

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

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: « Інформаційно-аналітична система оцінення
природного фонду часу для ґрунтообробно-посівних робіт »

Виконав: ст.гр. Іт-61

Спеціальності: 126 – «Інформаційні
системи та технології»

Рогінський Віктор Ігорович

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Боярчук О.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
другий (магістерський) рівень вищої освіти
126 – «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис)

д.т.н., професор Тригуба А. М.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ _____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу

Рогінському Віктору Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Інформаційно-аналітична система оцінення природного фонду часу для ґрунтообробно-посівних робіт»

Керівник роботи к.т.н., доцент. Боярчук О.В.

(наук. ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

Затверджені наказом по університету №140/к-с від 28.02.2025.

2. Строк подання студентом роботи 01.12.2025 р.

3. Початкові дані: Дані агрометумов Дубенського району; Розподіли ймовірнісних показників; Методика імітаційного моделювання; Бібліотеки мови програмування; Науково-технічна і довідкова література.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз використання інформаційних сервісів в агровиробництві

2. Теоретичні основи розробки інформаційно-аналітичної системи

3. Розробка інформаційно-аналітичної системи та методика дослідження

4. Результати використання інформаційно-аналітичної системи

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

Бібліографічний список

5. Перелік графічного матеріалу:

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4,6	<i>Боярчук О.В., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
5	<i>Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки</i>		

7. Дата видачі завдання 28.02.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____ *Рогінський В.І.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Боярчук О.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 004.932:631.1

Кваліфікаційна робота: 78 с. текст. част., 21 рисунки, 5 таблиць, 33 літ. джерел, 2 додатки.

Інформаційно-аналітична система оцінення природного фонду часу для ґрунтообробно-посівних робіт. Рогінський В.І. Кафедра інформаційних технологій. Дубляни, Львівський НУВМБ, 2025.

Виконано комплексний аналіз застосування інформаційних сервісів у сфері агровиробництва, зокрема з акцентом на використання агрометеопрогнозів та онлайн-метеосистем із API для збору погодних даних.

Розглянуто особливості сучасних мов програмування та платформ, що забезпечують інтеграцію метеорологічної інформації в інформаційно-аналітичні системи.

Теоретична частина присвячена вимогам предметної сфери та вибору програмного забезпечення для розробки системи, яка дозволяє відобразити агрометеорологічні умови та враховувати їх вплив на планування польових робіт. Описано блок-схему алгоритму імітаційної моделі та методіку математичної обробки початкових даних.

Практична частина роботи присвячена розробці програмного засобу для моделювання осінніх агрометеорологічних умов та формування природно дозволеного фонду часу для ґрунтообробно-посівних робіт.

Представлено результати моделювання, визначення статистичних характеристик фонду часу та оцінювання ризику несвоєчасного виконання польових операцій.

Результати дослідження підтверджують ефективність запропонованої інформаційно-аналітичної системи для підтримки прийняття рішень у агровиробництві.

Ключові слова: програмний засіб, моделювання, C#, агрометеоумови, фонд часу, закономірність характеристик.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СЕРВІСІВ В АГРОВИРОБНИЦТВІ.....	9
1.1. Аналіз головних понять агрометеопрогнозу.....	9
1.2. Аналіз онлайн-метеосистем із API для збору погодних даних..	12
1.3. Аналіз популярності мов програмування.....	18
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ.....	21
2.1. Особливості платформ для збору метеоданих.....	21
2.2. Вимоги предметної сфери до відображення агрометеорологічних умов в інформаційно-аналітичній системі.....	24
2.3. Особливості мов програмування та вибір інструментарію розробки.....	29
РОЗДІЛ 3	
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	34
3.1. Виробничі особливості формування фонду часу для осінніх ґрунтообробно-посівних	
3.2. Методика математичного опрацювання початкових даних.....	38
3.3. Блок-схема алгоритму імітаційної моделі.....	41
3.4. Розробка коду програмного засобу імітування осінніх агрометеорологічних умов.....	43
РОЗДІЛ 4	
РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ.....	50
4.1. Результати моделювання агрометеорологічних умов та їх впливу на фонд часу польових робіт.....	50
4.2. Результати визначення статистичних характеристик фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних робіт.....	55

	6
РОЗДІЛ 5	60
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	
5.1. Розробка логіко-імітаційної моделі виникнення травм і аварій..	60
5.2. Планування заходів із покращення умов праці.....	62
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	63
ВИСНОВКИ.....	64
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	66
ДОДАТКИ.....	69

ВСТУП

У сучасних умовах аграрного сектору України інформаційні технології (ІТ) стають ключовим інструментом управління виробничими процесами. Системи точного землеробства, супутниковий моніторинг полів, онлайн-платформи прогнозування погоди та сервіси аналітики створюють новий рівень можливостей для агровиробників. Вони дозволяють отримувати оперативні дані про стан ґрунту, погодно-кліматичні тенденції та параметри розвитку посівів, що істотно підвищує якість планування технологічних операцій і підтримку управлінських рішень.

Цифровізація бізнес-процесів у сільському господарстві вже стала не просто трендом, а визначальною умовою підвищення конкурентоспроможності та продуктивності підприємств [1, 8, 9, 13].

Водночас однією з найважливіших передумов ефективного землеробства залишається своєчасне виконання ґрунтообробно-посівних робіт. Доступний природний фонд часу для польових процесів значною мірою визначається агрометеорологічними умовами – температурним режимом, вологістю, опадами та швидкістю висихання орного горизонту. Неврахування цих факторів призводить до порушення оптимальних строків посіву, зниження врожайності, нераціонального використання ресурсів та зростання витрат. Саме тому виникає потреба у створенні спеціалізованих інформаційно-аналітичних систем, здатних інтегрувати агропогодні дані, оцінювати природний фонд часу для польових робіт і підтримувати планування виробничих процесів.

Мета роботи – розробка інформаційно-аналітичної системи для оцінювання природно дозволеного фонду часу виконання ґрунтообробно-посівних робіт у літньо-осінній період, яка дозволяє інтегрувати дані агрометеорологічних спостережень, здійснювати їх статистичну обробку та моделювання, оцінювати ризики несвоєчасного виконання польових операцій.

Для досягнення мети роботи були поставлені **наступні завдання**:

1. проаналізувати сучасні інформаційні сервіси і онлайн-метеосистеми для збору агрометеорологічних даних;
2. розкрити теоретичні основи створення інформаційно-аналітичної системи для врахування вимог прикладної сфери;
3. створити статистичну імітаційну модель для моделювання тривалості природно дозволеного фонду часу виконання ґрунтообробно-посівних робіт у літньо-осінній період;
4. узагальнити результати моделювання, визначити статистичні характеристики фонду часу та сформулювати рекомендації щодо планування польових робіт.

Об'єкт роботи: інформаційно-аналітична система та програмні засоби для моделювання агрометеорологічних умов і оцінки природно дозволеного фонду часу виконання ґрунтообробно-посівних робіт.

Предмет роботи: методи і засоби побудови інформаційно-аналітичної системи для оцінювання природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних операцій.

Новизна роботи полягає у тому, що:

- розроблено інформаційно-аналітичну систему, яка інтегрує дані агрометеорологічних спостережень із моделлю оцінки природно дозволеного фонду часу для ґрунтообробно-посівних робіт.
- впроваджено методику статистичної імітації, що враховує вплив змінних агрометеорологічних умов на своєчасність виконання польових робіт;
- встановлено закономірності зміни тривалості фонду часу під різні планові календарні терміни виконання ґрунтообробно-посівних робіт;
- оцінено ризик несвоєчасного виконання польових робіт та виникнення технологічних втрат врожаю.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СЕРВІСІВ В АГРОВИРОБНИЦТВІ

1.1. Аналіз головних понять агрометеопрогнозу

У сучасних умовах розвиток цифрових технологій, супутникових систем спостереження та аналітичних платформ суттєво спростили задачу короткострокового прогнозування погоди, перетворивши її на автоматизований процес [1, 8]. Сучасні погодні сервіси працюють за принципами обробки великих даних: збір інформації про атмосферу, її очищення та передача в спеціалізовані моделі здійснюються практично без участі людини.

Базовими змінними для таких сервісів є температура й вологість повітря, швидкість і напрям вітру, а також інші метеопказники, що формують стан атмосфери в конкретній точці [1, 15].

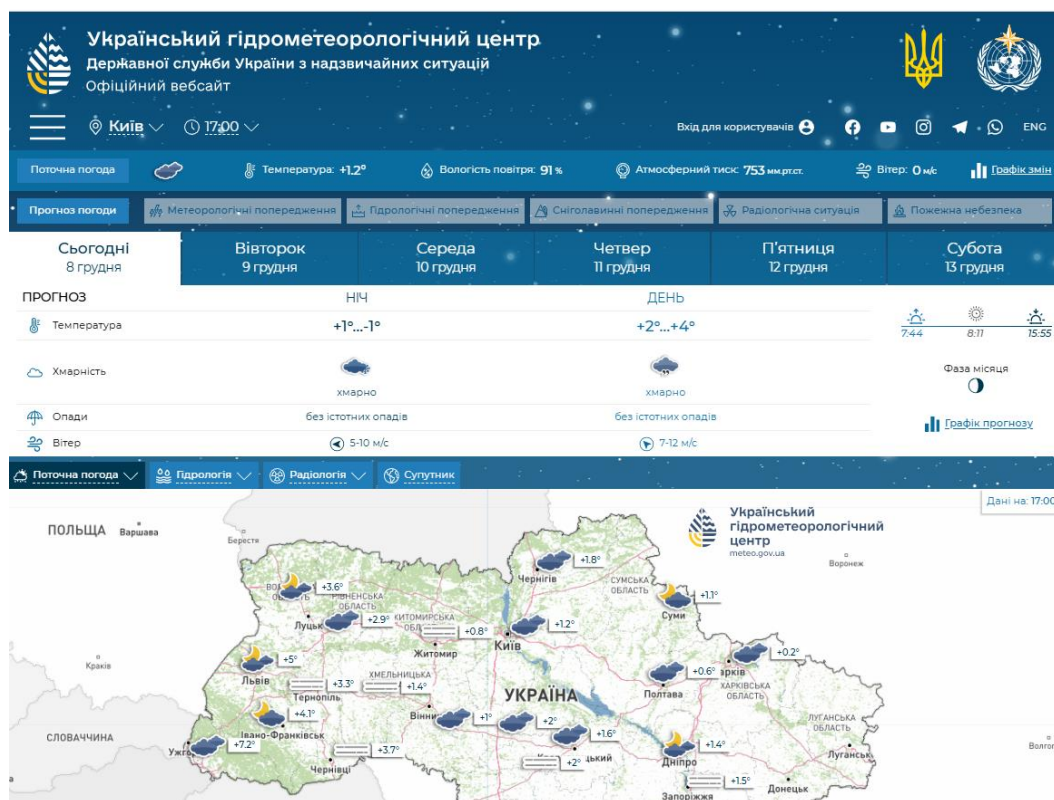


Рисунок 1.1 – Головна сторінка сайту Українського гідрометеорологічного центру [15]

Метеодані надходять через мережу сенсорних пристроїв і розподілених джерел – від наземних та морських станцій до авіаційних платформ і супутників спостереження. Після збору інформації системи передають її до аналітичних центрів, де на основі математичного моделювання та алгоритмів комп'ютерної симуляції формується прогноз на найближчі кілька днів. Незважаючи на стохастичний характер атмосферних процесів, значні обсяги вихідних даних дозволяють досягати високої точності короткострокових передбачень, а деякі провайдери навіть заявляють про можливість стабільних прогнозів на 30-45 днів наперед [16].

У фундаменті таких систем лежать складні атмосферні моделі, серед яких ключове місце посідає модель загальної циркуляції – обчислювальна конструкція, що відтворює круговорот повітряних і водних мас. Вона спирається на рівняння Нав'є–Стокса та їх модифікації, описуючи взаємодію термодинамічних та фізичних процесів на глобальному рівні. На її основі формується глобальна кліматична модель, котра розширює спектр змінних: стан льодових покривів, температурну структуру земної поверхні, динаміку газового складу атмосфери та обіг CO₂.

Попри високу точність і інформативність, подібні моделі характеризуються складністю реалізації та потребою у значних обчислювальних ресурсах. Крім того, їх ефективність закономірно зменшується зі збільшенням горизонту прогнозування, що робить довгострокові оцінки менш достовірними та потребує подальшого удосконалення алгоритмів і розрахункових потужностей.

У зв'язку зі складністю та високими обчислювальними вимогами кліматичних моделей, для задач довгострокового прогнозування доцільно розглядати більш прості методи, засновані на статистичному аналізі та регресійних моделях. Хоч такі моделі не здатні забезпечувати детальний день у день прогноз і охоплюють лише певні аспекти атмосферних процесів через спрощену структуру, при коректному формулюванні їх довгострокова

точність може бути практично порівнянною з кліматичними моделями, водночас потребуючи значно менше обчислювальних ресурсів.

Наприклад, у 2024 році у журналі Американської статистичної асоціації була опублікована робота Шона Кемпбела та Френсіса Діболда, в якій моделювалася середня денна температура у таких містах, як Атланта, Чикаго, Лас-Вегас та Філадельфія. Для прогнозування автори використали поєднання авторегресійної моделі з зовнішнім параметром та умовної авторегресії з гетероскедастичністю (Conditional Heteroskedasticity), що базувалась на часових рядах денних температур. Порівняння результатів із прогнозами корпорації Earth Satellite, які використовують супутникові дані, показало, що для горизонту 1-4 дні статистична модель поступалася, але у прогнозах на 5-8 днів різниця була незначною, а від 8 днів результати майже збігалися [20].

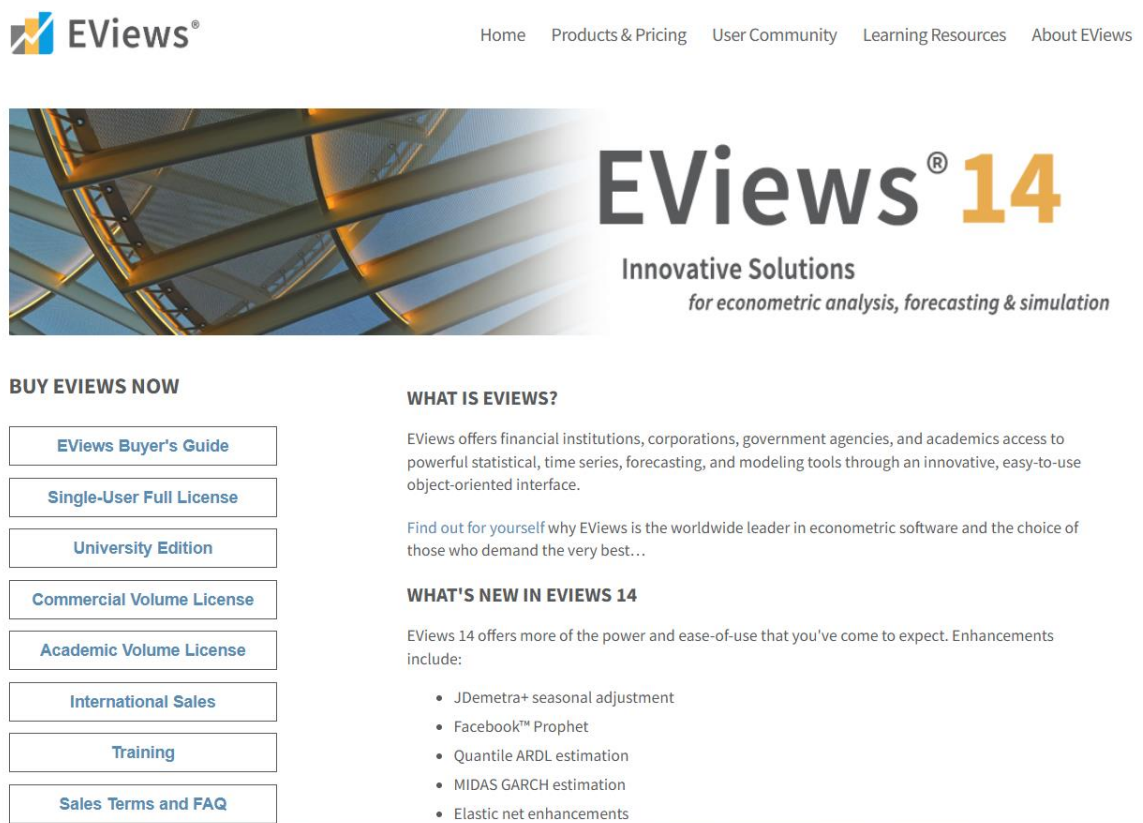
Ще одним прикладом є дослідження зміни клімату в Джорхаті, Індія, на основі даних за період 1965-2020 років, що включали місячну кількість опадів та мінімальні й максимальні температури. Було виділено часові ряди без тренду та визначено сезонну компоненту. Встановлено, що авторегресійна модель порядку 12 є достатньою для опису процесу. Перевірка моделі на даних за 2001-2018 роки та статистичні тести підтвердили її адекватність. Далі модель використовували для прогнозування до 2050 року, що дозволило передбачити стабільність клімату у східній частині Індії протягом найближчих десятиліть.

Інший приклад стосується прогнозування кількості опадів із використанням статистичних моделей. Щоденні дані про опади були агреговані до місячних показників і застосовані у сезонній векторній авторегресійній моделі з інтегрованим ковзним середнім (sVARIMA). Джерелом даних стали 12 метеостанцій у 5 районах сектору Газа, охоплюючи період 1973-2014 років. Аналіз показав, що використання моделей sVARIMA у екологічних дослідженнях забезпечує ефективний підхід для прогнозування

опадів та може слугувати орієнтиром для коротко- і довгострокового управління водними ресурсами [24, 25].

1.2. Аналіз онлайн-метеосистем із API для збору погодних даних

Застосування прогнозних моделей практично неможливе без спеціалізованого програмного забезпечення, яке забезпечує автоматизацію розрахунків і візуалізацію результатів [18]. Одним із найбільш поширених інструментів статистичного моделювання є програмний пакет EViews. Це середовище для статистичного аналізу, що працює під операційною системою Windows і орієнтоване насамперед на дослідження часових рядів, побудову прогнозних моделей та аналіз взаємозв'язків між змінними.



BUY EViews NOW

- [EViews Buyer's Guide](#)
- [Single-User Full License](#)
- [University Edition](#)
- [Commercial Volume License](#)
- [Academic Volume License](#)
- [International Sales](#)
- [Training](#)
- [Sales Terms and FAQ](#)

WHAT IS EViews?

EViews offers financial institutions, corporations, government agencies, and academics access to powerful statistical, time series, forecasting, and modeling tools through an innovative, easy-to-use object-oriented interface.

Find out for yourself why EViews is the worldwide leader in econometric software and the choice of those who demand the very best...

WHAT'S NEW IN EViews 14

EViews 14 offers more of the power and ease-of-use that you've come to expect. Enhancements include:

- JDemetra+ seasonal adjustment
- Facebook™ Prophet
- Quantile ARDL estimation
- MIDAS GARCH estimation
- Elastic net enhancements

Рисунок 1.2 – Рішення для статистичного аналізу BigData в EViews

EViews було створено компанією QMS (Quantitative Micro Software) у 1994 році та надалі постійно модернізувалося, отримуючи нові алгоритми та

розширені аналітичні можливості. Незважаючи на те, що цей програмний продукт дозволяє отримувати точні статистичні оцінки та має широкий інструментарій для економетричного аналізу, його інтерфейс і логіка роботи не завжди є інтуїтивно зрозумілими для користувача, що може ускладнювати освоєння системи та налаштування окремих процедур.

Програмне середовище містить інтерактивне робоче вікно, у якому об'єкти організовано за принципом багатокомпонентної структури. Така модель забезпечує паралельну роботу з різними типами даних, а їх керування здійснюється за допомогою процедур, здатних створювати нові сутності. Кожен елемент системи відповідає окремому типу інформації – часовому ряду, статистичним коефіцієнтам, візуалізаціям, аналітичним моделям, результатам обчислень або табличним представленням.

Окрім графічного інтерфейсу [25], EViews підтримує командний режим роботи, у якому користувач може вводити інструкції для виконання статистичних операцій. Послідовність таких команд можливо зберігати як окремий сценарій, що є зручним інструментом для повторного відтворення дослідницьких процедур. Система підтримує імпорт та опрацювання даних у різних форматах, а для їх аналізу передбачено широкий спектр способів візуалізації – графіки, діаграми, корелограми та інші форми подання результатів.

Серед базових функцій EViews – швидкий доступ до описової статистики, що включає середні значення, дисперсійні характеристики, показники форми розподілу та інші параметри. Окремо варто відзначити можливість миттєвого перегляду автокореляційної та часткової автокореляційної функцій, які відображаються у спільному вікні, що значно спрощує аналіз часових рядів.

У контексті роботи також були розглянуті інструменти для онлайн-моніторингу та аналізу метеорологічних даних, серед яких **Metview**, **OpenWeatherMap**, **GrADS** та інші веб-сервіси візуалізації даних для дослідження стану довкілля.

Metview виступає комплексним модулем метеорологічної робочої станції, що забезпечує доступ до даних, їх обробку й графічне подання. Система має гібридний інтерфейс – іконкове середовище для інтерактивних операцій поєднане зі сценарійною мовою для автоматизації пакетних процесів шляхом перетворення візуальних дій у програмний код.

Metview приймає дані з широкого спектра джерел, включаючи GRIB та BUFR-файли, архіви ECMWF, бази спостережень, локальні сховища, CSV-дані та формати NetCDF. Для користувача доступні засоби фільтрації, трансформації й аналітичної обробки даних, а також інструменти створення проєкційних карт, вертикальних профілів, поперечних перерізів, складених багатошарових схем і добірок графіків на одному макеті.

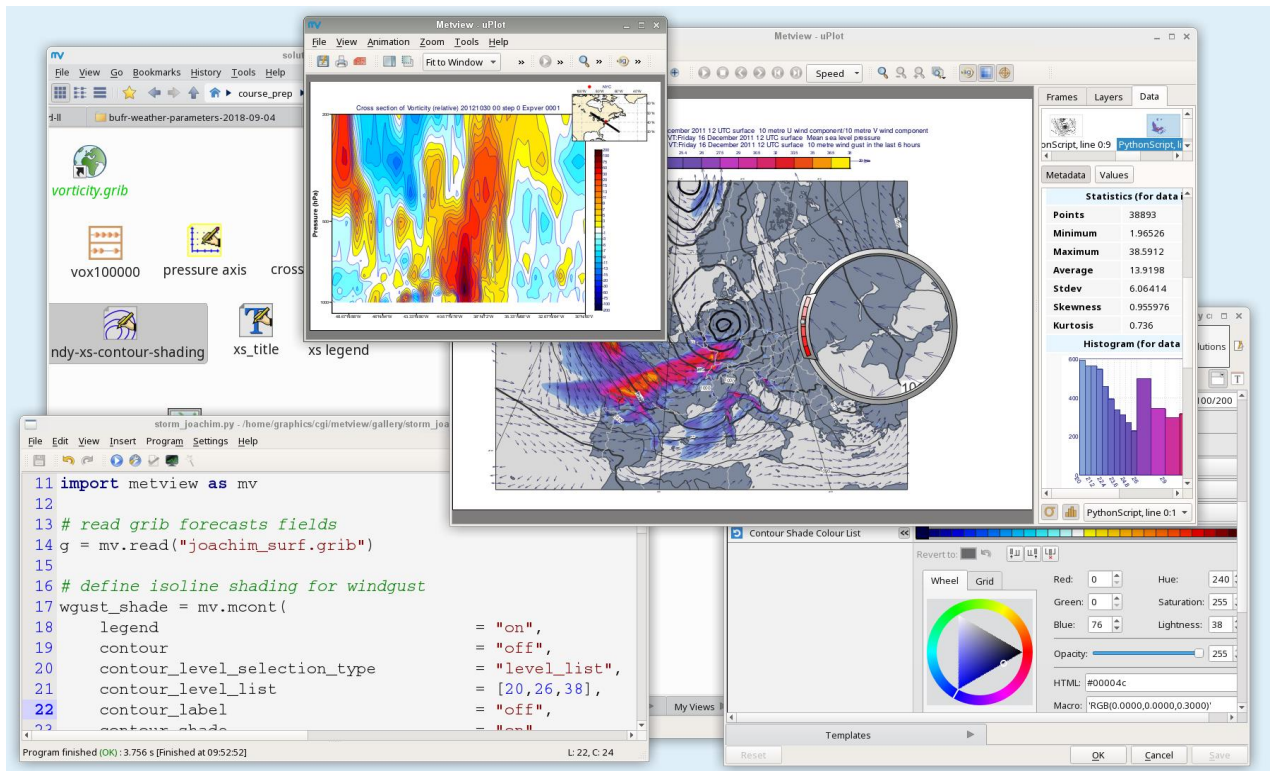


Рисунок 1.3 – Графічний інтерфейс Metview [15]

OpenWeatherMap, у свою чергу, є веб-платформою доступу до синоптичної інформації (рис. 1.4), що функціонує на комерційній основі з можливістю обмеженого безкоштовного користування. Сервіс агрегує дані зі світових державних метеослужб, аеропортових станцій та приватних метеопостів, використовуючи ці відомості для формування прогнозів і

синтезу погодних карт. Центральна концепція OpenWeatherMap полягає в інтеграції приватних сенсорних мереж для підвищення точності вихідної інформації і, відповідно, прогнозних моделей.

Сервіс використовує картографічну базу OpenStreetMap і надає API, що дозволяє одержувати інформацію у форматах JSON, XML або HTML для застосування у веб-рішеннях, мобільних додатках та аналітичних системах.

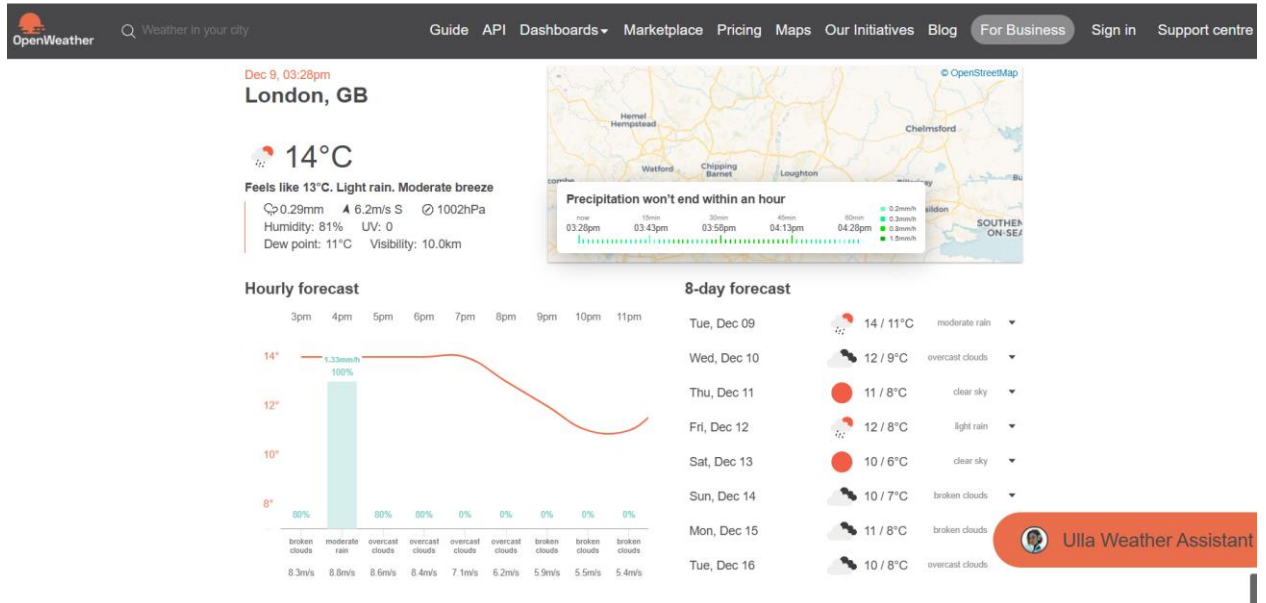


Рисунок 1.4 – Головна сторінка OpenWeatherMap

Передавання телеметричних даних із метеостанції до сервісу OpenWeatherMap здійснюється за протоколом POST. Система приймає структурований набір параметрів, серед яких – характеристика вітрового режиму (напрямок, швидкість та пориви), температура повітря, відносна вологість, барометричний тиск, показники опадів за різні часові інтервали, значення снігового покриву, рівень освітленості, географічні координати та висота, параметри сонячної радіації, точка роси, UV-індекс і символічний ідентифікатор станції [28, 29].

Система GrADS (Grid Analysis and Display System) є інтерактивним інструментом настільного класу, призначеним для доступу, обробки й візуалізації даних, що застосовуються в геофізичних та метеорологічних

дослідженнях. Платформа підтримує два типи моделей – для регулярних сіткових даних і для даних окремих станцій. GrADS працює з широким спектром форматів, включно зі стрімінговими файлами, GRIB (версій 1 і 2), NetCDF, HDF4/5 та BUFR, що робить систему універсальним інструментом для різних наукових застосувань.

Архітектура GrADS базується на п'ятивимірному представленні даних: географічні координати (довгота й широта), вертикальний рівень, час і додатковий вимір для обробки ансамблевих наборів. Масиви даних описуються за допомогою спеціальних дескрипторів, що визначають їхню структуру та спосіб розміщення у цьому просторі. Система коректно працює як із регулярними сітками, так і з нелінійними, гаусовими та змінними за роздільною здатністю.

Examples of GrADS Used on the Web to Deliver Images

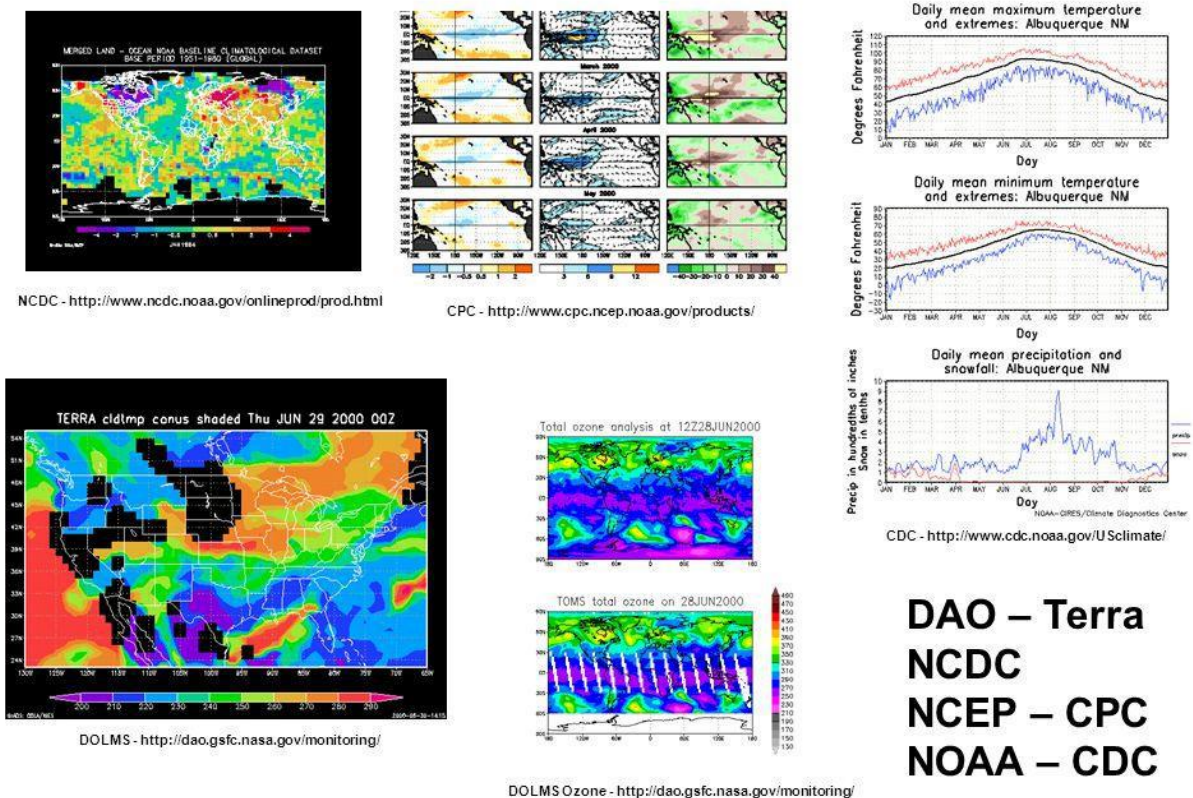


Рисунок 1.5 – Результати роботи системи GrADS [8]

Візуалізаційні можливості GrADS охоплюють широкий спектр

графічних методів (рис. 1.5), серед яких – лінійні графіки, гістограми, контурні та псевдокольорові карти, векторні карти вітру, схеми поточкових ліній, графіки станційних вимірювань та інші типи відображення.

Результати можуть експортуватися у формат PostScript або у вигляді растрових зображень. За замовчуванням система пропонує оптимальні геофізичні параметри рендерингу, проте дозволяє повністю налаштувати зовнішній вигляд графіки.

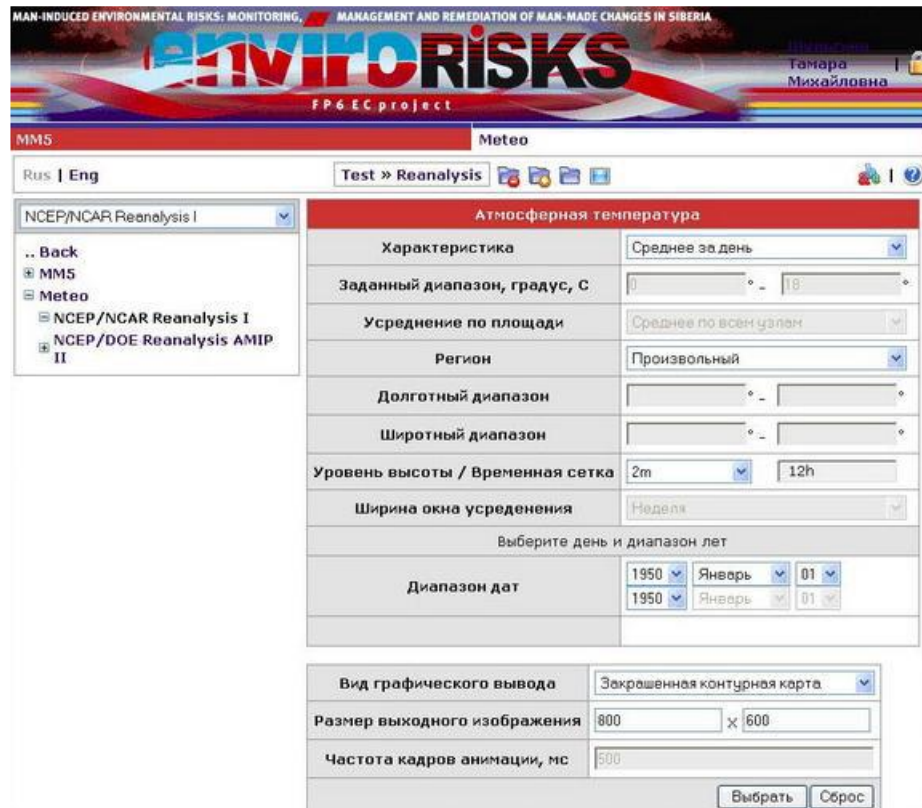


Рисунок 1.6 – Интерфейс для роботи з Web-системою [9]

Окрему групу інструментів становлять веб-системи, створені для дистанційної обробки та візуалізації метеорологічних даних. Такі рішення ґрунтуються на обчислювальних ядрах, подібних до платформи ATMOS, і дають змогу проводити математичну та статистичну обробку великих масивів даних з метою дослідження регіональних і глобальних кліматичних змін. На сьогодні підтримуються реаналізи NCEP/NCAR та NCEP/DOE AMIP II, для яких реалізовано побудову часових трендів і порівняння параметрів різних наборів даних.

Візуалізація результатів у таких веб-системах зазвичай базується на пакетах з відкритим кодом, зокрема GrADS. Графічний інтерфейс реалізовано за допомогою HTML, PHP і JavaScript і подано у вигляді інтерактивних форм, що дозволяють задавати параметри розрахунку та миттєво отримувати графічні результати обробки.

Для візуалізації результатів у системі застосовувався пакет GrADS з відкритим кодом, який забезпечує широкі можливості графічного відображення даних. Графічний інтерфейс був реалізований із використанням мов HTML, PHP та JavaScript і представлений у вигляді динамічної форми для введення параметрів обчислення та налаштування способів візуалізації [25, 30].

Програмні компоненти системи функціонують як незалежні модулі, що підключаються через PHP і виконуються засобами GrADS. Після завершення розрахунків GrADS формує файл з графічним результатом, який передається в ядро веб-системи для подальшого відображення на сторінці. Метеорологічні дані зберігаються у структурованому вигляді на серверному жорсткому диску та доступні виключно для внутрішньої обробки. Користувач не має прямого доступу до первинних даних і не може завантажувати їх, однак може безперешкодно отримувати результати візуалізації як вихідних параметрів, так і виконаних над ними статистичних операцій.

1.3. Аналіз популярності мов програмування

Сучасний ринок пропонує широкий спектр інструментів для розробки програмного забезпечення, кожен з яких має власний інтерфейс, специфіку використання та функціональні особливості. Різноманіття таких середовищ зумовлює наявність як сильних сторін, так і певних обмежень у кожному з них [1].

Одним із найпоширеніших рішень у сфері розробки є Visual Studio – інтегроване середовище, створене компанією Microsoft. Воно підтримує широкий набір мов програмування, серед яких C, C++, C#, F#, Visual Basic, JavaScript та Python, і забезпечує можливість створення застосунків для платформ Windows, Linux та Android.

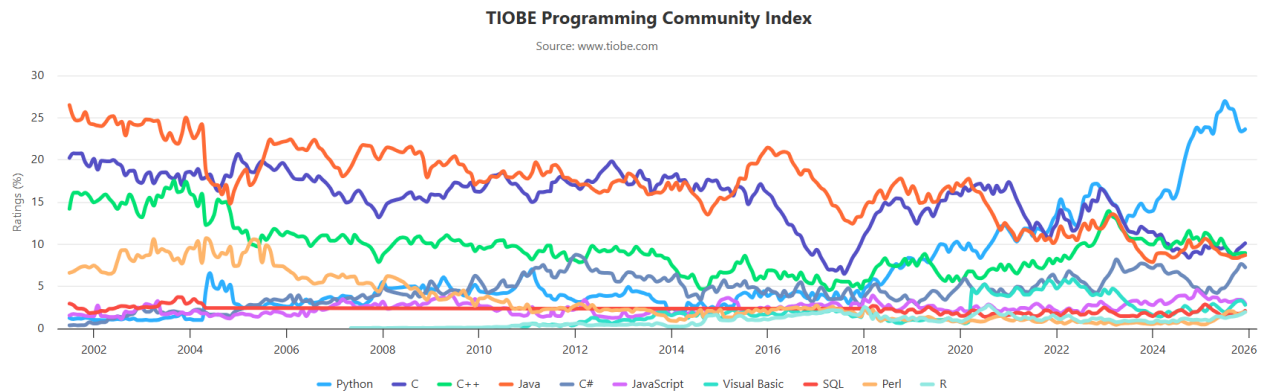


Рисунок 1.7 – Популярність мов програмування (TIOBE Index for December, 2025)

Ще одним відомим середовищем є IntelliJ IDEA, що розробляється компанією JetBrains та оптимізоване для роботи з Java і Kotlin. Kotlin є порівняно новою мовою, яка функціонує на JVM і стрімко набирає популярності. IntelliJ IDEA дає змогу створювати застосунки для Windows, Linux, macOS та Android, причому остання платформа є особливо затребуваною завдяки інтегрованим інструментам для Android-розробки.

PyCharm – це окремий продукт тієї ж компанії JetBrains, призначений для програмування мовою Python. Він підтримує створення звичайних програм, веб-рішень і наукових застосунків.

Eclipse – середовище, підтримуване організацією Eclipse Foundation, у першу чергу орієнтоване на Java-розробників, хоча також забезпечує роботу з JavaScript, Rust, PHP, C та C++. Важливою перевагою цього інструмента є його невисокі системні вимоги та легкість використання.

Code::Blocks – безплатне середовище з відкритим вихідним кодом, що призначене для розробки проєктів мовами C, C++ та Fortran. Як і Eclipse, воно вирізняється мінімальними вимогами до апаратної частини.

У контексті розвитку ІТ у 2025 році вибір мови програмування все більше залежить не лише від технічних можливостей конкретних інструментів, а й від екосистем, що формуються довкола них. Провідні мови продовжують зміцнювати позиції завдяки активним спільнотам, широкій підтримці фреймворків та орієнтації на хмарні обчислення, машинне навчання й розподілені системи. Python утримує роль універсального інструмента завдяки своїй адаптивності й значній кількості бібліотек для науки про дані. Java та C# залишаються базовими мовами для корпоративного сектору, де важливими є стабільність, масштабованість і довгострокова підтримка.

Водночас у перспективі найближчих років спостерігається посилення позицій мов, орієнтованих на безпечну роботу з пам'яттю й високопродуктивні обчислення. Зокрема, Rust продовжує розвиватися як високонадійний інструмент для системного програмування, а Go посилює присутність у сфері хмарних сервісів і мікросервісної архітектури. Kotlin, завдяки своїй універсальності та сумісності з Java, зміцнює позиції не лише як основна мова Android-розробки, а й як ефективний інструмент для серверної частини застосунків.

Перспектива розвитку мов програмування полягає у постійній інтеграції з технологіями штучного інтелекту, автоматизації бізнес-процесів та інфраструктурним програмуванням. Усе це формує нові вимоги до інструментів розробки, які мають забезпечувати високу продуктивність, зручність роботи, надійність і можливість швидкої адаптації до динамічних технологічних змін. Тому сучасним розробникам важливо не лише володіти певною мовою, а й орієнтуватися у тенденціях ринку, розуміти сильні та слабкі сторони різних екосистем і гнучко комбінувати інструменти відповідно до завдань майбутніх проєктів.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Особливості платформ для збору метаданих

Даний етап роботи відіграє ключову роль, оскільки саме якісний попередній аналіз значною мірою визначає точність і адекватність майбутньої моделі. Під час аналізу основна увага приділяється визначенню розмірності досліджуваного процесу та виявленню логічних взаємозв'язків між змінними. Після встановлення таких залежностей необхідно оцінити можливість їх коректного відображення у моделі. Крім того, доцільно розглянути декомпозицію складного процесу на простіші підпроцеси, які зручніше описувати та аналізувати окремо [1, 5, 8].

У випадку наявності вже існуючих моделей технологічного процесу їх варто проаналізувати з точки зору ефективності, визначити сильні та слабкі сторони, а також оцінити можливість використання або адаптації цих підходів у межах власного дослідження. Застосування модифікованих готових рішень, за умови їх відповідності задачі, дозволяє суттєво скоротити час побудови шуканої моделі.

Не менш важливим етапом є опрацювання наукових і технічних джерел, що стосуються досліджуваного процесу. Аналіз літератури дає змогу виявити характерні особливості, відомі закономірності та фізичні закони функціонування системи, які варто враховувати під час моделювання. Для отримання більш повної картини доцільно використовувати інформацію з кількох незалежних джерел.

Попередня підготовка експериментальних даних або часових рядів передбачає виконання низки операцій, що спрощують аналіз і моделювання. До них належать нормування, коригування даних, а також обчислення різниць або інших похідних показників на основі наявних значень.

Нормування застосовується з метою приведення даних до зручного числового інтервалу, наприклад $[0,1]$, де мінімальному значенню ряду відповідає 0, а максимальному – 1. Одним із поширених підходів до такого перетворення є логарифмічне масштабування даних.

Коригування даних полягає у заповненні пропущених значень у часовому ряді та усуненні аномальних викидів. Такі викиди зазвичай характеризуються різкими, поодинокими змінами показників і не відображають реальну динаміку процесу. Визначення того, чи є подібні значення допустимими, здійснюється на попередньому етапі аналізу.

Обчислення різниць між сусідніми значеннями часового ряду використовується для побудови моделей, що описують швидкість або прискорення змін досліджуваного показника.

Порівняльний аналіз переваг і недоліків аналогів, розглянутих у підрозділі 1.3, наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Переваги і недоліки платформ збору метеоданих

Назва системи	Переваги	Недоліки
1	2	3
Веб-система для обробки і візуалізації метеорологічних даних	<ul style="list-style-type: none"> - веб-система; - добре розвинений інтерфейс; - дозволяє різноманітні обчислення; - наявність декількох масивів даних дає можливість для порівняння ключових метеорологічних і кліматичних характеристик; - є можливою побудова часових трендів метеорологічних і кліматичних параметрів, що є однією з основних характеристик, що сприяє виявленню загальної довгострокової тенденції в зміні метеорологічних величин в часовому ряді. 	<ul style="list-style-type: none"> - немає можливості завантажити оброблені данні з системи
OpenWeatherMap	<ul style="list-style-type: none"> - он-лайн сервіс; - API для доступу до даних про поточну погоду, прогнозами, для web-сервісів і мобільних додатків - джерелом даних є офіційні метеорологічні служби, дані з метеостанцій аеропортів, і дані з приватних метеостанцій; - безліч карт погоди, які можуть бути підключені до мобільних додатків і веб-систем; - потужний пошук метеоданих по містам та координатам. 	<ul style="list-style-type: none"> - платний API; - архівні дані доступні тільки на комерційній й основі.

Продовження табл. 2.1.

1	2	3
GrADS	<ul style="list-style-type: none"> - легкий доступ, маніпуляція і візуалізація даних про земну науку; - підтримує безліч форматів файлів даних; - впроваджується в усьому світі в різних широко використовуваних операційних системах і вільно поширюється через Інтернет; - дані можуть відображатися з використанням різних графічних методів. 	<ul style="list-style-type: none"> - десктопний додаток.
Веб-портал «ATMOS»	<ul style="list-style-type: none"> - он-лайн моделі і аналітичні інструменти; - збір даних; - тематичні дослідження разом з навчальними матеріалами; - дискусійний форум. 	<ul style="list-style-type: none"> - погано розроблений інтерфейс користувача
Metview	<ul style="list-style-type: none"> - велика різноманітність форматів даних, що приймаються на вході; - зручний призначений для користувача інтерфейс; - потужні засоби фільтрації та обробки даних; - велика кількість типів графіків для відображення даних; - детальна документація. 	<ul style="list-style-type: none"> - працює тільки під Linux; - десктопний додаток.

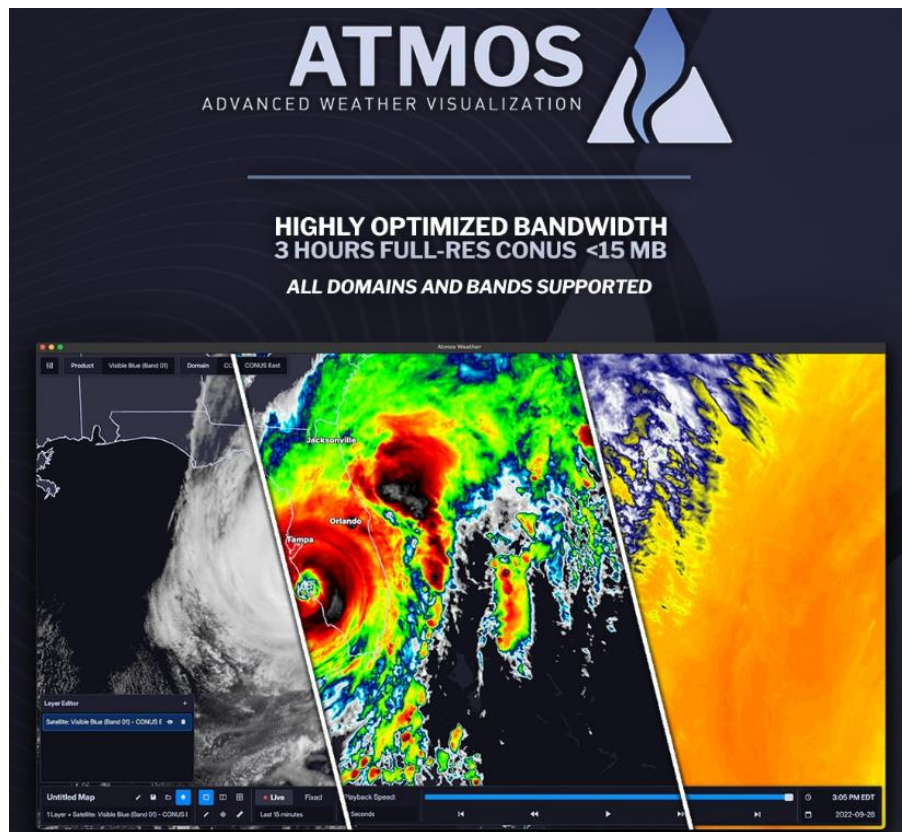


Рисунок 2.1 – Платформа аналізу стану атмосфери у сервісі ATMOS

З урахуванням наведених вище характеристик та вимог було прийнято

рішення про розробку інформаційної системи, призначеної для збору, обробки та аналітичного опрацювання даних, що описують фонд часу виконання технологічних операцій у рільництві. Такий підхід дозволяє систематизувати наявну інформацію, підвищити точність розрахунків і забезпечити можливість подальшого аналізу ефективності виконання виробничих процесів [9, 11, 14].

2.2. Вимоги предметної сфери до відображення агрометеорологічних умов в інформаційно-аналітичній системі

Специфіка виконання ґрунтообробно-посівних робіт під озимі культури в літньо-осінній період полягає в їх безпосередній залежності від завершення збирання культури-попередника. Календарні строки початку використання відповідних машинних агрегатів у господарствах визначаються як біологічними термінами досягання попередньої культури, так і фактичною тривалістю виконання збиральних операцій. Дослідження часу досягання потенційних попередників озимих культур (τ_{∂}) потенційних попередників озимих культур переконує у тому, що ці терміни є системно зумовленими:

$$\tau_{\partial} = f(\tau_c, Am, Bo), \quad (2.1)$$

де τ_c – день сівби культури–попередника, доба; Am – сукупність агрометеорологічних умов упродовж періоду її вегетації; Bo – сортові та біологічні особливості росту й розвитку попередника.

Встановлення залежності між показниками τ_c і τ_{∂} може бути здійснене на основі таких характеристик, як календарні строки сівби відповідних культур–попередників, виражені в добах, а також тривалість їх вегетаційного періоду t_e [12]. Для кількісної оцінки зазначених параметрів обрано єдину точку відліку – 1 січня, відносно якої визначається кількість діб до настання подій τ_c та τ_{∂} . У межах даного дослідження визначення цих показників

виконувалося за датами настання відповідних фенологічних фаз розвитку сільськогосподарських культур, що зафіксовані у звітних матеріалах метеорологічної станції за формою ТСХ-1. Не вдаючись до детального розгляду методики метеорологічних спостережень, слід зазначити, що вони здійснюються відповідно до чинних нормативних вимог [12], що дозволяє вважати отримані дані достовірними.

На основі результатів багаторічних спостережень було сформовано базу вихідних даних, необхідну для чисельного оцінювання строків τ_c та τ_d . Таким чином, початок ґрунтообробно-посівних робіт на полях, відведених під озимі культури, визначається строками досягання культури-попередника та завершенням операцій зі збирання її врожаю. Подальше виконання технологічних операцій здійснюється відповідно до обраної системи землеробства – традиційної, мінімальної обробітки, *No-till* тощо – яка застосовується в технологічній схемі обробітки ґрунту та сівби озимих культур. Для кожної з таких технологій встановлено певні агротехнічні вимоги щодо строків виконання окремих операцій, що відображено на рис. 2.2.

З аналізу рис. 2.2 випливає, що строки проведення таких операцій, як оранка та суцільна культивування з метою знищення бур'янів, залежать від термінів початку й завершення лущення стерні, наявності несприятливих погодних інтервалів у процесі виконання робіт, а також інтенсивності росту бур'янової рослинності. У зв'язку з цим моменти виникнення потреби у виконанні зазначених операцій мають системно зумовлений характер. Їх дослідження потребує застосування системного підходу, зокрема методів статистичного та імітаційного моделювання, які дають змогу врахувати імовірнісний вплив окремих чинників зовнішнього середовища на перебіг ґрунтообробно-посівних процесів у літньо-осінній період.

Завершальним етапом механізованих робіт, що виконуються в зазначений період на полях під озимі культури, є технологічна операція сівби.

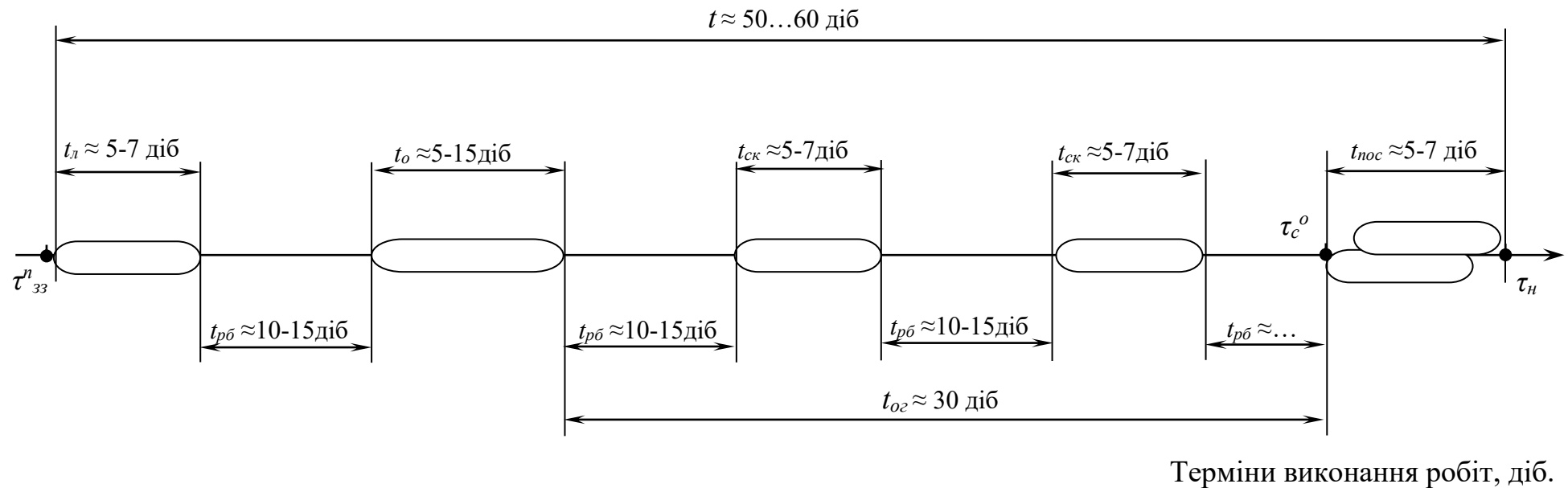


Рисунок 2.2 – Графічна схема відображення агротехнічних вимог до строків виконання ґрунтообробно-посівних операцій під озимі культури: $t_l, t_o, t_{ck}, t_{noc}$ – відповідно тривалість операцій лушення стерні, оранки, суцільної культивуації з метою знищення бур'янів, передпосівного обробітку ґрунту та сівби культур; $t_{pб}$ – період розвитку бур'янової рослинності; t_{oz} – фонд часу, необхідний для перебігу фізичних процесів осідання зораного шару ґрунту.

Метод визначення агрометеорологічно обумовлених календарних строків сівби озимих культур (τ_c^o) ґрунтується на необхідності врахування біологічних особливостей їх росту та розвитку в осінній період, що безпосередньо впливає на формування врожайності та ефективність виробництва.

Сутність зазначених особливостей полягає у формуванні оптимальних умов для загартування сходів озимих культур і забезпеченні досягнення ними фенологічної фази кушіння до настання зимового періоду. За таких умов рослини характеризуються кращою перезимівлею, підвищеною стійкістю до хвороб та несприятливого впливу низьких температур. У наукових працях агрономів обґрунтовується доцільність визначення строків сівби озимих культур з урахуванням тенденцій розвитку агрометеорологічних умов і з таким розрахунком, щоб упродовж осінньої вегетації рослини встигли накопичити визначену суму ефективних середньодобових температур вище $+5\text{ }^\circ\text{C}$ ($\Sigma_{\text{Тeff}}$). Зокрема, для озимої пшениці рекомендоване значення $\Sigma_{\text{Тeff}}$ становить близько $300\text{ }^\circ\text{C}$, для озимого жита – приблизно на $50\text{ }^\circ\text{C}$ більше, а для озимого ріпаку – в межах $700\text{ }^\circ\text{C}$ [12].

З огляду на цю біологічну особливість росту і розвитку озимих культур у роботі застосовано підхід до визначення агрометеорологічно зумовленого моменту початку (τ_c^o) технологічної операції сівби (рис. 2.3). Даний підхід базується на аналізі тенденцій зміни агрометеорологічних умов літньо-осіннього періоду та, зокрема, на врахуванні показника суми ефективних температур.

Часовий інтервал, протягом якого агрометеорологічні умови літньо-осіннього періоду забезпечують накопичення необхідної для озимих культур суми ефективних середньодобових температур, визначався відносно моменту припинення їх осінньої вегетації. Відомо [12], що осіння вегетація озимих культур триває до встановлення так званого «стійкого переходу» середньодобової температури повітря через позначку $+5\text{ }^\circ\text{C}$.

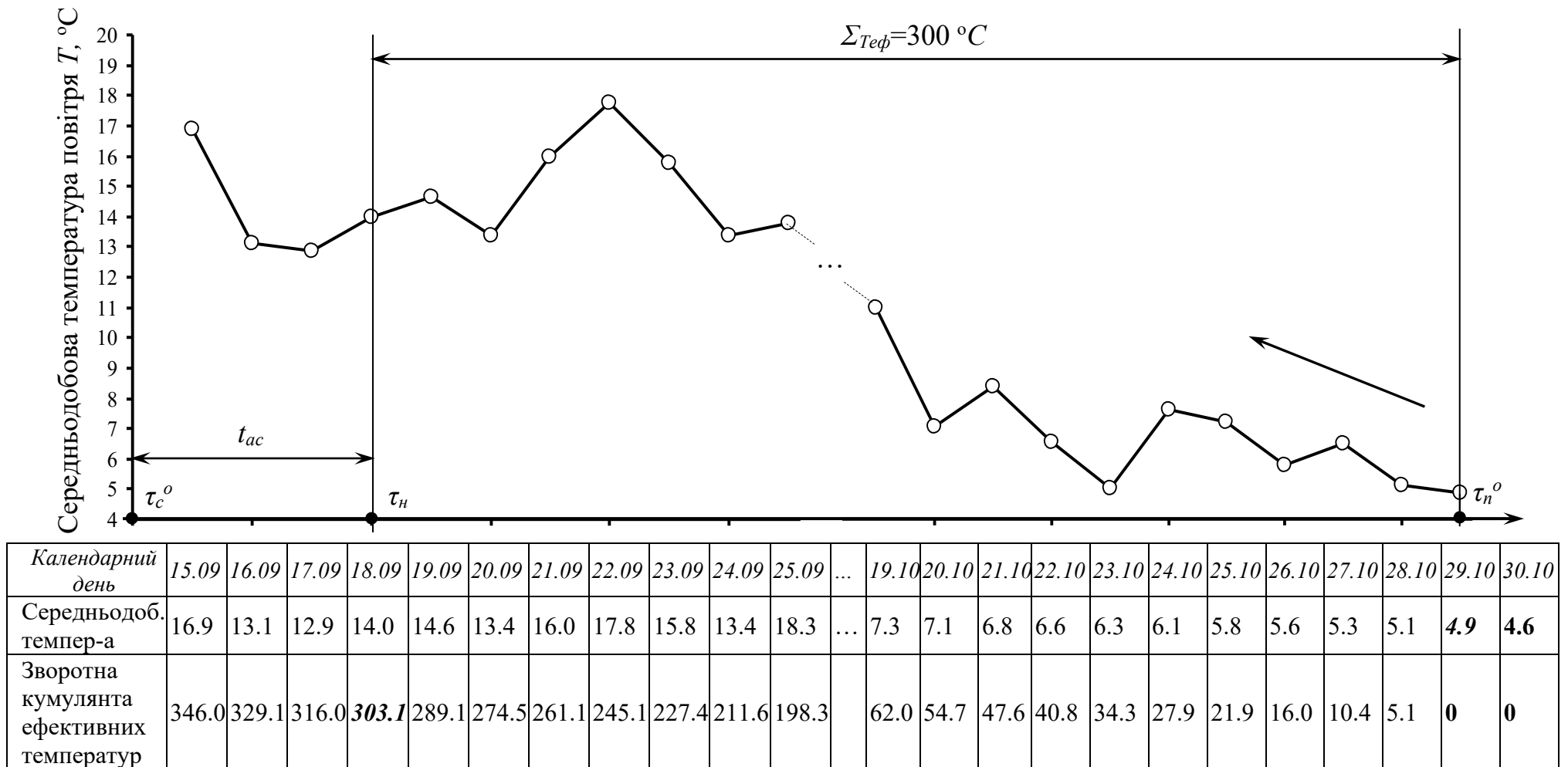


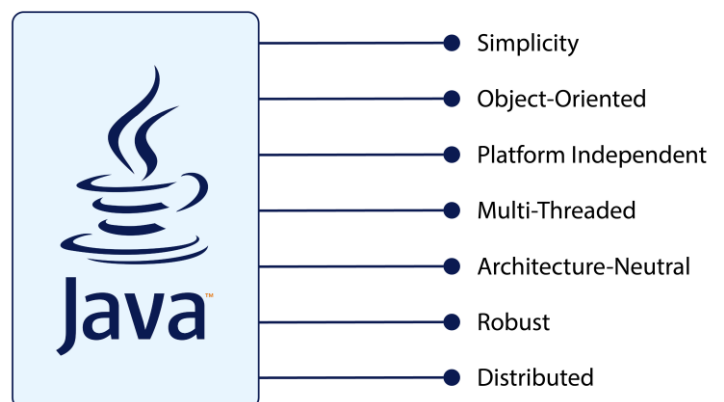
Рисунок 2.3 – Графічна інтерпретація методу визначення агрометеорологічно зумовленого часу початку сівби озимої пшениці: τ_c^o – агрометеорологічно зумовлений час початку сівби культури, доба; τ_n – час початку несвоєчасної сівби культури та виникнення технологічних втрат, доба; τ_n^o – час припинення осінньої вегетації озимої культури, доба; t_{ac} – агротехнічно дозволена тривалість технологічної операції сівби, діб.

Зазначений момент визначається на основі комп'ютерного моделювання тенденцій зміни температурних умов літньо-осіннього періоду, яке спирається на аналіз закономірностей річного ходу середньодобової температури повітря та статистичного розподілу її відхилень від середньобогаторічних значень.

Застосування описаної методики дає змогу обґрунтовано відтворити в інформаційній системі, зокрема у статистичній імітаційній моделі ґрунтообробно-посівних процесів, моменти виникнення потреби у виконанні технологічної операції сівби та визначити їх календарні строки.

2.3. Особливості мов програмування та вибір інструментарію розробки

За останні роки професія програміста впевнено закріпилася серед найбільш затребуваних і перспективних спеціальностей в Україні. Кількість ІТ-компаній, які постійно шукають нових розробників, стабільно зростає, що формує високий попит на кваліфікованих фахівців і, відповідно, сприяє підвищенню рівня оплати праці в галузі. У зв'язку з цим все більше людей звертають увагу на вивчення мов програмування як основу для входу в ІТ. Освітній центр “YOLO” виокремлює п'ять мов програмування, на які доцільно звернути особливу увагу на початковому етапі навчання.



Однією з найбільш поширених мов програмування залишається Java. За різними оцінками, близько 90 % компаній зі списку Fortune 500 у тій чи іншій формі використовують її у своїх програмних продуктах. Саме Java лежить в основі розробки операційної системи Android, яка на сьогодні є

наймасовішою мобільною платформою у світі. Мова була створена у 1995 році та, незважаючи на свій вік, і надалі активно застосовується для розробки серверних рішень, корпоративних систем, настільних застосунків і програмного забезпечення різного рівня складності. Її ключовою перевагою є кросплатформеність, що дозволяє запускати програми на різних операційних системах без суттєвих змін коду.

Попри схожість назв, Java та JavaScript є принципово різними мовами програмування. JavaScript, за даними спільноти Stack Overflow, уже декілька років поспіль очолює рейтинги популярності серед розробників. Вона є базовою технологією веб-розробки разом з HTML та CSS і використовується для створення інтерактивних елементів сайтів. Оскільки всі сучасні браузери підтримують ці технології, JavaScript фактично став стандартом у веб-середовищі. Крім того, на його основі розробляють мобільні застосунки, ігри та навіть настільні програми, що робить цю мову універсальним інструментом для різних напрямів розробки.



HTML та CSS формально не належать до мов програмування у класичному розумінні, оскільки вони не містять логіки виконання алгоритмів. Саме

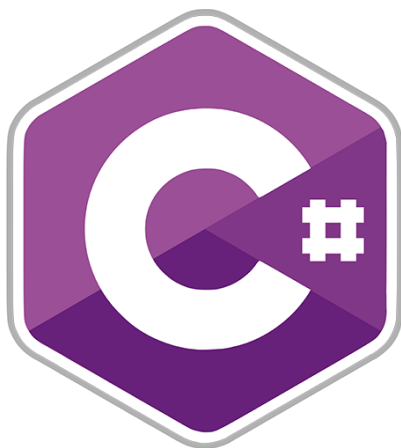


тому досвідчені фахівці часто наголошують, що знання лише HTML і CSS ще не робить людину програмістом. Водночас ці технології використовуються практично в кожному веб-проекті, адже відповідають за структуру сторінок, зовнішній вигляд елементів інтерфейсу, стилі, анімації та візуальні ефекти. З цієї причини HTML і CSS є обов'язковими для вивчення як для веб-розробників, так і для веб-дизайнерів, особливо на початковому етапі входу в галузь.



Популярність мови PHP значною мірою пояснюється її використанням у наймасовішій платформі для створення веб-сайтів WordPress, а також тим, що значна частина найбільш відвідуваних ресурсів у світі застосовує PHP у серверній логіці. Цю мову часто відносять до базових, оскільки вона має відносно простий синтаксис і низький поріг входу. Незалежно від того, чи йдеться про розробку простих веб-сторінок, масштабних інтернет-магазинів або серверних рішень, знання PHP залишається корисним і практично застосовним для IT-фахівця.

Ще однією знаковою мовою програмування є C++, яка була створена у 1983 році та стала основою для розробки таких масштабних програмних продуктів, як операційна система Microsoft Windows і браузер Google Chrome. Завдяки потужному набору інструментів і високій продуктивності C++ успішно використовується в різних галузях, зокрема у фінансовому секторі, ігровій індустрії, торгівлі та системному програмуванні. Ця мова дозволяє реалізовувати як складні комерційні системи з багаторівневою архітектурою, так і відносно прості прикладні програми, що робить її універсальним інструментом для розробників.



C# є сучасною об'єктно-орієнтованою мовою програмування з безпечною та строгою системою типізації, орієнтованою на платформу .NET. Вона була створена під егідою Microsoft Research за участі Андерса Гейлсберга та його команди. За своїм синтаксисом C# багато в чому нагадує C++ і Java, водночас пропонуючи розширені

механізми роботи з подіями, властивостями, винятками та атрибутами. Мова підтримує ключові принципи об'єктно-орієнтованого програмування, зокрема поліморфізм і перевантаження операторів, але при цьому свідомо відмовляється від деяких підходів, які виявилися проблемними на практиці, наприклад множинного успадкування класів.

Під час розробки програм на C# широкого застосування набуло інтегроване середовище Microsoft Visual Studio. Процес створення програм у ньому зазвичай поділяється на два основні етапи. Перший етап передбачає проєктування користувацького інтерфейсу із застосуванням стандартних компонентів та налаштуванням їх розмірів і розташування. Другий етап полягає у написанні програмного коду, який реалізує необхідну логіку роботи застосунку. Значну частину службового коду середовище формує автоматично, що дозволяє розробникові зосередитися безпосередньо на вирішенні поставленої задачі.

Microsoft Visual Studio являє собою комплекс продуктів, що поєднують інтегроване середовище розробки з набором додаткових інструментів для створення програмного забезпечення. За допомогою цього середовища можна розробляти як консольні застосунки, так і програми з графічним інтерфейсом, а також веб-сайти, веб-застосунки і веб-служби. Visual Studio підтримує різні технології Microsoft і дозволяє створювати програмні продукти для широкого спектра платформ, що робить її універсальним інструментом у сучасній IT-розробці.

До складу середовища розробки Visual Studio входить один або кілька інструментів, орієнтованих на роботу з різними мовами програмування та етапами створення програмного забезпечення. Зокрема, серед основних компонентів можна виділити Visual Basic .NET (а в попередніх версіях – класичний Visual Basic), Visual C++, Visual C#, а також Visual F#, який є складовою Visual Studio 2022. Важливою частиною середовища є також вбудований налагоджувач Visual Studio Debugger, що забезпечує ефективний пошук і усунення помилок у програмному коді.

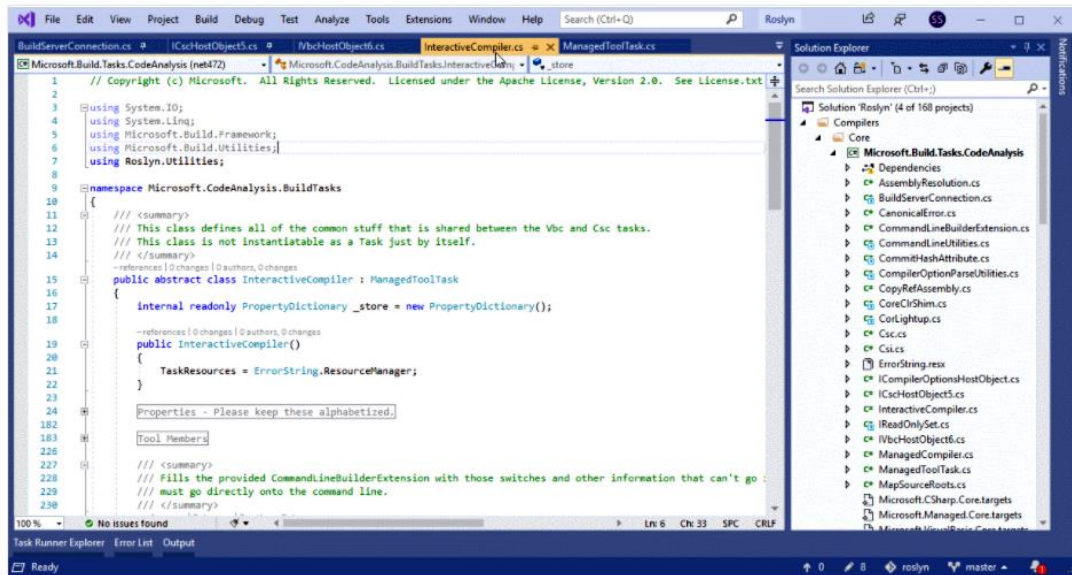


Рисунок 2.4 – Інтерфейс вікна Visual Studio з інструментами мови C#

Окремі редакції Visual Studio додатково постачаються разом із засобами для роботи з базами даних і керування версіями, зокрема Microsoft SQL Server або MSDE, а також Visual SourceSafe – файловою системою контролю версій. У попередніх випусках середовища до його складу також входили такі продукти, як Visual InterDev, Visual J++, Visual J# та Visual FoxPro, які з часом були зняті з підтримки або замінені сучаснішими технологіями.

Visual SourceSafe являє собою систему керування версіями, побудовану за принципом файлового сервера, що дозволяє зберігати різні редакції програмних файлів і відстежувати зміни в проєкті.

Перед початком роботи в середовищі Visual Studio доцільно заздалегідь підготувати каталог, у якому будуть зберігатися всі файли майбутнього програмного проєкту. Рекомендовано виконувати цю операцію ще до запуску середовища розробки, використовуючи стандартні засоби операційної системи Windows. Для цього достатньо відкрити «Мій комп'ютер», обрати потрібний диск і каталог, після чого за допомогою меню створити нову папку. Такий підхід дозволяє впорядкувати структуру проєкту та спростити подальшу роботу з файлами програми.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Виробничі особливості формування фонду часу для осінніх грунтообробно-посівних робіт

Попередній аналіз ступеня узгодженості параметрів виробничої програми сівби озимих культур у межах технологічної системи з характеристиками комплексу машин доцільно виконувати на основі зіставлення двох часових показників – технологічно необхідного фонду часу та природно допустимого фонду часу. Технологічно необхідний фонд часу належить до керованих параметрів і визначається конфігурацією машинно-технологічного комплексу, режимами його експлуатації, запланованими обсягами робіт та організаційними умовами виконання операцій [12, 13].

На відміну від нього, природно допустимий фонд часу є некерованою величиною, яка формується під впливом сукупності агрометеорологічних факторів і специфіки перебігу грунтообробно-посівних процесів. У літньо-осінній період об'єктивно виникають умови, за яких виконання окремих технологічних операцій стає неможливим або економічно необґрунтованим. Саме ці природні обмеження визначають тривалість допустимого фонду часу та безпосередньо впливають на показники ефективності використання комплексу машин за заданих параметрів виробничої програми.

Зважаючи на некерований характер природно допустимого фонду часу, дослідження його динаміки потребує урахування значної кількості взаємопов'язаних подій і процесів. Методологічну основу аналізу становлять агрономічні рекомендації щодо виконання грунтообробних і посівних робіт за умови фізичної стиглості ґрунту, а також низка часових показників. До них належать моменти досягання культури-попередника та завершення механізованих операцій зі збирання врожаю, тривалість сприятливих і

несприятливих погодних інтервалів, а також агрометеорологічно зумовлені терміни початку оптимальної сівби та її запізненого виконання.

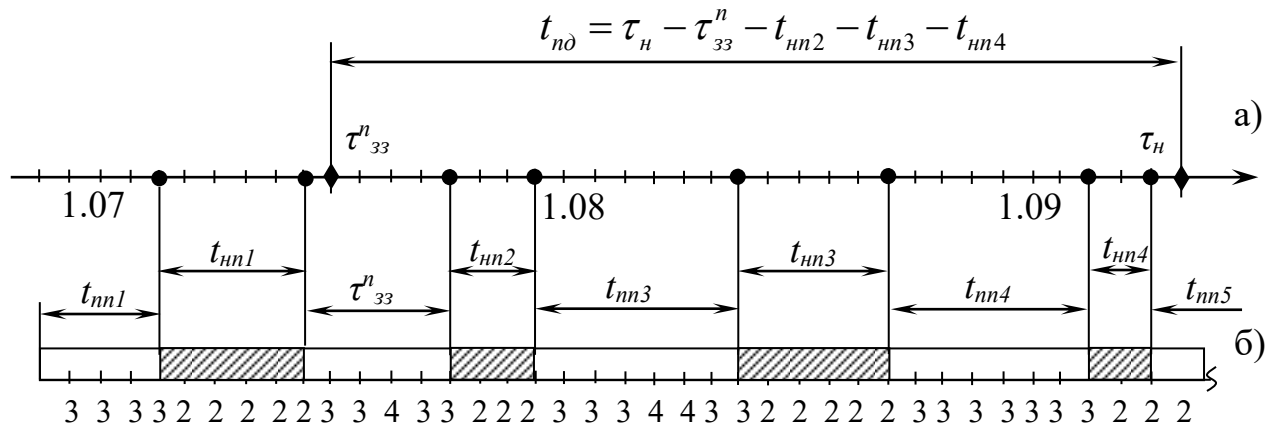


Рисунок 3.1 – Графічне представлення методу кількісного визначення тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних процесів: а) календарні терміни літньо-осіннього періоду; б) чергування сприятливих і несприятливих за агрометеорологічними умовами часових проміжків; 2, 3, 4 – відповідно показники якісного стану верхнього шару ґрунту, сформовані за даними метеорологічних станцій

Оскільки календарні моменти настання зазначених подій у межах літньо-осіннього сезону не є сталими та змінюються залежно від року, тривалість природно допустимого фонду часу характеризується стохастичною природою. Така особливість ґрунтообробно-посівних процесів зумовлює ризик недотримання оптимальних строків виконання технологічних операцій і, як наслідок, суттєво впливає на показники ефективності функціонування технологічного комплексу в межах заданої технологічної системи.

Кількісне визначення природно допустимого фонду часу, а також виявлення закономірностей його варіації, здійснювалося на основі комп'ютерних експериментів із використанням статистичної імітаційної моделі агрометеорологічних умов літньо-осіннього періоду. Запропонований підхід передбачає відображення на часовій осі моментів завершення збирання культури-попередника та початку несвоєчасної сівби із

паралельним урахуванням тривалості сприятливих і несприятливих погодних інтервалів. У результаті розрахунків природно допустимого фонду часу зводиться до визначення тривалості проміжку між вказаними подіями з відніманням сумарної тривалості несприятливих погодних періодів [14]:

$$t_{nd} = \tau_n - \tau_{33}^n - \sum_{i=1}^n t_{nn_i}, \quad (3.1)$$

де n – повторюваність непогожих періодів.

Слід підкреслити, що вихідна інформація для проведення комп'ютерних експериментів із використанням статистичної імітаційної моделі агрометеорологічних умов літньо–осіннього періоду при визначенні показників t_{nd} формувалася на основі розроблених методичних підходів і формалізованих параметрів агрометеорологічної складової ґрунтообробно–посівних процесів.

Зокрема, з метою отримання статистичних характеристик t_{nd} для кожної окремої календарної доби в інтервалі з 1 липня по 1 жовтня виконувалася мінімально необхідна кількість реалізацій статистичної імітаційної моделі, яка становила $Np = 25$ [20, 21]. Водночас, з огляду на те, що дослідження t_{nd} проводилися з урахуванням чотирьох ймовірнісних показників – τ_{33}^n , τ_n та t_{nn} , t_{nn} , для коректного відтворення їх спільної дії та взаємозв'язку виникла потреба у виконанні $Np = 25^4$ реалізацій імітаційної моделі, що проілюстровано на рис. 3.2.

Проведення моделювання забезпечує формування репрезентативних вибірок відповідних емпіричних даних, на основі яких стає можливим встановлення таких характеристик: 1) закономірності зміни t_{nd} у межах календарного інтервалу літньо–осіннього періоду; 2) характеру розподілу t_{nd} для кожної окремої календарної доби зазначеного періоду; 3) часових інтервалів, у яких існує ймовірність відсутності t_{nz} (тобто $t_{nd} = 0$ діб).

Визначення параметрів t_{nd} виконано з використанням статистичної імітаційної моделі, яка відображає вплив агрометеорологічних умов літньо–

осіннього періоду на якісний стан ґрунту поля та можливість функціонування ґрунтообробно–посівних агрегатів. Блок-схему алгоритму зазначеної моделі, розроблену відповідно до встановлених вимог до її побудови [], наведено в п. 3.3.

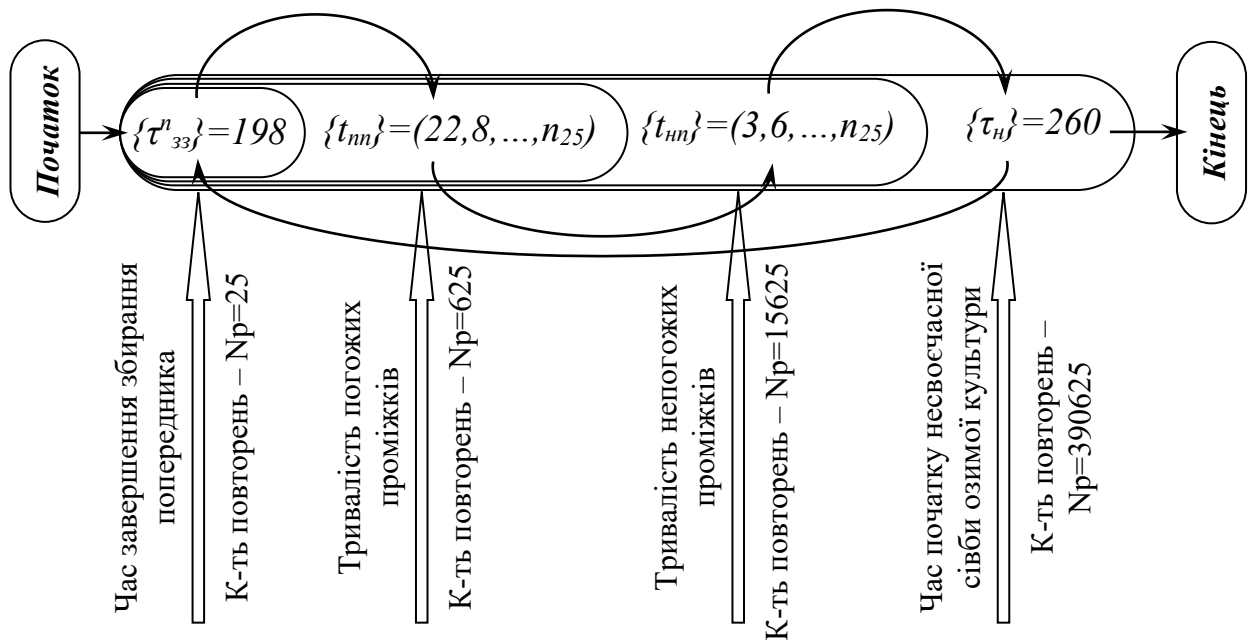


Рисунок 3.2 – Алгоритм відображення імітаційною моделлю сумарного впливу ймовірнісних показників на фонду часу ґрунтообробно–посівних робіт

Фрагмент програмного коду, що реалізує статистичну імітаційну модель агрометеорологічних умов літньо-осіннього періоду для дослідження характеристик t_{nd} , подано в додатку А.

Статистичне опрацювання результатів комп'ютерних експериментів, отриманих із використанням цієї моделі, дає змогу здійснити кількісне оцінення t_{nd} , формалізувати закономірності зміни зазначеного показника в межах календарних термінів літньо–осіннього періоду, а також визначити розподіл значень t_{nd} , що інтерпретується як ризик, для кожної календарної доби [20, 21].

3.2. Методика математичного опрацювання початкових даних

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 [20, 21].

Приведемо приклад методики розрахунку статистичних характеристик емпіричних величин.

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

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

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

$$k = 1 + 3,321 \lg N, \quad (3.2)$$

де N - число дослідів (обсяги вибірки).

Крок інтервалу розрахувати за формулою:

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

Коефіцієнт варіації

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

$$v = \frac{\delta}{Y_c - Y_{3M}}; \quad (3.5)$$

де Y_{3M} - 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:

$$Y_{3M} = Y_1.$$

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 [20, 21]:

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

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

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.

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	$(Y_i - Y_c)^2 * P_i$	$(Y_1 - Y_c)^2 * P_1$	$(Y_2 - Y_c)^2 * P_2$...	$(Y_{k-1} - Y_c)^2 * P_{k-1}$	$(Y_k - Y_c)^2 * P_k$

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 ($\alpha = 0,8...0,95$) 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) [20, 21]. З цією метою для кожного часткового інтервалу потрібно розрахувати добуток - $N * P_{Ti}$. Виразити

критерій за формулою:

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

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

Визначити число ступенів 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. Блок-схема алгоритму імітаційної моделі

Алгоритм та блок-схему статистичної імітаційної моделі агрометеорологічних умов осіннього періоду, які необхідно враховувати під час виконання ґрунтообробно-посівних процесів, було розроблено з метою відображення особливостей функціонування комплексу машин. Структура алгоритму включає 13 логічно пов'язаних блоків, що послідовно відтворюють ключові етапи моделювання відповідних процесів (рис. 3.3).

На підставі розкриття змісту блоків розробленого алгоритму (див. Додаток А., рис. 3.3.), створено код комп'ютерної програми статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду, що входить до складу інформаційно-аналітичної системи. Код цієї комп'ютерної програми створено в інтегрованому середовищі розробки Visual Studio 2022 на мові програмування C# [], котра займає обсяг фізичної пам'яті ПК 6 кБ.

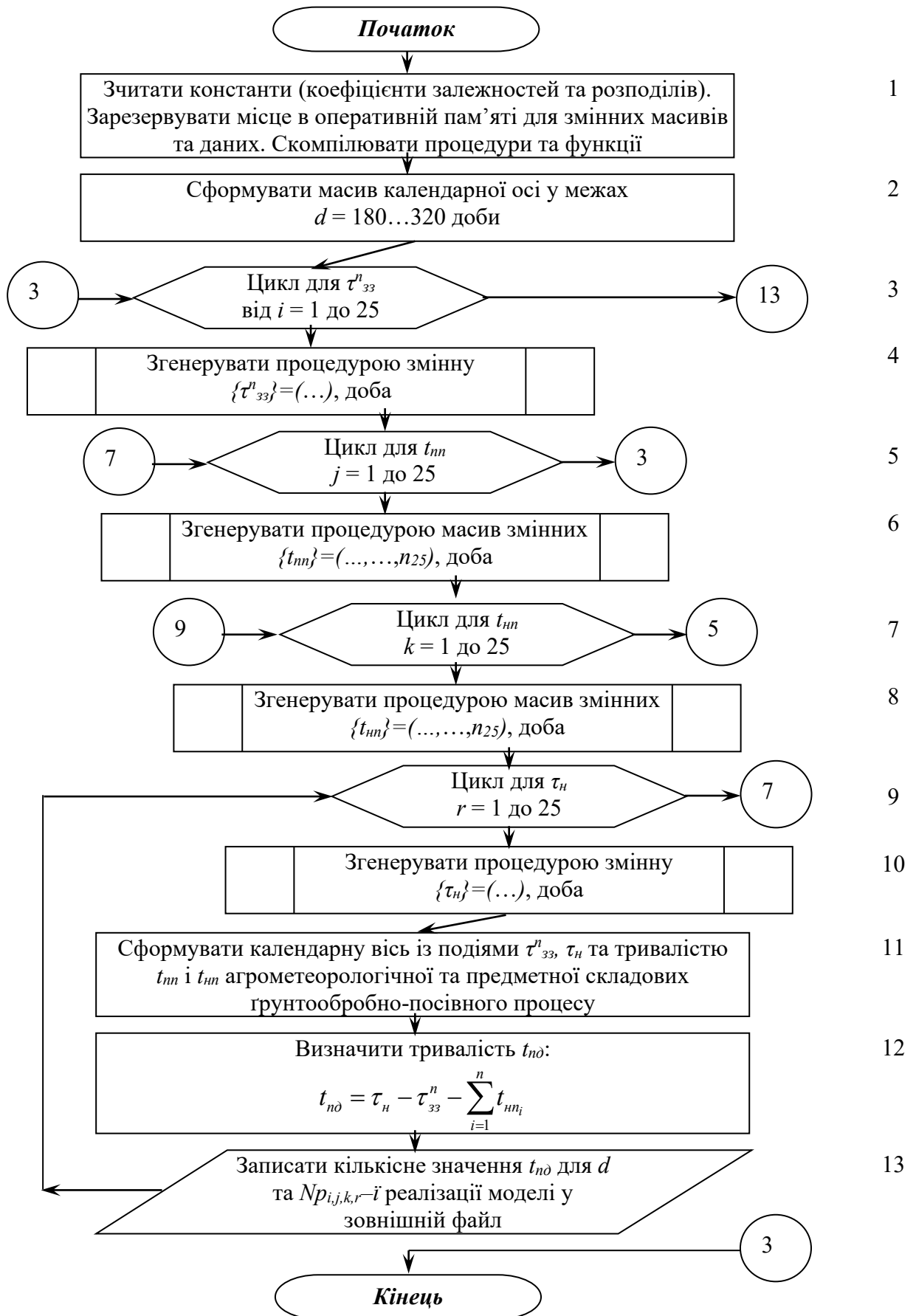


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму імітаційної моделі погодних умов періоду виконання літньо-осінніх ґрунтообробно-посівних робіт

3.4. Розробка коду програмного засобу імітування осінніх агрометеорологічних умов

Нами розроблено програмний засіб, який представлений у кодї на C#, є Windows Forms-додатком для статистичного моделювання погодних умов і розрахунку фонду часу для виконання агротехнічних робіт, зокрема для посіву озимих культур. Його загальна характеристика включає наступні аспекти [23, 26, 31-33].

Використано стандартний набір бібліотек платформи .NET, які забезпечують як базову функціональність мови C#, так і роботу графічного інтерфейсу та файлової системи.

```
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;
```

Простір імен System надає базові типи даних, математичні операції та механізми керування виконанням програми. Бібліотеки System.Collections.Generic і System.Data призначені для роботи з колекціями та структурами даних, що можуть застосовуватися під час зберігання і обробки результатів моделювання.

Простори імен System.ComponentModel, System.Drawing та System.Windows.Forms забезпечують створення та підтримку графічного інтерфейсу користувача, включаючи візуальні компоненти, подієву модель та елементи керування формою. Бібліотека System.IO відповідає за операції введення-виведення, зокрема створення, запис і закриття текстових файлів з результатами моделювання. Сукупно ці бібліотеки формують програмну основу застосунку та забезпечують інтеграцію обчислювальної логіки з інтерфейсом і зовнішнім збереженням даних.

По-перше, програмний продукт реалізує стохастичне моделювання з використанням генераторів псевдовипадкових випадкових величин для наступних розподілів: розподілу Вейбула (veyb) для формування серій погожих та непогожих днів і нормального розподілу (norm) для моделювання початку посіву (з урахуванням мінімальних та максимальних меж). Це дозволяє генерувати реалістичні сценарії погодних умов та часових обмежень [23, 26, 31-33].

Розподіл Вейбула:

```
// розподіл Вейбула
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;
}
```

Нормальний розподіл:

```
// розподіл Нормальний
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);
}
```

По-друге, програма формує послідовності погодних днів (FormPogodu) та розраховує кількісні характеристики фонду часу, такі як кількість придатних для роботи днів (pdf_5), кількість днів без продуктивного часу (Jmov_pdf5_0) та середні значення за серіями реалізацій. Дані зберігаються у

зовнішніх текстових файлах (rez.txt, rez1.txt, rez_i_25.txt) для подальшого аналізу.

```

// формування ряду погожих і непогожих днів
int[] FormPogodu(int[] pogogiDni, int[] nepogogiDni, int
zamoroz)
{
    int[] rez = new int[zamoroz]; // фонд часу між поч.робіт
    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;
}

```

По-третє, інтерфейс забезпечує контроль виконання моделювання через елементи ProgressBar (pogoda, PDF) та кнопку запуску (Start_clik). Програма підтримує багаторівневе моделювання з різними серіями реалізацій (масиви GoodDay та MalDay), що дає змогу отримувати статистично узагальнені результати.

```

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, 3);
    pogoda.Value = 0;
    pogoda.Step=1;
    PDF.Maximum=end_Day-start_Day;
    PDF.Value=0;
    PDF.Step=1;
}

```

```

        model();
    }

```

Слід відзначити, що архітектура коду є монолітною, всі процедури та моделі зосереджені у формі Form1, а обробка даних і логіка моделювання щільно переплетені з інтерфейсними елементами. Програма призначена для агрономічного або дослідницького використання, де важлива оцінка впливу погодних умов на строки виконання агротехнічних операцій.

Головне тіло програми, яке у Windows Forms-додатках на C# фактично виконує роль Main, відповідає за ініціалізацію графічного середовища та запуск основної форми застосунку. Хоча метод Main у наведеному фрагменті коду безпосередньо не показаний, його стандартна реалізація автоматично генерується середовищем розробки і зводиться до підготовки середовища виконання, активації візуальних стилів та створення екземпляра класу Form1, що є центральним елементом програми. Саме з моменту виклику Application.Run(new Form1()) управління передається логіці, реалізованій у формі.

```

namespace PDF_for_SB
{
    partial class Form1
    {
        /// <summary>
        /// Required designer variable.
        /// </summary>
        private System.ComponentModel.IContainer components = null;

        /// <summary>
        /// Clean up any resources being used.
        /// </summary>
        /// <param name="disposing">true if managed resources should
        be disposed; otherwise, false.</param>
        protected override void Dispose(bool disposing)
        {
            if (disposing && (components != null))
            {
                components.Dispose();
            }
            base.Dispose(disposing);
        }

        #region Windows Form Designer generated code

        /// <summary>

```

```

/// Required method for Designer support - do not modify
/// the contents of this method with the code editor.
/// </summary>
private void InitializeComponent()
{
    this.Start_clik = new System.Windows.Forms.Button();
    this.pogoda = new System.Windows.Forms.ProgressBar();
    this.PDF = new System.Windows.Forms.ProgressBar();
    this.SuspendLayout();
    //
    // Start_clik
    //
    this.Start_clik.BackColor =
System.Drawing.Color.DodgerBlue;
    this.Start_clik.ForeColor =
System.Drawing.Color.GhostWhite;
    this.Start_clik.Location = new System.Drawing.Point(91,
46);
    this.Start_clik.Name = "Start_clik";
    this.Start_clik.Size = new System.Drawing.Size(113, 44);
    this.Start_clik.TabIndex = 0;
    this.Start_clik.Text = "Старт";
    this.Start_clik.UseVisualStyleBackColor = false;
    this.Start_clik.Click += new
System.EventHandler(this.Start_clik_Click);
    //
    // pogoda
    //
    this.pogoda.ForeColor = System.Drawing.Color.BlueViolet;
    this.pogoda.Location = new System.Drawing.Point(30, 129);
    this.pogoda.Name = "pogoda";
    this.pogoda.Size = new System.Drawing.Size(235, 38);
    this.pogoda.TabIndex = 1;
    //
    // PDF
    //
    this.PDF.Location = new System.Drawing.Point(30, 192);
    this.PDF.Name = "PDF";
    this.PDF.Size = new System.Drawing.Size(234, 38);
    this.PDF.TabIndex = 2;
    //
    // Form1
    //
    this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(6F,
13F);
    this.AutoScaleMode =
System.Windows.Forms.AutoScaleMode.Font;
    this.BackColor = System.Drawing.Color.PaleGoldenrod;
    this.ClientSize = new System.Drawing.Size(292, 266);
    this.Controls.Add(this.PDF);
    this.Controls.Add(this.pogoda);
    this.Controls.Add(this.Start_clik);
    this.Name = "Form1";
    this.Text = "Form1";
    this.ResumeLayout(false);
}

```

```
#endregion
```

```
private System.Windows.Forms.Button Start_clik;
private System.Windows.Forms.ProgressBar pogoda;
private System.Windows.Forms.ProgressBar PDF;
```

```
}
}
```

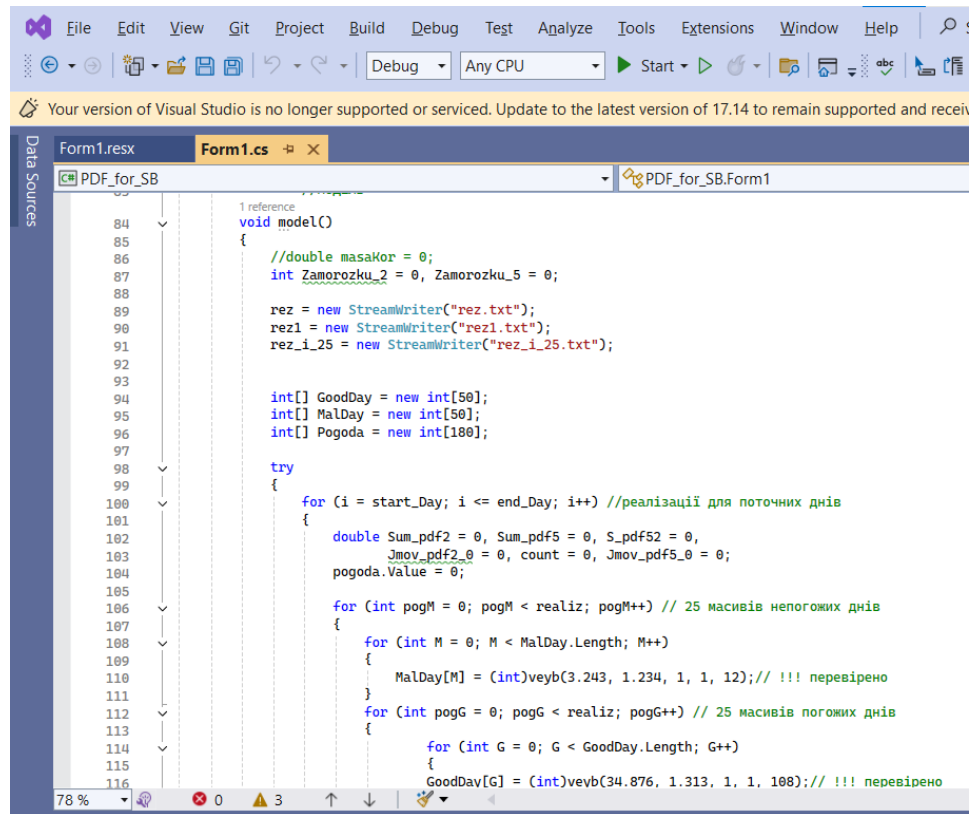


Рисунок 3.4 – Робоче вікно Visual Studio із кодом C# імітаційної моделі

Після запуску застосунку основний потік виконання переходить у подієво-орієнтований режим. Це означає, що програма не виконує обчислення безпосередньо в Main, а очікує на дії користувача. Ініціалізація компонентів інтерфейсу відбувається у конструкторі Form1, де викликається метод InitializeComponent(). Саме тут створюються елементи керування, зокрема кнопка запуску моделювання та індикатори прогресу, і встановлюються їхні початкові параметри [23, 26, 31-33].

Функціонально роль головного тіла програми полягає в організації життєвого циклу застосунку. Воно забезпечує запуск інтерфейсу, підтримку роботи головного циклу повідомлень Windows та коректне завершення програми після закриття форми.

Логіка предметної області, включаючи стохастичне моделювання, обчислення статистичних показників і запис результатів у файли, виконується вже не в Main, а у методі model, який викликається у відповідь на подію натискання кнопки Start_clik.

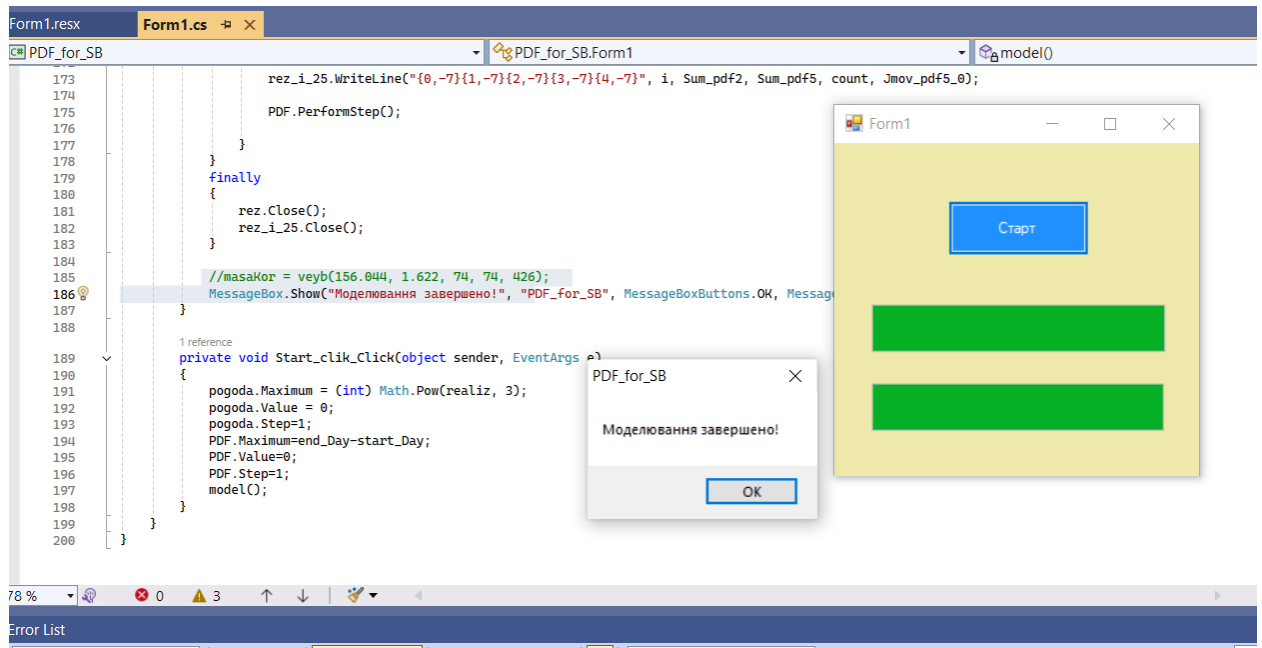


Рисунок 3.5 – Реалізація подієво-орієнтованих етапів виконання програми та відповідь інтерфейсу про завершення моделювання

Таким чином, головне тіло програми виконує роль керуючого ядра, яке ініціює застосунок, передає управління користувачькому інтерфейсу та забезпечує коректну взаємодію між середовищем виконання Windows і логікою моделювання, реалізованою у класі Form1.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ

4.1. Результати моделювання агрометеорологічних умов та їх впливу на фонд часу польових робіт

Оцінювання тривалості та ризику природно дозволеного фонду часу, необхідного для виконання ґрунтообробно-посівних робіт у літньо-осінній період, здійснювалося із застосуванням спеціально розробленої імітаційної моделі, що є складовою інформаційної системи. Дана модель дає змогу враховувати характерні тенденції формування агрометеорологічних умов осені та їхній вплив на можливість проведення польових робіт. При цьому інтервали часу, протягом яких ґрунт перебуває у стані фізичної стиглості між календарним початком ґрунтообробно-посівних операцій і строками сівби озимих культур, у практичному аспекті інтерпретуються як природно дозволений фонд часу t_{nd} .

Для адекватного відтворення механізмів формування цього показника в статистичній імітаційній моделі використано результати математичного аналізу даних метеорологічних спостережень, зокрема: закономірності сезонної зміни температури повітря у літньо-осінній період, розподіли відхилень середньодобової температури від її багаторічного середнього рівня, статистичні характеристики тривалості погожих і непогожих інтервалів, а також розподіл часу початку сівби озимих культур, зумовленого агрометеорологічними чинниками.

У результаті багаторазового імітаційного відтворення сценаріїв розвитку агрометеорологічних умов літньо-осіннього періоду було отримано скінченну сукупність кількісних показників, що дало підстави для обґрунтування: розподілу агрометеорологічно детермінованого часу початку сівби озимих культур τ_c ; закономірностей зміни тривалості природно

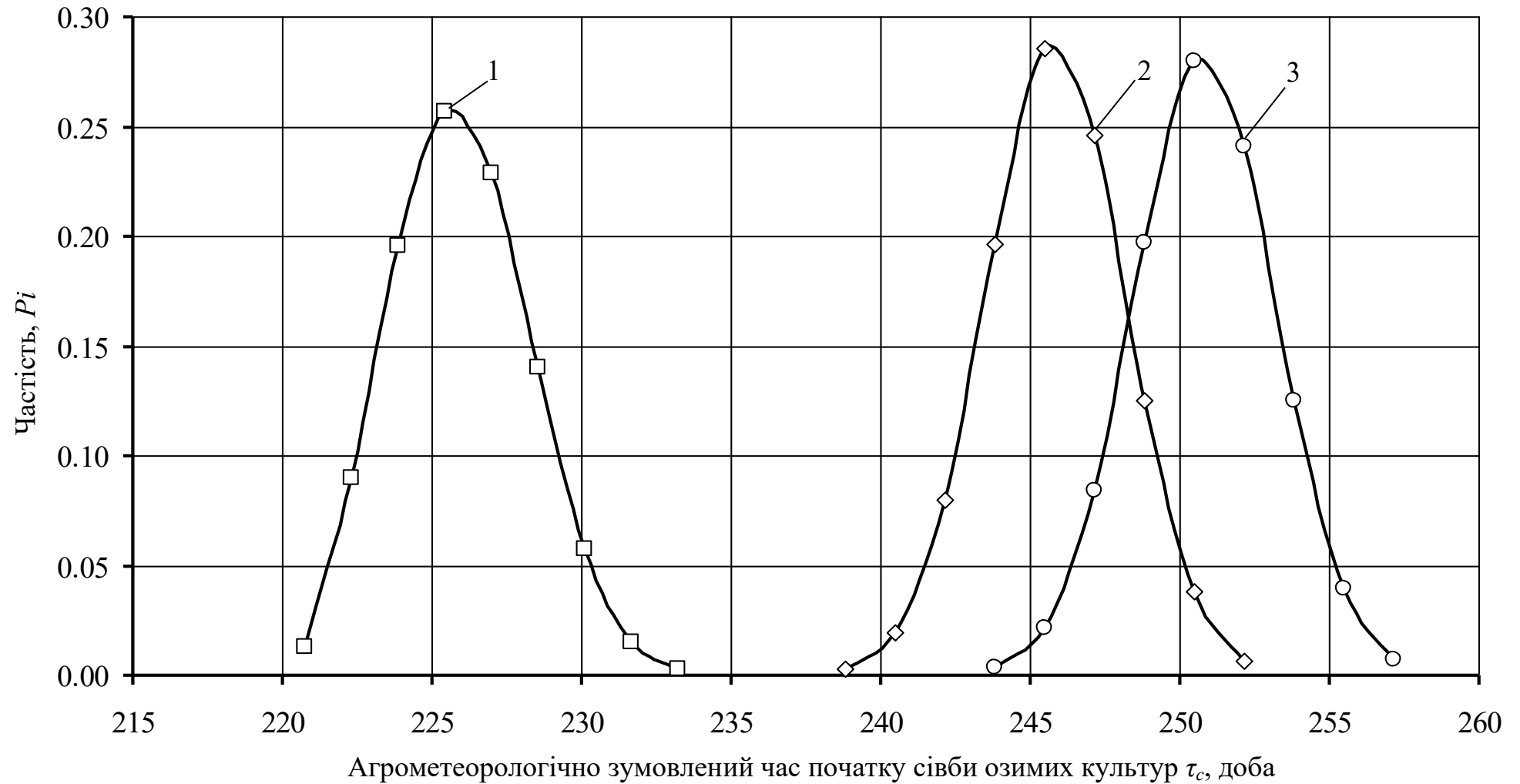


Рисунок 4.1 – Розподіл агрометеорологічно зумовленого часу початку сівби озимих культур для умов Дубенського району Рівненської області (нормальний закон): 1 – озимий ріпак; 2 – озиме жито; 3 – озима пшениця

дозволеного фонду часу t_{nd} упродовж літньо–осіннього сезону; характеру розподілу t_{nd} за різних планових календарних строків виконання робіт; а також закономірності зміни ризику $R[t_{nd0}]$ повної відсутності фонду часу ($t_{nd} = 0$ діб) залежно від обраних термінів проведення робіт.

Зокрема, математичний аналіз результатів комп'ютерних експериментів, спрямованих на визначення агрометеорологічно обумовленого часу початку сівби озимого ріпаку (τ_c^p), озимого жита ($\tau_c^{жс}$) та озимої пшениці (τ_c^n), дав можливість встановити теоретичний закон розподілу цієї випадкової величини (рис. 4.1). Перевірка узгодженості емпіричного розподілу τ_c із нормальним теоретичним законом за допомогою критерію χ^2 Пірсона підтвердила висунуту статистичну гіпотезу.

Диференціальні функції відповідних теоретичних розподілів, а також основні статистичні показники τ_c наведено в табл. 4.2.

Слід зауважити, що довірчий інтервал для часу початку сівби озимого ріпаку τ_c^p перебуває в межах 220...234 календарних діб, для озимого жита $\tau_c^{жс}$ – у межах 238...253 діб, а для озимої пшениці τ_c^n – 243...258 діб.

Інші статистичні характеристики зазначених випадкових величин τ_c^p , $\tau_c^{жс}$ і τ_c^n подано в додатку Б.

Аналіз отриманих результатів свідчить про їх узгодженість із даними агрономічних досліджень, наведених у працях окремих науковців. Зокрема, визначені за результатами комп'ютерного моделювання строки початку сівби озимих культур τ_c^p , $\tau_c^{жс}$ і τ_c^n відповідають чинним агрономічним рекомендаціям [12]. Крім того, тривалість календарного інтервалу, в межах якого формуються оптимальні строки сівби озимих культур, за результатами моделювання становить 14 діб, що також підтверджується результатами досліджень різних авторів.

Встановлення закономірностей зміни тривалості природно дозволеного фонду часу t_{nd} для виконання ґрунтообробно-посівних процесів упродовж літньо-осіннього періоду здійснювалося на основі результатів імітаційного моделювання розвитку осінніх погодних умов.

Таблиця 4.1 – Диференціальні функції розподілу та статистичні характеристики агрометеорологічно зумовленого часу початку сівби озимих культур

Культура	Диференціальна функція розподілу	Оцінки статистичних характеристик	
		$\bar{M}[\tau_c]$, доба	$\bar{\sigma}[\tau_c]$
Озимий ріпак (Нормальний)	$f(\tau_c^p) = 0,172 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_c^p - 225,973)^2}{10,717} \right]$	225,973	0,388
Озиме жито (Нормальний)	$f(\tau_c^{жс}) = 0,173 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_c^{жс} - 245,858)^2}{10,604} \right]$	245,858	0,293
Озима пшениця (Нормальний)	$f(\tau_c^n) = 0,17 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_c^n - 250,833)^2}{11,056} \right]$	250,833	0,300

Як було зазначено раніше, внаслідок варіабельності агрометеорологічних чинників показник t_{nd} має випадковий характер. З огляду на це, для коректної оцінки ризику, пов'язаного з t_{nd} , виконано $Np = 253$ реалізації імітаційної моделі, що дало змогу врахувати вплив трьох основних ймовірнісних складових, а саме: тривалості погожих інтервалів (t_{mn}), тривалості непогожих періодів ($t_{mн}$) та агрометеорологічно детермінованого часу початку сівби озимих культур (τ_c).

У результаті проведеного комп'ютерного моделювання для озимого ріпаку, жита та пшениці було сформовано репрезентативні вибірки емпіричних значень t_{nd} для кожної календарної доби d у проміжку від 29 червня, що відповідає 180-й добі від початку року, до агрометеорологічно зумовленого строку початку сівби відповідної культури τ_c .

Отримані дані дозволили встановити закономірності зміни тривалості природно дозволеного фонду часу t_{nd} у часі, зокрема для озимої пшениці, графічне відображення яких наведено на рис. 4.2.

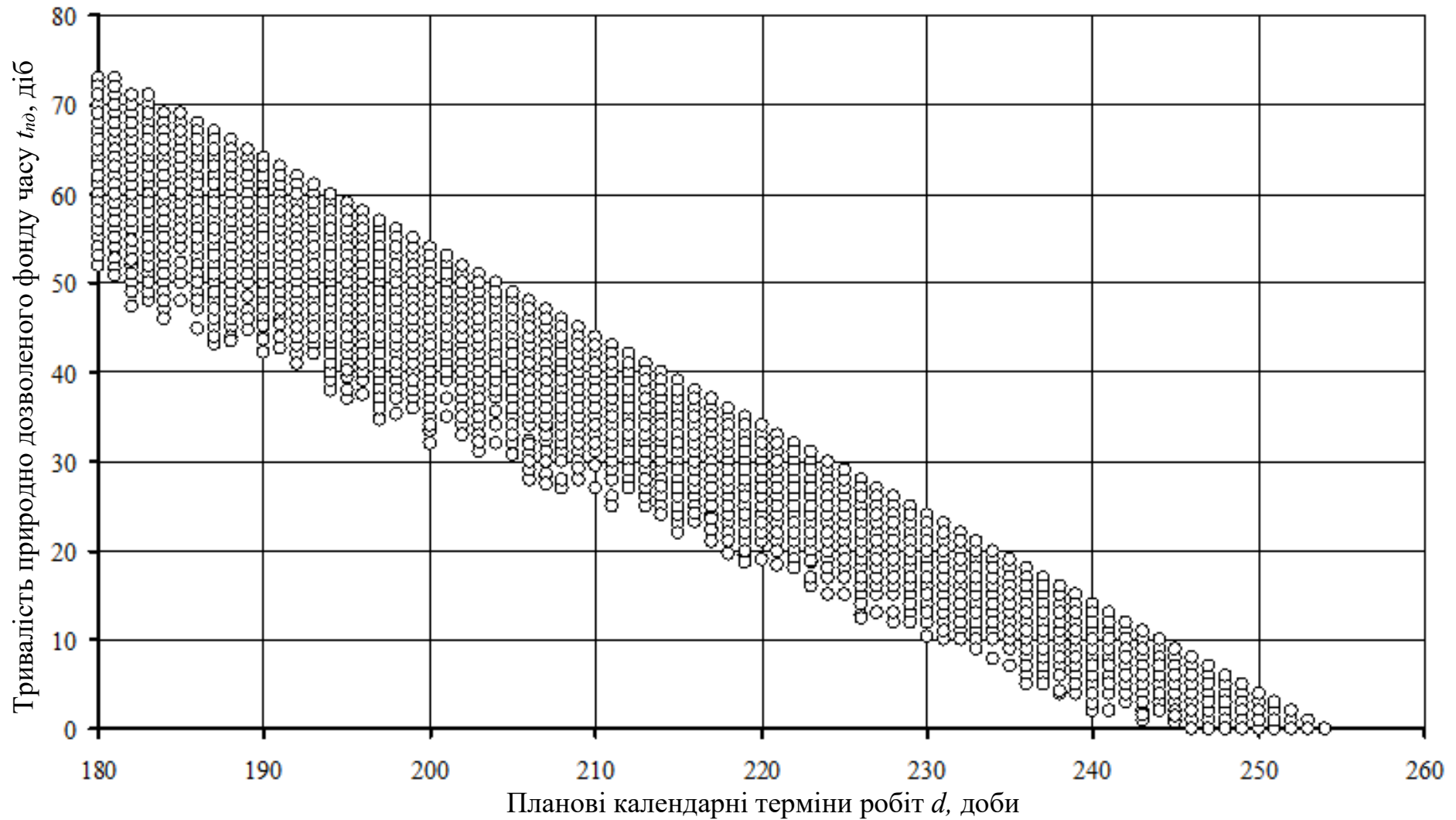


Рисунок 4.2 – Закономірність тривалості природно дозволеного фонду часу, необхідного для виконання ґрунтообробно–посівних робіт під озиму пшеницю (для агрометеорологічних умов Дубенського району Рівненської області)

4.2. Результати визначення статистичних характеристик фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних робіт осіннього періоду

Відповідно до даних, наведених на рис. 4.2, для кожної календарної доби d значення тривалості природно дозволеного фонду часу t_{nd} має змінний характер. Дослідження сукупності отриманих кількісних значень t_{nd} виконувалося із застосуванням методів математичної статистики, що дало змогу сформуванню варіаційні ряди випадкових величин та визначити їх основні статистичні параметри.

Використання критерію χ^2 Пірсона відповідно до стандартизованих методик дозволило встановити теоретичні закони розподілу t_{nd} (рис. 4.2) для окремих планових строків виконання ґрунтообробно-посівних робіт під озиму пшеницю, а саме: 29 червня (180-та календарна доба), 19 липня (200-та доба), 8 серпня (220-та доба) та 28 серпня (240-та доба).

Отримані результати створюють підґрунтя для кількісної оцінки ризику формування фонду часу та розроблення практичних рекомендацій щодо вибору строків виконання робіт в осінній період і визначення раціональних темпів їх реалізації. Встановлено, що для зазначених календарних дат випадкова величина t_{nd} узгоджується з чотирипараметричним законом Лапласа-Шарльє. Відповідні диференціальні функції розподілу t_{nd} для кожного значення d наведено в табл. 4.2.

Довірчі інтервали розподілу t_{nd} для планових календарних строків ґрунтообробно-посівних процесів становлять: для 29 червня – 52...73 доби, для 19 липня – 32...54 доби, для 8 серпня – 19...34 доби, для 28 серпня – 2...14 доби.

Інші статистичні характеристики цих розподілів подано в додатку Б.

Узагальнення результатів аналізу характеристик t_{nd} дає змогу відзначити чітко виражену тенденцію до зменшення його тривалості зі зміщенням строків ґрунтообробно-посівних робіт на пізніші календарні дати літньо-осіннього періоду.

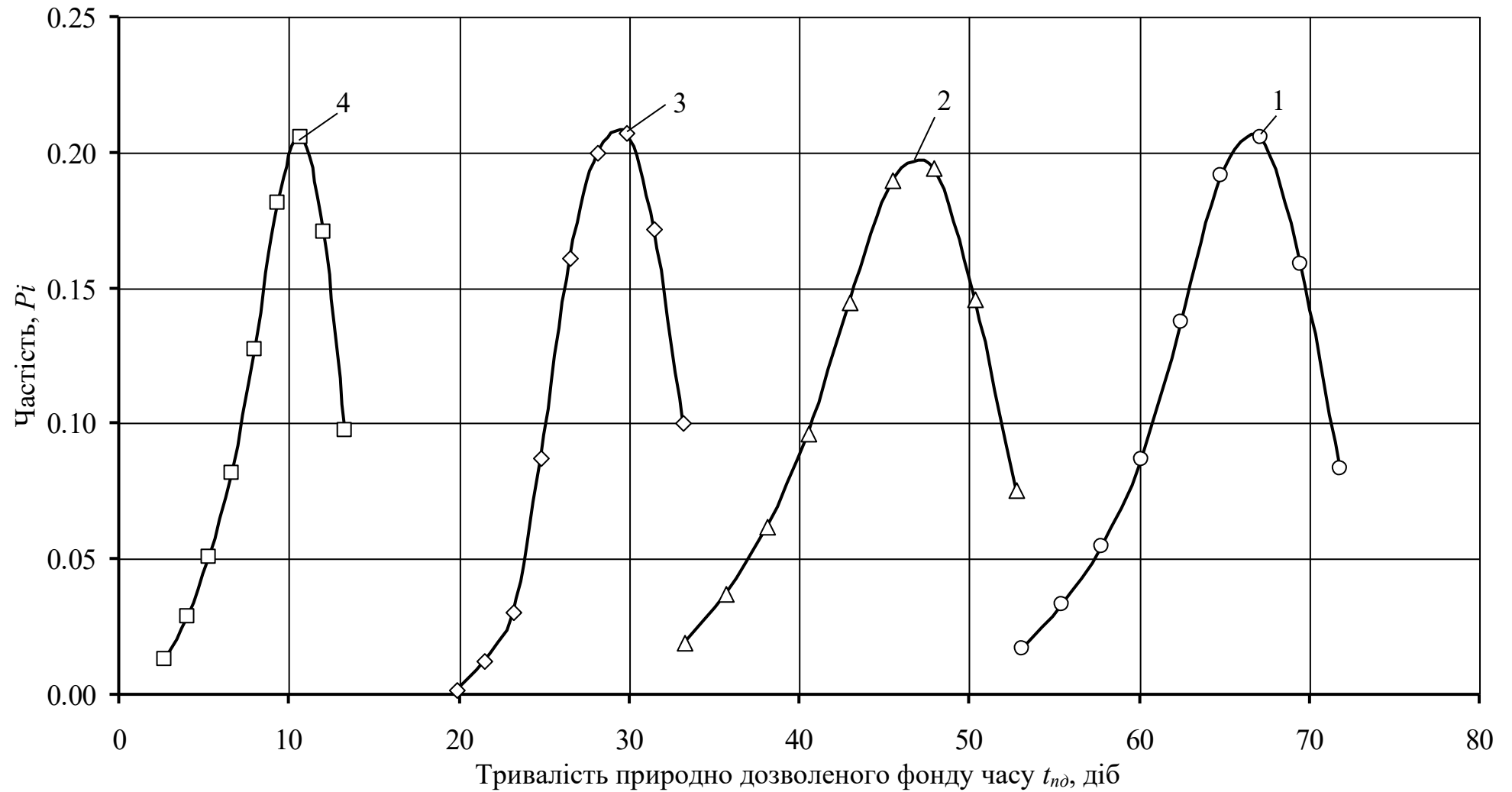


Рисунок 4.3 – Теоретичні криві розподілу природно дозволеного фонду часу для ґрунтообробно-посівних робіт під озиму пшеницю, для різних планових календарних строків їх реалізації: 1 – 29 червня; 2 – 19 липня; 3 – 8 серпня; 4 – 28 серпня.

З урахуванням цього, із застосуванням методів кореляційно-регресійного аналізу було встановлено закономірність зміни оцінок математичного сподівання t_{nd} залежно від планових календарних термінів виконання польових робіт.

Таблиця 4.2 – Диференціальні функції та статистичні параметри розподілу тривалості природно дозволеного фонду часу виконання ґрунтообробно-посівних робіт під озиму пшеницю

Плановий термін процесів	Диференціальна функція розподілу	Оцінки статист. характеристик	
		$\bar{M}[t]$, діб	$\bar{\sigma}[t]$
29 червня	$f(t_{nd}^{180}) = 0,0839 \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \{1 - 0,1177 \cdot t \cdot (t^2 - 3) - 0,0064 \cdot [t \cdot (t^2 - 2) - 3(t^2 - 1)]\};$ $t = \frac{t_{nd}^{180} - 64,931}{4,754}.$	64,931	0,368
19 липня	$f(t_{nd}^{200}) = 0,0833 \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \{1 - 0,0934 \cdot t \cdot (t^2 - 3) - 0,0147 \cdot [t \cdot (t^2 - 2) - 3(t^2 - 1)]\};$ $t = \frac{t_{nd}^{200} - 45,343}{4,788}.$	45,343	0,359
8 серпня	$f(t_{nd}^{220}) = 0,1456 \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \{1 - 0,1244 \cdot t \cdot (t^2 - 3) + 0,0306 \cdot [t \cdot (t^2 - 2) - 3(t^2 - 1)]\};$ $t = \frac{t_{nd}^{220} - 28,977}{2,740}.$	28,977	0,275
28 серпня	$f(t_{nd}^{240}) = 0,1569 \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \{1 - 0,0997 \cdot t \cdot (t^2 - 3) - 0,012 \cdot [t \cdot (t^2 - 2) - 3(t^2 - 1)]\};$ $t = \frac{t_{nd}^{240} - 9,66}{2,543}.$	9,660	0,332

Отримані закономірності свідчать про те (рис. 4.4 та рис. 4.5), що зі зміщенням ґрунтообробно-посівних робіт на пізні терміни тривалість природно дозволеного фонду часу t_{nd} поступово зменшується і наближається до нульового рівня. Це зумовлює зростання ймовірності несвоєчасного виконання робіт, що відбивається на майбутній врожайності, ефективності вирощування озимих культур та результативності відповідного технологічного комплексу в цілому.

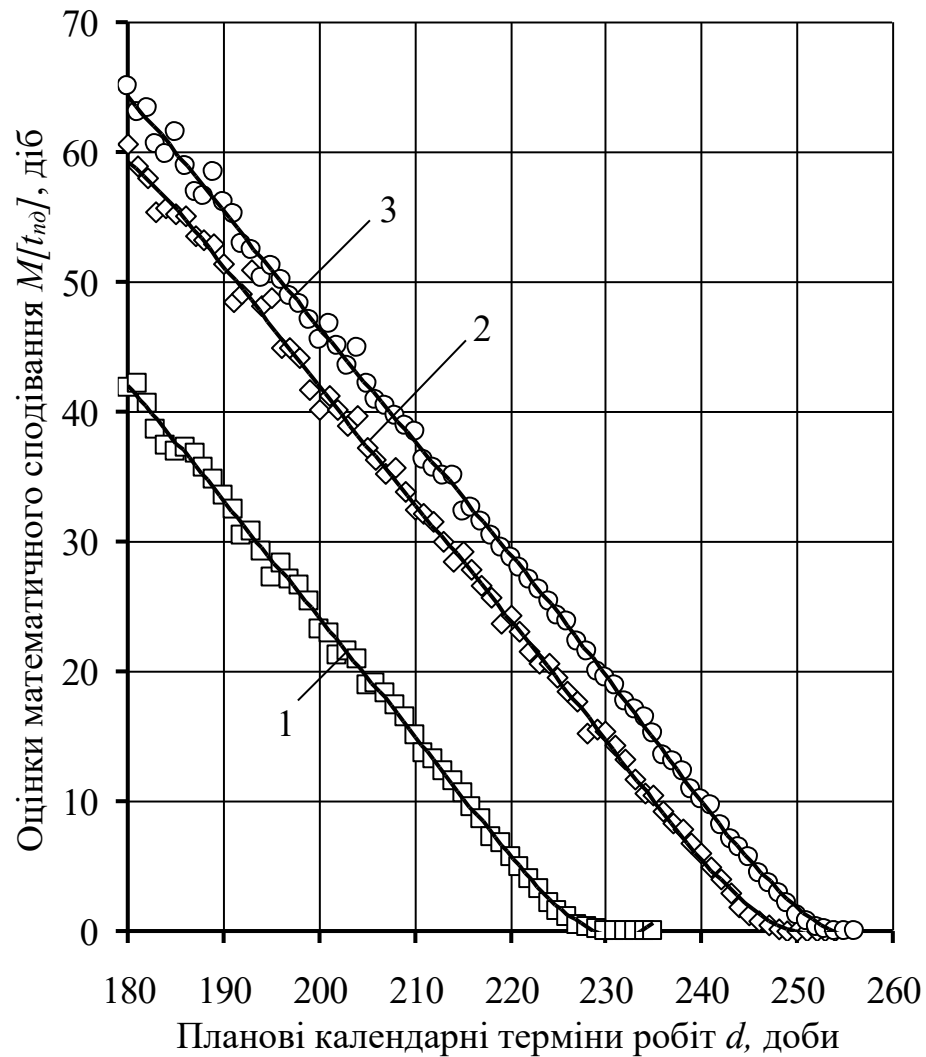


Рисунок 4.4. Закономірність зміни оцінок математичного сподівання тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних процесів: 1 – озимий ріпак; 2 – озиме жито; 3 –

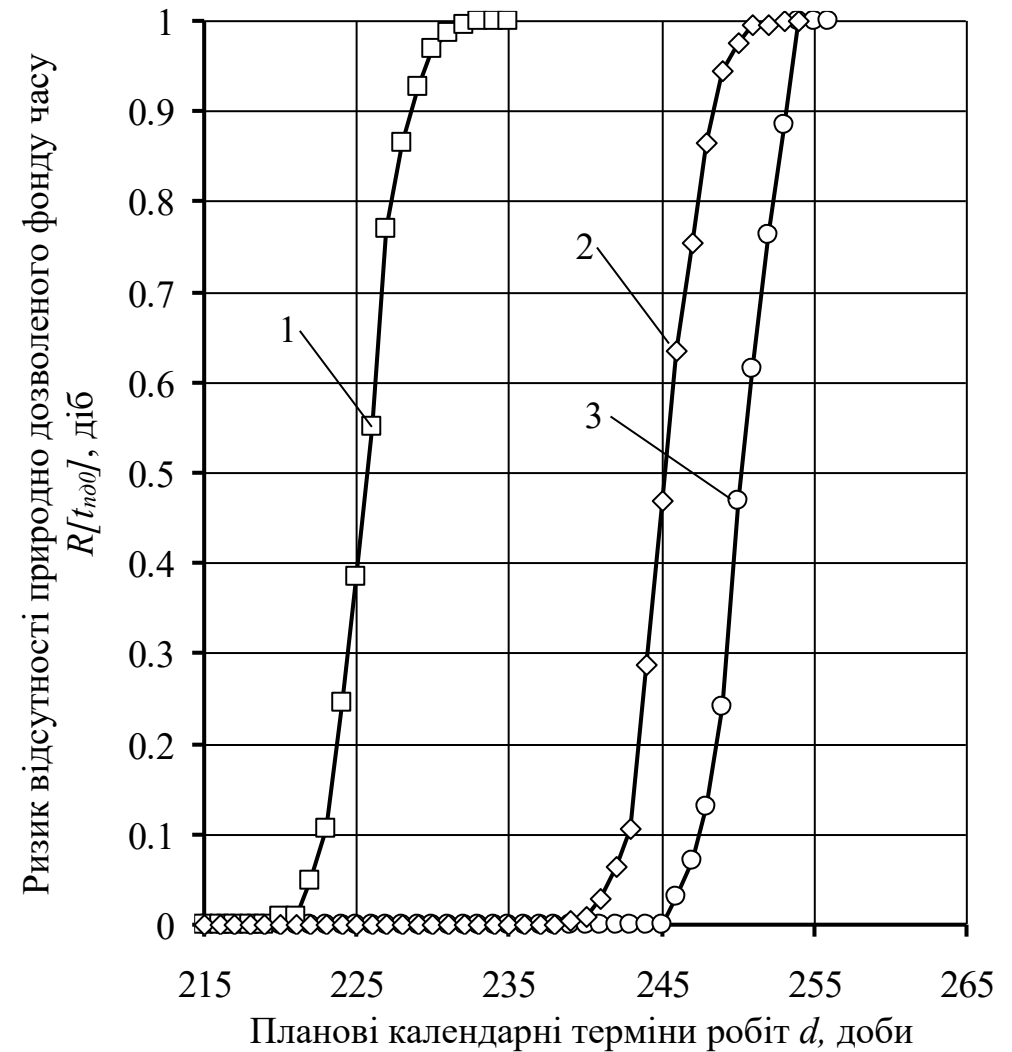


Рисунок 4.5. Закономірність зміни ризику відсутності природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних процесів у літньо-осінній період: 1 – озимий ріпак; 2 – озиме жито; 3 – озима пшениця.

Таким чином, агрометеорологічні умови, впливаючи на стан предметної складової ґрунтообробно-посівних процесів, зокрема на вологість верхніх шарів ґрунту, формують специфічний характер зміни тривалості природно дозволеного фонду часу функціонування технологічного комплексу ґрунтообробно-посівних процесів, а також відповідного ризику $R[t_{nd0}]$.

Урахування зазначених особливостей технологічної системи в межах статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів і їх системного впливу на формування потоку вимог щодо виконання сукупності технологічних операцій з основного ґрунтообробного стану озимих культур забезпечує адекватне відтворення умов функціонування технологічного комплексу. Це, у свою чергу, дає змогу отримувати достовірні результати при оцінюванні ризику фонду часу на виконання робіт у відповідній технологічній системі.

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 [19, 22]. 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 присвоїмо 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 будуюмо матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічна інтерпретація якої зображено на рис. 5.1.

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель 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: $P_{13} = 0,2 + 0,4 - 0,2 \cdot 0,4 = 0,0592$.

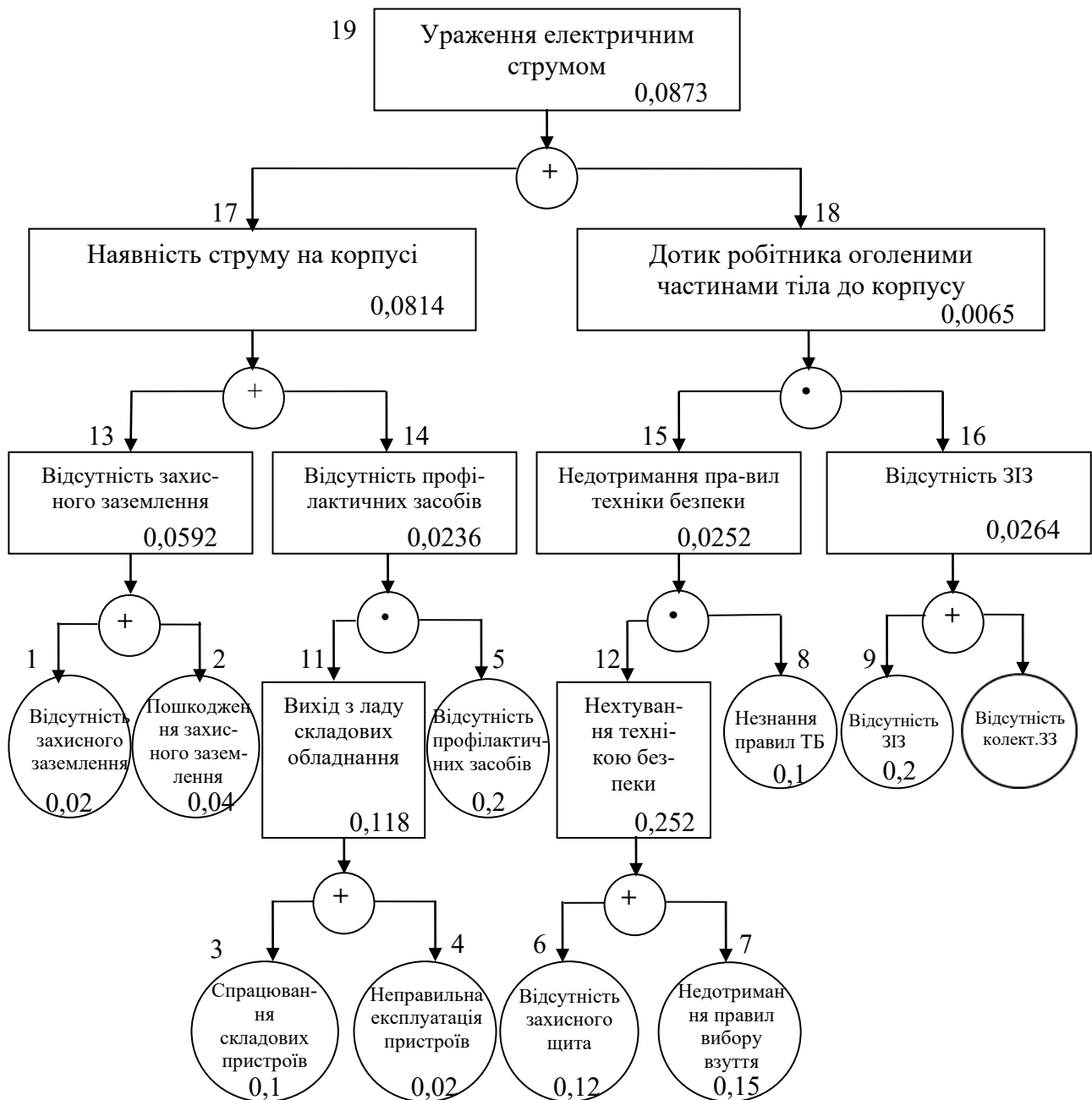


Рисунок 5.1 – Матриця логічних взаємозв'язків між окремими подіями травмонебезпечної ситуації [19, 22]

Аналогічно визначаємо ймовірність інших подій:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4P_5 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,118.$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6P_7 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,252.$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9P_{10} = 0,2 + 0,15 - 0,2 \cdot 0,15 = 0,264.$$

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

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

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

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

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

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

Актуальність проблеми природно-техногенної безпеки для населення і території, зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами [19, 22]. У системі цивільної оборони окремого господарства необхідно забезпечити захист населення таким чином:

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

Погодні умови істотно впливають на повсякденну діяльність людей і на роботу різних галузей, зокрема аграрного сектора. Тому моніторинг і прогнозування погоди є важливим елементом як побутового життя, так і виробничих процесів. Для рослинництва така інформація є ключовою для отримання високих врожаїв та забезпечення економічної ефективності виробництва.

Стандартний прогноз погоди передбачає збір максимальної кількості даних про поточний стан атмосфери в обраній місцевості. Основними параметрами для прогнозування є температура та вологість повітря, а також швидкість і напрямок вітру. Дані надходять із численних наземних, водних та аерологічних метеостанцій, морських суден, літаків і погодних супутників.

Сучасні середовища програмування мають різноманітні інтерфейси, підтримку різних мов та набори функціональних можливостей. Вони відрізняються як перевагами, так і обмеженнями. Одним із найбільш поширених середовищ сьогодні є Visual Studio від Microsoft, яке дозволяє створювати додатки для Windows, Android і Linux, підтримуючи мови програмування C, C++, C#, F#, JavaScript, Visual Basic і Python.

Особливістю ґрунтообробно-посівних робіт у літньо-осінній період є залежність їх початку від завершення збору врожаю попередньої культури. Календарні строки запуску машинного агрегату на полях залежать від часу досягання попередника та тривалості виконання операцій із його збирання.

Блок-схему алгоритму статистичної імітаційної моделі агрометеорологічних умов створювали для відображення системно-подієвих особливостей функціонування технологічного комплексу в літньо-осінній період. Алгоритм містить 13 блоків. На основі його структури було створено програмний додаток – статистичну імітаційну модель агрометеорологічних умов і ґрунтообробно-посівних процесів, що входить до складу інформаційної системи

(див. дод. А). Програмний код розроблено в інтегрованому середовищі розробки Visual Studio на мові C#.

Розроблений програмний засіб представлений у кодї на мові C#, є Windows Forms-додатком для статистичного моделювання погодних умов і розрахунку фонду часу для виконання агротехнічних робіт, зокрема для посіву озимих культур. Використано стандартний набір бібліотек платформи .NET, які забезпечують як базову функціональність мови C#, так і роботу графічного інтерфейсу та файлової системи.

Головне тіло програми виконує роль керуючого ядра, яке ініціює застосунок, передає управління користувачькому інтерфейсу та забезпечує коректну взаємодію між середовищем виконання Windows і логікою моделювання, реалізованою у класі Form1.

Використана методика моделювання спрямована на статистичну імітацію виконання ґрунтообробно-посівних процесів за прогнозованих агрометеорологічних умов і тенденцій зміни агрофону поля. Це дозволяє відтворити системно-подієві особливості функціонування комплексу машин у технологічній системі, провести багаторазові реалізації моделі, отримати репрезентативні вибірки показників своєчасності виконання робіт, оцінити ризик фонду часу та обґрунтувати управлінські рішення.

Проведене моделювання дозволило визначити характеристики тривалості природно дозволеного фонду часу для виконання ґрунтообробно-посівних операцій у період із 29 червня (180-та доба від 1 січня) до 17 вересня (260-та доба). Встановлені закономірності зміни цієї тривалості є важливими для оцінки ризику фонду часу під час виконання польових робіт.

Застосування методів математичної статистики для обробки результатів комп'ютерних експериментів із вивчення тривалості природно дозволеного фонду часу під озиму пшеницю дозволило, на основі критерію χ^2 Пірсона, обґрунтувати теоретичний розподіл цієї випадкової величини. Виявлено, що розподіл тїд для різних планових термінів початку робіт відповідає чотирипараметричному закону Лапласа-Шарльє.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бекетов О.Г., Вітряк Є.А., Мироненко І.О., Овдій О.М. Розвиток інтернет-порталу метеорологічного прогнозування на мультипроцесорній платформі. Proceedings of the 10th International Conference of Programming UkrPROG'2016. 2016. 246-253.
2. Білас О. Є. Якість програмного забезпечення та тестування : Навч. посіб. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2011. 216 с.
3. Бублик В.В. Об'єктно-орієнтоване програмування: [Підручник] / В.В. Бублик. К.: ІТ-книга, 2015. 624 с.
4. Вступ до програмування мовою С++. Організація обчислень : навч. посіб. / Ю. А. Белов, Т. О. Карнаух, Ю. В. Коваль, А. Б. Ставровський. К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. 175 с.
5. Дорошенко А.Ю., Бекетов О.Г., Прусов В.А., Тирчак Ю.М., Яценко О.А. Формалізоване проектування та генерація паралельної програми чисельного прогнозування погоди // Проблеми програмування. 2014. № 2-3. С. 72-81.
6. Дорошенко А.Ю., Іваненко П.А., Овдій О.М., Павлючин Т.О., Вітряк Є.А. До створення Інтернет-порталу надання послуг метеорологічного прогнозування на мультипроцесорній платформі // Проблеми програмування. 2015. № 3. С. 24-32.
7. Дорошенко А.Ю., Іваненко П.А., Овдій О.М., Яценко О.А. Автоматизоване проектування програм для розв'язання задачі метеорологічного прогнозування. Проблеми програмування. 2016. № 1. С. 102-115.
8. Кісь Я.П. Інтелектуальні геоінформаційні системи. Міжнародний досвід та шляхи розвитку в Україні [Текст] / Я.П. Кісь, Н.Б. Шаховська, О.Б. Вальчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Л.: Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2018. №653. С. 139-145.

9. Клімат України [За редакцією В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко]. Київ: видавництво Раєвського, 2003. 344 с.
10. Коноваленко І.В. Програмування мовою С# 6.0. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Тернопіль. ТНТУ. 2016. 229 с.
11. Левус Є.В., Марусенкова Т.А., Нитребич О.О. Життєвий цикл програмного забезпечення : Навч. посіб. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 217. 208 с.
12. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів: НВФ “Українські технології”, 2022. 800 с.
13. Литвин В.В. Методи та засоби інженерії даних та знань / В.В.Литвин Львів: Магнолія-2016, 2012. 241 с.
14. Литвин В.В. Метод моделювання процесу підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі / В.В. Литвин, О.В. Оборська, Р.В. Вовнянка // Математичні машини й системи. Київ, 2014. №1. С. 50-57.
15. Метеосервіс «Gismeteo». URL: <https://www.gismeteo.ua/ua/weather-lyiv-4949/> (дата звернення: 20.11.2025)
16. Метеосервіс «Sinoptik». URL: <https://ua.sinoptik.ua> (дата звернення: 20.11.2025)
17. Охорона праці в агропромисловому комплексі : підручник / [А. С. Беліков, К. М. Сухий, А. С. Кобець та ін.] ; під заг. ред. засл. діяча науки і техніки України, д.т.н., проф. А. С. Белікова. Дніпро : Журфонд, 2025. 644 с.
18. Павлиш В. А., Гліненко Л. К., Шаховська Н. Б. Основи інформаційних технологій і систем : Підручник. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2018. 620 с.
19. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В.О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навч. посібн. / за ред. І.П.Пістуна. Ч. І. Львів: Тріада плюс, 2017. 620 с.

20. Прусов В.А., Дорошенко А.Ю. Моделювання природних і техногенних процесів в атмосфері. – К.: Наукова думка, 2006. – 542 с.
21. Стоцько З.А. Моделювання технічних систем. Навч. пос., 2-е вид., переробл. і доповн. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2013. 188 с.
22. Тимочко, В., Городецький І., Бурнаєв О. та ін. Оцінка професійного ризику працівників під час обслуговування та ремонту електричного обладнання. *Вісник Львівського НАУ. Серія Агроінженерні дослідження*. 2024. №28. С. 227–235. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.127>.
23. Трофименко О. Г. С++. Алгоритмізація та програмування : підручник / О. Г. Трофименко, Ю. В. Прокоп, Н. І. Логінова, О. В. Задерейко. 2-ге вид. перероб. і доповн. – Одеса : Фенікс, 2019. 477 с.
24. Український гідрометеорологічний центр. Державної служби УНС. 2025. URL: <https://www.meteo.gov.ua/> (дата звернення: 20.11.2025)
25. Big Data information technology and data space architecture / N. Shakhovska, O. Veres, Y. Bolubash, L. Bychkovska // *Sensors & Transducers*. 2015. Vol. 195, Is.12. P. 69-77.
26. C# Guide – .NET managed language. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/> (дата звернення: 14.11.2025).
27. Bratushka, S. M., Novak S. M., Khailuk S. O. 2010. Decision support systems, DVNZ «UABS NBU», Sumy, 265 s.
28. MeteorJS : JavaScript APPS. – Mode of access : URL : <https://www.meteor.com>
29. Sytnyk, V.F. Decision support systems, KNEU, Kyiv, 2004. 614.
30. Visual Studio. URL: <https://visualstudio.microsoft.com/> (дата звернення: 05.11.2025).
31. Daniel Solis. Illustrated C# 2012. APress, 2012. 732 p.
32. Standard ECMA-334. C# Language Specification. 4th Edition. Ecma International. 2006. 531 p.
33. International standard ISO/IEC 23270:2018. Information technology. Programming languages – C#. Third edition. ISO/IEC JTC 1/SC 22. 2018. 511 p.

ДОДАТКИ

Додаток А

Фрагмент коду програми імітаційної моделі агрометеорологічних умов для календарного періоду осіннього обробітку ґрунту сівби реалізованої в мові С#

```

namespace PDF_for_ObrGr
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        Random rd = new Random();
        public int start_Day = 180, end_Day=254, i=0, realiz = 6;
        StreamWriter rez, rez1, rez_i_25;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        //Процедури та функції
        // розподіл Вейбула
        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;
        }
        // розподіл Нормальний
        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
        int[] FormPogodu(int[] pogogiDni, int[] nepogogiDni, int zamoroz)
        {
            int[] rez = new int[zamoroz]; // фонд часу між поч.робіт
            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;
}
void model()//МОДЕЛЬ
{
    int Zamorozku_2 = 0, Zamorozku_5 = 0;
    rez = new StreamWriter("rez.txt");
    rez1 = new StreamWriter("rez1.txt");
    rez_i_25 = new StreamWriter("rez_i_25.txt");
    int[] GoodDay = new int[50];
    int[] MalDay = new int[50];
    int[] Pogoda = new int[180];
    try
    {
        for (i = start_Day; i <= end_Day; i++) //реалізації для поточних
днів
        {
            double Sum_pdf2 = 0, Sum_pdf5 = 0, S_pdf52 = 0,
                Jmov_pdf2_0 = 0, count = 0, Jmov_pdf5_0 = 0;
            pogoda.Value = 0;
            for (int pogM = 0; pogM < realiz; pogM++) // 25 масивів
непогожих днів
            {
                for (int M = 0; M < MalDay.Length; M++)
                {
                    MalDay[M] = (int)veyb(3.243, 1.234, 1, 1, 12);// !!!
перевірено
                }
                for (int pogG = 0; pogG < realiz; pogG++) // 25 масивів
погожих днів
                {
                    for (int G = 0; G < GoodDay.Length; G++)
                    {
                        GoodDay[G] = (int)veyb(34.876, 1.313, 1, 1,
108);// !!! перевірено
                    }
                    for (int zamor = 0; zamor < realiz; zamor++) //
25 варіантів початку сівби
                    {
                        Zamorozku_5 = (int)norm(250.833, 2.351, 243,
258);//- час поч. сівби для озимих - !!! перевірено
                        int end_FSG = end_Day; // !!! перевірено
                        int pdf_2 = 0, pdf_5 = 0, Zamor_max =
end_FSG;
                        if (Zamorozku_5 < Zamor_max) Zamor_max =
Zamorozku_5;
                        if (i < Zamor_max)
                        {
                            Pogoda = FormPogodu(GoodDay, MalDay,
Zamor_max - i);
                            for (int j = 0; j < Pogoda.Length; j++)
                            {
                                if (Pogoda[j] > 0)
                                {
                                    pdf_5++;
                                }
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        }
    }
    else
    {
        pdf_2 = 0;
        pdf_5 = 0;
    }
    Sum_pdf5 += pdf_5;
    S_pdf52 += pdf_5;
    count++;
    if (pdf_5 == 0) Jmov_pdf5_0++;
    //записати pdf в зовнішній файл
    rez1.WriteLine("{0,-7}{1,-7}{2,-7}", i,
Zamor_max, pdf_5);
        pogoda.PerformStep();
        //}
        }
        S_pdf52 = Math.Round((S_pdf52 / Math.Pow(realiz,
1)), 3);
        //записати pdf в зовнішній файл
        rez.WriteLine("{0,-7}{1,-7}", i, S_pdf52);
        S_pdf52 = 0;
    }
    }
    Sum_pdf5 = Math.Round((Sum_pdf5 / Math.Pow(realiz, 3)), 3);
    Jmov_pdf5_0 = Math.Round((Jmov_pdf5_0 / Math.Pow(realiz,
3)), 3);
    rez_i_25.WriteLine("{0,-7}{1,-7}{2,-7}{3,-7}{4,-7}", i,
Sum_pdf2, Sum_pdf5, count, Jmov_pdf5_0);
    PDF.PerformStep();
    }
    }
    finally
    {
        rez.Close();
        rez_i_25.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, 3);
    pogoda.Value = 0;
    pogoda.Step=1;
    PDF.Maximum=end_Day-start_Day;
    PDF.Value=0;
    PDF.Step=1;
    model();
}
}
}

```

Додаток Б.
Результати визначення статистичних характеристик

Таблиця Б.1 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу агрометеорологічно зумовленого часу початку сівби озимої пшениці (нормальний)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	243,0	244,7	243,8	1	0,005	1,219	0,245	0,00201782	0,003
2	244,7	246,3	245,5	7	0,035	8,593	0,996	0,01295281	0,022
3	246,3	248,0	247,2	12	0,060	14,830	0,807	0,05030462	0,084
4	248,0	249,7	248,8	36	0,180	44,790	0,720	0,11819884	0,197
5	249,7	251,3	250,5	66	0,330	82,665	0,037	0,16802741	0,280
6	251,3	253,0	252,2	41	0,205	51,694	0,364	0,14451356	0,241
7	253,0	254,7	253,8	29	0,145	36,806	1,305	0,07519667	0,125
8	254,7	256,3	255,5	6	0,030	7,665	0,653	0,02367283	0,039
9	256,3	258,0	257,2	2	0,010	2,572	0,401	0,00450883	0,008
				200	1	250,833	5,528		0,999

Закон розподілу - *нормальний*

Математичне сподівання	Y_c	250,833	Число ступенів вільності	r	6
Дисперсія	D	5,528	Рівень значущості	α	0,100
Середн.-квадр. відхилення	σ	2,351	Хі-квадрат розрахункове	X^2	7,560
Коефіцієнт варіації	v	0,300	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	10,645

Таблиця Б.2 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних робіт під озиму пшеницю для календарного терміну – 29 червня (Лапласа-Шарльє)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	52,0	54,3	53,2	6	0,028	1,477	3,844	0,00322	0,017
2	54,3	56,7	55,5	8	0,037	2,056	3,294	0,01022	0,033
3	56,7	59,0	57,8	14	0,065	3,748	3,265	0,02531	0,055
4	59,0	61,3	60,2	21	0,097	5,850	2,206	0,04877	0,087
5	61,3	63,7	62,5	24	0,111	6,944	0,656	0,07317	0,137
6	63,7	66,0	64,8	45	0,208	13,507	0,002	0,08544	0,191
7	66,0	68,3	67,2	39	0,181	12,127	0,903	0,07766	0,206
8	68,3	70,7	69,5	37	0,171	11,905	3,577	0,05495	0,159
9	70,7	73,0	71,8	22	0,102	7,316	4,853	0,03027	0,083
				216	1	64,931	22,600		0,968

Закон розподілу - *Лапласа-Шарльє*

Математичне сподівання	Y_c	64,931	Число ступенів вільності	r	4
Дисперсія	D	22,600	Рівень значущості	α	0,100
Середн.-квадр. відхилення	σ	4,754	Хі-квадрат розрахункове	X^2	5,451
Коефіцієнт варіації	v	0,368	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	7,779
Асиметрія	A_s	-0,706	Експес	E_s	-0,1543

Таблиця Б.3 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних робіт під озиму пшеницю для календарного терміну – 19 липня (Лапласа-Шарльє)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	32,0	34,4	33,2	5	0,023	0,769	3,401	0,00365	0,019
2	34,4	36,9	35,7	7	0,032	1,156	3,034	0,01115	0,037
3	36,9	39,3	38,1	18	0,083	3,176	4,358	0,02657	0,062
4	39,3	41,8	40,6	17	0,079	3,192	1,804	0,04941	0,096
5	41,8	44,2	43,0	34	0,157	6,769	0,864	0,07173	0,145
6	44,2	46,7	45,4	34	0,157	7,153	0,002	0,08127	0,190
7	46,7	49,1	47,9	52	0,241	11,529	1,561	0,07187	0,194
8	49,1	51,6	50,3	33	0,153	7,690	3,805	0,04960	0,146
9	51,6	54,0	52,8	16	0,074	3,909	4,095	0,02672	0,076
				216	1	45,343	22,923		0,965

Закон розподілу - *Лапласа-Шарльє*

Математичне сподівання	Y_c	45,343	Число ступенів вільності	r	4
Дисперсія	D	22,923	Рівень значущості	α	0,100
Середн.-квадр. відхилення	σ	4,788	Хі-квадрат розрахункове	X^2	6,534
Коефіцієнт варіації	v	0,359	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	7,779
Асиметрія	A_s	-0,5604	Експес	E_s	-0,3522

Таблиця Б.4 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних робіт під озиму пшеницю для календарного терміну – 8 серпня (Лапласа-Шарльє)

№	Униз	Уверх	U_i	$M(i)$	P_i	$U_i \cdot P_i$	$(U_i - U_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	19,0	20,7	19,8	1	0,005	0,092	0,387	0,00044	0,002
2	20,7	22,3	21,5	3	0,014	0,299	0,776	0,00294	0,012
3	22,3	24,0	23,2	8	0,037	0,858	1,250	0,01353	0,031
4	24,0	25,7	24,8	12	0,056	1,380	0,954	0,04272	0,087
5	25,7	27,3	26,5	30	0,139	3,681	0,852	0,09269	0,161
6	27,3	29,0	28,2	48	0,222	6,259	0,146	0,13819	0,200
7	29,0	30,7	29,8	48	0,222	6,630	0,163	0,14154	0,207
8	30,7	32,3	31,5	46	0,213	6,708	1,356	0,09961	0,172
9	32,3	34,0	33,2	20	0,093	3,071	1,625	0,04816	0,100
				216	1	28,977	7,510		0,972

Закон розподілу - *Лапласа-Шарльє*

Математичне сподівання	U_c	28,977	Число ступенів вільності	r	4
Дисперсія	D	7,510	Рівень значущості	α	0,100
Середн.-квадр. відхилення	σ	2,740	Хі-квадрат розрахункове	X^2	7,414
Коефіцієнт варіації	v	0,275	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	7,779
Асиметрія	A_s	-0,7465	Ексцес	E_s	0,7356

Таблиця Б.5 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробно-посівних робіт під озиму пшеницю для календарного терміну – 28 серпня (Лапласа-Шарльє)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	2,0	3,3	2,7	2	0,009	0,025	0,453	0,00375	0,013
2	3,3	4,7	4,0	6	0,028	0,111	0,890	0,01316	0,029
3	4,7	6,0	5,3	12	0,056	0,296	1,040	0,03563	0,051
4	6,0	7,3	6,7	22	0,102	0,679	0,913	0,07449	0,081
5	7,3	8,7	8,0	26	0,120	0,963	0,332	0,12022	0,127
6	8,7	10,0	9,3	45	0,208	1,944	0,022	0,14982	0,181
7	10,0	11,3	10,7	42	0,194	2,074	0,197	0,14414	0,206
8	11,3	12,7	12,0	32	0,148	1,778	0,811	0,10707	0,171
9	12,7	14,0	13,3	29	0,134	1,790	1,811	0,06140	0,098
				216	1	9,660	6,469		0,957

Закон розподілу - *Лапласа-Шарльє*

Математичне сподівання	Y_c	9,660	Число ступенів вільності	r	4
Дисперсія	D	6,469	Рівень значущості	α	0,100
Середн.-квадр. відхилення	σ	2,543	Хі-квадрат розрахункове	X^2	6,139
Коефіцієнт варіації	v	0,332	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	7,779
Асиметрія	A_s	-0,5980	Експес	E_s	-0,2879