna4_1
for (int i = 0; i < 16; i++) {
    for (int j = 0; j < 6; j++) {
        if (MS_obr1[j][i] != 0) {
            MS_Vux_zna4_1[i] = MS_obr1[j][i];
            break;
        }
    }
}
```

На останньому етапі логічні блоки функцій забезпечують повторний розподіл обсягів робіт, облік простоїв, корекцію часу досягання (CHAS_DOSTUG), розрахунок втрат через несприятливі погодні умови (VTRATU) та перенесення залишків необроблених полів на наступний день (NYL). Основний цикл завершується, коли на всіх ділянках завершено обробку, або досягнуто кінця модельованого календарного періоду.

Таким чином, схема коду містить три рівні взаємодії:

- 1) масиви даних – відображають стан поля, техніки, погоди і результатів обробки;
- 2) функції генерації і підготовки даних – створюють погодні ряди та параметри світлового дня;
- 3) основний цикл обробки – моделює щоденну роботу на полі, розподіл обсягів робіт, облік погодних умов, обчислення втрат та оновлення масивів тощо.

3.4. Методика опрацювання статистичних даних та результатів моделювання

Під час математичної обробки того чи іншого показника за експериментальними (емпіричними) даними, число яких є обмежене, встановити дійсні значення характеристик розподілу неможливо, а тому визначають, так звані, оцінки: математичне сподівання, дисперсії, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнта варіації. Ці оцінки називають статистичними характеристиками.

Емпіричні розподіли узгоджують з теоретичними за спеціально розробленими в теорії статистичними критеріями. Наведемо приклад розрахунку цих показників та обґрунтування закону розподілу.

1) Початковими даними для розрахунків та побудови закону розподілу можуть бути результати статистичного імітаційного моделювання.

Таким чином, в першу чергу формується варіаційний ряд емпіричних даних [17]:

$$Y_1 < Y_2 < \dots < Y_N. \quad (3.1)$$

2) Варіаційний ряд розділити на k інтервалів. Число інтервалів (k) визначити за формулою:

$$k = 1 + 3,32 \lg N, \quad (3.2)$$

де N - число дослідів (обсяги вибірки згідно виданого завдання).

Підставивши відповідні значення отримаємо:

3) Крок інтервалу розрахувати за формулою:

$$\Delta Y = \frac{Y_N - Y_1}{k}; \quad (3.3)$$

4) Побудувати таблицю 3.2 для розрахунку статистичних характеристик.

5) Визначити частоту m_i попадання випадкової величини у кожен інтервал, а також розрахувати емпіричну частість P_i :

$$P_i = \frac{m_i}{N}; \quad (3.4)$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок кількісних статистичних характеристик потоку предметів праці

N п/п	Показник	N інтервалу							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Інтервал $Y_i^H \dots Y_i^B$	...	...	...	...	...	...	...	...
2	Середина інтервалу, Y_i	...	...	...	...	...	...	...	...
3	Частота, m_i	...	...	...	...	...	...	...	...
4	Емпірична частість, $P_i = \frac{m_i}{N}$	...	...	...	...	...	...	...	...
5	$Y_i \cdot P_i$	...	...	...	...	...	...	...	...
6	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	...	...	...	...	...	...	...	...

б) Розрахувати статистичні характеристики (оцінки): математичного сподівання.

$$Y_c = \sum_{i=1}^k Y_i \cdot P_i; \quad (3.5)$$

дисперсії

$$D = \sum_{i=1}^k (Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i; \quad (3.6)$$

середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k (Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i}; \quad (3.7)$$

коефіцієнт варіації для нормального закону розподілу.

$$v = \frac{\sigma}{Y_c}; \quad (3.8)$$

для закону розподілу Вейбулла:

$$v = \frac{\sigma}{Y_c - Y_{3M}}; \quad (3.9)$$

де Y_{3M} - зміщення зони розкиду випадкової величини Y відносно нуля.

7) *Перевірка крайніх значень варіаційного ряду на належність їх вибірці.* Перше Y_1 і останнє Y_N значення варіаційного ряду перевірити на належність їх вибірці (чи не є вони помилковими) за критерієм Ірвіна:

$$\lambda_{d1} = \frac{1}{\sigma}(Y_2 - Y_1); \quad (3.10)$$

$$\lambda_{dN} = \frac{1}{\sigma}(Y_N - Y_{N-1}). \quad (3.11)$$

8) Побудова гістограми (полігону) розподілу досліджуваного показника і висунення гіпотези про теоретичну закономірність розподілу. За зовнішнім виглядом гістограми, а також за величиною оцінки коефіцієнта варіації (v) висунути гіпотезу щодо теоретичної закономірності розподілу.

9) Розрахунок теоретичної частоти.

Розрахувати значення густини функції розподілу ($f(Y_i)$) для кожного k часткового інтервалу. Для теоретичного розподілу Вейбулла потрібно насамперед відшукати параметри a і b . Їх визначають за допомогою коефіцієнта варіації v .

Параметр b визначити безпосередньо із таблиці, а параметр a розрахувати:

$$a = \frac{\sigma}{C_b}; \quad (3.12)$$

10) Для кожного часткового інтервалу розраховують теоретичну частість:

$$P_{Ti}(Y) = f(Y) \cdot \Delta Y, \quad (3.13)$$

де ΔY – крок інтервалу.

11) Перевірка близькості емпіричного і теоретичного розподілів. Близькість між емпіричним і теоретичним розподілом перевірити за критерієм χ^2 (χ^2 – квадрат, Пірсона). З цією метою для кожного часткового інтервалу потрібно розрахувати добуток - $N \cdot P_{Ti}$. Якщо отримують $N \cdot P_{Ti} < 5$ то

цей інтервал об'єднують із одним або декількома суміжними так, щоб у новому (збільшеному) інтервалі виконувалась умова $N \cdot P_{Ti} > 5$.

Виразити критерій за формулою:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k'} \frac{(m_i - N \cdot P_{Ti})^2}{N \cdot P_{Ti}}, \quad (3.14)$$

де k' - число інтервалів з урахуванням їх об'єднання.

12) Визначити число ступенів вільності за формулою:

$$r = k' - (n + 1), \quad (3.15)$$

де n - число параметрів функції теоретичного розподілу.

13) Задавши рівень значимості $\alpha (\alpha = 0,05 \dots 0,1)$, знайдемо для визначеного r , значення $(X^*)^2$ і порівняємо його із розрахунковим. Якщо $X^2 < (X^*)^2$, то теоретичний розподіл відображає емпіричні дані. В іншому разі близькість між емпіричним і теоретичним розподілом відсутня.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1. Результати моделювання ґрунтообробно-посівних робіт у виробничій системі

Перш ніж розкрити сутність отриманих результатів комп'ютерних експериментів із ІАС, а саме – статистичною імітаційною моделлю ґрунтообробно-посівних процесів вкажемо програму цих експериментів. Для того, щоб встановити вплив структури посівних площ озимих культур на показники ефективності відповідних механізованих процесів, а відтак і на ефективність технологічного комплексу машин нами сформовано чотири типові варіанти структури площі культур:

- 1) озимий ріпак – 55,77%, озима пшениця – 35,77%, озиме жито – 8,46%;
- 2) озимий ріпак – 60,77%, озима пшениця – 30,77%, озиме жито – 8,46%;
- 3) озимий ріпак – 8,46%, озима пшениця – 60,77%, озиме жито – 30,77%;
- 4) озимий ріпак – 30,77%, озима пшениця – 8,46%, озиме жито – 60,77%.

Технологічний комплекс машин сформовано на баз трактора кл. 3 – ХТЗ-17021 та відповідного шлейфу машин (Додаток В.).

Логіка вибору цих варіантів структури площ полягала у тому, щоб врахувати характерну структуру посівних площ у господарствах Львівської області, а також декількох альтернативних варіантів.

Отже, база початкових даних охоплювала: 1) структуру культур СГП; 2) загальну площу озимих культур; 3) технологію процесів ОГС і відповідну множину машинних агрегатів із своїми характеристиками; 4) врожайність озимих культур, реалізаційну вартість їх врожаю, коефіцієнти втрат через запізнення з обробітком і сівбою культур; 5) балансову вартість трактора та шлейфу сільськогосподарських машин тощо. Ця база даних необхідна для вартісного оцінення сукупних витрат на виконання згаданих процесів.

Методика статистичного імітаційного моделювання ґрунтообробно-посівних процесів зводилась до ітераційного відтворення ходу відповідних робіт у розрізі літньо-осіннього періоду за мінливого впливу на їх перебіг предметної та агрометеорологічної складових. Отримання функціональних характеристик комплексу машин в результаті скінченної кількості ітерацій цієї статистичної імітаційної моделі дало змогу сформувати множину функціональних показників для різних значень площі озимих культур (приріст із кроком 10 га), а також варіаційні ряди їх кількісних показників для наступного опрацювання за допомогою методів математичної статистики.

У результаті цих математичних процедур обґрунтовувались розподіли випадкових величин та закономірності зміни оцінок їх математичного сподівання, що є важливою передумовою для отримання показників ефективності комплексу машин у вартісному виразі, а відтак узгодження характеристик виробничої програми озимих культур із параметрами цього комплексу машин.

Зокрема, встановлено такі функціональні характеристики ґрунтообробно-посівних процесів: 1) залежність ймовірності запізнення ($I[t_3]$) технологічних операцій сівби від площі озимих культур (рис. 4.1); 2) залежність оцінок математичного сподівання тривалості запізнення ($\bar{M}[t_3]$) технологічної операції сівби від площі озимих культур (рис. 4.2).

Як уже зазначалося, під несвоєчасним виконанням робіт належить розуміти виконання відповідної технологічної операції пізніше системно зумовленого терміну. Для кожної з технологічних операцій ці терміни є різними та обмежені агротехнічними вимогами до них.

Кількісне оцінення ймовірності запізнення ($I[t_3]$) із ґрунтообробно-посівними процесами під k -ту озиму культуру здійснено як співвідношення кількості випадків її несвоєчасної сівби до загальної кількості ітерацій (Np) статистичної імітаційної моделі: $I[t_3] = \sum_{i=1}^{Np} n^i / Np$ (рис. 4.1).

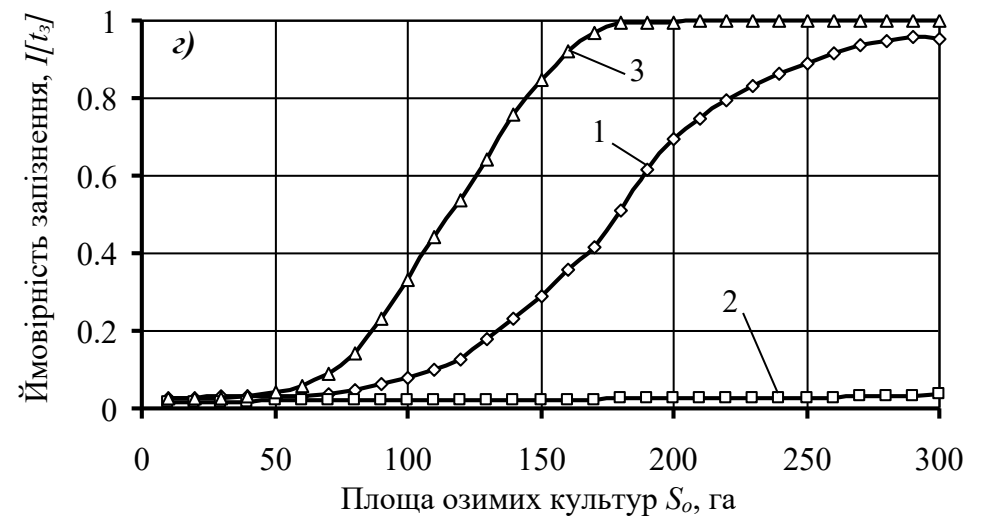
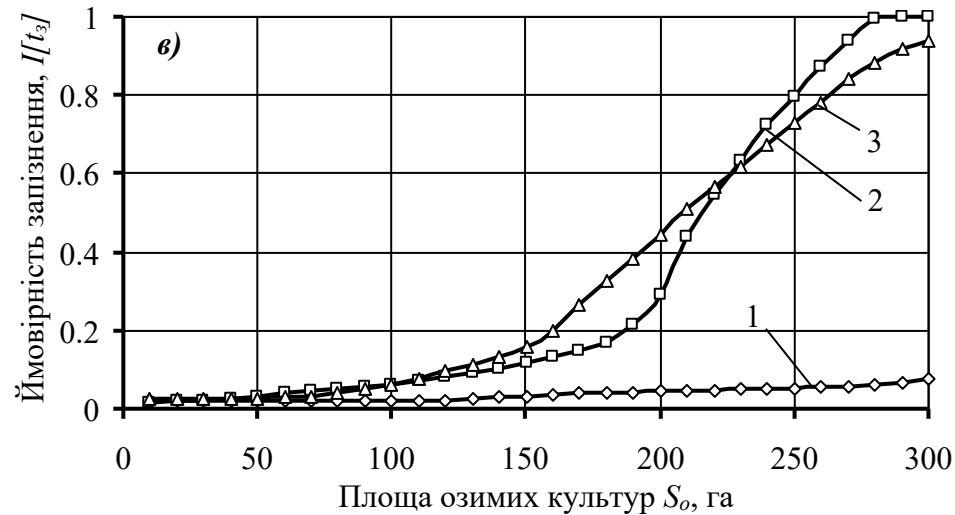
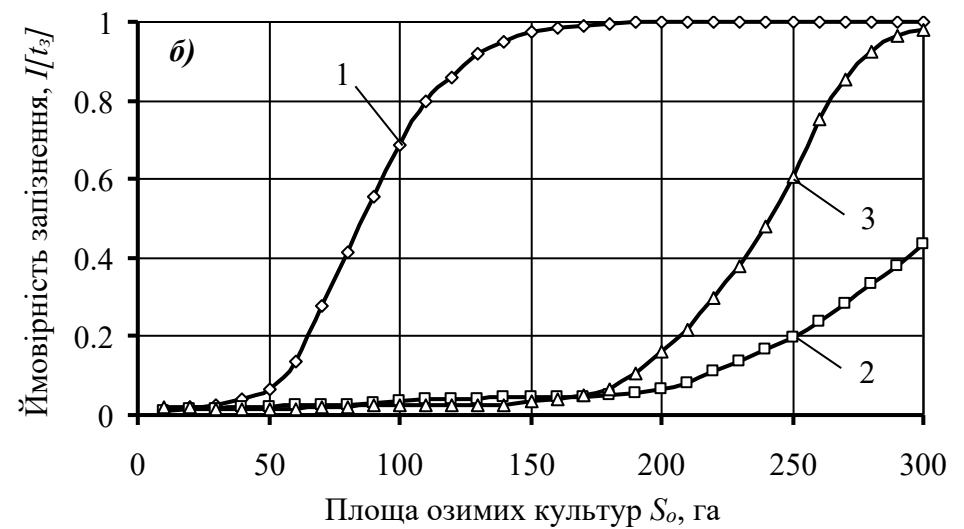
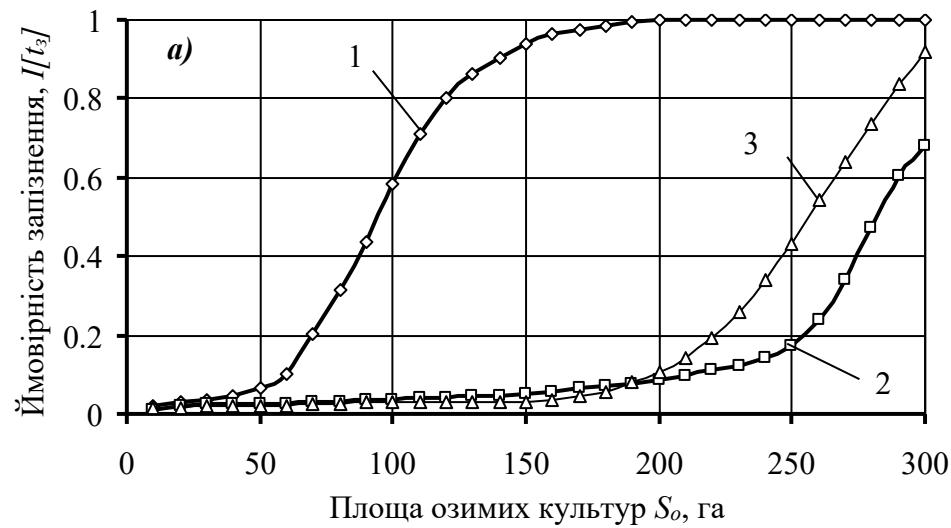


Рисунок 4.1 – Залежність ймовірності запізнення технологічних операцій сівби від площі озимих культур: а) ОР – 55,77%, ОП – 35,77%, ОЖ – 8,46%; б) ОР – 60,77%, ОП – 30,77%, ОЖ – 8,46%; в) ОР – 8,46%, ОП – 60,77%, ОЖ – 30,77%; г) ОР – 30,7%, ОП – 8,46%, ОЖ – 60,77%; 1 – озимий ріпак (ОР); 2 – озима пшениця (ОП); 3 – озиме жито (ОЖ) ☞

Встановлення кількості днів запізнення з ґрунтообробно-посівними процесами для Np реалізацій статистичної імітаційної моделі, на прикладі технологічної операції сівби, дало змогу визначити оцінки математичного сподівання $\bar{M}[t_3]$ тривалості запізнення із технологічною операцією сівби. Побудова залежності оцінок математичного сподівання тривалості запізнення технологічної операції сівби від площі озимих культур (рис. 4.2), а також використання відомих методів кореляційно-регресійного аналізу уможливило встановлення рівняння залежності $\bar{M}[t_3]$ від S_o (табл. 4.1) для варіанту – № 1, що відповідає характерній для Городоцького району структурі посівних площ озимих культур.

Таблиця 4.1 – Рівняння залежностей оцінок математичного сподівання тривалості запізнення із сівбою озимих культур від їх площі

Назва культури	Рівняння залежності	Кореляційне відношення
Озимий ріпак	$\bar{M}[t_3^{op}] = -6,2 \cdot 10^{-12} \cdot S_o^5 + 3 \cdot 10^{-9} \cdot S_o^4 + 2 \cdot 10^{-8} \cdot S_o^3 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot S_o^2 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot S_o - 0,0557$	0,989
Озима пшениця	$\bar{M}[t_3^{on}] = 4,6 \cdot 10^{-12} \cdot S_o^5 - 2 \cdot 10^{-12} \cdot S_o^4 + 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot S_o^3 - 8 \cdot 10^{-6} \cdot S_o^2 + 4 \cdot 10^{-5} \cdot S_o + 0,0264$	0,998
Озиме жито	$\bar{M}[t_3^{ojc}] = -2,63 \cdot 10^{-13} \cdot S_o^6 + 2,1 \cdot 10^{-10} \cdot S_o^5 - 6 \cdot 10^{-8} \cdot S_o^4 + 8,1 \cdot 10^{-6} \cdot S_o^3 - 5 \cdot 10^{-4} \cdot S_o^2 + 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot S_o - 0,0997$	0,994

Аналізуючи встановлені закономірності, бачимо, що темпи зростання показників $I[t_3]$ та $\bar{M}[t_3]$ для відповідних озимих культур є неоднакові. Така різна інтенсивність їх зміни зумовлена різними площами, термінами досягання попередників, часом початку сівби цих культур та, відповідно, тривалістю природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних процесів.

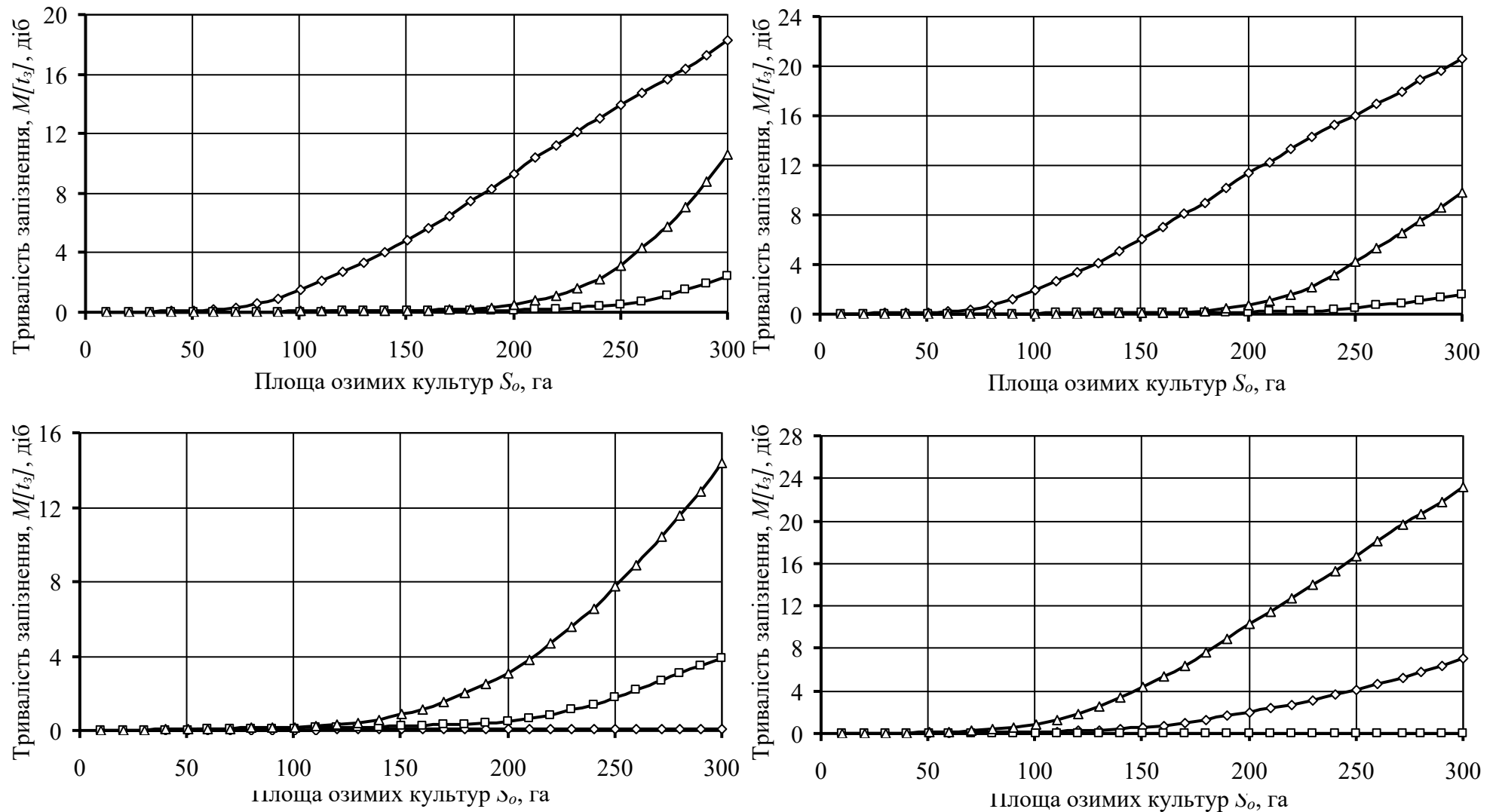


Рисунок 4.2 – Залежність тривалості запізнення із виконанням технологічних операцій сівби від площі озимих культур: а) ОР – 55,77%, ОП – 35,77%, ОЖ – 8,46%; б) ОР – 60,77%, ОП – 30,77%, ОЖ – 8,46%; в) ОР – 8,46%, ОП – 60,77%, ОЖ – 30,77%; г) ОР – 30,7%, ОП – 8,46%, ОЖ – 60,77%; 1 – озимий ріпак (ОР); 2 – озима пшениця (ОП); 3 – озиме жито (ОЖ).

4.2. Результати оцінення ризику несвоєчасності виробничих процесів

Для дослідження випадкового потоку необхідно вміти оцінити показники відхилення (флуктуації) інтенсивності надходження предметів праці. Статистична обробка проводиться однаково для стаціонарних та нестаціонарних процесів, з однією різницею, що для нестаціонарного потоку досліджується не абсолютне значення, а відносне чи абсолютне відхилення.

Під час математичної обробки того чи іншого показника за експериментальними (емпіричними) даними, число яких є обмежене, встановити дійсні значення характеристик розподілу неможливо, а тому визначають, так звані, оцінки: математичне сподівання, дисперсії, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнта варіації. Ці оцінки називають статистичними характеристиками.

Емпіричні розподіли узгоджують з теоретичними за спеціально розробленими в теорії статистичними критеріями. Наведемо приклад розрахунку цих показників та обґрунтування закону розподілу обсягів несвоєчасно посіяних площ озимих культур.

Використання результатів комп'ютерних експериментів, зокрема щодо встановлення обсягів несвоєчасно посіяних площ, дало змогу оцінити ризик та обґрунтувати розподіл сумарних обсягів несвоєчасно посіяних площ озимих культур за планової площі 140 га та наступного варіанту структури площ озимих культур: ОР – 60,77%, ОП – 30,77%, ОЖ – 8,46%.

1) Відповідно до отриманих даних, побудовано варіаційний ряд емпіричних даних:

Таблиця 4.2 – Емпіричні дані

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,471	29,032	58,175	88,834	127,748	164,182	181,27	196,673	281,49	440,145
0,819	29,032	60,21	88,968	128,849	165,205	181,27	197,64	283,283	448,438
2,463	29,032	60,316	89,477	129,208	165,205	181,952	197,64	284,653	448,579

Продовж.табл. 4.2

3,032	29,227	60,416	89,591	130,12	165,205	181,952	198,182	286,864	449,972
3,33	30	61,232	89,81	130,275	165,205	181,952	198,693	287,415	451,69
3,33	30,758	61,683	89,966	130,685	165,424	181,952	199,709	288,322	457,404
3,33	30,758	62,212	89,966	131,719	165,641	183,221	199,709	291,502	466,757
3,348	31,036	62,212	89,966	132,327	166,84	183,221	202,232	292,876	473,582
3,482	31,164	62,212	90,188	133,333	167,138	183,319	202,24	296,384	480,151
3,482	31,165	62,24	91,947	133,693	167,138	183,53	203,606	299,146	483,41
3,499	31,165	62,54	92,343	133,933	167,138	183,53	204,563	299,592	483,656
3,499	31,804	62,54	92,343	133,933	167,138	183,53	205,691	300,35	494,955
3,636	31,915	63,587	92,343	134,331	167,809	183,913	206,238	300,388	501,448
3,652	31,915	63,587	92,343	139,659	168,067	184,66	206,421	305,92	505,783
3,652	33,544	64,028	93,817	142,337	168,496	184,739	207,559	308,844	508,28
3,652	33,856	65,719	94,584	142,469	168,825	184,739	207,837	310	514,945
3,652	35,444	66,805	94,941	143,286	169,245	184,739	210,939	311,086	516,445
3,965	36,252	66,805	96,26	143,933	169,245	184,961	210,971	313,368	527,12
4,069	38,931	66,805	97,529	144,527	169,484	185,127	213,726	314	536,533
11,935	40,025	67,098	98,691	145,922	169,536	185,719	213,982	317	555,769
12,298	40,719	69,864	98,709	145,922	170,044	186,276	214,509	318	561,57
13,884	41,422	69,864	100,169	145,922	170,171	186,276	217,464	325,451	621,195
15,24	41,422	70,79	100,169	145,978	170,171	186,276	219,097	325,624	657,625
16,613	41,422	70,79	100,169	147,018	171,041	186,748	222,966	326,232	659,625
17,014	42,133	70,79	101,215	147,345	171,552	187,833	223,853	327,458	813,967
17,043	44,192	70,79	101,245	147,592	171,865	187,833	223,993	329	
17,918	44,192	70,79	101,493	151,89	171,865	187,833	227,423	335,175	
17,918	44,192	72,677	102,669	152,487	171,865	189,408	231,094	335,439	
17,918	44,287	72,677	105,001	157,09	172,203	189,648	231,631	342,251	
17,918	45,132	76,192	106,047	157,887	173,821	189,767	233,21	344,121	
18,11	45,132	77,983	106,8	159,656	174,365	189,767	236,805	358,585	
18,364	46,796	78,112	106,8	159,656	174,365	189,767	238,177	363,597	
18,815	47,402	79,149	106,8	159,656	175,309	190,514	238,302	371,837	
18,906	49,699	80,583	107,217	159,656	176,892	191,019	238,952	375,695	
19,166	49,699	80,583	107,991	160,292	176,892	191,019	239,087	378,607	
19,273	49,942	80,583	113,066	161,175	176,892	191,019	239,621	387,629	

Продовж.табл. 4.2

20,474	50,764	82,936	114,598	161,261	177,336	191,305	239,839	391,221	
20,474	51,252	82,936	114,801	161,261	177,624	191,605	240,755	391,353	
21,273	51,31	83,449	114,801	161,261	177,911	192,944	244,447	397,699	
23,006	51,438	84,905	115,546	161,261	178,496	193,554	244,7	400,099	
27,328	51,438	85,082	117,565	161,596	178,514	193,554	248,137	401,242	
27,328	52,323	85,936	117,565	162,036	178,514	194,583	249,244	402,105	
27,686	52,68	85,936	117,565	163,407	178,854	194,722	252,534	402,992	
27,686	52,68	86,13	117,565	163,863	180,118	195,095	253,764	407,217	
27,815	52,952	86,618	122,027	164,182	180,393	195,095	261,238	414,485	
29,032	54,681	87,039	122,499	164,182	180,393	195,642	267,262	416,751	
29,032	54,681	87,691	124,102	164,182	180,393	196,397	268,739	417,147	
29,032	54,681	88,834	124,763	164,182	181,27	196,673	270,528	422,414	
29,032	56,696	88,834	125,405	164,182	181,27	196,673	279,144	435,465	
29,032	58,175	88,834	126,723	164,182	181,27	196,673	280,967	439,778	

2) Варіаційний ряд розділити на k інтервалів. Підставивши відповідні значення у формулу отримаємо (3.2):

$$k = 1 + 3,32 \cdot 2,677 = 9,887.$$

Приймаємо $k = 9$.

3) Крок інтервалу розрахувати за формулою (3.3).

$$\Delta Y = \frac{813,967 - 0,471}{9} = 90,388.$$

$\Delta Y = 90,388$ приймаємо – 90,4.

4) Будуємо таблицю 4.3 для розрахунку статистичних характеристик.

5) Визначаю частоту m_i попадання випадкової величини у кожен інтервал, а також розраховую емпіричну частість P_i за формулою (3.4).

$$P_{i1} = \frac{159}{475} = 0,335;$$

$$P_{i4} = \frac{33}{475} = 0,069;$$

$$P_{i2} = \frac{138}{475} = 0,291;$$

$$P_{i5} = \frac{24}{475} = 0,051;$$

$$P_{i3} = \frac{101}{475} = 0,213;$$

$$P_{i6} = \frac{14}{475} = 0,029;$$

$$P_{i7} = \frac{3}{475} = 0,006;$$

$$P_{i8} = \frac{2}{475} = 0,004;$$

$$P_{i9} = \frac{1}{475} = 0,002.$$

Таблиця 4.3 – Розрахунок статистичних характеристик

№ П/П	Показник	№ інтервалу								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Інтервал $Y_i^H \dots Y_i^B$	0,5- 90,9	90,9- 181,2	181,2- 271,6	271,6- 362	362- 452,4	452,4- 542,8	542,8- 633,2	633,2- 723,6	723,6- 814
2	Середина інтервалу, Y_i	45,7	136,1	226,4	316,8	407,2	497,6	588,0	678,4	768,8
3	Частота, m_i	159	138	101	33	24	14	3	2	1
4	Емпірична частість, $P_i = \frac{m_i}{N}$	0,335	0,291	0,213	0,069	0,051	0,029	0,006	0,004	0,002
5	$Y_i \cdot P_i$	15,286	39,527	48,149	22,011	20,575	14,666	3,714	2,856	1,618
6	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	5042,6	304,03	716,25	1530,5	2881,6	3194,2	1111,9	1095,0	758,82

б) статистичної характеристики (оцінки): математичного сподівання розраховується за формулою (3.5).

$$Y_c = \sum_{i=1}^k Y_i \cdot P_i = 168,403;$$

дисперсії за формулою (3.6).

$$D = \sum_{i=1}^k (Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i = 16635,26;$$

середньоквадратичне відхилення розраховується за формулою (3.7).

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k (Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i} = 128,978;$$

для закону розподілу Вейбулла розраховується за формулою (3.9).

$$\nu = \frac{128,978}{168,403 - 0,5} = 0,768;$$

де $Y_{3\sigma}$ - зміщення зони розкиду випадкової величини Y відносно нуля.

Задавши рівень значимості α ($\alpha = 0,05 \dots 0,1$), знайдемо для визначеного r ,

значення $(X^*)^2$ і порівняємо його із розрахунковим. Визначивши табличне $(X^*)^2$ значення для відповідного r та рівня значимості $\alpha (\alpha = 0,05 \dots 0,1)$, яке лежить у межах $-7,289-9,236$ порівняємо його із розрахунковим $X^2 = 9,176$.

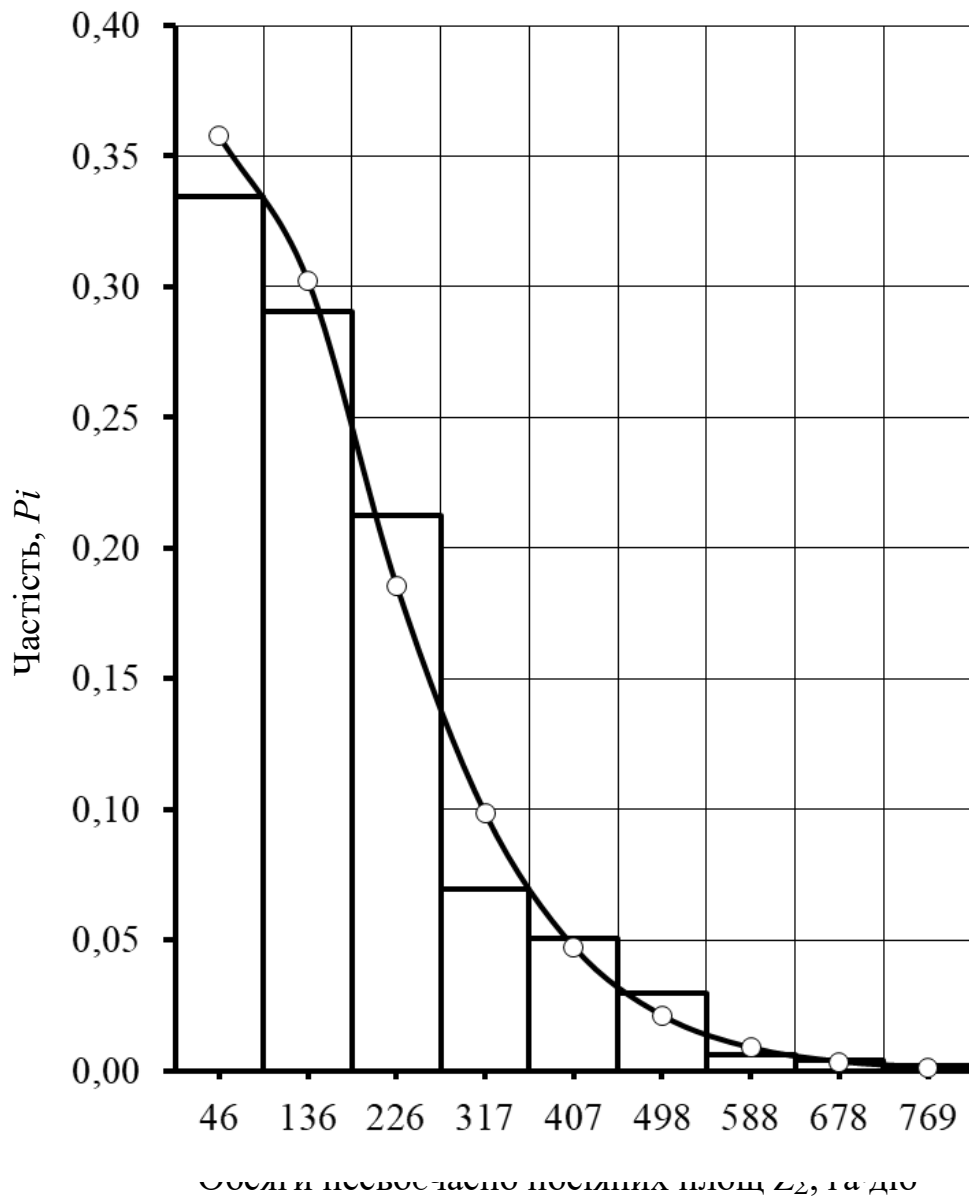


Рисунок 4.3 – Гістограма та теоретична крива розподілу обсягів несвоєчасно посіяних площ озимих культур (площа культур – 140 га, комплекс машин на базі трактора кл. 3)

Як видно умова $X^2 < (X^*)^2$ справджується, відповідного до цього, маємо підтвердження що теоретичний розподіл Вейбулла-Гніденка відображає емпіричні дані, а побудована нами гістограма та теоретична крива об'єктивно

відображає розподіл сумарних обсягів (Z_{Σ} , га·діб) несвоєчасно посіяних площ (рис. 4.3). Диференціальна функція розподілу Z_{Σ} описується рівнянням:

$$f(Z_{\Sigma}) = 0,012 \cdot \left(\frac{Z_{\Sigma} - 1,1}{81,987} \right)^{-0,012} \cdot \exp \left[- \left(\frac{Z_{\Sigma} - 1,1}{81,987} \right)^{0,988} \right], \quad (4.2)$$

Головні статистичні характеристики розподілу Z_{Σ} наступні: математичне сподівання – $M[Z_{\Sigma}] = 148,403$ га·діб; коефіцієнт варіації – $v[Z_{\Sigma}] = 0,816$. Довірчий інтервал Z_{Σ} становить 0,5...814 га·діб. Інші статистичні характеристики наведено в Додаток Г.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Структурно функціональний аналіз технологічного процесу

Умови в яких перебуває виконавець технологічних операцій на полі характеризуються певною травмо- та аварієнебезпекою. Охорона праці безпосередньо на робочому місці – в кабіні трактора та біля нього, значним чином впливає на показники використання робочого часу, а відтак і на продуктивність агрегату загалом.

Таким чином, створення безпечних умов праці є одним із важливих шляхів підвищення ефективності виконання процесу механізованого вирощування сільськогосподарської культури.

Можливими травмонебезпечними чинниками є: 1) ураження обертовими частинами машини; 2) несправність органів керування, гальм, муфти; 3) перевищення швидкості руху; 4) відмова одного з вузлів агрегату; 5) аварійно-небезпечний стан доріг; 6) недотримання правил пожежної безпеки; 7) алкогольне сп'яніння [8].

5.2. Методика моделювання процесу виникнення травм та аварій і розробка логіко-імітаційної моделі

Використання методу, що розроблений Д.Хенлі і Х.Кумамото, дає можливість шляхом побудови “дерева” відомов і помилок операторів різних систем вести математичну обробку моделі з метою одержання ймовірності виникнення таких випадкових подій, як аварія, травма, катастрофа [8].

Наведемо методику побудови логічно-імітаційної моделі.

За даними виробництва визначаємо ймовірність базових подій. Наприклад, базова подія “стан контролю з охорони праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити, наскільки (у відсотках) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50% або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідно ймовірність дорівнює 0.

Отже, для побудови логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії та травми в процесі вирощування культури складемо перелік базових подій. Вони лежатимуть в основі даної моделі. Кожній події (пункту) присвоїмо певне значення ймовірності його виникнення:

Стан контролю з охорони праці $P_1 = 0,25$;

Несерйозне відношення до проходження ТО $P_2 = 0,05$;

Відсутність комплектуючих $P_3 = 0,1$;

Невисока міцність $P_4 = 0,03$;

Застарілі технічні засоби $P_6 = 0,3$;

Виникнення перешкод на полі під час робочого ходу $P_7 = 0,2$;

Досвід роботи $P_{12} = 0,5$.

Професійний рівень тракториста $P_{13} = 0,5$;

Психофізіологічний стан тракториста $P_{14} = 0,3$;

На основі наведених подій будуюмо матрицю логічних взаємозв’язків між окремими пунктами, графічна інтерпретація якої зображено на рис. 5.1.

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель технологічного процесу обробітку ґрунту та сівби. Розглянемо травмонебезпечну ситуацію, що виникає за умови роботи машини на значних ухилах поля, близько ярів чи при їх об’їзді, котра може призвести до перекидання машини. Ймовірність виникнення події P_5 визначаємо наступним чином:

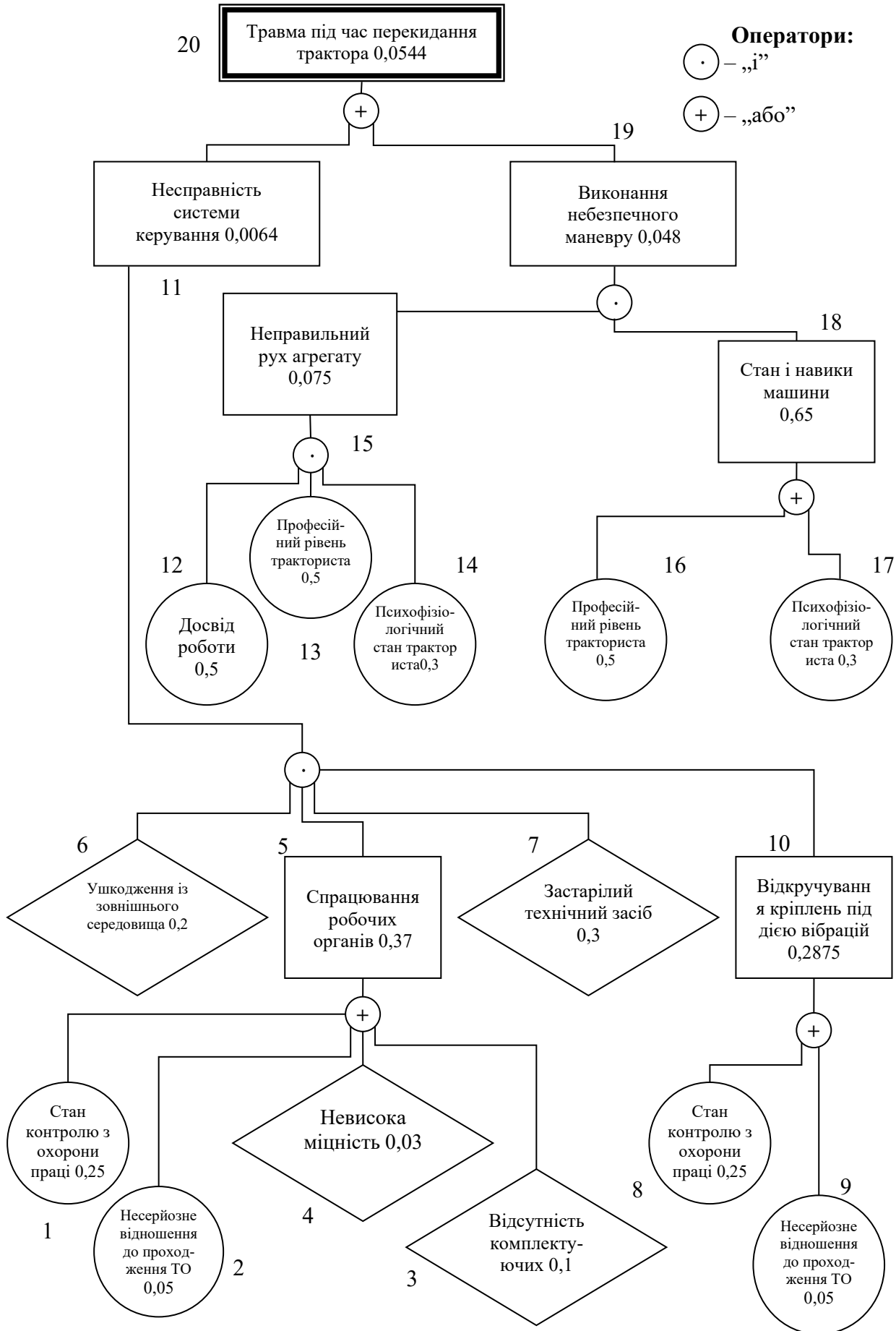


Рис. 5.1. Матриця логічних взаємозв'язків між окремими подіями травмонебезпечної ситуації [8]

$$P_5 = 0,25 + 0,05 + 0,03 + 0,1 - 0,25 \cdot 0,05 - 0,25 \cdot 0,03 - 0,25 \cdot 0,1 - 0,05 \cdot 0,03 - 0,05 \cdot 0,1 - 0,03 \cdot 0,1 + 0,25 \cdot 0,05 \cdot 0,03 \cdot 0,1 = 0,37$$

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо так:

$$P_{10} = 0,25 + 0,05 - 0,25 \cdot 0,05 = 0,2875$$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо:

$$P_{11} = 0,2 \cdot 0,37 \cdot 0,3 \cdot 0,3 = 0,0064$$

Ймовірність виникнення події P_{15} визначаємо наступним чином:

$$P_{15} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,3 = 0,075$$

Ймовірність події P_{18} :

$$P_{18} = 0,5 + 0,3 - 0,5 \cdot 0,3 = 0,65$$

Ймовірність події P_{19} :

$$P_{19} = 0,075 \cdot 0,65 = 0,0488$$

Ймовірність події P_{20} :

$$P_{20} = 0,0064 + 0,048 = 0,0544$$

Таким чином, ймовірність виникнення травми працівника під час перекидання агрегату є досить мала і становить $P_{20} = 0,0544$.

Використання логіко-імітаційних моделей для дослідження аварій і травм та обґрунтування заходів охорони праці, дають можливість знизити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій.

5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Заходи щодо зниження ступеня впливу негативних наслідків аварійних ситуацій здійснюються з метою завчасної підготовки підприємств від надзвичайних ситуацій, та створення умов для підвищення стійкості їх роботи, та проведення своєчасних робіт щодо рятувальних заходів [8].

Укриття в захисних спорудах, якому підлягає усе населення відповідно до приналежності, досягається створенням фонду захисних споруд.

Евакуаційні заходи, які проводяться в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час, основним способом захисту населення є евакуація і розміщення його у позаміській зоні.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки.

Евакуаційні заходи, які проводяться в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час, основним способом захисту населення є евакуація і розміщення його у позаміській зоні.

ВИСНОВКИ

У сучасних умовах цифрової трансформації аграрний сектор став одним із ключових майданчиків для впровадження ІТ-рішень. За оцінками міжнародних аналітичних агентств, ринок “agtech” та “foodtech” вже вимірюється десятками мільярдів \$, а щорічні темпи зростання сегмента цифрового землеробства становлять у середньому близько 10-15 %. В Україні, попри воєнні виклики, агросектор залишається одним із головних драйверів економіки, забезпечуючи суттєву частку експорту та демонструючи стійку тенденцію до впровадження систем GPS-моніторингу техніки, супутникової аналітики полів, облікових та планувальних платформ.

Використання цифрових платформ, систем моніторингу стану ґрунту, модулів аналітики технологічних операцій та засобів автоматизованого управління виробництвом дає змогу підвищувати продуктивність, зменшувати витрати ресурсів і формувати оптимальні технологічні регламенти на основі інтеграції різнорідних даних у єдиному інформаційному просторі.

Мова програмування C++ поєднує низькорівневий контроль і потужні засоби абстракції, що робить його універсальним інструментом для створення ефективного та складного програмного забезпечення. Особливості мови – багатопарадигмовість, висока продуктивність, шаблонне програмування і розвинена стандартна бібліотека – визначають її актуальність у сучасній ІТ-сфері та роблять незамінною для розробників, які працюють із системними і високопродуктивними додатками.

Особливістю створеного програмного коду для реалізації ІАС є поєднання математичного моделювання та симуляції реальних процесів. Використання диференціальних функцій і експонент дозволяє імітувати природні цикли, такі як зміни тривалості світлового дня та коливання температури. Використання масивів і циклів забезпечує масштабованість моделі, дозволяючи додавати нові культури, ділянки або типи робіт без суттєвої

зміни логіки коду. У цілому, код є прикладом складного моделювання агротехнічних процесів з урахуванням різних факторів, що впливають на продуктивність та ефективність виконання польових робіт.

Проведення серії комп'ютерних експериментів і подальший аналіз отриманих даних із застосуванням методів математичної статистики та кореляційно-регресійного аналізу дали змогу виявити закономірності зміни функціональних показників ґрунтообробно-посівних процесів у залежності від збільшення загальної площі посівів озимих культур.

Встановлення кількості днів запізнення з ґрунтообробно-посівними процесами для N_p реалізацій статистичної імітаційної моделі в ІАС, дало змогу визначити оцінки математичного сподівання $\bar{M}[t_s]$ тривалості запізнення із технологічною операцією сівби. Побудова залежності $\bar{M}[t_s]$ для відповідних технологічних операцій від площі озимих культур (рис. 4.2) уможливило встановлення рівнянь залежності $\bar{M}[t_s]$ від S_o (табл. 4.1).

Втрати продукції, у розглянутих варіантах організації процесів обробітку ґрунту та сівби озимих культур, істотно зростають у разі перевищення площі посіву понад 50 га. Використання машинно-тракторного агрегату на базі трактора класу 3 (ХТЗ-17021) доцільно планувати з урахуванням структури посівних площ і їх розміру.

Опрацювання результатів моделювання показало, що підсумковий обсяг площ, засіяних із порушенням оптимальних строків, підпорядковується теоретичному закону розподілу Вейбулла. Для випадкової величини Z_Σ : було визначено основні статистичні параметри розподілу, зокрема математичне сподівання – $M[Z_\Sigma] = 148,403$ га·діб; коефіцієнт варіації – $v[Z_\Sigma] = 0,816$. Довірчий інтервал Z_Σ становить 0,5...814 га·діб.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бомба М. Я. Наукові і практичні основи обробітку ґрунту : навч. посіб. / М. Я. Бомба, З. М. Томахівський. Івано-Франківськ : Галичина, 2003. 148 с.
2. Буде сформовано державну систему сільгоспдорадництва / Урядовий портал. URL : <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/search> (дата доступу: 20.11.2025)
3. Вступ до програмування мовою C++. Організація обчислень : навч. посіб. / Ю. А. Белов, Т. О. Карнаух, Ю. В. Коваль, А. Б. Ставровський. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. – 175 с.
4. Жалдак М. І. Основи теорії і методів оптимізації : [навч. посіб. для студ. 246 мат. спец. вищ. навч. закл.] / М. І. Жалдак, Ю. В. Триус. Черкаси: Брама-Україна, 2015. 607 с.
5. Зінченко О. І. Рослинництво : підручник / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко ; за ред. О. І. Зінченка. К. : Аграрна освіта, 2021. 591 с.
6. Комплексне ІТ-рішення для агровиробників. URL: <https://www.soft.farm/uk> (дата доступу: 20.11.2025).
7. Кравчук В. Новіні техніко-технологічні рішення для різних систем обробітку ґрунту і сівби при вирощуванні зернових культур : проект «АгроОлімп 170» / В. Кравчук, В. Погорілий, Л. Шустік // Техніка і технології АПК. 2019. № 1. С. 3-9.
8. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві / [Лехман С. Д. та ін.]. Київ: Урожай, 2013. 269 с.
9. Луб П. М. Обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин сільськогосподарського підприємства : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 „Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / П. М. Луб. Львів , 2006. 23 с.
10. Метеосервіс «Gismeteo». URL: <https://www.gismeteo.ua/ua/weather->

[lviv-4949/](#) (дата доступу: 10.11.2025)

11. Метеосервіс «Sinoptik». URL: <https://ua.sinoptik.ua> (дата доступу: 10.11.2025)
12. Основи імітаційного і статистичного моделювання / [Ю. С. Харін, В. И. Малюгін, В. П. Кірлиця и др.]. Мінск : Дизайн Про, 2017. 288 с.
13. Офіційний сайт міністерства аграрної політики та продовольства. Режим доступу : URL :<http://www.minagro.gov.ua> (дата доступу: 10.11.2025)
14. Присяжнюк М. В. Реформування аграрної науки – об'єктивні передумови та веління часу / М. В. Присяжнюк / Вісник аграрної науки. 2021. № 10. С. 12-13.
15. Сидорчук О. В. Інженерний менеджмент: системотехніка виробництва : навч. посіб. / О. В. Сидорчук, С. Р. Сенчук. Львів : Львів. ДАУ, 2006. 127 с.
16. Сучасні інформаційні системи і технології: конспект лекцій / В. Г. Іванов, С. М. Іванов, В. В. Карасюк та ін.; за заг. ред. В. Г. Іванова, В. В. Карасюка. Х.: Нац. юрид. ун-т ім. Ярослава Мудрого, 2024. 347 с.
17. Уланова Е. С. Методи кореляційного та регресійного аналізу в агрометеорології / Е. С. Уланова, В. Н. Забелин. Л. : Гідрометеовидав, 2010. 146 с.
18. «Управління проектами». URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Управління_проектами (дата доступу: 10.11.2025)
19. ТОП сервісів спостереження за погодними умовами. URL: <https://kr-labs.com.ua/blog/top-weather-forecast-services>
20. MeteorJS : JavaScript APPS. Mode of access : URL : <https://www.meteor.com> (дата доступу: 10.11.2025)
21. C++ Primer: Completely Rewritten for the New C++11 Standard. Pearson International. 5-th ed. 2012. 976 p.

ДОДАТКИ

Додаток А.

Блок-схема алгоритму статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду

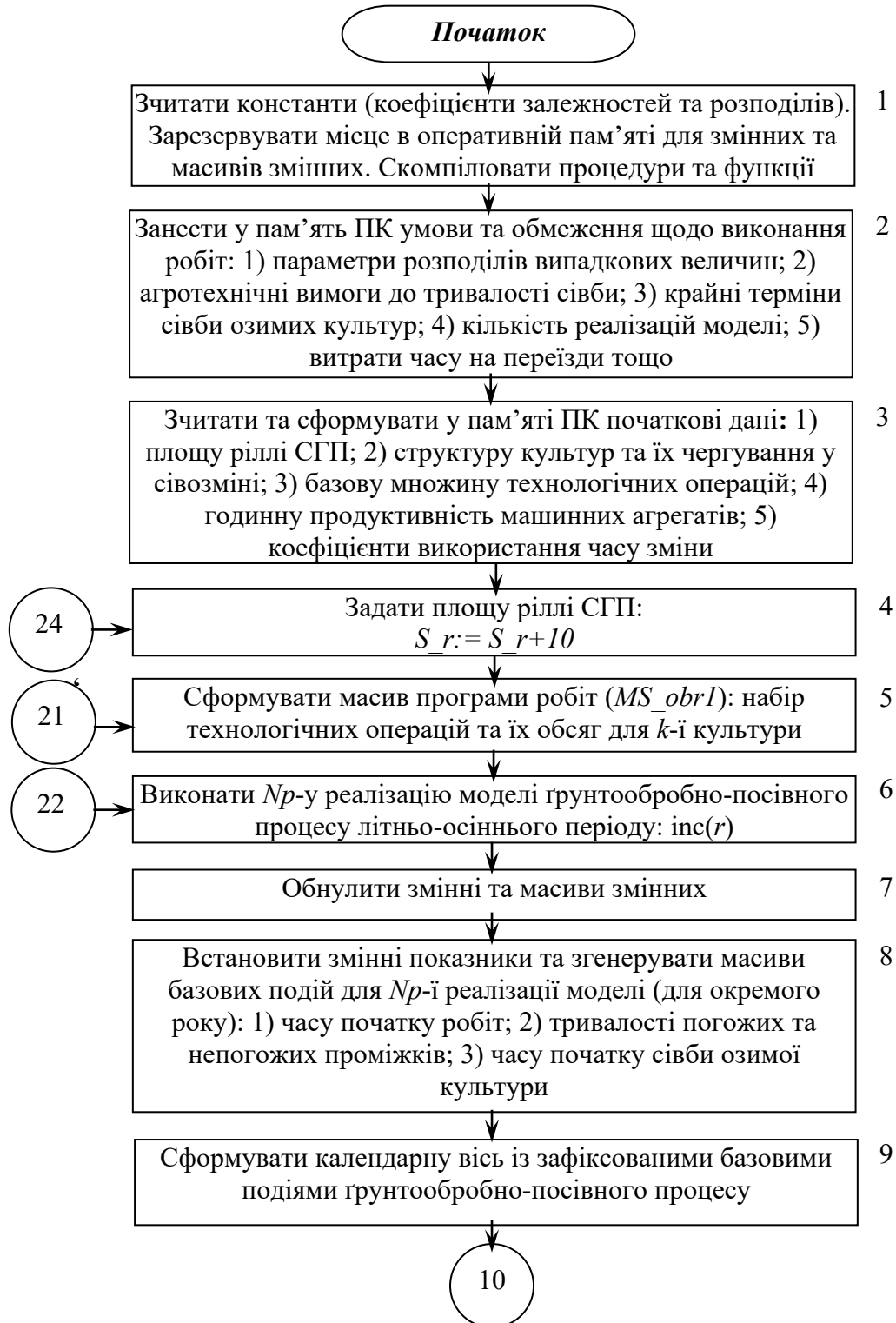


Рисунок А.1 – Блок-схема алгоритму статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду

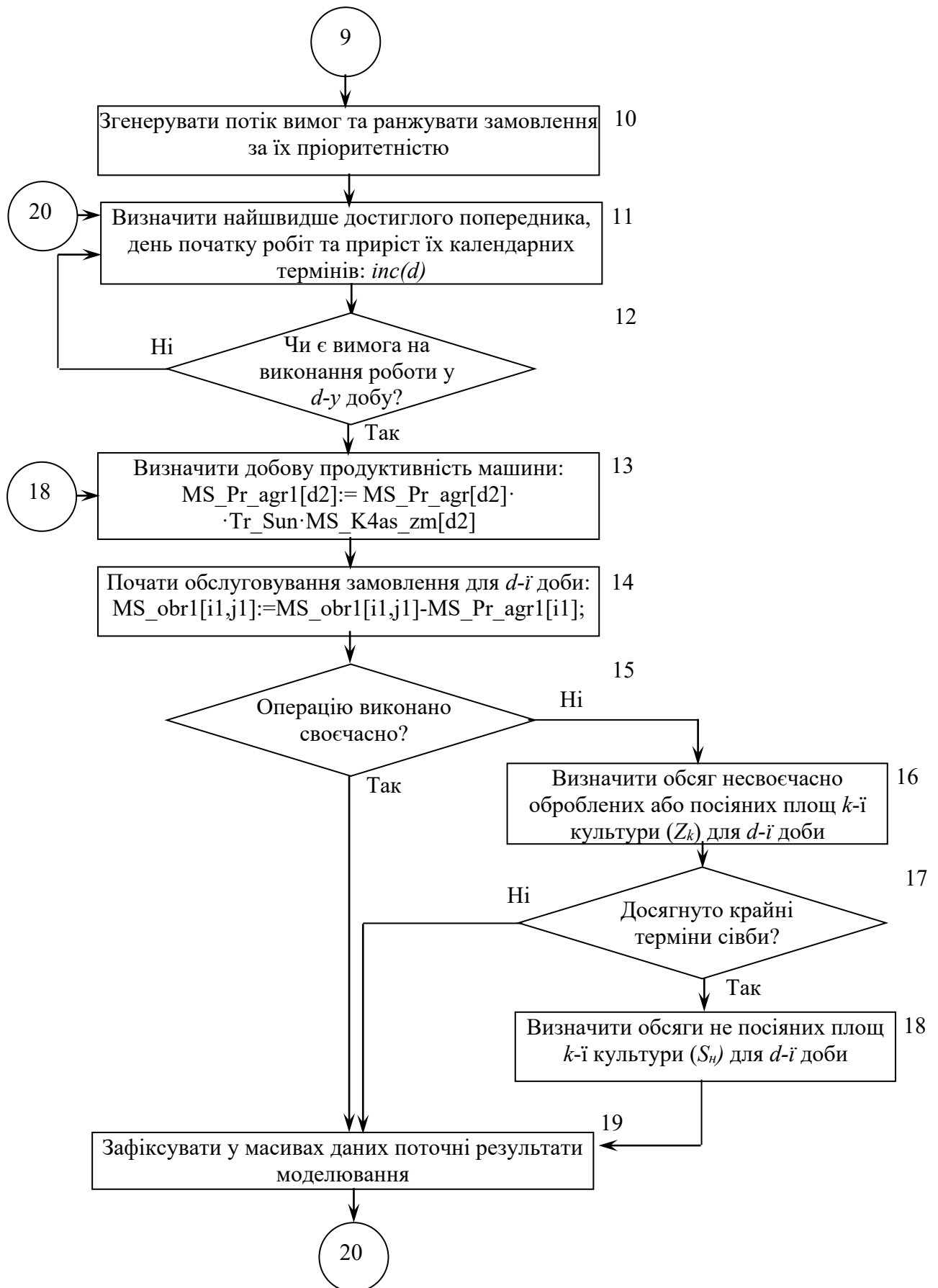


Рисунок А.1 – Блок-схема алгоритму статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду (продовження)

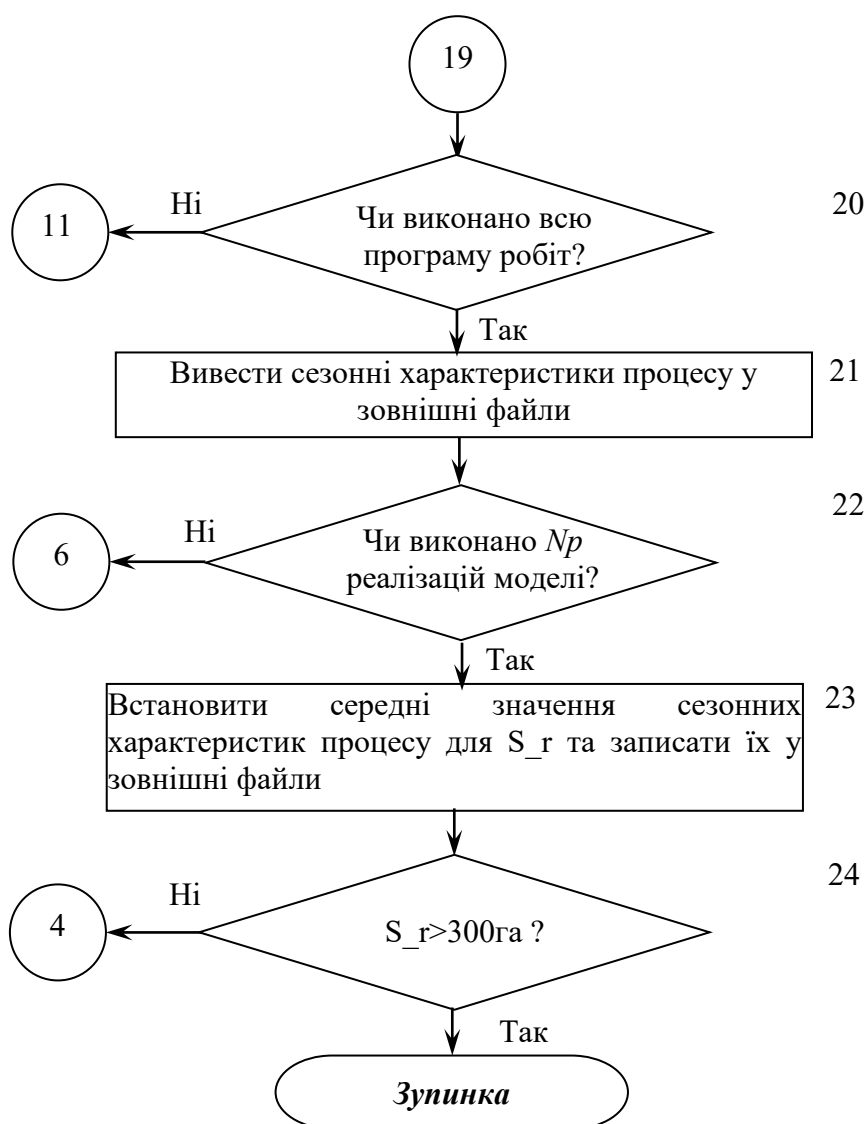


Рисунок А.1 – Блок-схема алгоритму статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду (продовження)

Додаток Б.

Фрагмент коду комп'ютерної програми статистичної імітаційної моделі грунтообробно-посівного процесу під озимі культури (мова програмування C++ [3], загальна довжина коду – 1068 рядків, об'єм фізичної пам'яті – 61 кБ)

```

#include <iostream>
#include <fstream>
#include <cmath>
#include <vector>
#include <string>
#include <cstdlib>
#include <ctime>

using namespace std;

const int p = 300;
const int pO = 180;
const int iO = 30;

typedef vector<unsigned char> mas1i;
typedef vector<unsigned char> mas_Osin_D;
typedef vector<double> mas_Temper;
typedef vector<unsigned char> masPND;
typedef vector<vector<double>> mas_Str_pl;
typedef vector<vector<double>> mas_Nab_op;
typedef vector<double> mas_Pr_agr;
typedef vector<float> mas_Vux_zna4;
typedef vector<vector<float>> mas_Rez_V;
typedef vector<float> mas_200zn;
typedef vector<unsigned short> mas_Dobu_mxt;
typedef vector<vector<double>> mas_Wljax;
typedef vector<vector<double>> mas_Tum4;
typedef vector<vector<double>> mas_2x16_real;

// Прототипи функцій
void VEIB(double a, double b, double c, double min, double max, unsigned char iO, masPND &W);
void RYAD_POGODU(unsigned char pO, masPND &PD, masPND &ND, mas_Osin_D &Pogoda);
void GENA(double a, double b, double c, double d, double e, double f, double g, double min, double max,
unsigned short iO, masPND &W);
void NYLJAWA(unsigned short p1, unsigned short p2, string Nazv);
void STAT_XAR_POG(unsigned short p, unsigned short p1, float &Mat_sp, float &Sigm, float &Niy,
mas_Vux_zna4 &Jmov, mas_Vux_zna4 &MS_Vux_zna4);
void Z4UTYXA(unsigned short p1, string Nazv, mas_Rez_V &MS_REZ);
void ZAPUSYXA(unsigned short p1, unsigned short p2, string Nazv, mas_Vux_zna4 &MS_Vux_zna4);
void VTRATU(unsigned short i, mas_Dobu_mxt &MS_Dobu_MXT, mas_Vux_zna4 &MS_Vux_zna4,
mas_Vux_zna4 &MS_Vux_zna4_0);

// Глобальні змінні
int Dobu = 1;
int Vx = 0;
int R_7 = 0, D_1 = 0, P_1 = 0;
double Min_zn = 0, Min_zn1 = 0, Min_zn2 = 0;
double Max_zn = 0;
double Tr_Sun = 0, Zx_Sun = 0, Sx_Sun = 0;

```

```

double Prostoi_O = 0, Prostoi_pog_O = 0;
double Truv_pere1zdy = 0.0; // приклад

// Допоміжні функції
double RandomDouble() {
    return rand() / (double)RAND_MAX;
}

// Приклад CHAS_DOSTUG
void CHAS_DOSTUG(int i, double &Zm_zn) {
    // Тут логіка обчислення часу доступу
    Zm_zn = MS_obr1[0][i] + 1.0; // приклад
}

// Перевірка погоди
bool IsBadWeather(int day) {
    return (Pogoda_O[day] == 0 && Pogoda_O[day + 1] == 0);
}

// Основний цикл обробки
void ProcessFields() {
    while (true) {
        if (Vx == 0) {
            Min_zn = 365;
            for (int i = 0; i < 3; i++) {
                if (MS_obr1[0][i] != 0 && Min_zn >= MS_obr1[0][i])
                    Min_zn = MS_obr1[0][i];
            }
            Min_zn1 = Min_zn;
            Vx++;
        }

        // Сонячне освітлення
        Sx_Sun = 6.725 - 2.295 * sin(((Min_zn1 - 81) / 365.0) * 2 * M_PI);
        Zx_Sun = sin(((Min_zn1 - 81) / 365.0) * 2 * M_PI) * 3.33 + 18.88;
        Tr_Sun = Zx_Sun - 9;

        // Обробка погоди
        if (IsBadWeather(Dobu)) {
            Vub_pr = 0;
            Prostoi_pog_O += 1;
            Dobu++;
            continue;
        }

        // Приклад обчислення MS_Pr_agr1
        for (int d2 = 6; d2 <= 11; d2++) {
            MS_Pr_agr1[d2] = MS_Pr_agr[d2] * Tr_Sun * MS_K4as_zm[d2];
        }

        // Робота по полю
        for (int i = 2; i <= 7; i++) {
            if (Wljax[i][0] != 0) {
                Wljax[i][0] -= MS_Pr_agr1[i];
                if (Wljax[i][0] < 0) {
                    double Zaluwk_4as = abs(Wljax[i][0]) / (MS_Pr_agr[i + 4] * MS_K4as_zm[i]);
                    Wljax[i][0] = 0;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        if (Zaluwk_4as > Truv_pere1zdy) {
            for (int j = 2; j <= 7; j++)
                MS_Pr_agr1[j] = (Zaluwk_4as - Truv_pere1zdy) * MS_Pr_agr[j + 4] * MS_K4as_zm[j];
        }
    }
}

// Обробка завершення
if (Min_zn1 + 1 > 360) { // приклад умови завершення
    for (int i = 4; i <= MAX_FIELDS; i++)
        MS_Vux_zna4[i] = MS_Vux_zna4_1[i];
    break;
}

Dobu++;
}
}

```

```

int main() {
    srand(time(0));
    mas_Str_pl MS_Str_pl(11, vector<double>(16));
    mas_Str_pl MS_obr1(11, vector<double>(16));
    mas_Pr_agr MS_Pr_agr(11);
    mas_Vux_zna4 MS_Vux_zna4(16, 0);
    mas_Vux_zna4 MS_Vux_zna4_0(16, 0);
    mas_Vux_zna4 MS_Vux_zna4_1(16, 0);
    mas_Rez_V MS_REZ(p, vector<float>(17));
    mas_Temper RowOfTemper(pO);
    mas_Osin_D Pogoda_O(pO);
    masPND PD_O(iO), ND_O(iO), Dow4_O(iO), Pids_O(iO);

    // Приклад читання даних із файлу
    ifstream infile("Str_pl.txt");
    for(int i=0;i<11;i++) {
        for(int j=0;j<16;j++) {
            infile >> MS_Str_pl[i][j];
        }
    }
    infile.close();

    // Ініціалізація масивів
    for(int i=0;i<11;i++) {
        for(int j=0;j<16;j++) MS_obr1[i][j] = 0;
    }

    // Виклики процедур
    VEIB(3.243, 1.234, 1, 1, 12, iO, ND_O);
    VEIB(34.876, 1.313, 1, 1, 108, iO, PD_O);
    RYAD_POGODU(pO, PD_O, ND_O, Pogoda_O);
    GENA(0,28.734,47.683,-163.09,215.59,-149.67,42.993,0,23,iO,Dow4_O);
    GENA(-0.899,76.801,-233.66,434.51,-409.02,151.51,3.8498,0,23,iO,Pids_O);

    int MS_obr1[11][16] = {0};
    int Burjany[11][16] = {0};
    int Truv_Ochikyv[11][16] = {0};
}

```

```

int MS_Vux_zna4[16] = {0};
int MS_Vux_zna4_0[16] = {0};
int MS_Vux_zna4_1[16] = {0};
int MS_NePos[16] = {0};
int MS_Posiv[16] = {0};
int MS_Dobu_MXT[16] = {0};
int MS_FaOb[16] = {0};
int TruvOchik_OpKylt[16] = {0};
int Wljax1[8][1] = {0};
int Wljax[8][1] = {0};
int MS_Term_zObr[13] = {0};
int MS_obr[11][16] = {0};
int MS_Poper[16] = {0};

int Zav_Fiz_st = 0, Chas_siv_O = 0, Chas_siv_Rip = 0;
double RowOfTemper[180] = {0};

// Заповнення масивів нулями
for (int i = 0; i < 11; i++) {
    for (int j = 0; j < 16; j++) {
        MS_obr1[i][j] = 0;
        if (i < 2) Burjany[i][j] = 0;
        if (j < 3) Truv_Ochikyv[i][j] = 0;
    }
}

for (int i = 0; i < 16; i++) {
    MS_Vux_zna4[i] = 0;
    MS_Vux_zna4_0[i] = 0;
    MS_Vux_zna4_1[i] = 0;
    MS_NePos[i] = 0;
    MS_Posiv[i] = 0;
    MS_Dobu_MXT[i] = 0;
    MS_FaOb[i] = 0;
    TruvOchik_OpKylt[i] = 0;
}

for (int j = 0; j < 8; j++) {
    Wljax1[j][0] = 0;
    Wljax[j][0] = 0;
}

for (int j = 0; j < 13; j++) {
    if (MS_Term_zObr[j] != 0) MS_obr1[0][j + 3] = MS_Term_zObr[j];
}

for (int i = 6; i <= 10; i++) {
    for (int j = 14; j <= 16; j++) {
        MS_obr1[i - 5][j - 14] = MS_obr[i - 1][j - 1];
    }
}

for (int i = 6; i <= 10; i++) {
    for (int j = 1; j <= 13; j++) {
        MS_obr1[i - 5][j + 2] = MS_obr[i - 1][j - 1];
    }
}

```

```

// Ряд середньодобових температур
for (int i = 180; i <= 359; i++) {
    RowOfTemper[i - 180] = (-0.00000005865 * pow(i, 4) + 0.00008 * pow(i, 3) - 0.0396 * pow(i, 2) + 8.2531
* i - 591.52)
    - (-12.4 + 13.431 * exp((1 / 3.234) * log(-log((double)rand() / RAND_MAX))));
}

// Пошук Zav_Fiz_st
for (int i = 0; i < 180; i++) {
    if (RowOfTemper[i] <= 4 && RowOfTemper[i + 1] <= 4 &&
        RowOfTemper[i + 2] <= 4 && RowOfTemper[i + 3] <= 4 && RowOfTemper[i + 4] <= 4) {
        Zav_Fiz_st = i + 180 - 1;
        break;
    }
}

// Сумарний ефективний температурний фонд
int j = 0;
do {
    double Sum_TempPov = 0;
    for (int i = 180 + j; i <= Zav_Fiz_st + 179; i++) {
        if (RowOfTemper[i - 180] > 5) Sum_TempPov += RowOfTemper[i - 180] - 5;
    }
    if (Sum_TempPov <= 310) Chas_siv_O = 179 + j - 5;
    if (Sum_TempPov <= 660 && Chas_siv_Rip == 0) Chas_siv_Rip = 179 + j - 5;
    j++;
} while (Chas_siv_O == 0);

MS_obr1[10][0] = Chas_siv_Rip;
MS_obr1[10][1] = Chas_siv_O;
MS_obr1[10][2] = Chas_siv_O - 5;

// Визначення MS_Vux_zna4_1
for (int i = 0; i < 16; i++) {
    for (int j = 0; j < 6; j++) {
        if (MS_obr1[j][i] != 0) {
            MS_Vux_zna4_1[i] = MS_obr1[j][i];
            break;
        }
    }
}

for (int i = 0; i < 16; i++) {
    if (MS_obr1[0][i] > 0) MS_obr1[0][i] += 3;
}

.....

return 0;
}

```

Додаток В.

Структура одиничного технологічного комплексу ґрунтообробно-посівних машин сформованого на базі трактора кл. 3 (ХТЗ-17021) та головні технічні характеристики машинних агрегатів

№ п/п	Технологічна операція	Марка трактора	Марка с.г. машини	Вартість машини, \$	Продуктивність агрегату за 1 годину змінного часу, га/год	Витрата пального, кг/га
1	2	3	4	5	6	7
1	Лущення	ХТЗ-17021	ЛДГ-15 (10-14см)	5922	4,43	5,0
2	Оранка	ХТЗ-17021	ПЛН-5-35 (23-25см)	774	1,10	20,5
3	Культивация (знищення бур'янів)	ХТЗ-17021	С-11У+ ЗКПС-4ПП (5-8см)	1121 941	5,90	3,3
4	Передпосівний обробіток та сівба	ХТЗ-17021	АПП-6 (2-6см)	25200	3,15	11,5

Таблиця В.1 – Структура комплексу машин для ґрунтообробно-посівних робіт (за традиційною технологією)

№ п/п	Назва робіт	Площа, га	Агротехн. терміни	Агротехн. тривалість	Коеф. змінності	Марка трактора	Марка машини	К-ть працівн., чол.	К-ть доп. працівн., чол.
1	Лущення стерні дисковими луцильниками	140 га	20.07	3	1.5	ХТЗ-17021	ЛДГ-10	1	0
2	Оранка на глибину 20-22 см	140 га	5.09	10	1.5	ХТЗ-17021	ПЛН-5-35	1	0
3	Культивация	140 га	5.04	5	1.5	ХТЗ-17021	С-11У+ ЗКПС-4ПП	1	0
4	Передпосівний обробіток ґрунту та сівба	140 га	10.04	5	1.5	ХТЗ-17021	АПП-6	1	0

Додаток Г.

Опрацювання результатів моделювання на підставі методів математичної статистики

Таблиця Г.1 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу сумарних обсягів несвоєчасно посіяних площ озимих культур (Вейбулла-Гніденка) (для площі – 140 га та структури культур - ОР – 60,77%, ОП – 30,77%, ОЖ – 8,46%)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i * P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 * P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	0.5	90.9	46	159	0.335	15.286	5042.682	0.004	0.358
2	90.9	181.2	136	138	0.291	39.527	304.034	0.003	0.302
3	181.2	271.6	226	101	0.213	48.149	716.252	0.002	0.186
4	271.6	362.0	317	33	0.069	22.011	1530.552	0.001	0.098
5	362.0	452.4	407	24	0.051	20.575	2881.666	0.001	0.047
6	452.4	542.8	498	14	0.029	14.666	3194.223	0.000	0.021
7	542.8	633.2	588	3	0.006	3.714	1111.945	0.000	0.009
8	633.2	723.6	678	2	0.004	2.856	1095.077	0.000	0.003
9	723.6	814.0	769	1	0.002	1.618	758.829	0.000	0.001
				475	1	168.403	16635.260		1.026

Закон розподілу - *Вейбулла*

Математичне сподівання	M	168.403	Число ступенів вільності	r	5
Дисперсія	D	16635.260	Рівень значимості	α	0.1
Серед.-квадр. відхилення	σ	128.978	Хі-квадрат розрахункове	X^2	9.176
Коефіцієнт варіації	v	0.768	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	9.236
Параметр мірила	a	182.226	Коефіцієнт	Kb	0.922
Параметр форми	b	1.318	Коефіцієнт	Cb	0.708
			Коефіцієнт	b/a	0.007

