

**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: “ Інформаційна система моделювання даних для
оцінення ризику виробничих процесів”**

Виконав: ст. гр. Іт-62

Спеціальності 126 – «Інформаційні системи та
технології»

(шифр і назва)

Яненко Віктор Олександрович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Луб П.М.
(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

Яненку Віктору Олександровичу

1. Тема роботи: «Інформаційна система моделювання даних для оцінення ризику виробничих процесів»

Керівник роботи Луб Павло Миронович, к.т.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 агрометеорологічних показників осіннього періоду. 2. Довідкова література.

3. Методика побудови моделей та проектування ІС. 4. Методика комп'ютерних експериментів. 5. Методики математичної статистики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз використання інформаційних технологій в агробізнесі
2. Теоретичні передумови побудови моделей систем
3. Методика опрацювання початкових даних та побудова програмного коду моделі

4. Практичне використання інформаційної системи для оцінення ризику виробничих процесів

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
Висновки.

Бібліографічний список.

Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу: 1 та 2 – Тема, мета, завдання роботи; 3 – Аналіз інтеграції ІТ у виробництво; 4 – Цифрова трансформація агробізнесу; 5 – Аналіз головних понять управління ризиками; 6 – Головні поняття моделювання даних; 7 – Вимоги до ІС; 8 – Блок-схема алгоритму моделі; 9 – Методика моделювання та опрацювання результатів; 10 – Результати визначення показників фонду часу на виконання робіт; 11 – Опрацювання результатів моделювання та оцінення ризику; 12 – Загальні висновки.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 4	Луб П.М., 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 дипломного проекту	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 _____ Яненко В.О.
(підпис)

Керівник роботи _____ Луб П.М.
(підпис)

УДК: 004.94:658.5:519.876.5

Кваліфікаційна робота: 69 с. текст. част., 15 рис., 4 табл., 12 слайдів, 20 джерел.

Інформаційна система моделювання даних для оцінення ризику виробничих процесів. Яненко В.О. Кафедра ІТ. – Дубляни, Львівський НУВМБ, 2025.

У роботі проаналізовано особливості використання інформаційних технологій в агробізнесі. Охарактеризовано ключові напрями цифрової трансформації агросектору, зокрема впровадження систем управління виробничими процесами, технологічного моніторингу та аналітичного моделювання ризиків.

Описано сутність моделювання даних, визначено його основні елементи – сутності, атрибути, відносини та метадані, а також розкрито прикладне значення цих понять у процесах побудови інформаційних систем аграрного спрямування. Розглянуто теоретичні передумови створення моделей систем, узагальнено етапи розроблення моделей та обґрунтовано вимоги до інформаційної системи моделювання фонду часу на виконання робіт у процесах збирання врожаю.

Використано методику опрацювання статистичних даних і побудови програмного коду моделі природно зумовленого фонду часу. Проаналізовано основні алгоритмічні принципи побудови програм, охарактеризовано засоби реалізації моделі з використанням мови програмування C#.

Отримано закономірності зміни природно сприятливого фонду часу для процесів збирання врожаю. Проведено кількісне оцінення ризику оптимального часу початку робіт.

Означено вимоги охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: інформаційна система, моделювання даних, ризик, комп'ютерні експерименти, фонд часу, алгоритмічні програми, статистичні методи аналізу.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АГРОБІЗНЕСІ.....	9
1.1. Аналіз інтеграції ІТ у виробничі проекти агробізнесу.....	9
1.3. Ризики у проектах виробництва та управління ними.....	18
1.2. Головні поняття моделювання даних та їх прикладне значення...	15
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ.....	22
2.1. Теоретичні основи моделювання та етапи розробки моделі.....	22
2.2. Особливості прикладної сфери – виконання процесів збирання врожаю.....	25
2.3. Вимоги до ІС моделювання фонду часу на виконання робіт у процесах збирання врожаю.....	27
РОЗДІЛ 3	
МЕТОДИКА ОПРАЦЮВАННЯ ПОЧАТКОВИХ ДАНИХ ТА ПОБУДОВА ПРОГРАМНОГО КОДУ МОДЕЛІ	32
3.1. Алгоритмічні програми та мови для їх написання.....	32
3.2. Методика опрацювання статистичних даних та формування початкових даних моделювання.....	35
3.3. Побудова програмного коду моделі природно зумовленого фонду часу для процесів збирання врожаю.....	39
РОЗДІЛ 4.	
ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНЕННЯ РИЗИКУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ.....	44
4.1. Результати визначення показників природно сприятливого фонду часу на збирання врожаю.....	44
4.2. Кількісне оцінення ризику оптимального часу початку збирання врожаю.....	46
4.3. Опрацювання результатів моделювання та оцінення ризику виробничих процесів.....	49
РОЗДІЛ 5.	
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	55

5.1. Розробка логіко-імітаційної моделі виникнення травм і аварій.....	55
5.2. Планування заходів із покращення умов праці.....	57
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	58
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	59
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	61
ДОДАТКИ.....	63

ВСТУП

Розвиток аграрного сектору України останніми роками зазнав певного уповільнення через війну на сході України, що вплинула на логістику, інвестиції та доступ до сільськогосподарських ресурсів. Попри ці виклики, агросектор залишається однією з провідних галузей економіки та поступово відновлює темпи зростання завдяки впровадженню сучасних технологій.

Використання ІТ-сервісів стає ключовим чинником підвищення ефективності виробництва, оптимізації витрат і підвищення конкурентоспроможності. Сучасні цифрові рішення застосовуються у точному землеробстві, моніторингу стану посівів за допомогою дронів і супутникових даних, управлінні технікою через GPS-системи, прогнозуванні врожайності та аналізі погодних умов. Хмарні сервіси, аналітичні платформи та системи штучного інтелекту дозволяють аграрним підприємствам приймати обґрунтовані рішення на основі даних, підвищуючи продуктивність навіть в умовах нестабільності.

Моделювання даних є важливим інструментом для оцінення ризиків в аграрному секторі. Воно дозволяє на основі зібраних статистичних і виробничих даних прогнозувати можливі загрози, такі як коливання врожайності, зміни цін або вплив погодних чинників. Завдяки аналітичним моделям можна своєчасно виявити потенційні проблеми, оцінити їхню ймовірність та наслідки. Отримані результати допомагають керівникам приймати обґрунтовані управлінські рішення, спрямовані на зниження ризиків – наприклад, оптимізувати структуру посівів, скоригувати обсяги виробництва чи вдосконалити систему логістики тощо.

Відповідно до цього, мета роботи характеризується актуальністю.

Мета роботи – встановити закономірності ризику виробничих процесів збирання врожаю культур завдяки інформаційній системі моделювання даних що відтворюють розвиток агрометеорологічних умов осіннього періоду.

Завдання роботи: 1) проаналізувати сучасний стан використання ІТ в

агробізнесі; 2) розробити методичні засади побудови моделі природно зумовленого фонду часу для виробничих процесів з урахуванням агрометеорологічних чинників; 3) створити блок-схему алгоритму та алгоритмічну програму моделювання фонду часу для процесів збирання врожаю; 4) провести комп'ютерне моделювання та аналіз отриманих результатів, встановити закономірності ризику своєчасності робіт й оптимальних термінів їх виконання.

Об'єкт роботи – процеси моделювання даних у інформаційних системах, спрямовані на оцінення ризику виробничих процесів та підтримку прийняття рішень у сфері агробізнесу.

Предмет роботи – методи, алгоритмічні програми та програмні засоби, реалізовані мовою програмування C#, що забезпечують побудову, імітацію та аналіз моделей ризику на основі статистичних і агрометеорологічних даних в інформаційній системі.

Новизна отриманих результатів:

- удосконалено підхід до моделювання ризику виробничих процесів шляхом реалізації статистичної імітаційної моделі агрометеорологічних умов в алгоритмічній програмі мови C#;
- розроблено інформаційну систему моделювання даних, яка враховує стохастичний характер природно зумовленого фонду часу для виконання робіт;
- побудовано алгоритм оцінення ризику відхилення тривалості виробничих процесів від планових термінів, що дозволяє кількісно визначати ймовірність виникнення втрат вирощеного врожаю.

Практичне значення роботи: створена алгоритмічна програма на основі C# може бути використана для прогнозування та аналізу ризиків у процесах збирання врожаю та інших агровиробничих операціях.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АГРОБІЗНЕСІ

1.1. Аналіз інтеграції ІТ у виробничі проекти агробізнесу

Коли ІТ-технології лише з'явилися в Україні, аграрії замислилися над спрощенням процесів, але йшлося про елементарні рішення, наприклад, запровадження таблиць Excel для обліку та звітності. На початку нульових компанії почали застосовувати програму 1С для бухгалтерського обліку, телеметричні модулі диспетчерських служб та системи контролю використання техніки. Як правило, невеликі агрокомпанії на цьому зупинялися – деякі продовжують працювати так і сьогодні.

Та великі агрохолдинги зупинитися на цьому не могли, все гостріше відчуваючи потребу в діджиталізації бізнес-процесів, автоматизації планування й управління та інтеграції ІТ-технологій в усі сфери діяльності підприємства. Що найперше потребувало уваги – інтеграція рішень та оперативна управлінська звітність. Потрібно було зробити так, аби різні відділи одного холдингу не покладалися у своїх рішеннях на різні вхідні дані та не спричиняли затримок, зриву планів і фінансових втрат.

Ці технології використовуються сільськогосподарськими підприємствами для посилення цифрової трансформації аграрного виробництва. Серед них виділяються п'ять основних груп (рис. 1.1).

Сьогодні, такі ІТ-рішення значно розвинутіші і дають змогу комплексно вирішувати прикладні завдання й надавати відповідні сервіси. Одним із таких прикладів є багатомодульна платформа AgriChain – це комплексна система ІТ-рішень, які оптимізують роботу всіх напрямів діяльності підприємства (рис. 1.2).

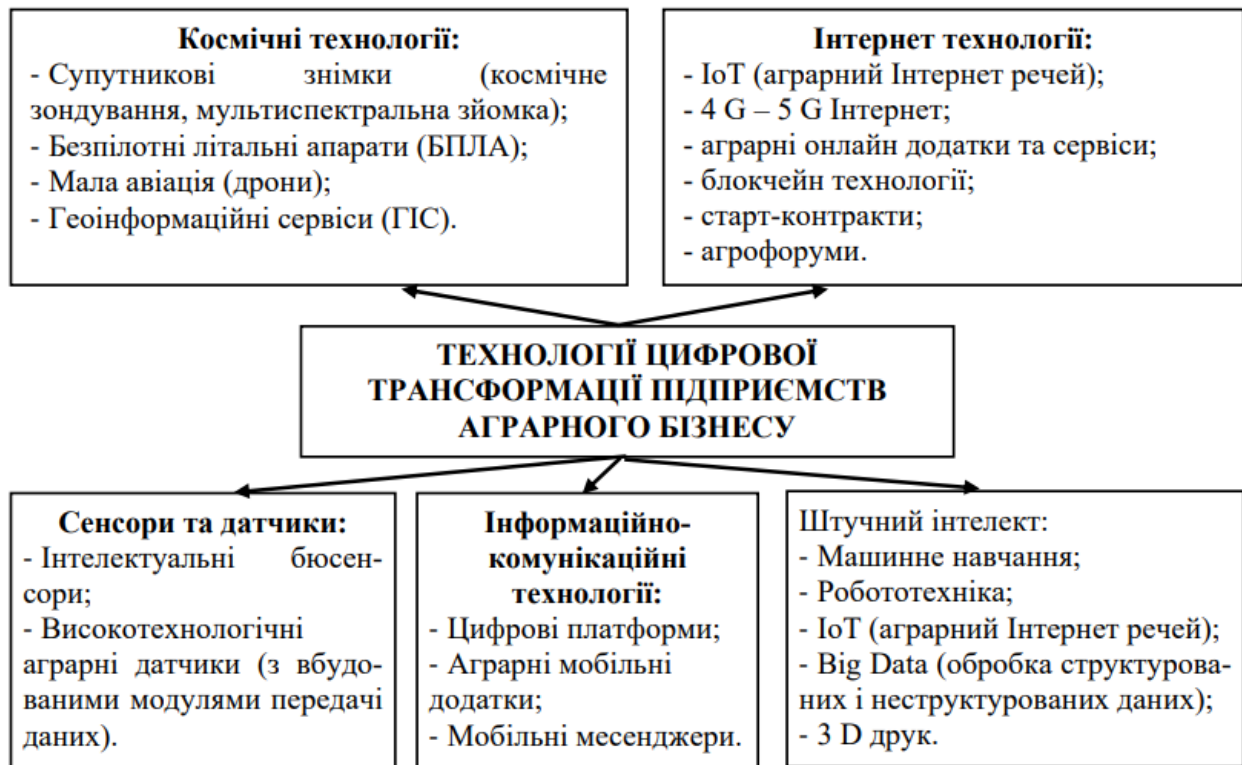


Рисунок 1.1 – Сучасні технології цифрової трансформації аграрного бізнесу [2]

Для прикладу, відомий сервіс AgriChain має сформовану архітектуру із шести окремих програмних комплексів [16]: 1) *AgriChain Land* – управління земельним банком, орендними відносинами та кадастровими даними; 2) *AgriChain Farm* – планування, контроль і аналіз агровиробничих процесів; 3) *AgriChain Scout* – моніторинг стану посівів і аналіз польових даних; 4) *AgriChain Barn* – управління складськими процесами та внутрішньою логістикою підприємства; 5) *AgriChain Logistics* – оптимізація зовнішньої логістики товарно-матеріальних цінностей і готової продукції; 6) *AgriChain Kit* – моделювання та управління бізнес-процесами з метою підвищення ефективності та прозорості управління.

Частина web-додатків платформи створено за принципами Domain-driven design (DDD), основною технологією для серверної складової є ASP.NET Core MVC, для браузерної – React (компонентно-орієнтована архітектура з використанням сучасних підходів context api і hooks).



Рисунок 1.2 – Концепція AgriChain передбачає [16]

Іншу частину розроблено на основі мікросервісної event driven архітектури, де базою для серверної частини є Netflix OSS, Spring, Apache Kafka, для браузерної – Angular. Мобільні додатки створені на базі Android Framework.



Рисунок 1.3 – Архітектура єдиного порталу з управління агробізнесом [1, 16]

У контексті цифрової трансформації, важливо розуміти, що це не просто технологічний апгрейд, але стратегічний процес, що передбачає

переосмислення всієї структури та діяльності організації. Впровадження інноваційних технологій часто викликає потребу в кардинальних змінах в управлінських практиках, взаємодії з персоналом та способах взаємодії з клієнтами. Цифрова трансформація також відзначається переформуванням корпоративної культури, щоб стимулювати інновації та гнучкість відповідно до нових вимог цифрового світу. Організації, які успішно впроваджують цифрові стратегії, часто стають більш ільними та відкритими до змін.

Україна, займаючи більше 65% своєї території чорноземами, безсумнівно, є аграрною державою. Розуміючи необхідність цифрового регулювання аграрних відносин, важливо враховувати, що цей процес в аграрному секторі має свої власні особливості. Цифрова трансформація сільськогосподарського виробництва розглядається як ключовий напрямок переорієнтації та модернізації національної економіки. Основною метою цифрової трансформації агробізнесу є зменшення витрат на виробництво сільськогосподарської продукції, підвищення її якості та конкурентоспроможності через ефективне використання ресурсів та впровадження науково обґрунтованих підходів. Це включає в себе впровадження сучасних технологій, використання цифрових рішень для оптимізації виробничих процесів та підвищення рівня управління агробізнесом.

Цифрова трансформація аграрного бізнесу стає неодмінною складовою сучасного корпоративного управління, визначаючи нові тенденції і стратегії в епоху технологічних інновацій. До основних ключових аспектів цього процесу відносять [2, 3]:

- Штучний інтелект та машинне навчання;
- Інтернет речей (IoT);
- Цифрова екосистема;
- Розширена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR);
- Блокчейн та криптовалюти;
- Цифрова безпека та кіберзахист;

- Роботизація та автоматизація процесів;
- Зелена цифрова трансформація;

Аналіз веб-сторінок компаній-лідерів агро-бізнесу України засвідчив, що їхня структура має низку спільних ознак, але водночас відрізняється за рубрикацією та змістовними акцентами. Для сайтів більшості агрокорпорацій, які спеціалізують на міжнародній торгівлі агропродовольчими товарами, ключовим розділом є «Закупівлі», де публікуються оголошення про закупівлю сільськогосподарської продукції у різних категорій виробників, ціни, умови зберігання в елеваторах, а також транспортні, логістичні та інші супутні послуги (експертиза і сертифікація, митне оформлення, страхування тощо). Поширеними є також рубрики «Партнерам», «Торгівля», «Дистрибуція», у розділах яких стейкхолдерам надається інформація про відкриті тендери, умови експорту продукції, дистрибуцію засобів захисту рослин, добрив, техніки, продаж різних видів активів.

Таблиця 1.1 – Показники інтенсивності відвідування веб-сайтів провідних агрокомпаній України [3]

Компанія	Показники				
	Середня кількість відвідувачів за місяць	Кількість переглянутих сторінок	Показник відмов, %	Середній час перебування на сайті, год.	Частка трафіку підприємств України, %
МХП	102405	3,22	38,54	00:02:58	87,33
Kernel	58790	5,98	31,84	00:02:04	90,46
Nibulon / Нібулон	29297	4,15	37,74	00:02:26	92,04
LNZ Group	17972	1,62	53,65	00:00:34	69,52
Контінентал Фармерз Груп	6263	3,10	37,34	00:01:55	96,57
Agroprosperis	4521	2,44	50,03	00:01:32	50,03
Astarta-Kyiv	3554	1,86	44,66	00:00:29	81,01
IMK	3101	2,28	44,05	00:00:56	89,15
Епіцентр Агро	2520	1,59	37,18	00:00:49	100,0
Ukrlandfarming PLC	1925	2,48	60,09	00:00:50	100,0

Окремі компанії, зокрема «Миронівський хлібопродукт» через сайт здійснюють брендове представлення різних торгових марок готових харчових

продуктів власного виробництва (загалом – 15). Це один з чинників абсолютного лідерства «МХП» за показником середньомісячної кількості відвідувачів сайту – понад 100 тис.(з яких понад 32 тис. – це нові відвідувачі) та тривалістю перебування на сайті [3]. У трійку лідерів за рівнем інтенсивності використання веб-сайтів для комерційних цілей також входять компанії «Kernel» та «Нібулон». Інші представники агробізнесу мають значно нижчі показники (табл. 1.1).

Окремі аналітики зазначають, що сьогодні ринок ІТ-продуктів для потреб агробізнесу активно розвивається, що відкриває широкі можливості для цифровізації управління комерційними процесами за усіма основними напрямками (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Основні напрями цифровізації управління комерційною діяльністю підприємств агробізнесу [3]

Напрямок цифровізації	Основні заходи
Автоматизація маркетингу, закупівельних та збутових процесів	– використання ERP-систем для планування ресурсів і закупівель, CRM-систем для управління відносинами з клієнтами; – створення корпоративних тендерних майданчиків; – розвиток різних форм e-commerce та онлайн-каналів збуту агропродукції (власні веб-сайти, інтернет-магазини); – застосування інструментів digital-маркетингу (таргетована реклама, SEO, SMM).
Цифрова аналітика і прогнозування	– використання технологій BigData та AI для аналізу ринкових тенденцій, прогнозування цін, попиту і поведінки споживачів; – використання інструментів Power BI для аналізу ефективності комерційних операцій; планування і прогнозування.
Управління логістикою та ланцюгами поставок	– використання систем ERP і SCM для планування закупівель і поставок, TMS – для управління транспортом, WMS – для управління запасами і складським обігом; – використання блокчейну для забезпечення прозорості закупівель та відстеження походження продукції.
Збут через електронні торговельні майданчики	– використання електронних платформ для прямої взаємодії виробників і покупців (маркетплейси, інтернет-біржі та онлайн аукціони для продажу сільськогосподарської продукції); – B2B-портали для міжнародної торгівлі агропродукцією.
Автоматизація обліку та фінансового менеджменту	– FinTech-рішення для управління грошовими потоками; впровадження електронних платіжних систем; – агрофінтех (AgriFinTech) для кредитування фермерів через онлайн-платформи.
Інтеграція систем управління виробництвом і збутом	– формування єдиної цифрової екосистеми «від поля до споживача»; – поєднання ERP, CRM та BI-систем у єдиному комплексному рішенні;

Отже, сучасним представникам агробізнесу необхідно налагоджувати активну співпрацю із ІТ-компаніями у контексті адаптації універсальних ІТ-

рішень під визначені цілі та параметри діяльності, розробки модульних і хмарних рішень (SaaS) зі спрощеним (базовим) функціоналом, а також індивідуального програмного забезпечення, що інтегрується у конкретні бізнес-моделі. Це дозволить підприємствам з обмеженими ресурсами поступово впроваджувати цифрові інструменти без значних стартових витрат.

1.2. Головні поняття моделювання даних та їх прикладне значення

Моделювання даних – це процес створення узагальненого опису (моделі) структури даних, їхніх властивостей та взаємозв'язків між ними з метою ефективного зберігання, обробки й використання інформації. Воно дозволяє у зрозумілій формі відобразити, як організовані дані у певній системі чи предметній області, щоб забезпечити їх логічність, цілісність і доступність. Загалом моделювання даних застосовується для планування інформаційних систем, управління процесами, аналітики або наукових досліджень. Його результатом є модель – концептуальна, логічна чи фізична, – яка показує, як дані взаємодіють між собою та як вони можуть бути реалізовані у базах даних або інформаційних середовищах.

Процес моделювання даних охоплює кілька послідовних етапів. Спочатку здійснюється аналіз предметної області з метою визначення сутностей і зв'язків між ними. Далі формується концептуальна модель, що описує інформаційні об'єкти без технічних деталей. Наступним кроком є створення логічної моделі, де уточнюються атрибути, типи зв'язків, обмеження цілісності та правила взаємодії. Завершальним етапом виступає побудова фізичної моделі, яка визначає способи реалізації даних у конкретній системі керування базами даних, враховуючи аспекти продуктивності, індексування, безпеки та оптимізації запитів.

У практичній діяльності застосовуються різні методи та нотації для побудови моделей, зокрема ERD (Entity–Relationship Diagram), UML (Unified

Modeling Language) або IDEF1X. Для їх реалізації використовуються програмні засоби, такі як *ERwin Data Modeler*, *PowerDesigner*, *Visual Paradigm*, *Lucidchart* чи *Microsoft Visio*. Використання таких інструментів дає змогу автоматизувати процес створення моделей, перевіряти їх на узгодженість і спрощувати подальше впровадження у бази даних.

Головні завдання моделювання даних:

- 1) *структуризація інформації* – упорядкування даних про ресурси, персонал, обладнання, терміни та фінанси;
- 2) *аналіз ризиків* – виявлення потенційних відхилень від плану, оцінка їхнього впливу на строки та собівартість;
- 3) *планування і прогнозування* – створення моделей сценаріїв розвитку проекту для вибору оптимальної стратегії;
- 4) *підтримка управлінських рішень* – забезпечення доступу до актуальної та аналітично обробленої інформації;
- 5) *оптимізація ресурсів* – виявлення надлишкових або недостатніх витрат ресурсів і пропозиція шляхів їх перерозподілу.

Моделювання даних є важливим інструментом для впорядкування інформації, зменшення дублювання та підвищення точності, що сприяє прийняттю ефективних рішень на основі достовірних даних. У сучасних умовах воно тісно пов'язане з концепцією управління якістю даних (*Data Governance*), яка передбачає підтримання актуальності, узгодженості й безпеки інформації в межах організації. Саме модель даних стає основою для забезпечення цілісності інформаційних потоків між підрозділами підприємства та підтримує єдині стандарти зберігання й обробки даних.

Таким чином, моделювання даних у сфері управління виробничими проектами – це процес створення логічної та структурної моделі інформації, яка відображає взаємозв'язки між ресурсами, процесами, ризиками, витратами та результатами виробництва. Така модель дозволяє системно аналізувати потоки даних, прогнозувати наслідки управлінських рішень і підвищувати ефективність планування виробничих процесів. Головні завдання моделювання

даних полягають у структуризації інформації, аналізі ризиків, плануванні й прогнозуванні, підтримці управлінських рішень і оптимізації використання ресурсів.

Особливості реалізації моделювання даних полягають у використанні спеціалізованих програмних засобів, таких як ERP-, BI-системи та системи управління проєктами, що забезпечують комплексну роботу з інформацією. Важливою складовою є інтеграція різних джерел даних – фінансових, технологічних, логістичних і кадрових – для створення цілісної картини діяльності підприємства. Моделі повинні відображати як поточний стан виробничих процесів, так і прогнозовані зміни, що дає змогу ефективно планувати та реагувати на ризики. У процесі реалізації застосовуються методи аналітики, машинного навчання та візуалізації, які допомагають виявляти закономірності та тенденції в даних.

Сучасні тенденції моделювання даних орієнтовані на інтеграцію з технологіями великих даних (*Big Data*), використання семантичних моделей, графових баз даних та побудову цифрових двійників підприємств (*Digital Twins*). Це дозволяє перейти від статичного відображення структури інформації до динамічного моделювання поведінки системи в реальному часі, що значно розширює можливості для аналітики, прогнозування та стратегічного управління.

Існують три різних типи моделей даних, що виробляються протягом переходу від вимог до дійсної бази даних для використання в інформаційній системі. У процесі переходу від етапу формування вимог до створення реальної бази даних, яка функціонуватиме в інформаційній системі, розробляють три основні типи моделей даних. Спочатку вимоги до інформації формалізуються у вигляді концептуальної моделі даних, що є набором описів сутностей і зв'язків без урахування технічних аспектів. Вона слугує основою для узгодження бачення структури даних між аналітиками та представниками бізнесу.

Далі концептуальна модель трансформується у логічну модель даних, у якій деталізується структура інформації, визначаються атрибути, зв'язки та

обмеження, що можуть бути реалізовані у базі даних. У деяких випадках для однієї концептуальної моделі може бути створено кілька логічних моделей, залежно від вимог до різних підсистем або типів сховищ даних.

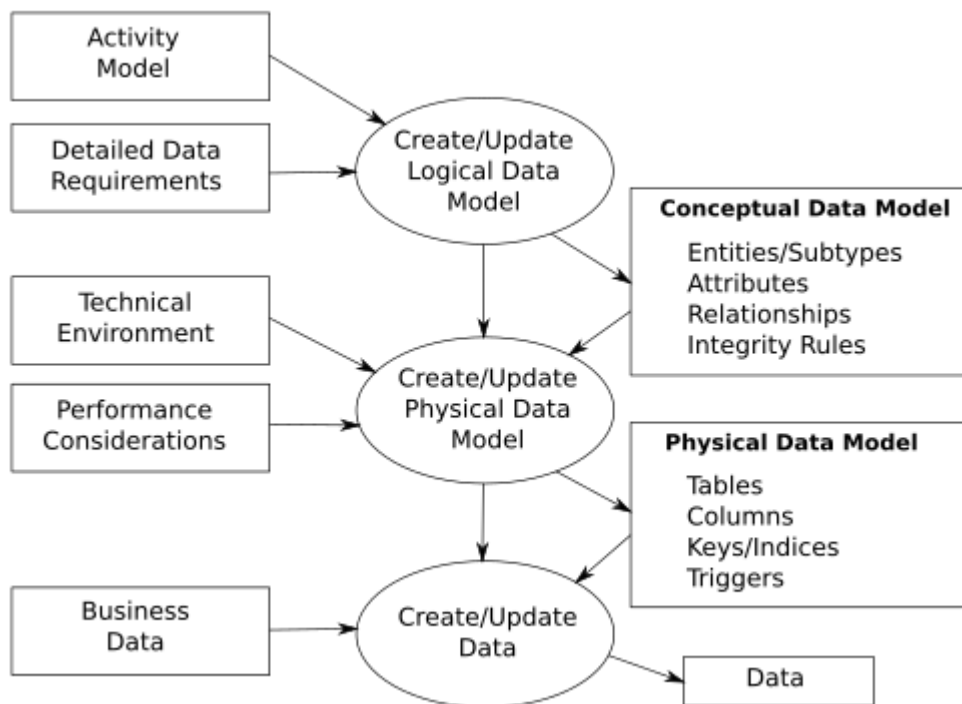


Рисунок 1.4 – Процес моделювання даних [8]

Завершальним етапом процесу моделювання даних є побудова фізичної моделі, яка ґрунтується на логічній та відображає фактичну реалізацію структури бази даних. На цьому етапі інформація організовується у таблиці, визначаються механізми доступу, оптимізації продуктивності та особливості зберігання даних. Таким чином, моделювання даних охоплює не лише визначення окремих елементів інформації, а й описує їхню внутрішню структуру, логічні взаємозв'язки та способи взаємодії в межах інформаційної системи.

1.3. Ризики у проектах виробництва та управління ними

Невизначеність, пов'язана з можливістю виникнення під час реалізації

проєкту несприятливих обставин, подій або наслідків, визначається як ризик. Ця категорія має комплексний економічний і управлінський характер, оскільки її оцінка супроводжується низкою суперечностей та багатфакторних залежностей [10].

Управління ризиками передбачає систематичний процес виявлення, оцінювання та реагування на ризикові події, що можуть вплинути на хід або результати проєкту. Одним із ключових елементів цього процесу є моніторинг ризиків, який охоплює постійний контроль за їх станом протягом усього життєвого циклу проєкту. Ефективний моніторинг дозволяє своєчасно збирати, аналізувати та використовувати інформацію про можливі загрози, що забезпечує ухвалення обґрунтованих управлінських рішень до моменту настання ризикових подій.

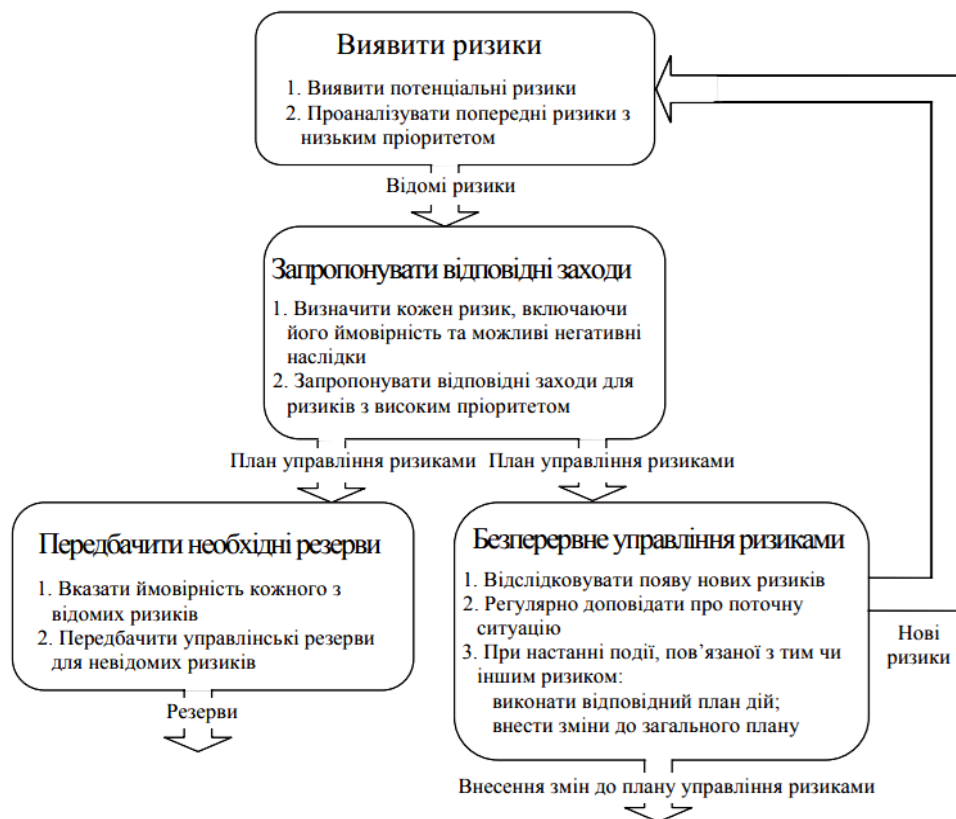


Рисунок 1.5 – Основні етапи управління ризиками виробничих систем

Найпоширенішим визначенням ризику є загроза або ймовірність виникнення несприятливих подій, що можуть призвести до невдач у діяльності, втрат ресурсів чи фінансових збитків. Ризик відображає небезпеку негативних

змін у зовнішньому або внутрішньому середовищі, які можуть вплинути на результати діяльності підприємства, а також визначає ті чинники, від яких доцільно застрахуватися для зниження можливих втрат.

Господарський ризик трактується як імовірність виникнення збитків у процесі здійснення будь-якої господарської діяльності — виробничої, комерційної, фінансової чи інноваційної. Він охоплює ризики, пов'язані з виготовленням і реалізацією продукції, проведенням товарно-грошових операцій, реалізацією інвестиційних або соціально-економічних програм.

Залежно від джерел і факторів впливу ризики поділяють на зовнішні, внутрішні та інші. До зовнішніх належать ті, що зумовлені змінами макроекономічного середовища, законодавства, ринкової кон'юнктури чи природних умов. Внутрішні ризики пов'язані з організацією виробництва, управлінням персоналом, фінансовими рішеннями або технологічними процесами. Інші ризики можуть мати комбінований або специфічний характер, зумовлений особливостями діяльності підприємства.

В залежності від причин виникнення ризики класифікують на такі групи: зовнішні ризики, внутрішні та інші ризики.

Зовнішні ризики поділяються, в свою чергу, на [10]:

1. *Непередбачувані зовнішні ризики:*

- заходи державного впливу у сфері оподаткування, ціноутворення,
- землекористування, фінансово-кредитній сфері, охорони навколишнього середовища, вплив органів експертизи та ін.;
- природні катастрофи (землетруси, повінь та інші природні катаклізми);
- кримінальні та економічні злочини (тероризм, саботаж, рекет та ін.);
- зовнішні ефекти: політичні (заборона на діяльність та ін.), економічні (зрив— постачання, банкрутство партнерів, клієнтів), екологічні (аварії), соціальні (страйки) і т. п.

2. *Передбачувані зовнішні ризики:*

- ринковий ризик (зміна цін, валютних курсів, вимог споживачів, кон'юнктури, конкуренція, інфляція та ін.);

– операційний ризик (відмова від цілей проекту, порушення правил експлуатації та– техніки безпеки, неможливість підтримки робочого стану обладнання, споруд і т. п.).

Внутрішні ризики поділяються на:

1. *Внутрішні організаційні ризики*, а саме:

- зриви робіт через нестачі робочої сили, матеріалів, затримки постачань, помилок у – плануванні та проектуванні, незадовільного оперативного управління, зміна раніше узгоджених вимог та поява додаткових вимог з боку замовників та партнерів та ін.;

- перевитрати, що виникли внаслідок: зриву планів робіт проекту, низької – кваліфікації розробників проекту, помилок у складанні кошторисів та бюджетів, неефективної стратегії постачання та збуту, виявлення претензій з боку партнерів, постачальників та споживачів.

2. *Внутрішні технічні ризики*:

- зміна технології виконання робіт, помилкові технологічні рішення, помилки в – проектній документації, невідповідність проектним стандартам, поломки техніки тощо.

До **інших ризиків** відносять транспортні, митні інциденти, ризики, пов'язані зі здоров'ям людей, пошкодженням майна, та правові, які виникають при придбанні ліцензій, патентів, авторських прав та ін.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ

2.1. Теоретичні основи моделювання та етапи розробки моделі

Відповідно до загальної теорії систем [10, 20], моделювання підлягає певним постулатам та передбачає виконання виокремлених етапів.

Зокрема, *моделювання* – це заміщення одного об'єкта, (оригіналу) іншим (моделлю) і фіксація або вивчення властивостей оригіналу на підставі дослідження властивостей моделі. Заміщення здійснюється з метою спрощення, здешевлення, прискорення фіксації або вивчення властивостей оригіналу.

У загальному випадку об'єктом-оригіналом може бути будь-яка природна або штучна, реальна або уявна система. Вона має деяку множину параметрів S_0 і характеризується певними властивостями. Кількісною мірою властивостей системи служить множина характеристик Y_0 . Система виявляє свої властивості внаслідок дії зовнішніх впливів X .

Множина параметрів системи і їх значень відображає її внутрішній зміст - структуру і принципи функціонування або існування. Набір і значення параметрів виділяють систему серед інших систем. Характеристики системи - це є здебільшого її зовнішні ознаки, які важливі для взаємодії з іншими системами. Характеристики відображають міру взаємозв'язку між системами.

Характеристики системи знаходяться в функціональній залежності від її параметрів. Очевидно, що кожна характеристика системи $y_0 \in Y_0$ визначається здебільшого або повністю обмеженою підмножиною параметрів $\{S_{ok}\} \subset S_0$. Інші параметри не впливають або практично не впливають на значення даної характеристики системи. Дослідника цікавлять, зазвичай, тільки деякі характеристики системи $\{y_{ok}\} \subset Y_0$, що досліджуються за конкретних зовнішніх впливів на неї $\{x_{on}\} \subset X$ [10, 20].

Модель – це також система зі своїми множинами параметрів S_m і

характеристик Y_m . Оригінал і модель схожі за одними параметрами і різні за іншими. Заміщення одного об'єкта іншим правомірне, якщо характеристики оригіналу і моделі визначаються однотипними підмножинами параметрів і характеризується однаковою залежністю від цих параметрів. За однакових зовнішніх впливів $\{x_{on}\}$ на певному часовому інтервалі T для оригіналу і моделі характерні залежності [10, 20]:

$$y_{0k} = f(\{s_{oi}\}, \{x_{on}\}, T); \quad (2.1)$$

$$y_{mk} = f(\{s_{mi}\}, \{x_{mn}\}, T_m), \quad (2.2)$$

де $y_{mk} - k$ - характеристика моделі; x_{mn} - зовнішній вплив на модель; T_m - модельний час, тобто час, продовж якого на модель проявляються зовнішні впливи $\{x_{mn}\} \subset X$ і вимірюються характеристики $\{y_{mk}\} \subset Y_m$.

Теорія моделювання являє собою взаємопов'язану сукупність положень, визначень, методів і засобів створення і дослідження моделей. Ці положення, визначення, методи і засоби, як і самі моделі, є предметом теорії моделювання.

Головне завдання теорії моделювання полягає в тому, щоб озброїти дослідників методикою створення таких моделей, які досить точно і повно фіксують властивості оригіналів, простіше або швидше піддаються дослідженню і уможливлують перенесення його результатів на оригінали.

З позиції галузі ІТ, модель даних (*data model*) описує сутності, класи або об'єкти даних, що мають відношення до предметної області, атрибути, які використовуються для їх опису, та зв'язки між ними, щоб забезпечити загальний набір семантики для аналізу та реалізації.

Модель даних (*data model*) зазвичай має форму діаграми, яка супроводжується текстовим описом. Вона візуально представляє елементи, важливі для бізнесу (наприклад, люди, місця, речі та бізнес-транзакції), атрибути, пов'язані з цими елементами, та важливі взаємозв'язки між ними.

Модель даних часто використовуються для з'ясування та аналізу вимог і проектування, а також для підтримки впровадження та безперервного вдосконалення.

Існує кілька варіацій моделей даних [20]:

Концептуальна модель даних (*Conceptual data model*): не залежить від будь-якого рішення або технології і може бути використана для представлення того, як бізнес сприймає свою інформацію. Вона може бути використана для створення узгодженого словника, що описує бізнес-інформацію та взаємозв'язки всередині цієї інформації.

Логічна модель даних (*Logical data model*): абстракція концептуальної моделі даних, яка включає правила нормалізації для формального управління цілісністю даних і зв'язків. Вона пов'язана з проектуванням рішення.

Фізична модель даних (*Physical data model*): використовується експертами предметної області для опису того, як фізично організована база даних. Вона вирішує такі проблеми, як продуктивність, паралельність і безпека.

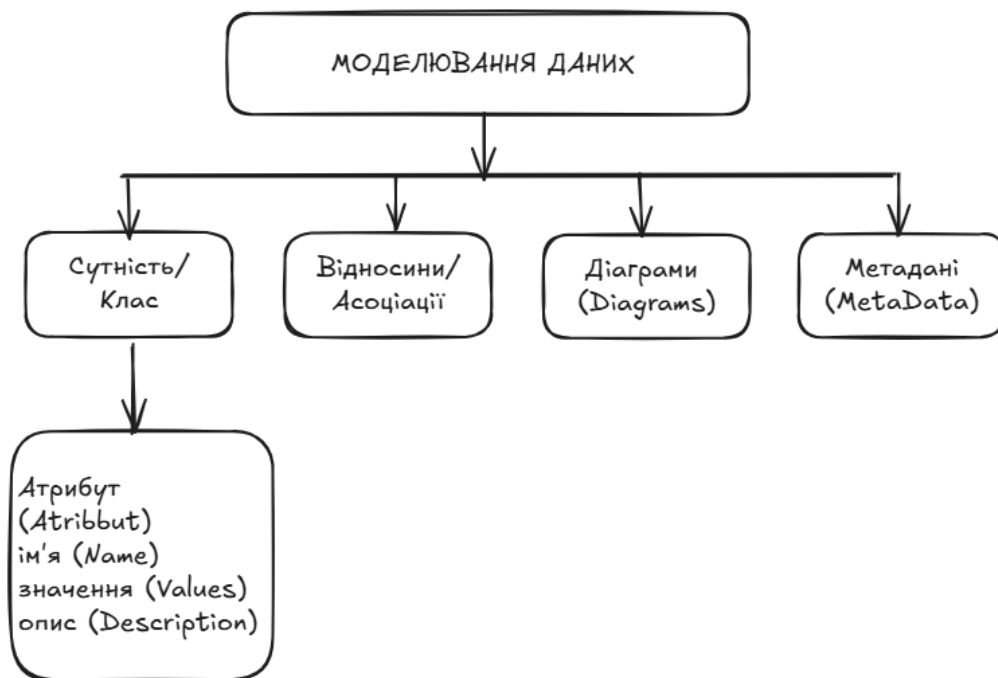


Рисунок 2.1 – Зв'язки елементів моделювання даних

Концептуальні, логічні та фізичні моделі даних розробляються для різних цілей і можуть суттєво відрізнятися, навіть якщо описують одну й ту саму предметну область.

2.2. Особливості прикладної сфери – виконання процесів збирання врожаю

Розроблення прикладних програмних систем, призначених для оцінювання діяльності аграрних підприємств і контролю виконання технологічних процесів, є важливим чинником підвищення ефективності їх функціонування. Створення імітаційних моделей, у свою чергу, надає можливість кількісно аналізувати вплив перебігу ймовірнісних процесів на своєчасність виконання робіт у господарствах та оцінювати рівень виробничо-технологічного ризику (ВТР).

Багаторазове проведення експериментів на основі статистичних імітаційних моделей дозволяє відтворювати агрометеорологічні умови конкретного календарного періоду, протягом якого здійснюється збирання врожаю цукрових буряків, а також визначати кількісну залежність їх впливу на функціональні показники проєктів за різних строків початку збиральних робіт.

Використання класичних методів математичної статистики для аналізу результатів моделювання забезпечує можливість виявлення закономірностей, що характеризують ризик обмеженого природними умовами фонду часу, відведеного на виконання бурякозбиральних процесів.

Процес управління ВТР у реальних виробничих умовах ускладнюється необхідністю прогнозування моментів настання базових подій у межах календарного проміжку. Якщо для певного року реалізації проєктів із вирощування цукрових буряків відомі такі часові орієнтири, тоді планування робіт за визначених параметрів технічного забезпечення та площі посівів (S^n) зводиться до розв'язання відносно простої аналітичної задачі.

З іншого боку, визначення термінів настання несприятливих для проведення робіт погодних умов може базуватися на використанні прогнозних даних метеостанцій, гідрометеорологічних центрів або спеціалізованих інтернет-ресурсів. Альтернативним підходом є створення імітаційних моделей, які відтворюють розвиток агрометеорологічних процесів упродовж осіннього

сезону [7]. Кожен із перелічених методів має свої сильні сторони та обмеження, проте моделювання дає змогу не лише прогнозувати зміну температурних параметрів t_{nz} та m_n , а й відобразити динаміку виконання бурякозбиральних робіт і здійснити кількісну оцінку ризиків функціональних показників проєктів ЗЦБ за різних термінів їх початку.

Для реалізації такого підходу необхідно володіти відомостями про агрометеорологічні характеристики конкретного регіону, розробити алгоритм і програмне забезпечення, що дозволяють моделювати вплив погодних факторів на перебіг збиральних процесів. Використання методу генерування псевдовипадкових величин [1] на основі статистичних закономірностей зміни агрометеорологічних умов забезпечує можливість відтворення стохастичного характеру роботи техніки в польових умовах за допомогою імітаційної моделі технологічних процесів ЗЦБ. Це, у свою чергу, дає змогу спрогнозувати значення t_{nz} відповідно до планового терміну τ_{np} (рис. 2.2):

$$t_{nz} = \sum t_{nn}. \quad (2.1)$$

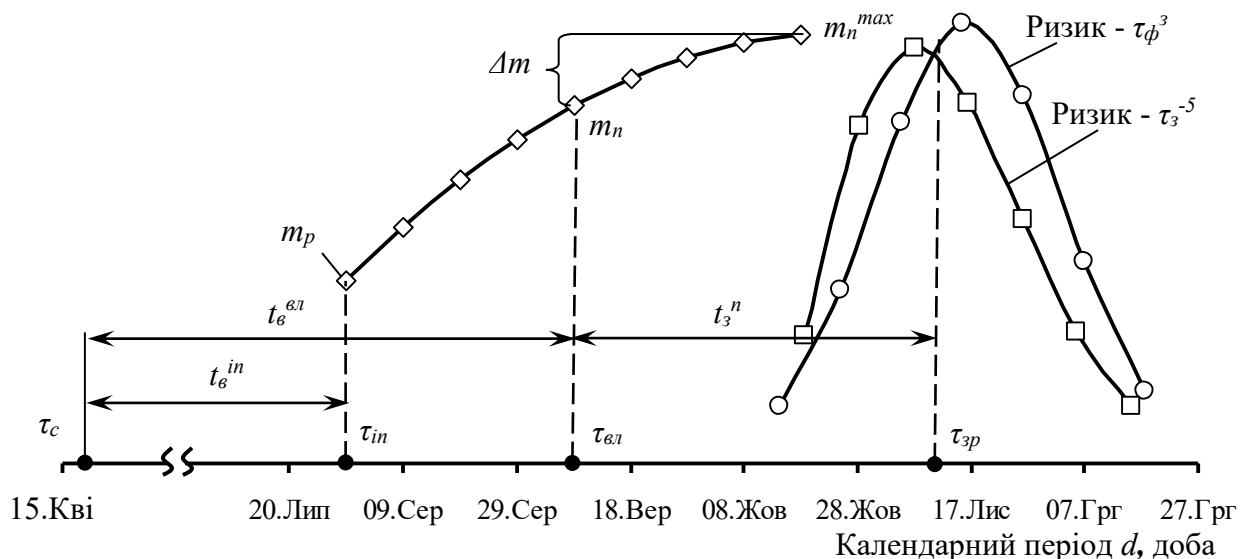


Рисунок 2.2 – Графічне відображення фонду часу, відведеного на виконання бурякозбиральних робіт: τ_c – час початку сівби цукрових буряків, доба; τ_{in} – час початку інтенсивного приросту маси коренеплодів, доба; $\tau_{вл}$ – час початку масового в'янення листків культури, доба; $\tau_{зр}$ – природно зумовлений час завершення бурякозбиральних робіт, доба; t_e^{in} – тривалість вегетації культури до початку інтенсивного приросту маси коренеплодів, діб; $t_e^{вл}$ – тривалість вегетації культури, діб; t_3^n – потенційна тривалість робіт у

проектах, діб; m_p , m_n , m_n^{max} – відповідно початкова, поточна та максимальна маса коренеплодів, г; Δm – приріст маси коренеплодів цукрових буряків, г

Оскільки агрометеорологічні умови безпосередньо впливають на варіативність природно обумовленого фонду часу виконання польових операцій, результати реалізації процесів ЗЦБ (їх функціональні показники) набувають стохастичного характеру. Відтак для кожного планового терміну початку робіт τ_{np} відповідне значення тривалості природного періоду t_{nz} розглядається як ризиковане.

Проведений аналіз агрометеорологічного чинника дав змогу встановити, що зі зміщенням календарних строків виконання бурякозбиральних робіт на пізніші періоди підвищується рівень ризику функціональних показників ефективності проєктів ЗЦБ. Це пояснюється скороченням тривалості сприятливого періоду та ймовірністю виникнення виробничої ситуації, за якої для заданого планового моменту початку робіт ризик відсутності природно зумовленого фонду часу ($R[t_{nz}=0]$) набуває зростання, тобто настає стан, коли $t_{nz} = 0$ діб.

Таким чином, ефективне оцінювання та управління виробничо-технологічним ризиком потребує наявності бази знань, оперативної інформації, а також застосування відповідних методів і моделей, що дозволяють адекватно відобразити динаміку змін зовнішніх умов під час виконання процесів ЗЦБ.

2.3. Вимоги до ІС моделювання фонду часу на виконання робіт у процесах збирання врожаю

З предметної точки зору, особливості приросту маси та накопичення цукрів у коренеплодах цукрових буряків зумовлюють доцільність проведення збиральних робіт у пізні календарні терміни. У такому випадку досягається максимальний рівень біологічної врожайності культури, а отже, й найбільший

можливий валовий збір урожаю за конкретних агрометеорологічних умов певного року. Водночас реалізація проєктів ЗЦБ у пізні строки супроводжується підвищенням ризику технологічних втрат, зокрема через можливе ураження рослин заморозками.

Виходячи з цього, для забезпечення ефективності реалізації проєктів ЗЦБ необхідно мати інформацію про закономірності календарної зміни тривалості природно зумовленого фонду часу (t_{nz}) відведеного на виконання робіт, а також про рівень відповідного ризику. Порівнюючи t_{nz} із технологічно необхідним фондом часу t_{nz} — тобто проміжком, достатнім для реалізації заданої сезонної виробничої програми функціональної структури проєкту ЗЦБ з урахуванням визначених техніко-технологічних параметрів — можна заздалегідь, до настання зимового періоду, встановити оптимальний календарний термін початку збиральних робіт.

Тривалість t_{nz} відображає часовий інтервал між моментом потенційно можливого виходу бурякозбиральної техніки на поле та календарними термінами (τ_3^{-5}) появи заморозків нижче $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, або настання (τ_{ϕ}^3) фізичної стиглості ґрунту (рис. 2.3). Оскільки τ_3^{-5} та τ_{ϕ}^n є випадковими величинами, тривалість t_{nz} протягом якої можливе виконання робіт у межах проєкту, також набуває варіативного характеру.

Крім того, під час реалізації бурякозбиральних робіт можуть виникати періоди несприятливих погодних умов, коли через надмірну вологість ґрунту робота комбайнів тимчасово припиняється. Це призводить до додаткового

скорочення ефективної тривалості t_{nz} . Така специфіка проєктного середовища ЗЦБ є однією з ключових причин виникнення ризику зменшення t_{nz} і, відповідно, виробничо-технологічного ризику (ВТР) у межах проєкту.

Відповідно до розробленої методики, кількісне значення t_{nz} визначається за формулою [11]:

$$t_n^{\phi} = \tau_3^{-5} - \tau_n^p - \sum_{i=1}^n t_{nn_i} \quad (2.3)$$

де n – кількість непогожих проміжків між подіями τ_3^{-5} та τ_n^p .

Так, саме таке формулювання логічно завершує попередній опис і створює зв'язок між теоретичним обґрунтуванням та практичним моделюванням. Якщо поглянути на зміст ширше, ця фраза підкреслює важливість переходу від опису природних і технологічних факторів (заморозки, стиглість ґрунту, погодні вікна) до аналітичного етапу — моделювання ризику за допомогою статистичних або імітаційних методів.

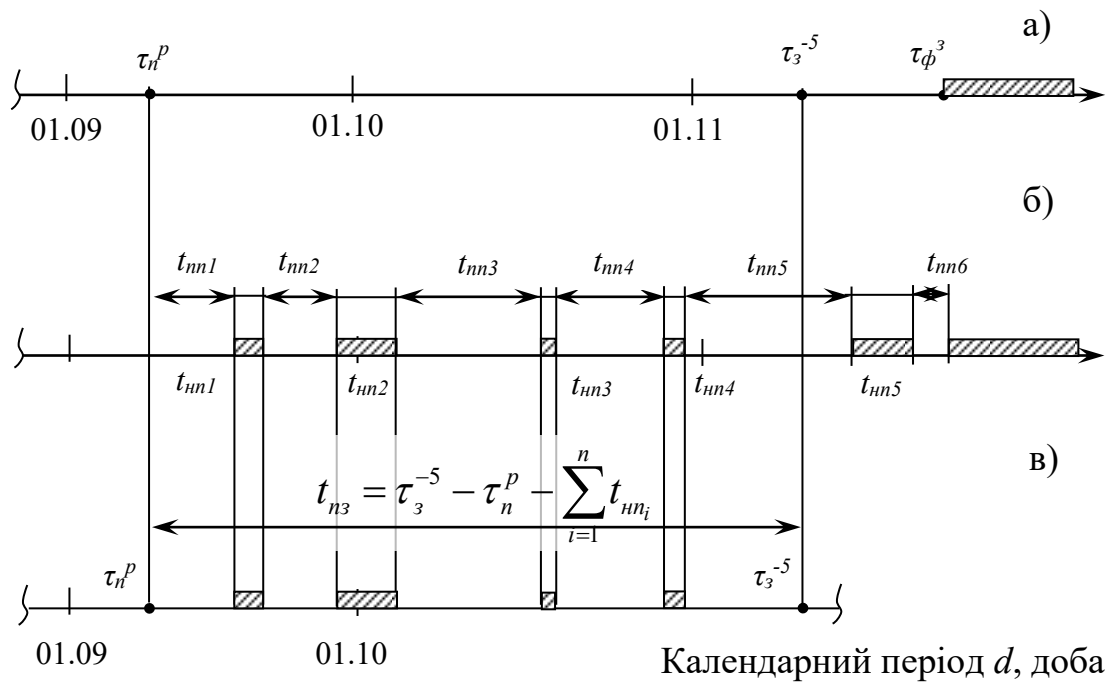


Рисунок 2.3 – Графічне відображення процесу формування природно обумовленого фонду часу для виконання робіт у проекті ЗЦБ залежно від дати їх початку: а) календарні межі початку та завершення польових робіт; б) тривалість сприятливих і несприятливих за погодними умовами періодів; в) сумарний природно зумовлений фонд часу, доступний для виконання бурякозбиральних робіт: τ_n^p – час початку робіт, доба; t_{nn} , t_{nn} – тривалість погожих та непогожих проміжків часу, діб [11].

З метою дослідження показника tpz було створено статистичну імітаційну модель, що відтворює зміну агрометеорологічних умов упродовж літньо-осінньо-зимового періоду та їхній вплив на можливість виконання робіт у межах проекту.

Структурно-логічна схема цієї моделі подана на рисунку 2.4.

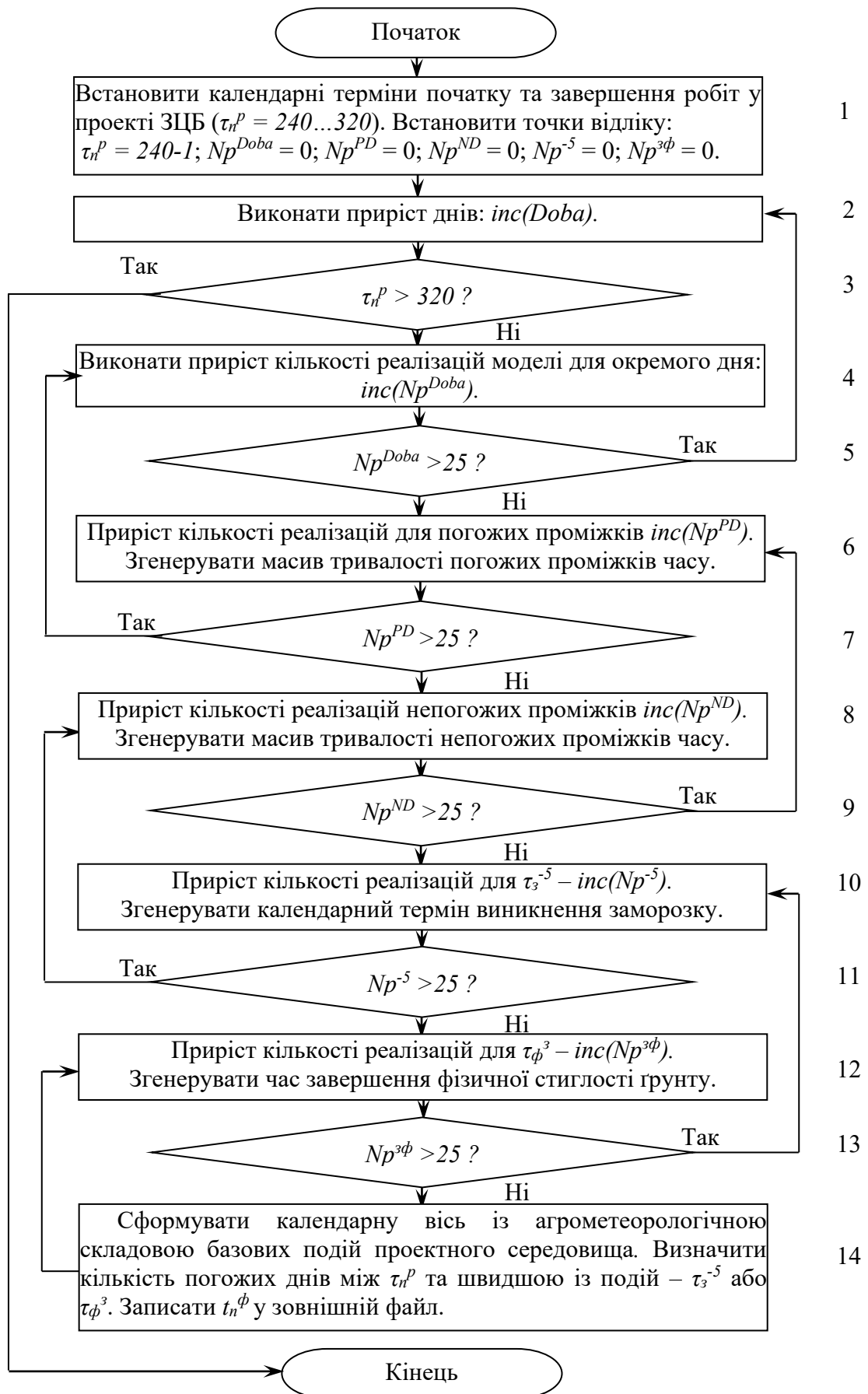


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму моделі агрометеорологічних умов періоду бурякозбиральних робіт

Початковий масив даних для проведення комп'ютерних експериментів щодо оцінювання ризику t_{nz} сформовано на основі запропонованих методик і формалізованих для умов Володимир-Волинського району характеристик агрометеорологічних параметрів базових подій проектного середовища, зокрема: 1) тривалості сприятливих (t_{nn}) та несприятливих (t_{nn}) погодних інтервалів; 2) часу (τ_3^{-5}) настання заморозків нижче (нижче -5°C); 3) часу (τ_ϕ^3) втрати фізичної стиглості ґрунту в осінньо-зимовий період.

Методика дослідження ризику показника t_{nz} полягає у проведенні мінімально необхідної кількості реалізацій статистичної імітаційної моделі агрометеорологічних умов ($Np = 25$) [1, 5] для відповідного календарного проміжку — від 25 серпня до 20 листопада. Метою такого моделювання є визначення кількості днів, упродовж яких стан ґрунту дозволяє виконання бурякозбиральних робіт у рамках проекту ЗЦБ. Для врахування ймовірнісних характеристик базових подій проектного середовища здійснювали багаторазове відтворення моделі для кожного календарного дня потенційного періоду робіт.

Оскільки аналіз t_{nz} проводився з урахуванням чотирьох стохастичних чинників, для кожної дати в межах проміжку 25 серпня – 20 листопада виконували $Np = 25^4$ реалізації моделі. Такий підхід забезпечив отримання репрезентативних вибірок емпіричних даних, що відображають: 1) закономірності зміни t_{nz} у межах сезонного періоду; 2) розподіл емпіричних значень t_n^ϕ для різних календарних термінів початку робіт у проекті ЗЦБ; 3) імовірність появи ситуацій, за яких $t_n^\phi < t_m^\phi$ та $t_n^\phi = 0$ діб.

Результати математичного опрацювання комп'ютерних експериментів з імітаційною моделлю агрометеорологічних умов дали змогу формалізувати закономірності зміни показника t_{nz} та кількісно оцінити ризик його варіацій.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ОПРАЦЮВАННЯ ПОЧАТКОВИХ ДАНИХ ТА ПОБУДОВА ПРОГРАМНОГО КОДУ МОДЕЛІ

3.1. Алгоритмічні програми та мови для їх написання

Алгоритмічні програми – це комп'ютерні програми, що є реалізацією алгоритмів: точних послідовностей команд, призначених для розв'язання певного завдання. Вони являють собою алгоритми, записані мовою програмування, яка дозволяє комп'ютеру зрозуміти та виконати інструкції для досягнення потрібного результату.

Ключові аспекти алгоритмічних програм:

Основа програми: алгоритми є фундаментом будь-якої програми. Без них програма не мала б логіки і не могла б виконувати жодних функцій.

Мова програмування: алгоритми записуються певною мовою програмування (наприклад, Scratch, JavaScript, Python, C++ чи C#), яка є системою позначень для комп'ютера.

Мета: завдання алгоритмічних програм полягає у тому, щоб за допомогою послідовності інструкцій отримати бажаний результат, незалежно від того, чи це складна обробка даних, чи проста анімація.

Ефективність: використання правильних та оптимізованих алгоритмів дозволяє програмам працювати швидше, ефективніше використовувати ресурси комп'ютера та підтримувати якісний, організований код.

Основні алгоритмічні структури формуються за трьома базовими типами алгоритмів, які складають основу будь-якої програми:

- *лінійний*: команди виконуються одна за одною у чіткій послідовності.
- *розгалужений*: програма виконує різні послідовності команд залежно від певних умов.
- *циклічний*: деякі команди повторюються певну кількість разів або до досягнення певної умови.

У практичному розробленні програм це означає: спочатку формується алгоритм (описуємо, що має бути зроблено, у якому порядку), потім – дизайн програми, реалізація коду, тестування і супровід.

Алгоритмічна програма може бути як простою (наприклад, сортування масиву, обчислення квадратного кореня) (рис. 3.1), так і складною – із багатьма модулями, підпрограмами, обробкою даних, паралельними або асинхронними процесами.

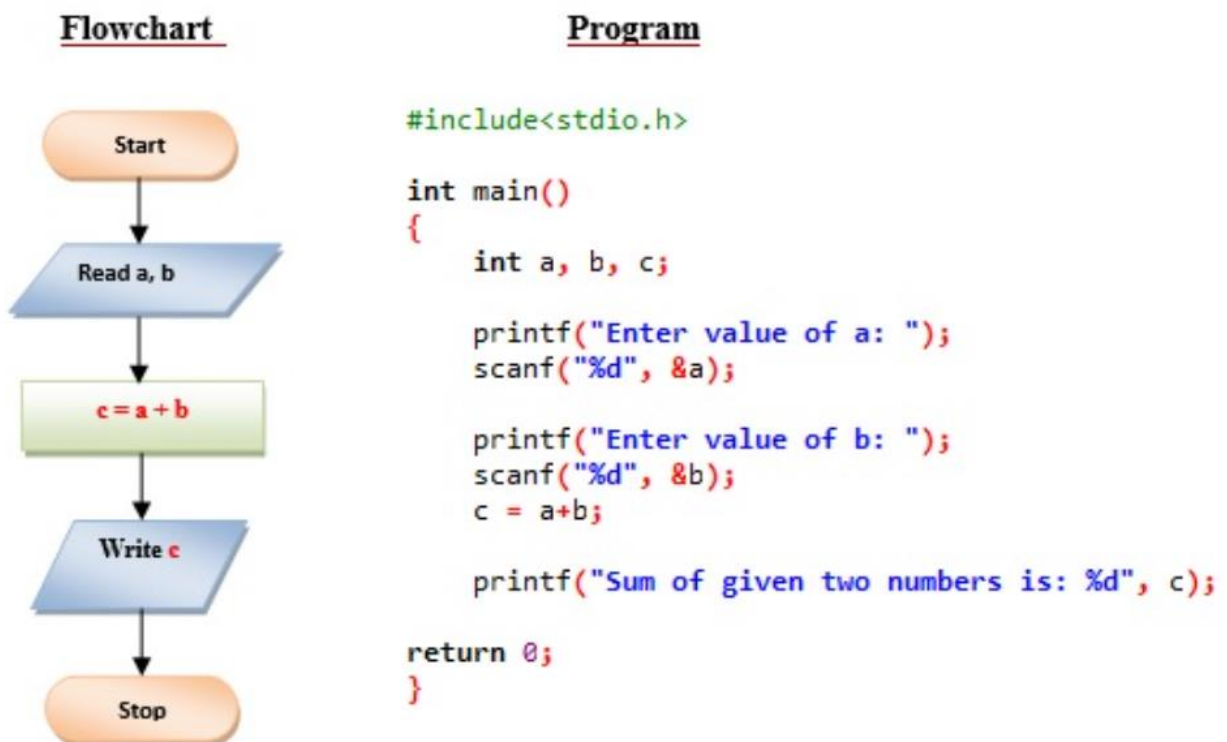


Рисунок 3.1 – Алгоритм та програма пошуку суми двох введених чисел

Алгоритмічні програми можна створювати практично будь-якою мовою програмування, адже кожна з них є засобом формального опису та реалізації алгоритмів. Проте існують мови, які більш природно підходять для побудови саме алгоритмічних програм – таких, де чітко відображено послідовність дій, логіку обчислень і взаємозв'язки між елементами даних.

Найчастіше такі програми реалізують за допомогою мов процедурного або імперативного типу, у яких алгоритм задається як послідовність команд, що змінюють стан системи.

1. Мови низького рівня. Асемблер (*Assembler*) дозволяє описати алгоритм у вигляді машинних команд, надаючи повний контроль над апаратними ресурсами. Мова *C* – один із найвідоміших інструментів системного програмування, що чудово підходить для алгоритмічного мислення завдяки своїй структурі, роботі з пам'яттю та логічній послідовності операцій.

2. Мови високого рівня, орієнтовані на алгоритмічну логіку. *Pascal* – класична навчальна мова, створена спеціально для формування алгоритмічного мислення; вона відзначається суворою структурованістю й читабельним синтаксисом.

Fortran – орієнтована на наукові обчислення, де необхідно реалізовувати чіткі математичні алгоритми.

Algol (*Algorithmic Language*) – історично важлива мова, яка стала основою для більшості сучасних синтаксичних конструкцій і систем опису алгоритмів.

3. Сучасні універсальні мови. *Python* вирізняється простим синтаксисом і широкими можливостями для побудови як навчальних, так і наукових алгоритмів.

C++ дозволяє поєднати алгоритмічний і об'єктно-орієнтований підходи, що важливо для складних систем із високими вимогами до швидкодії.

Java забезпечує структуроване програмування, сувору типізацію та можливість опису складних алгоритмів у вигляді модульних компонентів.

C# (C-Sharp) – мова, створена компанією Microsoft, яка поєднує в собі строгість синтаксису *C++* і гнучкість *Java*. Вона зручна для побудови алгоритмічних програм у межах сучасних середовищ, зокрема .NET, і широко застосовується для моделювання процесів, аналізу даних та створення систем управління, де алгоритми відіграють ключову роль.

4. Спеціалізовані мови та середовища для моделювання алгоритмів.

MATLAB застосовується для математичного моделювання та візуалізації алгоритмів.

R використовується у статистичних і стохастичних дослідженнях.

Візуальні середовища, такі як *Scratch* або *Blockly*, дозволяють формувати базові уявлення про алгоритмічне мислення шляхом побудови графічних блоксхем.

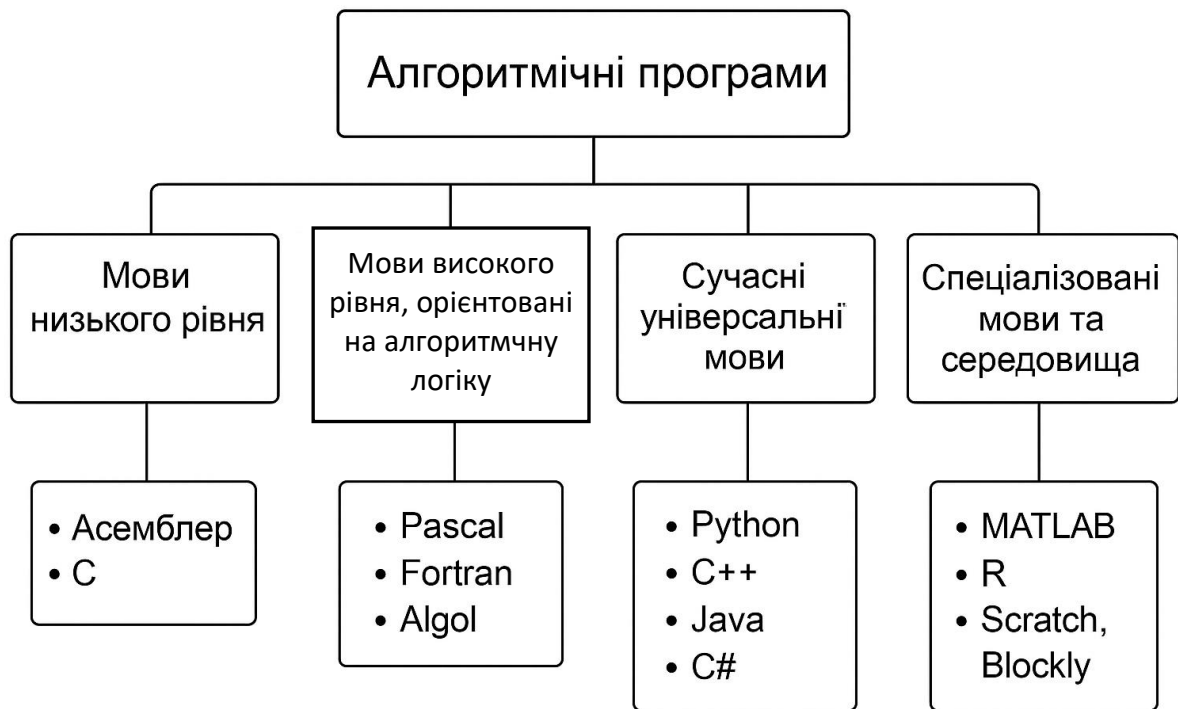


Рисунок 3.2 – Класифікація алгоритмічних програм

Отже, алгоритмічні програми можна реалізувати будь-якою мовою, яка забезпечує опис послідовності, розгалужень і циклів. Проте найзручнішими для цього вважаються *Pascal*, *C*, *C#*, *C++*, *Python* і *Java* – саме вони забезпечують найкращий баланс між логічною прозорістю, структурованістю та практичною ефективністю реалізації алгоритмів.

3.2. Методика опрацювання статистичних даних та формування початкових даних моделювання

Явища і процеси, що відбуваються у виробництві сільськогосподарської продукції досить часто є випадкового характеру за їхніми кількісними характеристиками отримують емпіричні дані. Математичне опрацювання таких

даних здійснюють за певними методами, які обґрунтовують на підставі теорії ймовірностей і математичної статистики.

Емпіричні розподіли узгоджують з теоретичними за спеціально розробленими в теорії статистичними критеріями [1, 5].

Приведемо приклад методики розрахунку статистичних характеристик емпіричних величин.

Дані емпіричного ряду розташувати у порядку зростання і таким чином сформулювати варіаційний ряд:

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

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

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

де N – число дослідів (обсяги вибірки).

Крок інтервалу розрахувати за формулою:

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

Коефіцієнт варіації

$$v = \frac{\delta}{Y_c}; \quad (3.4)$$

$$v = \frac{\delta}{Y_c - Y_{zm}}; \quad (3.5)$$

де Y_{zm} – зміщення зони розкиду випадкової величини Y відносно нуля.

Побудувати табл. 3.1. для розрахунку статистичних характеристик.

Оцінку коефіцієнта варіації за формулою (3.5) розраховують, якщо зона розкиду значень показника Y має зміщення відносно нуля. За умови, що Y_1 варіаційного ряду не є помилковим (належить вибірці), вважають:

$$Y_{zm} = Y_1.$$

Перевірка крайніх значень варіаційного ряду на належність їх вибірці. Перше Y_1 і остання Y_N значення варіаційного ряду перевірити на належність їх вибірці (чи не є вони помилковими) за критерієм Ірвіна [1, 5]:

$$\lambda_{d1} = \frac{1}{\delta}(Y_2 - Y_1); \quad (3.6)$$

$$\lambda_{dN} = \frac{1}{\delta}(Y_N - Y_{N-1}). \quad (3.7)$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок статистичних характеристик

N п/п	Показник	N інтервалу				
		1	2	...	k-1	k
1	Інтервал $Y_i^H \dots Y_i^B$	$Y_1^H \dots Y_1^B$	$Y_2^H \dots Y_2^B$	...	$Y_{k-1}^H \dots Y_{k-1}^B$	$Y_k^H \dots Y_k^B$
2	Середина інтервалу, Y_i	Y_1	Y_2	...	Y_{k-1}	Y_k
3	Частота, m_i	m_1	m_2	...	m_{k-1}	m_k
4	Емпірична частість, $P_i = \frac{m_i}{N}$	P_1	P_2	...	P_{k-1}	P_k
5	$Y_i * P_i$	$Y_1 * P_1$	$Y_2 * P_2$	...	$Y_{k-1} * P_{k-1}$	$Y_k * P_k$
6	$(Y_i - Y_c)^2 * P_i$	$(Y_1 - Y_c)^2 * P_1$	$(Y_2 - Y_c)^2 * P_2$	...	$(Y_{k-1} - Y_c)^2 * P_{k-1}$	$(Y_k - Y_c)^2 * P_k$

Розрахункові значення порівняти із табличними для заданої ймовірності ($0,95 < \alpha < 0,99$) і кількості дослідів N . Якщо отримують $\lambda_d \leq \lambda_T$, то вважають, що крайнє значення не є помилковим. В іншому разі його вилучають із варіаційного ряду і повторюють розрахунок статистичних характеристик. Перевірка величини вибірки для нормального розподілу.

За умови значних витрат коштів і часу на виконання окремих дослідів (для визначення кожного значення Y) важливо здійснити їх таку кількість, яка була б достатньою для оцінки статистичних характеристик. Здебільшого число N_d дослідів для нормального розподілу визначають на підставі гарантування того, що відносна похибка (δ) оцінки математичного сподівання з заданою довірчою ймовірністю ($\alpha = 0,8 \dots 0,95$) не перевищує 10-20%:

$$N_d = \frac{v^2 t^2}{\delta^2}; \quad (3.8)$$

де t – квантиль нормального розподілу.

Розрахункове значення N_d перевірити із дійсним і зробити висновок про доцільність виконання додаткових дослідів.

Побудова гістограми (полігону) розподілу досліджуваного показника і висунення гіпотези про теоретичну закономірність розподілу. За даними варіаційного ряду побудувати графік залежності між досліджуваною величиною і емпіричною частістю. З цією метою на осі абсцис за певним мірилом відкладають верхні, нижні та середні значення інтервалів величини Y . На осі ж координат відкладають значення емпіричної частоти.

За зовнішнім виглядом гістограми, а також за величиною оцінки коефіцієнта варіації висунути гіпотезу щодо теоретичної закономірності розподілу.

Розрахунок теоретичної частоти. Розрахувати значення густини функції розподілу ($f(Y_i)$) для кожного часткового інтервалу. Для теоретичного розподілу Вейбулла потрібно насамперед відшукати параметри a і b .

Для кожного часткового інтервалу розраховують теоретичну частість:

$$P_{Ti}(Y) = f(Y) * \Delta Y, \quad (3.9)$$

де ΔY – крок інтервалу.

Перевірка близькості емпіричного і теоретичного розподілів. Близькість між емпіричним і теоретичним розподілом перевірити за критерієм χ^2 (χ^2 – квадрат, Пірсона) [1, 5]. З цією метою для кожного часткового інтервалу потрібно розрахувати добуток – $N * P_{Ti}$. Виразити критерій за формулою:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k'} \frac{(m_i - N * P_{Ti})^2}{N * P_{Ti}}, \quad (3.10)$$

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

Визначити число ступені вільності за формулою:

$$r = k' - (n + 1), \quad (3.11)$$

де n – число параметрів функції теоретичного розподілу.

Задавши рівень значимості α ($\alpha = 0,05 \dots 0,1$), 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.

3.3. Побудова програмного коду моделі природно зумовленого фонду часу для процесів збирання врожаю

Відповідно до положень пункту 2.3 та блок-схеми алгоритму наведеного на рисунку 2.4, нами розроблено програмний код моделі метеорологічних умов осіннього періоду. Модель включає набір початкових даних акумульованих на підставі звітних даних агрометеорологічної станції Вол.-Волинського району та відповідних статистичних залежностей наведених в праці [11].

Лістинг коду наведений в додатку А.

Опис структури коду алгоритмічної програми зводиться до представлення функцій, матриць, розгалужень та циклічних елементів у конфігурації програми, що реалізують модель даних. Використання цієї моделі дає змогу побудувати статистичні закономірності природно зумовленого фонду часу на виконання відповідних технологічних процесів – збирання врожаю цукрових буряків [11].

Отже, головні бібліотеки C#, що підключено до проекту:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;
```

Наведений набір бібліотек у програмі на C# охоплює основні напрями функціональності, які забезпечують роботу з базовими типами даних,

графічним інтерфейсом, файловою системою та обробкою інформації.

Бібліотека **System** — це головний простір імен у .NET, який містить базові класи і типи даних (рядки, числа, дати, винятки, масиви, колекції тощо). Без неї не обходиться жодна C#-програма, адже саме тут зосереджено основні механізми управління виконанням коду.

System.Collections.Generic розширює можливості роботи з колекціями об'єктів. Вона надає типізовані структури даних, такі як `List<T>`, `Dictionary<TKey, TValue>`, `Queue<T>` чи `Stack<T>`, що забезпечують високу ефективність і безпеку типів під час роботи з даними.

System.ComponentModel використовується переважно для створення та конфігурації компонентів, особливо у Windows Forms або дизайнерських середовищах. Вона дозволяє додавати властивості, події й атрибути, полегшуючи інтеграцію компонентів у графічний інтерфейс або системи з інверсією керування.

System.Data охоплює інструменти для роботи з базами даних. Завдяки цій бібліотеці програма може виконувати запити SQL, зчитувати таблиці, формувати набори даних (`DataSet`, `DataTable`) і взаємодіяти з джерелами даних через ADO.NET.

System.Drawing відповідає за графіку — малювання фігур, відображення зображень, роботу з кольорами, шрифтами та координатами. Вона особливо корисна у Windows Forms-програмах, коли потрібно створювати власні елементи інтерфейсу або динамічну візуалізацію.

System.Text містить класи для роботи з текстом і кодуванням (наприклад, `StringBuilder`, `Encoding`, `UTF8Encoding`). Вона важлива для програм, що оперують великими обсягами текстових даних або потребують високої швидкості обробки рядків.

System.Windows.Forms — одна з ключових бібліотек для створення графічних інтерфейсів користувача (GUI) у середовищі Windows. Вона надає класи для форм, кнопок, полів введення, меню та інших елементів керування.

Нарешті, **System.IO** забезпечує засоби для роботи з файлами та потоками даних. Через неї можна створювати, зчитувати, змінювати або видаляти файли й каталоги, а також працювати з потоками введення/виведення на низькому рівні.

У сукупності ці простори імен формують основу типової C#-програми із графічним інтерфейсом, яка взаємодіє з користувачем, обробляє дані, працює з файлами та базами даних, забезпечуючи водночас високу продуктивність і зручність розробки.

Щодо функцій то головні математичні елементи програми, що моделюють розвиток погодних умов, реалізовано саме в них:

Генерування рідів псевдовипадкових величин для закону розподілу Вейбулла:

```
public double veyb(double a, double b, double c, int min, int max)
{
    double temp;
    do
    {
        temp = 0;
        temp = (c + a * Math.Exp((1 / b) * (Math.Log(-(Math.Log(rd.NextDouble()))))));
    } while (temp < min || temp > max);
    return temp;
}
```

Генерування рідів псевдовипадкових величин для нормального закону розподілу:

```
public double norm(double matemSpodiv, double sigma, double MIN, double MAX)
{
    double temp, r1, r2;
    do
    {
        temp = 0;
        r1 = rd.NextDouble();
        r2 = rd.NextDouble();
        temp = Math.Sqrt(-2 * Math.Log(r1)) * Math.Cos(2 * Math.PI * r2) * sigma +
matemSpodiv;
        if (temp >= MIN && temp <= MAX) break;
    } while (true);
    return (int)Math.Round(temp);
}
```

```
}
```

Формування ряду погожих і непогожих днів для осіннього періоду:

```
public int[] FormPogodu(int[] pogogiDni, int[] nepogogiDni, int zamoroz)
{
    //int start_Day = 258;
    int[] rez = new int[zamoroz]; // фонд часу між поч.робіт та заморозком
    int position = 0;
    int temp;
    for (int j = 0; j < pogogiDni.Length && position < rez.Length; j++)
    {
        temp = 0;
        while (temp < pogogiDni[j])
        {
            if (position == rez.Length) break;
            rez[position] = 1;
            temp++;
            position++;
        }
        temp = 0;
        while (temp < nepogogiDni[j])
        {
            if (position == rez.Length) break;
            rez[position] = 0;
            temp++;
            position++;
        }
    }
    return rez;
}
```

Визначення тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання процесів збирання врожаю:

```
void PDF_(int ii, int i, int[] Pogoda)// визначити PDF
{
    int pdf = 0;
    for (int j = 0; j < ii - i; j++)
    {
        if (Pogoda[j] > 0) pdf++;
    }
    rez_local.WriteLine("{0,-5}{1,-10}", i, pdf);
}
```

Визначення часу початку заморозків:

```

int ZAMOROZOK()// знайти день заморозку -5oC
{
    int Doba = 280;
    double T_grynty = 0;
    do
    {
        Doba++;
        double T_povitrja = ((0.0000084 * Math.Pow(Doba, 3) - 0.007139 * Math.Pow(Doba, 2) +
1.838 * Doba - 130.43)
            + norm(0.356, 3.885, -17.3, 11.5));
        T_grynty = (-0.0056 * Math.Pow(T_povitrja, 2) + 0.9306 * T_povitrja - 3.5335);
    } while (T_grynty > -5);
    return Doba;
}

```

Використання цих функцій дає змогу виконувати багаторазове моделювання процесів формування погодних умов, а відтак встановити статистичні закономірності їх зміни для відповідного календарного періоду.

На цій підставі можна оцінити ризик виробничих процесів, що викликаний впливом агрометеорологічних умов. Отримання таких закономірностей можливе завдяки моделюванню даних та використанню відповідної інформаційної системи.

РОЗДІЛ 4.

ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНЕННЯ РИЗИКУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

4.1. Результати визначення показників природно сприятливого фонду часу на збирання врожаю

Для чіткого відображення агрометеорологічних умов та їх впливу на функціонування бурякозбиральних комбайнів у ІС моделювання технологічних процесів збирання цукрових буряків (ЗЦБ) сформовано відповідну базу початкових даних та знань і розроблено комп'ютерну програму. Перед тим як виконати моделювання, перевірено валідність статистичної імітаційної моделі. Зокрема, на підставі непараметричного критерію Манна-Уїтні та відомої методики [1, 5] встановлено, що статистична імітаційна модель адекватно відображає особливості розвитку умов проектного середовища та їх вплив на виконання бурякозбиральних робіт. Це є підставою вважати що отримані результати моделювання є справедливими.

Відповідно до методики моделювання [1] нами виконано комп'ютерні експерименти для визначення характеристик ризику природно зумовленого фонду часу (t_{nz}) на виконання робіт (див. дод. А). Зокрема процеси моделювання склалися з таких етапів: 1) обґрунтувати скінченну множину реалізацій моделі; 2) виконати комп'ютерне моделювання; 3) структурувати результати, математично їх опрацювати та описати характеристики ризику t_{nz} .

Як уже зазначалося, для встановлення характеристик ризику t_{nz} виконано $Np = 25^4$ реалізацій моделі. У результаті цього отримано множину відповідних даних. Використання методів побудови нелінійних залежностей для встановлення закономірностей зміни t_{nz} відносно τ_{np} на підставі кореляційного відношення дало змогу встановити залежність (рис. 4.2).

Рівняння цієї залежності (для періоду 240...350 діб) має вигляд:

$$t_{nz} = -7 \cdot 10^{-11} \cdot \tau_{np}^6 + 1 \cdot 10^{-7} \cdot \tau_{np}^5 - 6 \cdot 10^{-05} \cdot \tau_{np}^4 +$$

$$+0.0176 \cdot \tau_{np}^3 - 2,7893 \cdot \tau_{np}^2 + 207,41 \cdot \tau_{np} - 4607. \quad (4.1)$$

Кореляційне відношення – $r = 0,914$, що підтверджує залежність t_{nz} від τ_{np} .

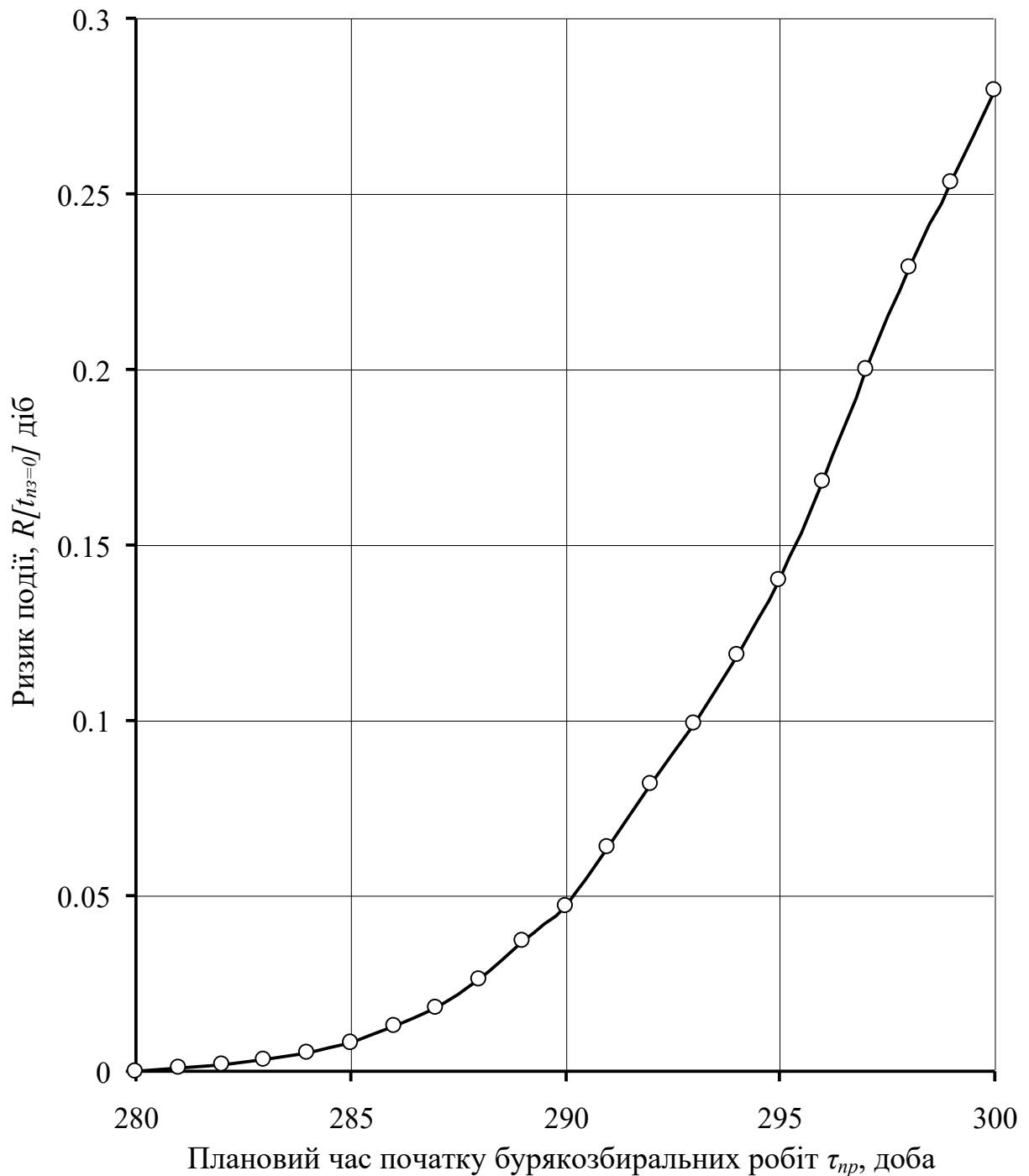


Рис. 4.1. Залежність ризику відсутності природно сприятливого фонду часу на виконання бурякозбиральних робіт від планового часу їх початку

Встановлена залежність t_{nz} переконує у тому, що за пізніх календарних термінів початку бурякозбиральних робіт тривалість t_{nz} прямує до нуля (рис. 4.1). Тобто зростає ризик того, що погодні умови не дадуть змоги виконувати

бурякозбиральні роботи через випадання дощів, снігу, виникнення заморозку тощо. У кінцевому результаті це призводить до пошкодження коренеплодів цукрових буряків та виникнення технологічних втрат у проектах ЗЦБ.

Рівняння цієї залежності (для інтервалу 280...300 доби) описано рівнянням:

$$t_{nz=0} = 0,94235 \cdot 10^{-3} \cdot \tau_{np}^2 - 0,5326 \cdot \tau_{np} + 75,257. \quad (4.2)$$

Кореляційне відношення – $r = 0,916$.

Таким чином, вплив агрометеорологічних умов на терміни виконання процесів ЗЦБ зумовлює специфічну закономірність зміни тривалості природно зумовленого фонду часу на виконання буякозбиральних робіт, а також на ризик випадку – $t_{nz}=0$.

4.2. Кількісне оцінення ризику оптимального часу початку збирання врожаю

Для того, щоб на практиці здійснити кількісну оцінку ризику оптимальних термінів початку робіт з збирання цукрових буряків нами прийнято відповідні початкові умови: 1) площа цукрових буряків – 100 га; 2) буякозбиральний комбайн КСБ-6 «Збруч», продуктивність – 1,55 га/год.

Відповідно до цього, технологічно потрібний (t_{mn}) фонд часу на виконання робіт у проектах становитиме:

$$t_{mn} = \frac{100}{1.55 \cdot 7 \cdot 1.5} = 6.14 \text{ діб.}$$

Тоді, користуючись результатами визначення технологічно потрібного фонду часу на виконання робіт у проектах – $t_{mn}=6$ діб та встановленої залежності тривалості природно зумовленого фонду часу від планового часу початку робіт у проектах ЗЦБ (рис. 4.2) виникає можливість оцінити ризик оптимального часу початку робіт (рис. 4.3).

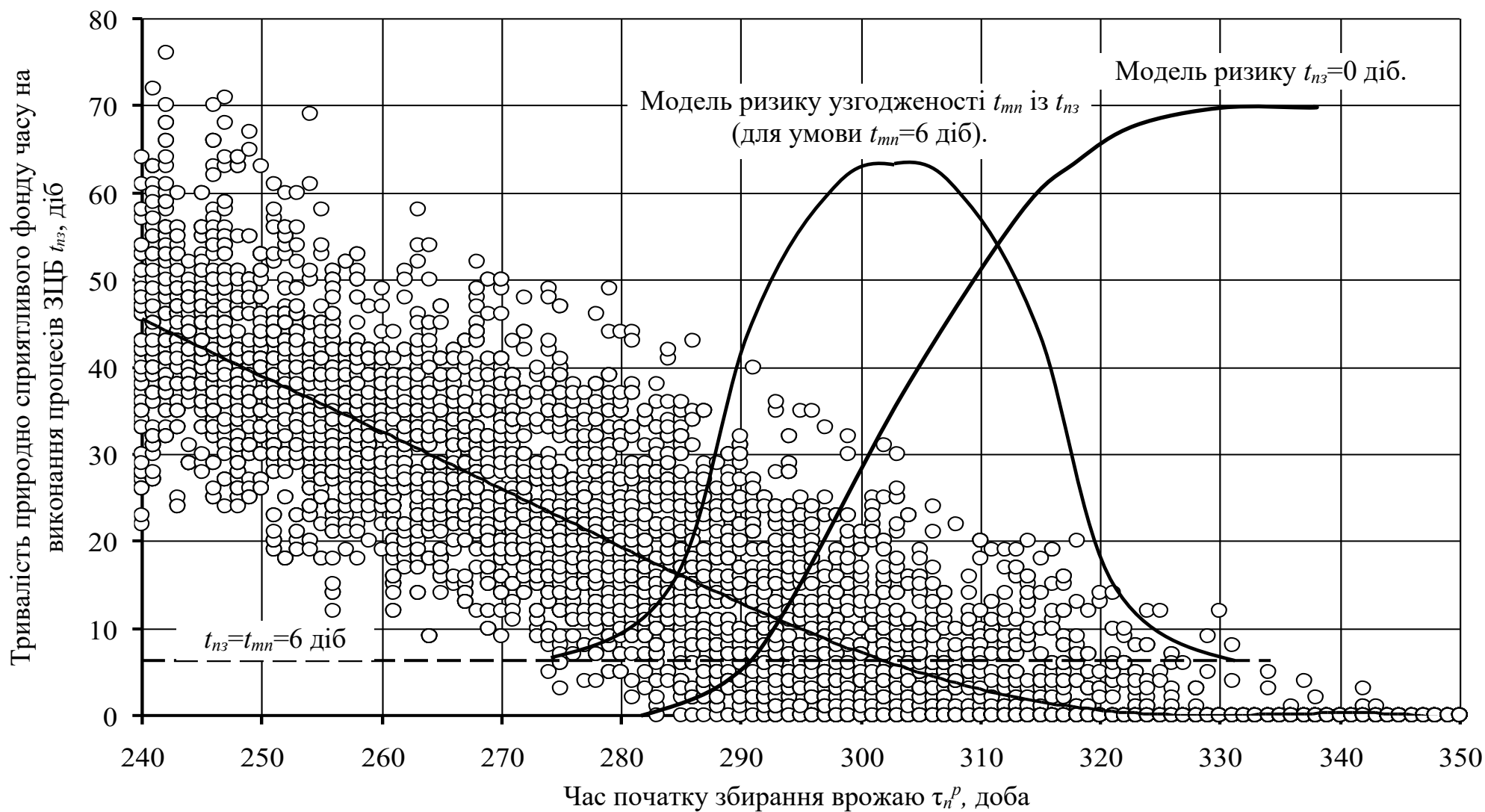


Рисунок 4.2 – Результати оцінення ризику оптимального часу початку збирання цукрових буряків

Використання методів математичної статистики та зокрема критерію χ^2 Пірсона дало змогу обґрунтувати, що емпіричний розподіл τ_n^{opt} узгоджується із трьохпараметричним законом Вейбулла (рис. 4.3). Диференціальна функція цих розподілів описується рівняннями:

$$f(\tau_n^{opt}) = 0,083 \cdot \left(\frac{\tau_n^{opt} - 275}{29,33} \right)^{1,428} \cdot \exp \left[- \left(\frac{\tau_n^{opt} - 275}{29,33} \right)^{2,428} \right], \quad (4.3)$$

Головні статистичні характеристики розподілу t_{mn} наступні: математичне сподівання – $\bar{M}[\tau_n^{opt}] = 301$ доба; коефіцієнт варіації – $\nu[\tau_n^{opt}] = 0,441$. Довірчий інтервал τ_n^{opt} становить 275...327 доба. Інші статистичні характеристики наведено в дод. табл. В.1.

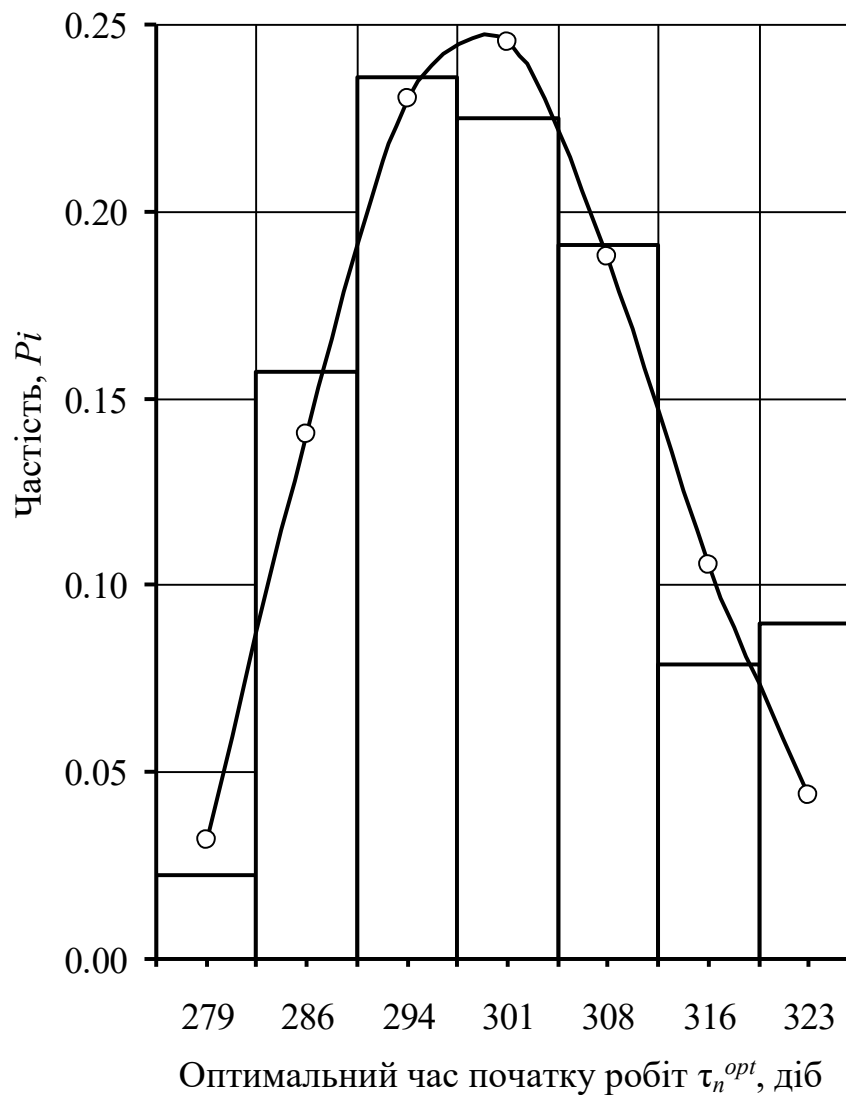


Рисунок 4.3 – Гістограма та теоретична крива розподілу оптимального часу початку збирання цукрових буряків (Вейбулла)

Відобразивши залежність t_{nz} , $t_{nz}=0$ та теоретичну криву розподілу t_{mn} на календарній осі часу (рис. 4.2) виникає можливість обґрунтувати наступний висновок: для обґрунтування оптимального часу початку робіт недостатньо оцінити ризик тривалості природно зумовленого фонду часу на виконання робіт ЗЦБ. Для цього доцільно визначати такі показники ефективності процесів ЗЦБ, як обсяг валового збору вирощеного врожаю, обсяг технологічних та біологічних втрат.

4.3. Опрацювання результатів моделювання та оцінення ризику виробничих процесів

Для оцінення статистичних характеристик тих чи інших даних, у нашому випадку оцінення ризику узгодженості технологічно потрібного фонду часу (t_{mn}) на виконання робіт із природно зумовленим фондом (t_{nz}) (для умови $t_{mn}=6$ діб), слід користуватися методами математичної статистики. Узгодженість t_{mn} та t_{nz} відображає оптимальний час початку робіт τ_n^{opt} .

Користуючись результатами моделювання, нами сформовано відповідні емпіричні дані. На підставі методів математичної статистики та критерію χ^2 Пірсона встановлено їх статистичні характеристики та обґрунтовано диференціальну функцію розподілу (див. п. 4.2). Зокрема встановлено, що оптимальний час початку робіт τ_n^{opt} , діб – матиме наступні статистичні характеристики – $\bar{M}[\tau_n^{opt}] = 301$ доба; коефіцієнт варіації – $\nu[\tau_n^{opt}] = 0,441$. А емпіричний розподіл узгоджується із трипараметричним теоретичним розподілом Вейбулла.

Наведемо результати розрахунку статистичних характеристик та обґрунтування розподілу τ_n^{opt} відповідно до методики п. 3.2. Для цього, сформовано ретроспективну множину емпіричних даних та виконано відповідні розрахунки. Першочергово за формулою (3.1) сформовано варіаційний ряд емпіричних даних τ_n^{opt} :

275	292	300	306	318
275	292	300	306	321
283	292	301	306	322
285	292	301	306	322
285	293	301	307	322
285	293	301	307	322
286	293	301	307	322
286	295	301	307	326
286	295	301	307	327
286	296	301	308	
286	296	301	308	
287	296	301	309	
287	296	301	310	
287	296	303	310	
288	296	303	316	
289	296	304	316	
290	296	304	317	
290	298	305	317	
291	299	305	317	
291	300	305	317	

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

$$k = 1 + 3,32 \cdot \log(89) = 4,47.$$

Приймаємо $k = 7$.

3) Крок інтервалу розрахувати за формулою (3.3).

$$\Delta Y = \frac{275 - 327}{7} = 7,4.$$

4) Заповнимо таблицю 4.1 для оцінення статистичних характеристик.

5) Визначимо частоту m_i випадкової величини у кожному інтервалі, а також визначимо емпіричну частість P_i за (3.4).

$$P_{i1} = \frac{2}{89} = 0,022; P_{i2} = \frac{14}{89} = 0,157; P_{i3} = \frac{21}{89} = 0,236; P_{i4} = \frac{20}{89} = 0,225;$$

$$P_{i5} = \frac{17}{89} = 0,191; P_{i6} = \frac{7}{89} = 0,079; P_{i7} = \frac{8}{89} = 0,09.$$

Таблиця 4.1 – Розрахунок статистичних характеристик

№ п/п	Показник	№ інтервалу						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Інтервал $Y_i^H \dots Y_i^B$	275,0... 282,4	282,4... 289,9	289,9...29 7,3	297,3...30 4,7	304,7... 312,1	312,1... 319,6	319,6... 327,0
2	Середина інтервалу, Y_i	278,7	286,1	293,6	301,0	308,4	315,9	323,3
3	Частота, m_i	2	14	21	20	17	7	8
4	Емпірична частість, $P_i = \frac{m_i}{N}$	0,022	0,157	0,236	0,225	0,191	0,079	0,090
5	$Y_i \cdot P_i$	6,3	45,0	69,3	67,6	58,9	24,8	29,1
6	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	11,2	34,7	13,0	0,0	10,5	17,4	44,6

6) статистичні характеристики (оцінки):

– математичного сподівання:

$$\bar{M}[t_{пз}] = \sum_{i=1}^k (Y_i \cdot P_i) = 301,0;$$

– оцінки дисперсії:

$$D = \sum_{i=1}^k (Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i = 131,449;$$

– оцінки середньоквадратичного відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k (Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i} = 11,465.$$

Для теоретичного закону розподілу Вейбулла коефіцієнт варіації розраховується:

$$v = \frac{11,465}{301,0 - 275} = 0,441.$$

7) Перевірка крайніх значень варіаційного ряду на належність їх вибірці розраховується за критерієм Ірвіна:

$$\lambda_{d1} = \frac{1}{11,465} \cdot (283,0 - 275,0) = 0,697;$$

$$\lambda_{dN} = \frac{1}{10,3} \cdot (327,0 - 326,0) = 0,087.$$

Отримані значення необхідно порівняти із табличними для рівня ймовірності $(0,95 < \alpha < 0,99)$ і кількості значень N . Коли виконується умова $\lambda_d \leq \lambda_T$, то вважають, що крайнє значення не помилкове. Якщо умова не виконується то його усувають з варіаційного ряду і повторюють розрахунок для відповідного критерію Ірвіна.

8) Визначені значення емпіричного розподілу для семи інтервалів дають змогу побудувати гістограму, а відтак висунути гіпотезу щодо відповідності теоретичному закону розподілу (рис. 4.3).

За виглядом гістограми, а також за коефіцієнтом варіації, який рівний $v=0,441$ висуваємо гіпотезу що необхідно розглядати теоретичний закон розподілу Вейбулла. Тоді, використаємо рівняння функції густини цього розподілу:

$$f(y) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{y - y_{3M}}{a} \right)^{b-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{y - y_{3M}}{a} \right)^b \right], \quad (4.4)$$

9) Виконаємо розрахунок теоретичної частоти.

Підставимо відповідні значення і отримаємо:

$$f(y_1) = 0,083 \cdot \left(\frac{278,7 - 275,0}{29,33} \right)^{1,428} \cdot \exp \left[- \left(\frac{278,7 - 275,0}{29,33} \right)^{2,428} \right] = 0,004;$$

$$f(y_2) = 0,083 \cdot \left(\frac{286,1 - 275,0}{29,33} \right)^{1,428} \cdot \exp \left[- \left(\frac{286,1 - 275,0}{29,33} \right)^{2,428} \right] = 0,019;$$

$$f(y_3) = 0,083 \cdot \left(\frac{296,3 - 275,0}{29,33} \right)^{1,428} \cdot \exp \left[- \left(\frac{296,3 - 275,0}{29,33} \right)^{2,428} \right] = 0,031;$$

$$f(y_4) = 0,083 \cdot \left(\frac{301,0 - 275,0}{29,33} \right)^{1,428} \cdot \exp \left[- \left(\frac{301,0 - 275,0}{29,33} \right)^{2,428} \right] = 0,033;$$

$$f(y_5) = 0,083 \cdot \left(\frac{308,4 - 275,0}{29,33} \right)^{1,428} \cdot \exp \left[- \left(\frac{308,4 - 275,0}{29,33} \right)^{2,428} \right] = 0,025;$$

$$f(y_6) = 0,083 \cdot \left(\frac{315,9 - 275,0}{29,33} \right)^{1,428} \cdot \exp \left[- \left(\frac{315,9 - 275,0}{29,33} \right)^{2,428} \right] = 0,014;$$

$$f(y_7) = 0,083 \cdot \left(\frac{323,3 - 275,0}{29,33} \right)^{1,428} \cdot \exp \left[- \left(\frac{323,3 - 275,0}{29,33} \right)^{2,428} \right] = 0,006.$$

10) Для сформованих інтервалів визначимо теоретичну частість:

$$P_{Ti1}(Y) = 0,004 \cdot 7,4 = 0,032;$$

$$P_{Ti2}(Y) = 0,019 \cdot 7,4 = 0,14;$$

$$P_{Ti3}(Y) = 0,031 \cdot 7,4 = 0,23;$$

$$P_{Ti4}(Y) = 0,033 \cdot 7,4 = 0,245;$$

$$P_{Ti5}(Y) = 0,025 \cdot 7,4 = 0,188;$$

$$P_{Ti6}(Y) = 0,014 \cdot 7,4 = 0,106;$$

$$P_{Ti7}(Y) = 0,006 \cdot 7,4 = 0,044.$$

11) Перевірка близькості емпіричного і теоретичного розподілів. Для кожного часткового інтервалу розрахуємо добуток – $N \cdot P_{Ti}$:

$$2 \cdot 0,032 = 2,8;$$

$$14 \cdot 0,14 = 12,5;$$

$$21 \cdot 0,23 = 20,5;$$

$$20 \cdot 0,245 = 21,8;$$

$$17 \cdot 0,188 = 16,7;$$

$$7 \cdot 0,106 = 9,4;$$

$$8 \cdot 0,044 = 3,9.$$

Розрахуємо значення критерію χ^2 Пірсона для величини – $N \cdot P_{Ti}$. Тоді, знайдемо:

$$\chi^2_1 = \frac{(2 - 2,8)^2}{2,8} = 0,251;$$

$$\chi^2_2 = \frac{(14 - 12,4)^2}{12,4} = 0,182;$$

$$X^2_3 = \frac{(21 - 20,49)^2}{20,49} = 0,013;$$

$$X^2_4 = \frac{(20 - 21,48)^2}{21,48} = 0,155;$$

$$X^2_5 = \frac{(17 - 16,7)^2}{16,7} = 0,005;$$

$$X^2_6 = \frac{(7 - 9,39)^2}{9,39} = 0,609;$$

$$X^2_7 = \frac{(8 - 3,89)^2}{3,89} = 4,319.$$

Сумарне значення X^2 становить – 5,53.

Головні статистичні характеристики розподілу τ_n^{opt} , довірчі інтервали, а також розрахункові значення критерію X^2 Пірсона наведено в дод. Б.

12) Визначити число ступенів вільності:

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

де n – число параметрів функції теоретичного розподілу.

Підставивши значення отримаємо:

$$r = 7 - (3 + 1) = 3.$$

13) Задавши рівень значимості $\alpha (\alpha = 0,05...0,1)$, знайдемо для табличного r , значення $(X^*)^2$ і порівняємо його із розрахунковим. Визначивши табличне $(X^*)^2$ для відповідного r та рівня значимості $\alpha (\alpha = 0,05...0,1)$, яке лежить у межах – 6,251 порівняємо його із розрахунковим $X^2 = 5,53$. Отже, умова $X^2 < (X^*)^2$ виконується. Тоді, теоретичний розподіл відображає емпіричні дані. Побудована гістограма та теоретична крива відображає розподіл випадкової величини – τ_n^{opt} (рис. 4.3).

Таким чином, виконання комп'ютерних експериментів із моделлю та математичне опрацювання їх результатів дає змогу встановити статистичні закономірності τ_n^{opt} , а відтак оцінити технологічний ризик.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Розробка логіко-імітаційної моделі виникнення травм і аварій

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію рівня небезпеки для конкретного об'єкта [6]. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми залежно від явища, що досліджується.

Для побудови логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії та травми в процесі створення мікрокліматичних умов у приміщенні оцінюють відповідні небезпечні події. Кожній із них присвоєно ймовірність виникнення:

Шифр	Назва події	Ймовірність
P ₁	Відсутність захисного заземлення	0,02
P ₂	Пошкодження захисного заземлення	0,04
P ₃	Спрацювання складових захисту	0,1
P ₄	Неправильна експлуатація захисту	0,02
P ₅	Відсутність профілактичних заходів	0,2
P ₆	Відсутність захисного щита	0,12
P ₇	Недотримання правил вибору взуття	0,15
P ₈	Незнання правил техніки безпеки	0,1
P ₉	Відсутність засобів індивідуального захисту	0,2
P ₁₀	Легковажність	0,08

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

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель процесів створення мікрокліматичних умов. Розглянемо травмонебезпечну ситуацію, що виникає за умови роботи працівників із електронебезпекою.

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу, отримаємо ймовірність події 13: $P_{13} = 0,2 + 0,4 - 0,2 \cdot 0,4 = 0,0592$.

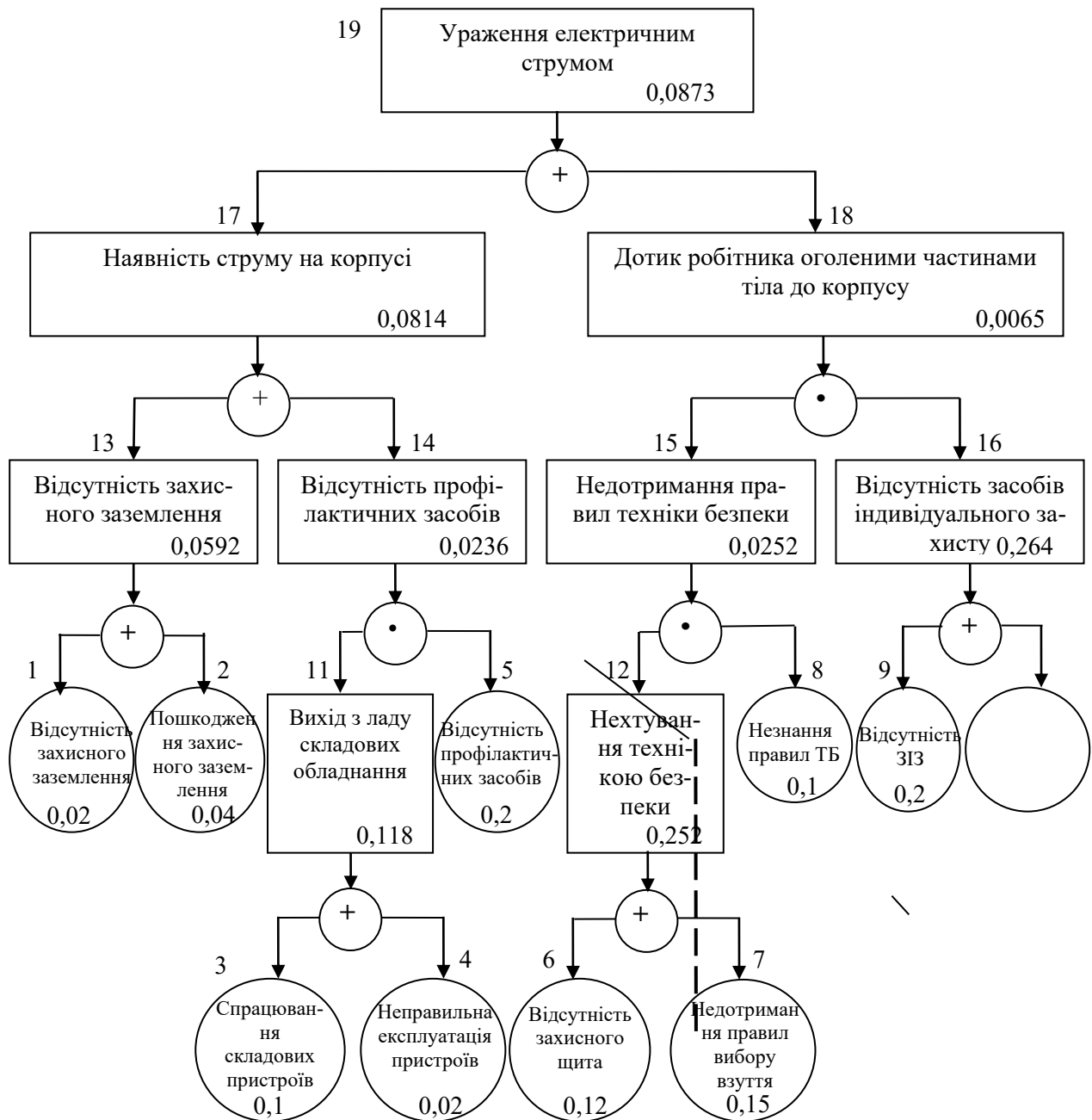


Рис. 5.1. Матриця логічних взаємозв'язків між окремими подіями травмонебезпечної ситуації [6]

Аналогічно визначаємо ймовірність інших подій:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4 P_5 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,118.$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 P_7 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,252.$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 P_{10} = 0,2 + 0,15 - 0,2 \cdot 0,15 = 0,264.$$

$$P_{14} = P_{11} \cdot P_5 = 0,118 \cdot 0,2 = 0,0236.$$

$$P_{15} = P_{12} \cdot P_8 = 0,252 \cdot 0,1 = 0,0252.$$

$$P_{17} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0,592 + 0,0236 - 0,0592 \cdot 0,0236 = 0,0814.$$

$$P_{18} = P_{15} \cdot P_{16} = 0,264 \cdot 0,0252 = 0,0065.$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17} \cdot P_{18} = 0,0065 + 0,0814 - 0,0065 \cdot 0,0814 = 0,0873.$$

Таким чином, ймовірність перекидання машини та наслідкового виникнення травми працівника є досить мала і становить – $P_{19} = 0,0873$.

5.2. Планування заходів із покращення умов праці

До заходів щодо покращення умов праці належать всі види діяльності, спрямовані на попередження, нейтралізацію або зменшення негативної дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на працівників.

Рівень умов праці оцінюють порівнянням за фактичними і нормативними значеннями узагальнених (групових) показників.

Заходи щодо поліпшення умов праці здійснюють з метою створення безпечних умов праці шляхом:

- доведення до нормативного рівня показників виробничого середовища за елементами умов праці;
- захисту працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

До показників ефективності заходів щодо поліпшення умов праці належать:

- а) зміни стану умов праці:
 - зміна кількості засобів виробництва, приведених у відповідність до вимог стандартів безпеки праці;
 - покращання санітарно-гігієнічних показників;
 - покращання психофізичних показників, зменшення фізичних і нервово-психічних навантажень, в т.ч. монотонних умов праці;
- б) соціальні результати заходів:

- збільшення кількості робочих місць, що відповідають нормативним вимогам;
- зниження рівня виробничого травматизму;
- престиж та задоволення працею.

Отже, на покращення охорони праці потрібно виділити кошти на відновлення вентиляційних систем у ремонтних майстернях, естетично оформити приміщення офісу, відновити кабінет з охорони праці, поновити протипожежний інвентар.

5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невинно зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе [6]. У системі цивільної оборони окремого господарства необхідно забезпечити захист населення так:

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.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розвиток аграрного сектору України останніми роками зазнав певного уповільнення через війну на сході України, що вплинула на логістику, інвестиції та доступ до сільськогосподарських ресурсів. Попри ці виклики, агросектор залишається однією з провідних галузей економіки та поступово відновлює темпи зростання завдяки впровадженню сучасних технологій.

Використання ІТ-сервісів стає ключовим чинником підвищення ефективності виробництва, оптимізації витрат і підвищення конкурентоспроможності. Сучасні цифрові рішення застосовуються у точному землеробстві, моніторингу стану посівів за допомогою дронів і супутникових даних, управлінні технікою через GPS-системи, прогнозуванні врожайності та аналізі погодних умов. Хмарні сервіси, аналітичні платформи та системи штучного інтелекту дозволяють аграрним підприємствам приймати обґрунтовані рішення на основі даних, підвищуючи продуктивність навіть в умовах нестабільності.

Моделювання даних – це процес створення узагальненого опису (моделі) структури даних, їхніх властивостей та взаємозв'язків між ними з метою ефективного зберігання, обробки й використання інформації. Воно дозволяє у зрозумілій формі відобразити, як організовані дані у певній системі чи предметній області, щоб забезпечити їх логічність, цілісність і доступність.

Існує кілька варіацій моделей даних: 1) концептуальна модель даних (Conceptual data model); 2) логічна модель даних (Logical data model); 3) фізична модель даних (Physical data model).

Опис структури коду алгоритмічної програми зводиться до представлення функцій, матриць, розгалужень та циклічних елементів у конфігурації програми, що реалізують модель даних. Використання цієї моделі дає змогу побудувати статистичні закономірності природно зумовленого фонду часу на виконання відповідних технологічних процесів – збирання врожаю цукрових буряків.

Блок-схема алгоритму моделі розроблена на підставі положень щодо відображення умов виконання виробничих процесів, зокрема, процесів комбайнового збирання врожаю цукрових буряків. Блок-схема алгоритму складається з 14 основних блоків (рис. 2.4).

Встановлена залежність t_{nz} (див. рис. 4.1) переконує у тому, що за пізніх календарних термінів початку бурякозбиральних робіт тривалість t_{nz} прямує до нуля. Тобто зростає ризик того, що погодні умови не дадуть змоги виконувати бурякозбиральні роботи через випадання дощів, снігу, виникнення заморозку тощо. У кінцевому результаті це призводить до втрат у виробництві технологічної сировини – коренеплодів цукрових буряків.

Використання відомих методів математичної статистики для опрацювання результатів моделювання дало змогу встановити ризик у виробничих процесах – збирання врожаю цукрових буряків, а також статистичні характеристики розподілу оптимального часу початку робіт τ_n^{opt} . Головні із них – оцінки математичного сподівання $\bar{M}[\tau_n^{opt}] = 301$ доба; коефіцієнт варіації – $\nu[\tau_n^{opt}] = 0,441$. Встановлено, що емпіричний розподіл τ_n^{opt} узгоджується із трипараметричним теоретичним розподілом Вейбулла.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бідюк П. І. Прикладна статистика / П. І. Бідюк, В.Я. Данилов О.Л. Жиров. Вінниця : ПП "ТД"Едельвейс і К", 2013. 304 с.
2. Бобечко А.З. Цифровізація управління комерційними процесами у сфері агробізнесу. Економіка та суспільство. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Вип. # 77. 2025. С.22-33. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-107>
3. Буяк Л. Сучасні тенденції та основні теоретичні підходи до цифрової трансформації агробізнесу. Journal of Strategic Economic Research. 50-62. 2024. DOI: 10.30857/2786-5398.2023.6.5.
4. Комплексна система ІТ-рішень для управління агробізнесом. URL: <https://agrichain.com.ua/> (дата звернення: 20.11.2025).
5. Костюк В. О. Прикладна статистика: навч. посібник / В. О. Костюк; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 191 с.
6. Лехман С.Д. та ін. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві / С.Д. Лехман, В.І. Рубльов, Б.І. Рябцев. К.: Урожай, 1993. 272 с.
7. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів: НВФ “Українські технології”, 2022. 800с.
8. Моделювання даних. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85 (дата звернення: 10.11.2025)
9. Моделювання та оптимізація систем: підручник / [Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В.] Вінниця : ПП «ТД«Еднльвейс», 2017. 804 с.

10. Сидорчук О. В., Сенчук С. Р. Інженерний менеджмент: системотехніка виробництва: навч. посіб. Львів: Львів. ДАУ, 2006. 127 с.
11. Спічак В. С. Управління виробничо-технологічним ризиком у проектах збирання цукрових буряків : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.22 «Управління проектами та програмами» / В. С. Спічак. Львів, 2010. 23 с.
12. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2010. 399 с.
13. Студія аграрних систем. URL: <https://sasagro.com/ua/golovna/> (дата звернення: 20.10.2025).
14. Томашевський В. М. Моделювання систем. К.: Видавнича група BHV, 2015, 352 с.
15. Томашевський В.М., Жданова О.Г., Жолдакова О.О. Вирішення практичних завдань методами комп'ютерного моделювання: Навч. посібник. К.:Корнійчук, 2011. 267с.
16. Цифровізація агросектора в дії: що підвищує ефективність та прибутковість. 2025. URL : <https://mind.ua/publications/20233015-cifrovizaciya-agrosektora-v-diyi-shcho-pidvishchue-efektivnist-ta-pributkovist> (дата звернення: 10.11.2025)
17. AgriLab. 2025. URL: <https://www.agrilab.ua/> (дата звернення: 10.11.2025)
18. Agro Portal. URL: <https://agroportal.ua/publishing/lichnyi-vzglyad/droni-v-agro-aktivnist-rinkuzalishitsya-staloyu-ale-ye-osoblivosti> (дата звернення: 20.11.2025)
19. Digital universe of opportunities. URL: <http://www.emc.com/leadership/digital-universe/index.htm?pid=landing-digitaluniverse-131212> (дата звернення: 20.11.2025).
20. Zosym M. BABOKv3. Моделювання даних (Data Modelling). URL: <https://www.maxzosim.com/data-modelling/> (дата звернення: 20.11.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Фрагмент коду комп'ютерної програми моделі природно зумовленого фонду часу для процесів збирання цукрових буряків

(програмне середовище – C#, оболонка – *Microsoft Visual Studio 2022*)

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;

namespace PDF_for_SB
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        Random rd = new Random();
        public int Start_pl = 100, start_Day = 240, end_Day = 360, i = 0, realiz_masa
        = 450, realiz_Kor = 1, realiz = 4,
            Zamorozok = 0, end_FSG = 0, fl_1 = 0;
        public bool flag = true; // прапорець для виводу масиву Prurist_kor[, ]
        StreamWriter rez_J, rez_4, rez_2, rez_local;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        //Процедури та функції
        public double veyb(double a, double b, double c, int min, int max)
        {
            double temp;
            do
            {
                temp = 0;
                temp = (c + a * Math.Exp((1 / b) * (Math.Log(-
                (Math.Log(rd.NextDouble())))))));

                } while (temp < min || temp > max);
            return temp;
        }

        public double norm(double matemSpodiv, double sigma, double MIN, double MAX)
        {
            double temp, r1, r2;
            do
            {
                temp = 0;
                r1 = rd.NextDouble();
                r2 = rd.NextDouble();
                temp = Math.Sqrt(-2 * Math.Log(r1)) * Math.Cos(2 * Math.PI * r2) *
                sigma + matemSpodiv;
                if (temp >= MIN && temp <= MAX) break;
            } while (true);
        }
    }
}
```



```

        return (int)Math.Round(temp);
    }

    // формування ряду погожих і непогожих днів
    public int[] FormPogodu(int[] pogogiDni, int[] nepogogiDni, int zamoroz)
    {
        //int start_Day = 258;
        int[] rez = new int[zamoroz]; // фонд часу між поч.робіт та заморозком
        int position = 0;
        int temp;
        for (int j = 0; j < pogogiDni.Length && position < rez.Length; j++)
        {
            temp = 0;
            while (temp < pogogiDni[j])
            {
                if (position == rez.Length) break;
                rez[position] = 1;
                temp++;
                position++;
            }
            temp = 0;
            while (temp < nepogogiDni[j])
            {
                if (position == rez.Length) break;
                rez[position] = 0;
                temp++;
                position++;
            }
        }
        return rez;
    }

    public double bio_Vtr(int Doba, int end_FSG, int Zamorozok, double[,]  
Prurist_kor)
    {
        double bio_masa = 0;
        int ii = 0;
        {
            for (ii = Doba; ii < end_Day; ii++)
            {
                //PDF_(ii, i, Pogoda); // визначити PDF
            }
        }
        return bio_masa;
    }

    void PDF_(int ii, int i, int[] Pogoda)// визначити PDF
    {
        int pdf = 0;
        for (int j = 0; j < ii - i; j++)
        {
            if (Pogoda[j] > 0) pdf++;
        }
        rez_local.WriteLine("{0,-5}{1,-10}", i, pdf);
    }

```

```

int ZAMOROZOK()// знайти день заморозку -5oC
{
    int Doba = 280;
    double T_grynty = 0;
    do
    {
        Doba++;
        double T_povitrja = ((0.0000084 * Math.Pow(Doba, 3) - 0.007139 *
Math.Pow(Doba, 2) + 1.838 * Doba - 130.43)
+ norm(0.356, 3.885, -17.3, 11.5));
        T_grynty = (-0.0056 * Math.Pow(T_povitrja, 2) + 0.9306 * T_povitrja -
3.5335);
    } while (T_grynty > -5);
    return Doba;
}

double [,] Korin_CB (double Masa_k, double[, ] Prurist_kor, int first_Day, int
last_Day)//припіст маси кореня, заморозок
{
    double dm = 0;
    Prurist_kor[0, 0] = 210; Prurist_kor[0, 1] = Masa_k;//записали в
перший день Masa_k
    switch (first_Day)
    {
        case (211):
        {
            dm = veyb(45.013,1.631,22,22,143); // для 211-220
календарних діб
            dm = dm / 10;
        }
        break;
        case 221:
        {
            dm = veyb(48.504, 1.559, 17, 17, 137);// для 221-230
календарних діб
            dm = dm / 10;
        }
        break;
        case 231:
        {
            dm = veyb(42.987, 1.675, 14, 14, 116);// для 231-240
календарних діб
            dm = dm / 10;
        }
        break;
        case 241:
        {
            dm = veyb(33.278,1.403,10,10,98);// для 241-251
календарних діб
            dm = dm / 11;
        }
        break;
        case 252:
        {
            dm = veyb(33.145,1.558,9,9,75);// для 252-261 календарних
діб
            dm = dm / 10;
        }
    }
}

```

```

        }
        break;
    case 262:
    {
        dm = veyb(28.782,1.460,6,6,49);// для 262-271 календарних
        діб
        dm = dm / 10;
    }
    break;
    case 272:
    {
        діб
        dm = veyb(14.671,1.449,3,3,23);// для 272-281 календарних
        dm = dm / 10;
    }
    break;
    case 282:
    {
        діб
        dm = veyb(1.220,1.183,2,2,8);// для 282-291 календарних
        dm = dm / 10;
    }
    break;
    default:
    {
        dm = 0; // для 292-end_Day (340)- приросту ЦБ немає
    }
    break;
}

```

```

        //Прогноз приросту маси кореня ЦБ з 211 до 340 дня
    }
    for (int i1 = 0; i1 < end_Day - start_Day; i1++)
    {
        for (int i2 = 0; i2 < 8; i2++)
        {
            mas_rez_0[i1, i2] = Math.Round(mas_rez_0[i1, i2] /
(decimal)(Math.Pow(realiz_Kor, 8)*realiz_masa), 3);
            rez_J.Write("{0,-10}", mas_rez_0[i1, i2]);
        }
        rez_J.WriteLine();
    }
    rez_J.Flush();
}
finally
{
    rez_J.Close();
    rez_2.Close();
    rez_4.Close();
    rez_local.Close();
}
MessageBox.Show("Моделювання завершено!", "PDF_for_SB",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.None);

```

```

    }
    private void Start_clik_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        pogoda.Maximum = (int) Math.Pow(realiz, 4);
        pogoda.Value = 0;
        pogoda.Step=1;
        PDF.Maximum = (int)Math.Pow(realiz_Kor, 8)* realiz_masa;//end_Day -
start_Day;
        PDF.Value=0;
        PDF.Step=1;
        model();
    }
}
}

```

ДОДАТОК Б.

Математичне опрацювання результатів моделювання

Таблиця Б.1

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу тривалості природно зумовленого фонду часу на виконання робіт у проектах ЗЦБ за умови їх початку – 1 вересня (Нормальний)

№	Униз	Уверх	Уі	М(і)	Рі	Уі*Рі	(Уі-Ус)²·Рі	f(y)	Теоретична частість
1	275,0	282,4	279	2	0,022	6,263	11,161	0,004	0,032
2	282,4	289,9	286	14	0,157	45,011	34,722	0,019	0,140
3	289,9	297,3	294	21	0,236	69,270	13,021	0,031	0,230
4	297,3	304,7	301	20	0,225	67,640	0,000	0,033	0,245
5	304,7	312,1	308	17	0,191	58,913	10,541	0,025	0,188
6	312,1	319,6	316	7	0,079	24,843	17,361	0,014	0,106
7	319,6	327,0	323	8	0,090	29,059	44,643	0,006	0,044
				89	1	301,000	131,449		0,985

Закон розподілу - **Вейбулла**

Математичне сподівання	<i>M</i>	301,000	Число ступенів вільності	<i>r</i>	3
Дисперсія	<i>D</i>	131,449	Рівень значимості	<i>α</i>	0,100
Серед.-квадр. відхилення	<i>σ</i>	11,465	Хі-квадрат розрахункове	<i>X²</i>	5,535
Коефіцієнт варіації	<i>v</i>	0,441	Хі-квадрат табличне	<i>(X*)²</i>	6,251
Параметр мірила	<i>a</i>	29,333	Коефіцієнт	<i>Kb</i>	0,886
Параметр форми	<i>b</i>	2,428	Коефіцієнт	<i>Cb</i>	0,391
			Коефіцієнт	<i>b/a</i>	0,083