

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ  
ІМ. ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

ДИПЛОМНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: „Дослідження впливу агрометеорологічних умов на процес  
механізованого збирання льону-довгунця в умовах Малого Полісся  
Львівщини”

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-61

Спеціальності 208 „Агроінженерія”

(шифр і назва)

Зубик Олег Володимирович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Шарибура А.О.

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: \_\_\_\_\_

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ**  
**ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ**  
**ІМ. ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

к.т.н., доцент Андрій ШАРИБУРА  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на дипломну роботу студенту  
**Зубику Олегу Володимировичу**

1. Тема роботи: **„Дослідження впливу агрометеорологічних умов на процес механізованого збирання льону-довгунця в умовах Малого Полісся Львівщини”**

Керівник роботи: Шарибура Андрій Остапович, к.т.н., доцент  
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 10.12.2024 року.

3. Вихідні дані: 1. Статистичні дані щодо стану вирощування льону-довгунця в державі та світі; 2. Звітні дані метеорологічної станції щодо спостережень літнього періоду; 3. Методи математичної статистики та кореляційно-регресійного аналізу; 4. Початкові дані розрахунків.

4. Перелік питань, які необхідно розробити

Вступ

1. Аналіз стану питання в практиці та теорії

2. Науково-методичні засади управління технологічним ризиком у проєктах рільництва

3. Методика виробничих експериментів та їх математичного опрацювання

4. Результати опрацювання даних виробничих та комп'ютерних експериментів

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

6. Вартісне оцінення витрат на виконання робіт у механізованому процесі  
Висновки та пропозиції.

Бібліографічний список.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 4, 6	Шарибура А.О. к.т.н., доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. Олександра Семковича			
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання першого розділу</i>	<i>12.09.24-25.09.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Виробничі умови формування показників надійності тракторів»</i>	<i>26.09.24-12.10.24</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу: «Методика збору та опрацювання початкових даних для дослідження»</i>	<i>13.10.24-25.10.24</i>	
4.	<i>Написання розділу: «Результати оцінення показників надійності тракторів»</i>	<i>26.10.24-12.11.24</i>	
5.	<i>Написання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	<i>13.11.24-20.11.24</i>	
6.	<i>Написання розділу: «Техніко-економічна оцінка технологічних втрат через несвоєчасність»</i>	<i>21.11.24-30.11.24</i>	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>1.12.24-10.12.24</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Олег ЗУБИК  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Андрій ШАРИБУРА

УДК: 658.51:631.3

Магістерська робота: 96 с. текст. част., 14 рис., 11 табл., 11 лист., 32 джерел.

Дослідження впливу агрометеорологічних умов на процес механізованого збирання льону-довгунця в умовах Малого Полісся Львівщини.

Зубик О.В. Кафедра АТС ім. проф. Олександра Семковича. Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Проведено дослідження сучасного стану вирощування льону-довгунця як на території України, так і за її межами. Детально розглянуто наявні технологічні підходи та технічні засоби, що застосовуються для механізованого збирання льону-довгунця. Обґрунтовано науково-методичні аспекти впливу агрометеорологічних факторів на механізовані процеси збирання цієї культури.

Складено програму виробничих спостережень, проведено збір вихідних даних, їх математичну обробку та визначено закономірності розподілу тривалості погожих і непогожих періодів під час збирання льону-довгунця у зоні Малого Полісся Львівщини.

Виявлено залежність обсягів запланованих робіт у різних фазах стиглості культури від розмірів площі збирання (для заданої машинної системи).

Визначено статистичні параметри тривалості природно допустимого фонду часу, необхідного для виконання технологічних операцій у згаданих умовах.

Розроблено алгоритм статистичного імітаційного моделювання процесу механізованого збирання льону-довгунця, що дозволяє аналізувати стохастичний характер тривалості природно допустимого фонду часу.

Досліджено аспекти організації праці, умов роботи та заходів профілактики травматизму на підприємстві, створено логіко-імітаційну модель, яка описує випадки виробничого травматизму.

Проведено аналіз експлуатаційних витрат на виконання технологічних операцій.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ПРАКТИЦІ ТА ТЕОРІЇ .....	9
1.1. Сучасний стан виробництва льону-довгунця в Україні та за кордоном .....	9
1.2. Аналіз існуючих технологій збирання льону-довгунця .....	15
1.3. Аналіз науково-методичних положень дослідження процесів механізованого збирання сільськогосподарських культур .....	19
Висновки до розділу 1 .....	28
2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЕННЯ ВПЛИВУ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ПРОЦЕС МЕХАНІЗОВАНОГО ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ-ДОВГУНЦЯ .....	29
2.1. Концептуальна модель процесів механізованого збирання льону-довгунця .....	29
2.2. Аналіз чинників ефективності збирання льону-довгунця та обґрунтування критеріїв ідентифікації подій, які вони зумовлюють .....	32
2.3. Характерні причинно-наслідкові зв'язки між імовірними подіями у процесах механізованого збирання льону-довгунця ...	39
Висновки до розділу 2 .....	45
3. МЕТОДИКА ВИРОБНИЧИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ЇХ МАТЕМАТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ .....	46
3.1. Методика збору статистичних даних та оцінення ймовірності подій у механізованому процесі збирання льону-довгунця .....	46
3.2. Методика опрацювання результатів виробничих експериментів на підставі методів математичної статистики .....	50
3.3. Алгоритм та комп'ютерна програма статистичного імітаційного моделювання виконання робіт та оцінення ефективності перебігу механізованих процесів збирання льону-довгунця у часі .....	54

	6
Висновки до розділу 3 .....	60
4. РЕЗУЛЬТАТИ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ВИРОБНИЧИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ .....	61
4.1. Результати оцінення статистичних характеристик агрометеорологічних умов у процесах механізованого збирання льону-довгунця .....	61
4.2. Результати імітаційного моделювання процесів механізованого збирання льону-довгунця .....	67
Висновки до розділу 4 .....	69
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	70
5.1. Моделювання виникнення травм та аварій .....	70
5.2. Розробка логічно-імітаційної моделі травм у процесі збирання льону-довгунця .....	71
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях .....	75
Висновки до розділу 5 .....	77
6. ВАРТІСНЕ ОЦІНЕННЯ ВИТРАТ НА ВИКОНАННЯ РОБІТ У МЕХАНІЗОВАНОМУ ПРОЦЕСІ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ-ДОВГУНЦЯ	78
Висновки до розділу 6 .....	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	87
ДОДАТКИ .....	90

## ВСТУП

Труднощі, що виникають при виконанні технологічних операцій зі збирання льону-довгунця, головним чином пов'язані з тим, що всі якісні зміни предмета праці відбуваються під впливом зовнішнього середовища протягом тривалого періоду. Основним чинником цих змін є агрометеорологічні умови. Ігнорування їхньої мінливості може призвести до значних втрат урожаю.

Знання про вплив агрометеорологічних умов на якісні перетворення льону-довгунця, а також інформація про їх зміну, дозволяють створити алгоритм для прийняття обґрунтованих рішень щодо доцільності виконання певних технологічних операцій. Це сприятиме запобіганню нераціональним енергетичним витратам і втратам вирощеного врожаю.

**Мета роботи** – дослідити вплив мінливості агрометеорологічних умов на формування природно дозволеного фонду часу виконання механізованого процесу збирання льону-довгунця в умовах Малого Полісся Львівщини.

**Завдання дослідження:** 1) Провести аналіз сучасного стану питання як у практиці, так і в теорії. 2) Дослідити сучасні тенденції в забезпеченні сільськогосподарських підприємств (СГП) технічними засобами. 3) Розглянути існуючі методи та моделі, які використовуються для дослідження параметрів комплексів сільськогосподарських машин. 4) Визначити науково-методичні основи дослідження формування природно дозволеного фонду часу для виконання механізованого збирання льону-довгунця в умовах Малого Полісся Львівщини. 5) Розробити метод кількісної оцінки тривалості природно дозволеного фонду часу для механізованого збирання льону-довгунця. 6) Розробити алгоритм для моделювання агрометеорологічних умов у період збирання льону-довгунця та визначити статистичні характеристики тривалості природно дозволеного фонду часу.

**Об'єкти дослідження** – технологічний процес механізованого збирання льону-довгунця та агрометеорологічні причини мінливості добового фонду часу на виконання процесу.

**Предмет дослідження** – дані агрометеорологічної станції щодо агрометеорологічних умов літнього періоду, показники тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання технологічних операцій збирання льону-довгунця.

**Методи дослідження.** У роботі використані методи: системного аналізу та синтезу сукупної дії агрометеорологічного, предметного та біологічного чинників, математичної статистики та кореляційно-регресійного аналізу, графоаналітичного аналізу, опрацювання даних комп'ютерних експериментів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше:

- встановлено залежність планових обсягів робіт у різних фазах стиглості від площі збирання (для заданого комплексу машин);

- встановлено статистичні характеристики тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання технологічних операцій збирання льону-довгунця в умовах Малого Полісся Львівщини.

- розроблено алгоритму статистичного імітаційного моделювання механізованого процесу збирання льону-довгунця, що дає змогу дослідити стохастичність зазначеної тривалості природно дозволеного фонду часу.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані результати дозволяють оцінити тривалість природно дозволеного фонду часу для виконання механізованого збирання льону-довгунця. Це дає можливість узгодити планові площі сільськогосподарських підприємств із параметрами комплексу льонозбиральних машин (КЛМ).

Вплив агрометеорологічних характеристик на ефективність механізованого процесу збирання льону-довгунця відображається через природно дозволений фонд часу, який характеризується мінливістю залежно від погодних умов.



# 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ПРАКТИЦІ ТА ТЕОРІЇ

## 1.1. Сучасний стан виробництва льону-довгунця в Україні та за кордоном

Льон-довгунець вирізняється серед технічних культур своєю унікальною особливістю – відсутністю відходів як під час збору врожаю, так і на етапі його подальшої переробки. У результаті збору врожаю отримують тресту або соломку, а також насіння. У процесі подальшої обробки трести виділяється волокно, яке залежно від якості використовується для виготовлення побутових або технічних тканин, а також костру. Високий вміст целюлози в кострі (до 65%) дає змогу застосовувати її у виробництві паперу, картону, технічного спирту та наповнювачів для меблевих плит. Переробка насіння забезпечує отримання олії, що знаходить застосування у харчовій, хімічній та фармацевтичній галузях, а також макухи, яка містить 1,15 кормових одиниць і 260 г перетравного протеїну, що робить її цінним кормом для тварин [3, 19].

Льон-довгунець культивується в різних регіонах України, зокрема в поліських районах Волинської, Житомирської, Київської, Рівненської, Сумської та Чернігівської областей. Його також вирощують у передгірських і гірських місцевостях Івано-Франківської, Львівської, Чернівецької областей, а подекуди й у районах Тернопільської та Хмельницької областей.

Ця культура унікальна тим, що під час її збирання і наступної переробки практично не утворюються відходи. Отримані ресурси включають тресту або соломку і насіння. Переробка трести дозволяє виділити волокно, яке використовують у виробництві тканин побутового та технічного призначення. Костра, отримана в цьому процесі, завдяки вмісту до 65% целюлози застосовується у виготовленні паперу, картону, технічного спирту та наповнювачів для меблевих плит.

Насіння льону-довгунця слугує джерелом олії, яка знаходить широке застосування у харчовій, хімічній і фармацевтичній галузях. Макуха, що

залишається після вилучення олії, є високоякісним кормом для тварин, адже містить 1,15 кормових одиниць і 260 г перетравного протеїну. Така комплексна переробка льону-довгунця підкреслює його важливе значення для промисловості та сільського господарства [19].

До середини 1990-х років Україна була одним із провідних світових виробників і експортерів льоноволокна та продукції лляної промисловості. Щорічно площі посівів льону-довгунця до 1995 року становили від 160 до 170 тисяч гектарів. Обсяги валового збору льоноволокна та насіння сягали 105–110 тисяч тонн і 45–50 тисяч тонн відповідно. Врожайність волокна складала 8–9 центнерів з гектара, а насіння – 2,5–3 центнери з гектара.

Ці високі показники були досягнуті завдяки значній державній підтримці галузі. До 1995 року держава компенсувала до 40–45% виробничих витрат. Система додаткових виплат за реалізацію трести відповідно до календарних термінів, яка діяла до 1991 року, сприяла високій рентабельності виробництва, що в середньому становила 132–146%.

На той час льон-довгунець був однією з найбільш прибуткових культур. Його посіви займали 6–8% у структурі полів багатьох сільськогосподарських підприємств, забезпечуючи до 70% доходів від рослинництва. Ефективна державна політика гарантувала стабільність та високі прибутки у виробництві льону-довгунця [5, 6].

Однак у 1995 році галузь льонарства в Україні зазнала серйозних змін, що призвели до значного скорочення виробництва. Припинення державних і регіональних дотацій, а також недоступність кредитів змусили багатьох аграріїв розглядати льон як збиткову культуру. У період з 1995 по 2000 рік площі посівів скоротилися до 12 тисяч гектарів, а врожайність волокна впала до 2 центнерів з гектара.

Крім того, відсутність інтересу та фінансової підтримки призвела до поступового закриття підприємств первинної переробки льону-довгунця до 2000 року. Брак сировини та обігових коштів спричинив втрату цієї перспективної галузі.

У результаті зазначених змін, з 1991 року до сьогодні, площі посівів льону-довгунця в Україні скоротилися більше ніж у 65 разів (рис. 1.1), а обсяги валового збору волокна зменшилися майже у 150 разів (рис. 1.2).

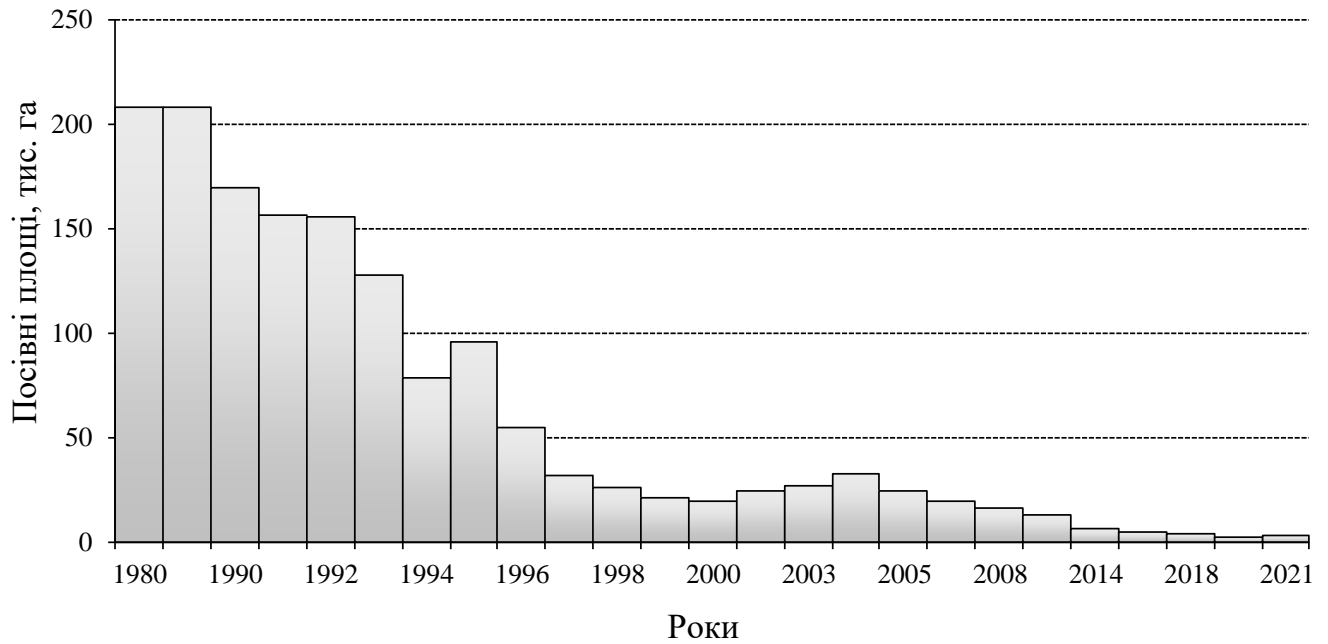


Рисунок 1.1 – Динаміка посівних площ льону-довгунця в Україні [6]

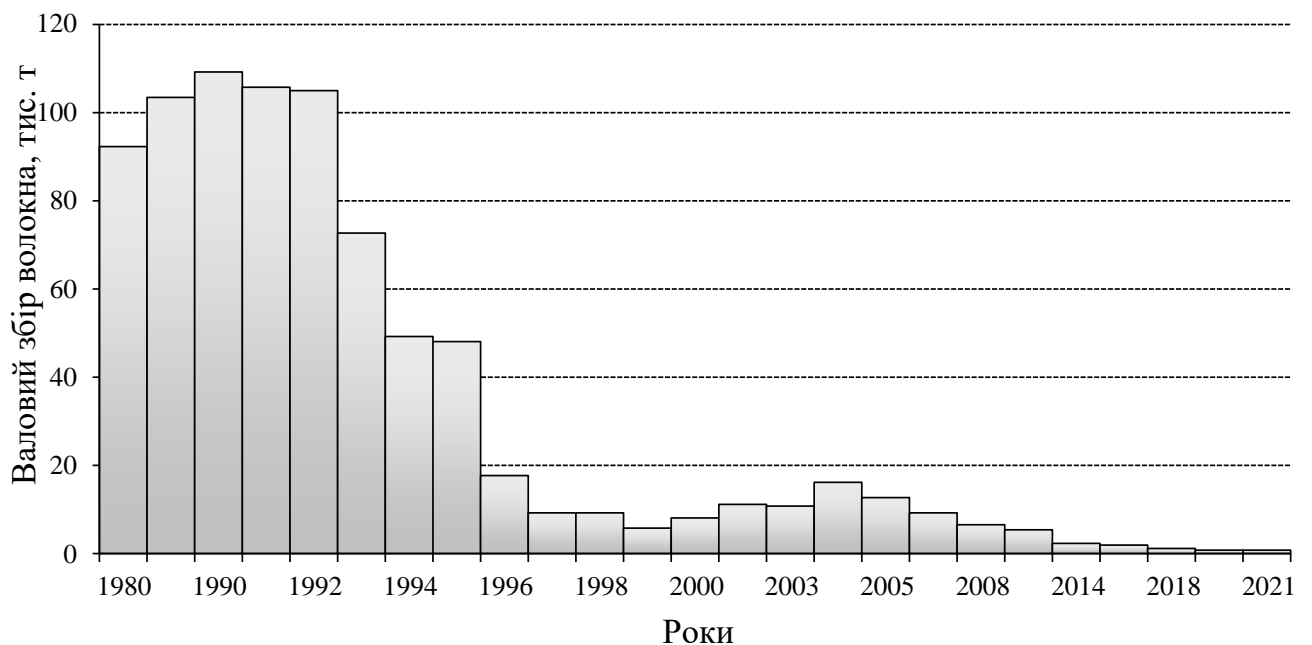


Рисунок 1.2 – Динаміка зміни валового збору волокна льону-довгунця в Україні [6]

Врожайність культури також знизилася вдвічі (рис. 1.3). Окрім цього, Україна втратила свої позиції на світовому ринку, знизивши частку експорту

льону з 15% у 1990–1992 роках до 0,1% у 2021 році. Така динаміка демонструє значні труднощі, які супроводжували розвиток льонової промисловості в Україні протягом цього періоду.

Сучасний стан льонарства в Україні можна охарактеризувати як стагнацію, що зумовлено кількома основними причинами:

1. Диспаритет цін – невідповідність між цінами на льон і його продукти створює економічні складнощі для виробників.
2. Розрив економічних, виробничих і технологічних зв'язків – порушення або втрата таких зв'язків у виробничо-збутовому ланцюгу ускладнили процеси виробництва та реалізації льонових продуктів.
3. Високі енергетичні та трудові витрати – значні ресурси, що витрачаються на збір урожаю, призводять до зростання собівартості виробництва.
4. Втрачений доступ до ринків збуту.

Сучасні сорти льону-довгунця, внесені до Державного реєстру сортів рослин України, дозволяють отримувати тресту високої якості з номерами 1,5–2,0. Однак, у процесі обробки якість трести може знижуватися до 1,0 і нижче. Це свідчить про технологічні труднощі та проблеми, пов'язані з якістю переробки льонових волокон. Рішення цих питань може включати модернізацію технологій і підвищення конкурентоспроможності продукції на ринку.

Попри економічні виклики, у льонарстві є перспективи. Льонові підприємства Житомирської та Чернігівської областей активно шукають нові можливості на міжнародному ринку. Прикладом є інвестиційний проєкт, який планує реалізувати ірландська компанія на базі Батуринського льонозаводу в Чернігівській області. Це свідчить про зацікавленість іноземних інвесторів у відродженні галузі в Україні.

Такі інвестиції можуть стати стимулом для розвитку технологій, покращення якості продукції, підвищення її конкурентоспроможності на глобальному ринку. Водночас це сприятиме створенню нових робочих місць і стимулюватиме економічний розвиток регіонів.

Цей позитивний тренд демонструє потенціал для відновлення та зростання льонарства в Україні, а також розкриття його економічних можливостей у контексті глобального ринку.

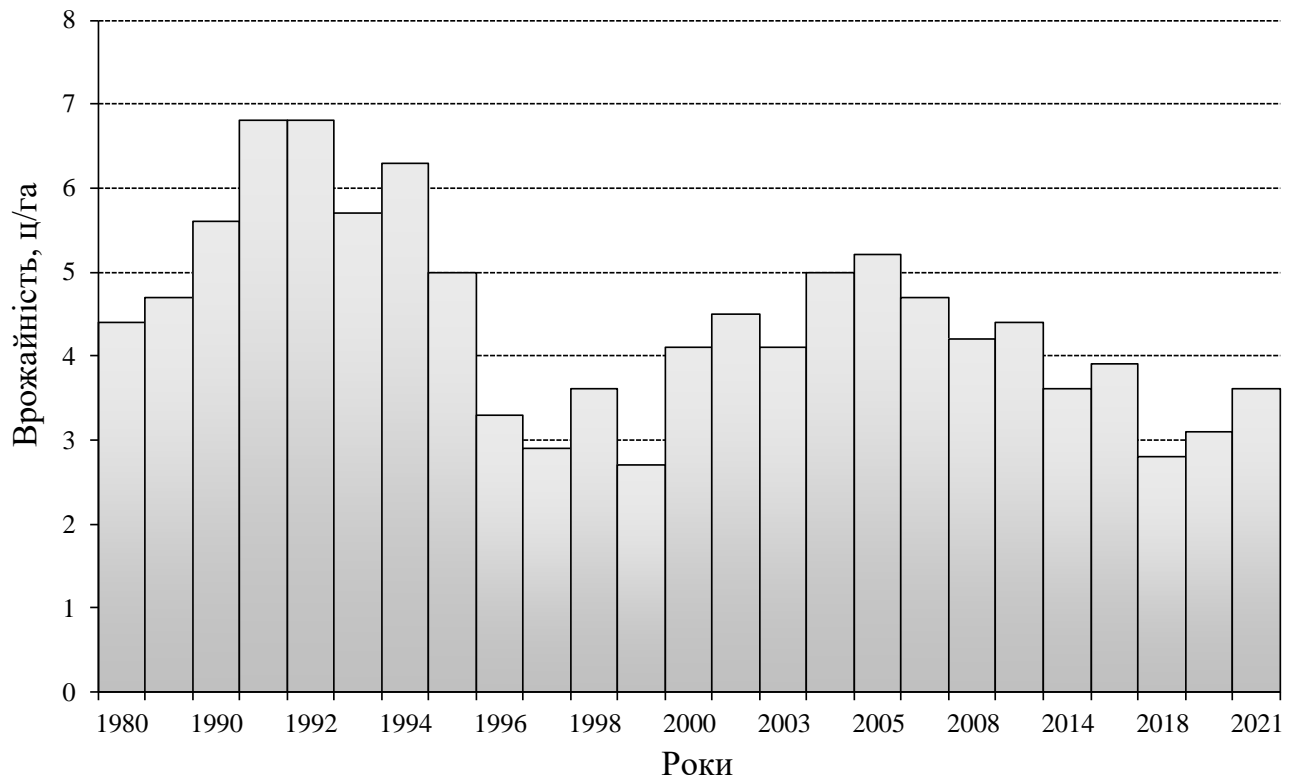


Рисунок 1.3 – Динаміка зміни врожайності волокна льону-довгунця в Україні [6]

Спільні проекти французької компанії "Еліфібр" із Собицьким льонозаводом в Україні є перспективними ініціативами для розвитку льонарської галузі. Інвестиції в обробіток льону-довгунця та зернових на площі 3000 гектарів, закупівлю сучасної сільськогосподарської техніки, а також модернізацію льонопереробних підприємств у розмірі близько 1,5 мільйона євро можуть істотно сприяти відновленню галузі й підвищенню її ефективності в регіоні.

Крім того, рішення компанії Unilever визначити український ринок як пріоритетний для закупівлі сировини є важливим економічним кроком. Інтерес світового лідера, такого як Unilever, може посилити позиції українських виробників льону-довгунця на глобальному ринку та стимулювати розвиток галузі в цілому .

Варто зазначити, що після значного скорочення виробництва льону-довгунця в країнах колишнього Союзу, у Західній Європі за останні 15 років спостерігається стрімке зростання посівних площ цієї культури й виробництва льоноволокна. Це свідчить про зростання попиту на льонову сировину у світовому масштабі.

Такий розвиток може відкрити нові можливості для українських аграріїв, сприяти диверсифікації сільськогосподарського виробництва й збуту, а також позитивно вплинути на економіку країни.

Франція, яка є провідним виробником високоякісної лляної сировини в Європі, демонструє значний досвід і компетенцію в цій галузі. Висока ефективність французького виробництва зумовлена використанням високопродуктивних сортів льону та передових технологій, що забезпечує середню врожайність волокна на рівні 10–15 центнерів із гектара.

Державна підтримка льонарської галузі передбачає введення квот на виробництво льону-довгунця та надання дотацій на його вирощування в розмірі 300–400 євро за гектар. Такий підхід може суттєво зменшити фінансове навантаження на аграрні підприємства й забезпечити стабільний розвиток цієї сфери.

Запровадження системи квот і дотацій також сприятиме регулюванню ринку та створенню сприятливих економічних умов для виробників льонової сировини в Україні.

Аналіз сучасного стану льонарства свідчить про значний вплив Китаю на глобальний ринок льону. Китайська Народна Республіка демонструє інтенсивний розвиток цієї галузі, що супроводжується збільшенням площ посівів, підвищенням врожайності та нарощуванням обсягів виробництва льонової сировини.

Світова динаміка розвитку льонарства у 2000–2023 роках виявила наступні тенденції:

1. Посівні площі скоротилися вдвічі — із 350–400 тис. га.
2. Врожайність льону зросла з 6–7 до 12–14 центнерів на гектар.

3. Загальний обсяг збору льонопродукції знизився з 600 до 470 тис. тонн.

Незважаючи на зменшення валового збору льону на 20–25%, підвищення врожайності частково компенсувало це скорочення.

Для України відновлення льонарської галузі є нагальною потребою. Одним із ключових завдань залишається впровадження механізованих методів вирощування й збирання льону-довгунця. Це передбачає використання сучасних технологій і вдосконалення агротехнічних процесів, що сприятиме підвищенню ефективності виробництва та конкурентоспроможності української продукції на міжнародному ринку.

## **1.2. Аналіз існуючих технологій збирання льону-довгунця**

Фізіологічна характеристика льону-довгунця полягає в тому, що його дозрівання проходить у чотири етапи: зелений, ранньо-жовтий, жовтий та повний.

На етапі зеленої стиглості насіння має низьку схожість, оскільки ще не завершено накопичення волокна у стеблах. Це призводить до низького виходу довгого волокна, яке хоча й має тонкість та шовковистість, залишається неміцним.

У ранньо-жовтій фазі дозрівання 65–75% насіння в коробочках має світло-зелений колір із жовтим відтінком, а решта – жовте. Цей етап забезпечує максимальний вихід високоякісного волокна [19, 30].

На жовтому етапі приблизно 50% коробочок містить жовте насіння, інші – світло-коричневе. Волокно стає жорсткішим та менш еластичним через початок деревинізації.

У фазі повної стиглості насіння у коробочках стає коричневим, а деякі коробочки розтріскуються, що призводить до втрат під час збору. Волокнисті клітини інтенсивно деревиніють, що значно погіршує якість волокна.

Особливості механізованого процесу збирання. Для успішного виконання робіт необхідно враховувати вказані особливості розвитку культури. Орієнтація на отримання якісної трести часто знижує якість насіння, і навпаки, якісне насіння може погіршити показники трести.

Способи (технології) механізованого збирання льону-довгунця в Україні включають комбайновий і роздільний підходи. Комбайновий спосіб поділяється на два способи: розстилання соломи на полі та в'язання стебел у снопи.

Перший спосіб рекомендується для підготовки трести способом росяного мочіння, тоді як другий підходить для здачі продукції на льонозаводи у вигляді соломки.

Для полегшення збирання посіви формують у прямокутні загінки із пропорціями сторін від 1:4 до 1:8, залишаючи поворотні смуги завширшки 12 метрів і проходи між загінками по 6 метрів [7].

Реалізація механізованого процесу збирання льону-довгунця комбайновим способом із розстиланням соломи на льонищі здійснюється наступним чином. Використовується агрегат, що включає трактор класу 1,4 кН (МТЗ-82, ЮМЗ-6), льонокомбайн ЛК-4А і причіп 2-ПТС-4. У процесі руху агрегат виконує вибірку стебел льону-довгунця, одночасно обчісує насінневі коробочки, транспортує отриманий ворох у причіп і розстиляє стебла (солому) на льонищі для подальшого вилежування. Заповнений причіп транспортується на сушильний пункт для подальшої обробки [28].

Для забезпечення рівномірного вилежування стебел і прискорення процесу перетворення соломки на тресту необхідно виконати обертання стебел 2-3 рази. Ці операції здійснюють за допомогою підбирача-обертача ОСН-1. Перше обертання проводять через 5-6 днів після початку вилежування, коли верхній шар льоносоломки підсихає. Друге обертання виконують у середині процесу вилежування або після значних опадів, а третє – безпосередньо перед підніманням трести. Ворушіння стрічок також можна виконувати за допомогою ворушилок (ВЛ-3 або ВРЛ-3). Однак обертання є більш ефективним завдяки



особливостям конструкції машини, що забезпечує якісне перевертання стрічок, порівняно з ворущінням.

Завершальною операцією у проекті збирання льону-довгунця є піднімання трести. Найефективнішим і найбільш механізованим способом є рулонний метод, який передбачає використання прес-підбирачів (ППР-110, ПРП-1,6М або ПРП-1,2). Ці пристрої формують тресту у рулони, які потім завантажуються на тракторні причепа за допомогою фронтальних навантажувачів ПФ-0,5 із пристроєм ППЛ-0,5.

Для реалізації механізованого процесу збирання льону-довгунця комбайновим способом із в'язанням обчесаних стебел у снопи застосовується агрегат, що складається з трактора класу 1,4 кН (МТЗ-82, ЮМЗ-6), льонокомбайна ЛКВ-4А і причепа 2-ПТС-4. У ході роботи комбайн виконує вибірку стебел, обчісує насінневі коробочки, транспортує отриманий ворох у причіп і одночасно зв'язує стебла у снопи. Зібраний ворох вивозиться причепом на обробку, а снопи встановлюють у вигляді шатрів для сушіння на полі. Після висихання снопи транспортуються на стелище для вилежування або здаються на льонозавод.

Основною перевагою комбайнових способів збирання льону-довгунця в порівнянні з роздільним є їх нижча залежність від агрометеорологічних умов.

Проте ці способи мають і свої недоліки. Серед них необхідність вибору між отриманням якісної трести (збирання в ранній жовтій фазі) і якісного насіння (збирання в жовтій або повній фазі стиглості). Крім того, обробка лляного вороху після збирання вимагає значних енергетичних витрат для сушіння .

Додатковим недоліком комбайнового способу збирання із в'язанням стебел у снопи є значні трудові витрати через роботу з дрібними снопами (від 1500 до 2500 штук на 1 гектар). Ці снопи необхідно сушити, навантажувати, розвантажувати, скиртувати, що потребує багато часу і ресурсів. Через ці складнощі метод із використанням в'язальних апаратів не набув значного поширення [19, 25, 30].

Роздільний спосіб збирання дозволяє одночасно отримати якісну тресту та насіння. Однак його застосування обмежене періодом ранньої жовтої фази стиглості льону-довгунця. Метод полягає у вибірці стебел льонобралкою ТЛН-1,5 в агрегаті з трактором Т-25, після чого стебла розстеляються в стрічку на льоностелищі. Там вони дозрівають і висушуються під впливом природного тепла [14, 28, 30].

За сприятливих агрометеорологічних умов через 3–5 днів після початку вилежування стрічки льону можна підібрати, обмолотити за допомогою підбирача-молотарки ПМЛ-1, що працює в агрегаті з трактором класу 1,4 кН (МТЗ-82, ЮМЗ-6), обернути та розстелити для подальшого висушування.

Догляд за льоносоломкою під час вилежування на льонищі до отримання льонотрести практично не відрізняється від догляду при збиранні. Основна різниця полягає у скороченні кількості обертів (з трьох до двох), оскільки перше обертання виконується підбирачем-молотаркою.

Переваги способу До головних переваг цього способу збирання належить зниження енерговитрат на сушіння насіння завдяки природному дозріванню та підсиханню на льонищі під дією сонячної енергії.

Недоліки способу. Основний недолік — висока залежність від погодних умов. Часті дощі в період збирання перешкоджають підсиханню льону, спричиняють проростання насіння в коробочках (через 3–4 дні) і створюють ризик зараження хворобами.

У таблиці 1.1 наведено узагальнені переваги та недоліки різних методів збирання льону-довгунця [25, 30].

На сьогодні розглядається доцільність комбінованого способу, що поєднує роздільний і комбайновий способи. Суть цього підходу полягає в наступному: при досягненні посівами льону-довгунця ранньої жовтої фази стиглості, за сприятливих агрометеорологічних умов, роботи виконують роздільним способом.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки характерних способів збирання льону-довгунця

Спосіб	Основний спосіб збирання	Переваги	Недоліки
Збирання у ранній жовтій фазі	Роздільний	Високоякісна треста, якісне насіння	Високий ризик втрат насіння, через непогоду, малий фонд часу на збирання
Збирання у ранній жовтій та жовтій фазах	Роздільний та комбайновий (комбінований)	Збільшений фонд часу на збирання; максимальний вихід продукції	Ризики втрат
Збирання у жовтій фазі	Комбайновий	Високоякісне насіння	Малий фонд часу на збирання; знижена якість трести
Збирання у жовтій та повній фазах	Комбайновий	Збільшений фонд часу на збирання; високоякісне насіння	Підвищені втрати насіння та низька якість трести
Збирання у продовж усіх трьох фаз стиглості	Роздільний та комбайновий (комбінований)	Великий фонд часу на збирання; мінімальна потреба у техніці	Ризик втрат насіння та низька якість трести на площі, зібраній у повній фазі стиглості

З настанням жовтої фази стиглості переходять до комбайнового способу збирання. Такий підхід дозволяє одночасно отримати якісну тресту і високоякісне насіння.

### 1.3. Аналіз науково-методичних положень дослідження процесів механізованого збирання сільськогосподарських культур

Науково-методичні основи для вивчення процесів механізованого збирання сільськогосподарських культур були закладені в роботах таких видатних вчених, як Ю.К. Киртбай, М.С. Рунчев, Ф.С. Завалішин, Е.В. Жалнін, К.С. Орманджі, А.Т. Табашніков, Л.В. Погорілий, а також багатьох інших [16].

Ф.С. Завалішин у своїй монографії, базуючись на дослідженнях В.П. Горячкіна, визначає оптимальні терміни виконання збирання сільськогосподарських культур, беручи до уваги об'єктивні закономірності їх

розвитку й дозрівання в часі. Він акцентує увагу на наявності періоду, упродовж якого можна досягти максимального збору врожаю. Проте запропонована методика має обмеження, оскільки не враховує імовірний характер процесу дозрівання культур на різних полях та специфіку перебігу збирального процесу.

У дослідженнях Ю.К. Киртбая, В.Р. Саклакова, О.Т. Табашнікова та інших були розроблені методики обґрунтування потреби в техніці для механізованого збирання сільськогосподарських культур. Ці методики базуються на детермінованих математичних моделях і мають два етапи: на першому етапі визначають оптимальну тривалість збирання культур однією одиницею техніки, а на другому – обчислюють необхідну кількість технічних засобів для виконання запланованого обсягу робіт [16, 29, 30, 32].

В.Д. Саклаков і В.П. Сергеев пропонують розділяти визначення оптимальних термінів виконання робіт на два етапи. На першому етапі виконують агротехнічне обґрунтування початку робіт, а на другому – техніко-економічний аналіз тривалості цих робіт.

Економічно доцільна тривалість польових механізованих робіт визначається шляхом мінімізації сукупних витрат на виконання одиниці роботи:

$$P = U_1 + U_2 + P_y, \quad (1.1)$$

де  $P$  – сумарні затрати на виконання роботи агрегатом і втрати через недобір врожаю, грн/га;  $U_1$  – затрати на реновацію техніки, грн/га;  $U_2$  – пропорційні технологічні затрати (паливо, ремонти, технічне обслуговування тощо), грн/га;  $P_y$  – втрати через недобір врожаю, грн/га.

Затрати на реновацію визначають за допомогою відомої залежності

$$U_1 = \frac{C_6 \times \alpha \times \gamma}{100 \times D_p \times W_{дн}}, \quad (1.2)$$

де  $C_6$  – балансова вартість машини, грн;  $\alpha$  – процент відрахувань на реновацію;

$\gamma$  – питома вага даної роботи у загальному обсязі робіт, які виконує дана машина;  $D_p$  – тривалість виконання даної роботи, дні;  $W_{дн}$  – денна (добова) продуктивність агрегату, га/день.

Втрати через недобір врожаю пропонують визначати за допомогою наступної залежності [16, 29, 30, 32]:

$$P_y = K_{\Pi} \times U \times C_{\Pi} \times D_P, \quad (1.3)$$

де  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт врахування втрат врожаю через перевищення оптимальної тривалості роботи на 1 день;  $U$  – врожайність культури, ц/га;  $C_{\Pi}$  – закупівельно-здавальна ціна продукту, грн/ц;  $D_P$  – тривалість виконання даної роботи, дні.

Після нескладних перетворень виразів (1.1, 1.2, 1.3) автори отримали наступну залежність для визначення економічно-доцільної тривалості виконання механізованих робіт

$$D_P^{opt} = \sqrt{\frac{C_{\delta} \times \alpha \times \gamma}{100 \times K_{\Pi} \times U \times C_{\Pi} \times W_{\delta n}}}. \quad (1.4)$$

Аналогічний підхід до визначення оптимального терміну роботи агрегату використовує Ю.К. Киртбая. Потрібну кількість машин для виконання заданого обсягу роботи автор пропонує визначати за формулою

$$x = \frac{F}{W_c \times T_c \times D_{opt} \times K_k}, \quad (1.5)$$

де  $F$  – площа обробітку, га;  $W_c$  – годинна продуктивність агрегату га/год;  $T_c$  – тривалість роботи агрегату впродовж доби, год;  $K_k$  – коефіцієнт використання календарного часу;  $D_{opt}$  – агротехнічно-оптимальний термін виконання механізованого процесу, діб.

Савин І.Г. запропонував оптимальну тривалість виконання  $i$ -ї сільськогосподарської роботи визначати за формулою

$$T_k^{opt} = \left[ \frac{K_i (A + K + Z_{nr} + Z_n)}{0,5 \times C \times U \times W_c \times K_{1,2} (1 + D)} \right]^{0,5}, \quad (1.6)$$

де  $K_i$  – частина річного часу для виконання  $i$ -ї роботи;  $A, K$  – амортизаційні відрахування і річні кредитні (лізингові) відрахування, грн/год;  $Z_{nr}, Z_n$  – накладні витрати і податки, які входять у собівартість, грн/год;  $C$  – середня

закупівельна ціна сільськогосподарської культури, грн/т;  $Y$  – потенційна врожайність при дотриманні термінів обробітку і збирання, т/га;  $K_{1,2}$  – частина втрат врожаю за одну добу під час роботи до ( $K_1$ ) і після ( $K_2$ ) агротерміну;  $D$  – коефіцієнт, який враховує простої МТА.

У роботі запропоновано метод оптимізації складу парку бурякозбиральних машин, який ґрунтується на використанні границь економічної ефективності їх використання [16, 29, 30, 32].

Загальна кількість  $i$ -х машин в господарстві для  $j$ -о способу збирання для площі  $Q$  визначається за формулою

$$n_{ij} = n_e + m_{ij}, \quad (1.7)$$

де  $n_e = \frac{Q}{B_{ij}}$  – кількість більш продуктивних машин;  $m_{ij}$  – кількість менш

продуктивних машин  $i$ -ї конструкції при  $j$ -у способі збирання площі, яка залишилась;  $B_{ij}$  - верхня границя економічної ефективності (рекомендоване річне або сезонне навантаження) найбільш продуктивної (для місцевих умов)  $i$ -ї машини при  $j$ -у способі збирання.

Кількість  $i$  конструкція менш продуктивних машин – функція площі, яка залишилась  $Q - P_B \times B_{ij}$  і мінімальних сумарних приведених затрат для цих машин визначається за графіком залежності вказаних затрат від посівної площі при  $j$ -у способі збирання. Автори роблять висновок, що різні ґрунтово-кліматичні умови і агробіологічні особливості цукрових буряків зумовлюють необхідність раціонального поєднання комбайнів різних типів і способів збирання. Однак, залишається невідомим, яким чином слід визначати раціональне значення сезонного навантаження  $i$ -ї машини для певного способу збирання.

У роботі пропонують розраховувати тривалість збирання за критерієм мінімуму втрат зерна. При цьому розрізняють два види втрат зерна: природні у результаті самоосипання на стеблі, полягання культури, зменшення натурі і

абсолютної маси зерна, а також технологічні – втрати жаткою і молотаркою комбайна. Автори розглядають сукупно ці два види втрат зерна і пропонують залежність для визначення загальних втрат у відсотках від біологічної врожайності:

$$P_{об} = CV_i^2 - bV_i + a + \frac{\beta}{6} \left( \frac{F}{W} + 1 \right) \left( \frac{2F}{W} + 1 \right), \quad (1.8)$$

де  $C, b$  – дослідні коефіцієнти, які характеризують форму кривої втрат;  $V_i$  – робоча швидкість комбайна, км/год;  $a$  – дослідний коефіцієнт, постійний для конкретного дня збирання;  $F$  – площа збирання, га;  $W$  – змінна продуктивність, га/зм;  $\beta$  – коефіцієнт пропорційності.

Однак, наведена залежність (1.8) дає змогу лише розрахувати обсяги втрат врожаю за різних значень робочої швидкості комбайна, його змінної продуктивності, але унеможлиблює знаходження його оптимального сезонного навантаження.

Найбільш детально розроблена детермінована модель для обґрунтування оптимальної тривалості збирання зернових культур у монографії О.Т. Табашникова.

Функція мети, запропонована О.Т. Табашниковим, враховує приведені затрати на збирання, збиток від природних, механічних втрат зерна, зниження його якості і затрат на транспортних операціях та має наступний вигляд:

$$P = P' + C_e + C_{ж} + C_m + C_d + E_m \rightarrow \min, \quad (1.9)$$

де  $P'$  – приведені затрати на збирання зерна, грн/га;  $C_e, C_{ж}, C_m, C_d$  – збитки відповідно від природних втрат зерна, втрат зерна жаткою, молотаркою і від його пошкодження, грн/га;  $E_m$  – експлуатаційні витрати на транспортних роботах, грн/га.

Однак використання цієї моделі ускладнюється через необхідність визначення великої кількості експериментальних коефіцієнтів. Вони залежать від таких факторів, як врожайність, солонистість, терміни збирання, види і сорти зернових культур, а також кліматичні особливості зони вирощування.

Розглянуті моделі мають низку обмежень, характерних для детермінованих підходів. Зокрема, вони не враховують імовірнісний характер основних чинників збирального процесу, таких як погодні умови, добова продуктивність збиральної техніки та строки дозрівання різних культур.

Багато дослідників, вивчаючи збиральні процеси, дійшли висновку, що детерміновані моделі не здатні адекватно відображати реальний перебіг робіт. Вони підкреслюють необхідність врахування імовірнісного характеру чинників при плануванні збиральних операцій [16, 29, 30, 32].

Толмачев А.В. обґрунтував важливість врахування строків дозрівання зернових культур у різних кліматичних зонах Північно-Кавказького регіону. У своїх дослідженнях він також аналізував погодні умови в період збирання зернових і наголошував на їх значенні для планування робіт. Однак, жодних конкретних рекомендацій чи методик для вирішення цих проблем автор не запропонував.

Чепурин Г.Е. та Воронкін Г.П. розробили методику для оперативного вибору технологій збирання зернових культур залежно від погодних умов. Ця методика базується на детермінованому розрахунку строків дозрівання врожаю на полях за формулою:

$$t_g = t_c + a + b(ГТК), \quad (1.10)$$

де  $t_c$  – дата посіву культур на окремих полях;  $a, b$  – постійна величина і коефіцієнт, який залежить від культури, сорту, попередників, після яких посіяно культури; ГТК – гідротермічний коефіцієнт, який визначається за гідрометеорологічними довідниками.

Дата повної стиглості зерна на полі визначається за формулою

$$t_n = t_g + \tau_{nk}, \quad (1.11)$$

де  $\tau_{nk}$  – тривалість досягання зерна на полі від воскової до повної стиглості, днів (в зоні Лісостепу  $\tau_{nk} = 9 \dots 12$  днів, у Степу  $\tau_{nk} = 7 \dots 9$  днів).



Для розрахунку термінів досягання врожаю необхідно мати інформацію про культуру, її сорт, дати початку й завершення сівби на кожному полі, а також дані про попередні культури.

На основі розрахунків за формулами (1.10) і (1.11) створюються графічні моделі, що ілюструють процес досягання врожаю та хід виконання збиральних робіт. Проте автори зазначають, що запланований процес збирання, базований на багаторічних метеорологічних даних, може бути порушений через випадкові опади, тривалість і інтенсивність яких моделі не враховують.

Описати складні технологічні процеси збирання сільськогосподарських культур за допомогою лише детермінованих моделей виявляється малоефективним, тому дослідники активно використовують методи імітаційного моделювання.

Методика Пасечною Л.Д. передбачає обґрунтування технічного забезпечення для збирання зернових культур із використанням імітаційних моделей. Ці моделі враховують формування врожаю, його дозрівання, а також функціонування й оптимізацію технічних комплексів машин. Методика враховує ймовірні характеристики врожайності культур, розподіл робочого часу та продуктивність комбайнів, залежно від погодних умов. Вона дозволила обґрунтувати оптимальні технологічні комплекси машин для збирання всього біологічного врожаю зернових культур, підтвержені результатами виробничих випробувань. Проте недолік методики полягає в її зосередженості на одній культурі, що унеможлиблює аналіз впливу структури посівів на ефективність використання технічних комплексів.

Методика Грибинюка О.М. поєднує імітаційні та детерміновані математичні моделі роботи зернозбиральних комбайнів. Автор використав теорію ланцюгів Маркова для моделювання погодних умов, що інтегруються в імітаційне моделювання роботи комбайнів. Основні техніко-експлуатаційні показники, такі як годинна витрата пального, коефіцієнт використання змінного часу та продуктивність, визначаються детермінованими моделями. Розроблена також модель лінійного програмування для оперативного управління парком

комбайнів. Основний недолік цієї методики полягає у тому, що час дозрівання полів і їхні площі вважаються детермінованими, через що неможливо оцінити ефективність роботи техніки впродовж сезону та визначити втрати врожаю для кожного окремого поля.

Величина втрат зерна на полі суттєво залежить від часу початку збирання та тривалості збиральних робіт. Цим питанням приділяли увагу М.М. Кулешов, Г.В. Коренєв та інші науковці.

Вплив термінів збирання різних видів і сортів зернових культур на втрати врожаю в різних кліматичних зонах був предметом досліджень багатьох вчених. Однак результати цих досліджень здебільшого подані у вигляді таблиць, без розробки математичних моделей. Це ускладнює їх застосування під час імітаційного моделювання роботи комбайнів [16, 29, 30, 32].

Ю.К. Киртбай, В.Д. Саклаков, М.П. Сергеев, А.Т. Табашников та інші вчені стверджують, що поточний рівень урожайності зерна на полі можна описати з достатньо високою точністю за допомогою рівняння, яке має наступний вигляд:

$$U_i = AD_i^2 + BD_i + U_o, \quad (1.12)$$

де  $A, B, U_o$  – параметри рівнянь, які мають розмірності відповідно  $\frac{ц}{га \times день^2}$ ,  $\frac{ц}{га}$ ;  $D_i$  – тривалість виконання роботи від оптимального моменту, днів.

Параметри рівняння (1.12) залежать від багатьох чинників (виду та сорту культури, кліматичної зони тощо) і для їх визначення необхідно проводити достатньо складні та дорогі багаторічні експерименти, обробляти великі масиви інформації.

Ю.К. Киртбая вважає, що для відносно невеликих проміжків часу (до 20 днів) можна використовувати лінійну модель втрат:

$$U_i = U_{max}(1 - K_n D_i), \quad (1.13)$$

де  $U_i$  – поточне значення врожайності, ц/га;  $U_{max}$  – значення врожайності, яке відповідає виконанню робіт в оптимальні терміни, ц/га;  $K_n$  – коефіцієнт врахування втрат через подовження терміну виконання робіт від оптимального моменту на одиницю часу (добу).

Лінійну модель для визначення втрат зерна пропонують використовувати Жалнін Е.В, Савченко А.Н. та інші вчені. Жалнін Е.В та Савченко А.Н. втрати зерна від самоосипання після його повного досягання пропонують визначати за формулою

$$Y_3 = 1,6 \times t - 4,0 \quad (1.14)$$

де  $Y_3$  – втрати зерна у процентах від початкового врожаю;  $t$  – тривалість знаходження зерна в колосі на корені, починаючи з 3...4 дня після його повного досягання ( $3 \leq t \leq 25$ ), днів.

Автори зазначають, що наведене рівняння відображає середні втрати зерна, спричинені самоосипанням, для ярих і озимих зернових культур. У випадку культур, які легко обмолочуються, втрати можуть бути на 15–20% вищими. Отримані результати слугують базовими даними для розрахунків втрат зерна через осипання у межах нашого дослідження.

## Висновки до розділу 1

1. Аналіз стану виробництва льону-довгунця в Україні свідчить про різке скорочення обсягів виробництва, яке розпочалося з середини 1990-х років. Основною причиною цієї тенденції є відсутність державної підтримки, що спричинило занепад і ліквідацію підприємств первинної переробки льону-довгунця.

2. У світі також спостерігається скорочення посівних площ під льон-довгунець, яке зменшилося вдвічі. Однак завдяки впровадженню сучасних технологій вдалося подвоїти врожайність льоноволокна — з 6–7 до 12–14 ц/га.

3. Відродження льонарства в Україні гальмується через фізичну і моральну застарілість техніки, зокрема збиральної, та відсутність вітчизняних підприємств для її виробництва.

4. Аналіз існуючих способів збирання льону-довгунця показав значну залежність механізованих технологій від агрометеорологічних умов, що є більш вираженим порівняно із збиранням інших сільськогосподарських культур.

4. Комбайновий спосіб збирання льону-довгунця з розстиланням соломи на льонищі є найбільш опрацьованим і менш залежним від агрометеорологічних умов. Проте його суттєвим недоліком є необхідність вибору між отриманням якісної трести (збирання в ранній жовтій фазі стиглості) та якісного насіння (збирання в жовтій або повній фазах стиглості).

5. Основний недолік існуючих методів дослідження механізованих процесів збирання сільськогосподарських культур полягає у тому, що вони не враховують ймовірний характер впливу агрометеорологічних умов на перебіг збирального процесу.

## 2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЕННЯ ВПЛИВУ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ПРОЦЕС МЕХАНІЗОВАНОГО ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ-ДОВГУНЦЯ

### 2.1. Концептуальна модель процесів механізованого збирання льону-довгунця

Побудова концептуальної моделі процесів збирання льону-довгунця дозволяє в словесній формі описати цей процес та визначити його зміст. Її розробка здійснюється поетапно, що забезпечує об'єктивне дослідження властивостей процесів. Основні етапи включають: визначення та орієнтацію; стратифікацію; деталізацію; локалізацію; структурування і управління; виділення процесів та відображення станів [13, 21].

На етапі визначення та орієнтації обґрунтовуються показники, які характеризують технологічні аспекти процесу. Оскільки якість і кількість зібраного врожаю залежить від методу збирання, агрометеорологічних умов, рівня механізації та інших факторів, були визначені ключові властивості, якими має володіти технологічна складова процесів.

- *Максимальна механізація.* Враховуючи, що ручна праця є дорогою і малоефективною, процеси мають бути максимально механізованими.
- *Гнучкість (універсальність).* Техніка повинна бути здатною до виконання процесів за змінних агрометеорологічних умов та характеристик механізованих операцій збирання льону-довгунця.
- *Надійність.* Вихід з ладу будь-якої машини може призвести до втрат урожаю та зниження якості продукції, тому надійність є ключовою вимогою.

На етапі стратифікації визначаються основні компоненти технологічної системи, такі як: поле під льоном, машини для виконання збиральних робіт, транспортування вороху, приготування та піднімання трести, її навантаження і транспортування (табл. 2.1).

Етап деталізації передбачає виокремлення елементів кожної складової технологічної системи [13, 21].

Таблиця 2.1 – Елементи складових технологічної системи процесів механізованого збирання льону-довгунця [21, 30]

Складові	Елементи
Поле під льоном (Пл)	Конфігурація поля, стан ґрунту, рельєф, ухил поля, стан льону, врожайність
Техніка для вибирання льону ( $T_{в.л}$ )	Льнобралки, льонокомбайни, трактори
Техніка для очісування стебел ( $T_{о.с}$ )	Льонокомбайни, підбирачі-очісувачі, трактори
Техніка для транспортування вороху ( $T_{в}$ )	Трактори, причепа
Техніка для приготування трести ( $T_{п.т}$ )	Обертачі, ворущилки
Техніка для підбирання трести ( $T_{під}$ )	Прес-підбирачі
Техніка для навантаження трести на ТЗ ( $T_{н.т}$ )	Фронтальні навантажувачі
Техніка для транспортування трести (у рулонах) ( $T_{т.т}$ )	Трактори, звичайні та спеціальні причепа

На етапі локалізації аналізується вплив зовнішніх чинників, зокрема агрометеорологічних умов, на технологічну систему механізованого збирання. Цей вплив відображається через зміну стану об'єкта праці (льону) і виражається у визначенні термінів початку робіт та природно допустимої тривалості збиральних процесів.

Етап структуризації та управління передбачає визначення матеріальних зв'язків для комбайнового та роздільного способів збирання льону-довгунця:

- Для комбайнового способу:  
 $Пл \rightarrow (T_{в.л} - T_{о.с.}) \rightarrow T_{в} \rightarrow T_{п.т} \rightarrow T_{під} \rightarrow T_{н.т} \rightarrow T_{т.т}$
- Для роздільного способу:  
 $Пл \rightarrow T_{в.л} \rightarrow T_{о.л} \rightarrow T_{в} \rightarrow T_{п.т} \rightarrow T_{під} \rightarrow T_{н.т} \rightarrow T_{т.т}$

Матеріальні зв'язки включають [21, 30]:

- *Інформаційні зв'язки*, які стосуються характеристик предмета праці та агрометеорологічних умов (стан ґрунту, густина стеблостою льону, прогноз погодних умов), а також даних щодо планових і фактично виконаних обсягів робіт у межах механізованого процесу.
- *Речові зв'язки*, які охоплюють переміщення техніки по полю, процеси перетворення соломки в тресту, транспортування трести й вороху з поля на склад тощо.

На етапі виділення процесів аналізуються окремі роботи для роздільного (1) та комбайнового (2) способів збирання, що ілюструється на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Схема ймовірних робіт у механізованому процесі збирання льону-довгунця

Етап відображення станів передбачає визначення параметра (або параметрів)  $s$  для кожного елемента технологічної системи. Цей параметр

змінюється під час виконання механізованих процесів і характеризує стан відповідного елемента в конкретний момент часу  $t$ . До таких елементів належать: характеристики предмета праці, агрометеорологічні умови та параметри технічного забезпечення (поле, льон, погодні умови, машини) [21, 30].

- *Стан поля* може бути представлений такими етапами: "під льоном" або "встелене лляною стрічкою".
- *Стан льону-довгунця*, як об'єкта праці, може включати:
  - ранню жовту, жовту та повну фази стиглості;
  - вибраний льон у стрічці;
  - очісану стрічку;
  - обернену стрічку;
  - стрічку в рулоні;
  - виділений насіннєвий ворох тощо.

*Агрометеорологічні умови* впливають на стан об'єкта праці, визначаючи його придатність для збирання. Предмет праці може перебувати у двох основних станах [21, 29, 30]:

1. Придатний для збирання.
2. Непридатний для збирання.

Ці стани застосовуються до кожної з фаз стиглості льону-довгунця.

## **2.2. Аналіз чинників ефективності збирання льону-довгунця та обґрунтування критеріїв ідентифікації подій, які вони зумовлюють**

Множина показників ефективності ( $\{E_k\}$ ), які характеризують процес механізованого збирання льону-довгунця, формується під впливом певних груп чинників. До таких груп належать [21, 29, 30, 31, 32]:

- *Предметна (Пр)*: характеристики об'єкта праці.
- *Агрометеорологічна (Ам)*: погодні умови та їх вплив на процес.
- *Технологічна (Тл)*: способи виконання робіт.



- *Природно-виробнича (Пв):* особливості регіону та поля.
- *Технічна (Тн):* характеристики технічного забезпечення.
- *Організаційно-стратегічна (Ос):* довгострокові рішення організації процесу.
- *Організаційно-тактична (От):* оперативне управління процесами.
- *Соціальна (С):* вплив людського фактора.
- *Інформаційна (І):* інформація про стан предмета праці та процесу.
- *Ринково-кон'юнктурна (Рк):* економічні та ринкові умови.

Під час реалізації механізованих процесів взаємодія зазначених груп чинників може призводити до флуктуацій, які проявляються у вигляді відхилень у часі та якості виконання робіт.

Залежність  $\{E_k\}$  від перелічених чинників формалізується у вигляді наступного рівняння [21, 29, 30, 31, 32]:

$$\{E_k\} = f(Пр, Ам, Тл, Пв, Тн, Ос, От, С, І, Рк). \quad (2.1)$$

Розкриття залежності ефективності механізованих процесів збирання від різних чинників потребує аналізу змісту дії кожного з них, їх взаємодії та впливу на перебіг робіт.

*Предметна група чинників (Пр)* визначається такими показниками, як: група сорту (ранньостиглий, середньостиглий, пізньостиглий), терміни дозрівання сортів на різних полях, урожайність, полеглість, забур'яненість — стан об'єкта праці на полі. Ця група впливає на терміни настання фаз стиглості та їхню тривалість. Результатом впливу є природно допустима тривалість проведення збиральних робіт.

Аналізуючи предметну групу, варто зазначити біологічну особливість льону-довгунця: технологічна стиглість стебел настає раніше, ніж насіння. Це ускладнює визначення оптимального моменту для початку механізованого збирання.

У процесі досягання льону-довгунця виділяють чотири фази, тривалість яких залежить від термінів сівби, сорту та агрометеорологічних умов вегетації:

- *Зелена фаза.* Отримують тонке, шовковисте, але неміцне волокно. Низький номер трести через недостатній вихід довгого волокна. Насіння є непридатним для використання.
- *Рання жовта фаза.* Максимальний вихід довгого волокна з найкращими якісними характеристиками. Номер трести є найвищим, але якість насіння залишається низькою.
- *Жовта фаза.* Характеризується високим виходом якісного насіння, однак якість волокна знижується через здерев'яніння та втрату еластичності.
- *Повна фаза.* Спостерігаються втрати насіння через самоосипання, а якість волокна є найнижчою.

*Агрометеорологічна група чинників (Ам)* включає такі показники, як наявність роси, опадів і дефіцит вологості повітря. Ці чинники визначають періоди можливого і неможливого виконання робіт, формуючи природно допустимий фонд часу.

Основні показники, що характеризують метеорологічні умови протягом доби та їхній вплив на збиральні роботи, представлені на рисунку 2.2.

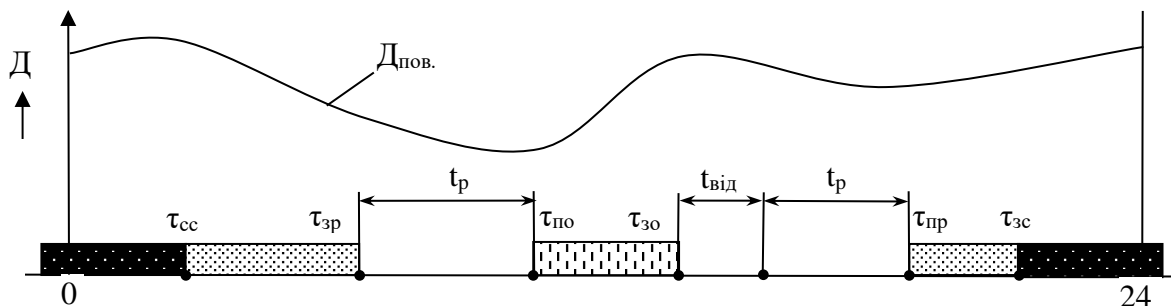


Рисунок 2.2 – Графічна інтерпретація можливої динаміки агрометеорологічних умов і створення на їх основі природно допустимого фонду часу для виконання робіт у механізованих процесах збирання льону-довгунця в розрізі доби передбачає [21, 29, 30, 31, 32]:

$D_{пов}$  – відповідно зміна дефіциту вологості повітря в розрізі доби;

$\tau_{сс}, \tau_{зс}$  – відповідно час сходу та заходу сонця, год;

$\tau_{зр}, \tau_{пр}$  – відповідно час зникнення та появи роси, год;

$\tau_{по}, \tau_{зо}$  – відповідно час початку та завершення опадів, год;

$t_{ei0}$  – час підсихання ґрунту та стеблостою, год;

$t_p$  – природно дозволений час для виконання технологічних операцій механізованого збирання льону.

Слід зазначити, що природно дозволений фонд часу для виконання робіт у різних механізованих процесах, які можуть проводитися одночасно, є неоднаковим. Це зумовлено відмінностями в агротехнічних вимогах до виконання окремих операцій, пов'язаних із технологічним перетворенням льону-довгунця. Наприклад, обертання трести можливе за відносної вологості не більше 60%, тоді як формування стрічки в рулони допускається при вологості не більше 18%.

*Технологічна група чинників (Тл)* визначається змістом робіт у процесах, зокрема кількістю та послідовністю механізованих операцій під час збирання льону-довгунця. Як зазначалося, існують два основні механізовані способи збирання: комбайновий і роздільний, кожен із яких має свої переваги та недоліки.

- *Комбайновий спосіб* залежно від фази стиглості льону дозволяє отримати або високоякісну тресту (у фазі ранньої жовтої стиглості), або якісне насіння (у фазі жовтої стиглості).
- *Роздільний спосіб* застосовується у фазі ранньої жовтої стиглості. Його перевагою є можливість одночасного отримання якісної трести та здебільшого якісного насіння. Насіння, отримане цим способом, зазвичай має низьку відносну вологість, що зменшує енерговитрати на сушіння або взагалі усуває необхідність виконання цієї операції.

Разом із тим, суттєвим недоліком роздільного способу є ризик втрати насіння через проростання або зараження хворобами. Це може статися внаслідок тривалих опадів у період вилежування неочісаних стрічок. Запобігти цьому ризику можна шляхом адаптації способів збирання до метеорологічних умов. Така адаптація передбачає прийняття тактичних рішень на основі прогнозу погоди, зокрема щодо часу початку робіт або вибору й зміни способу збирання.

Адаптуючи способи збирання до конкретних агрометеорологічних умов, характерних для певного року, можна досягти максимального виходу продукції льонарства.

Існує ймовірність, що в період ранньої жовтої фази стиглості агрометеорологічні умови можуть унеможливити доцільне застосування роздільного способу збирання. Цей аспект слід враховувати при визначенні доцільності виконання робіт у механізованих процесах збирання льону-довгунця та оцінці ймовірності необхідності змін у ієрархічній структурі робіт, зокрема щодо використання роздільної технології.

*Природно-виробнича група чинників (Пв)* охоплює виробничі умови механізованих процесів, такі як конфігурація та площа поля, рельєф місцевості, довжина гону. Ці параметри впливають на продуктивність виконання робіт.

*Технічна група чинників (Тн)* визначається параметрами технічного оснащення, зокрема марковим і кількісним складом техніки з її технічними характеристиками. Технічне забезпечення значною мірою визначає темпи виконання робіт у механізованих процесах збирання льону-довгунця.

*Організаційно-стратегічна група чинників (Ос)* характеризується плановою площею посіву, кількістю сортів і площами їхнього вирощування.

*Інформаційна група (І)* включає показники, які відображають:

- темпи виконання робіт у механізованих процесах (площі, що вже зібрані або залишаються незібраними);
- стан стеблостою на певний момент часу;
- агрометеорологічні умови;
- ринкову вартість льонопродукції.

Результати впливу інформаційної групи є основою для визначення характеристик організаційно-тактичної (*От*) та технологічної (*Тл*) груп чинників.

*Організаційно-тактична група чинників (От)* характеризується організаційними режимами збирання, зокрема плановою кількістю змін

протягом доби, а також вибором між комбайною чи роздільною технологією залежно від стану стеблостою та прогнозу агрометеорологічних умов.

*Ринково-кон'юнктурна група чинників (Рк)* охоплює ринкову вартість різних видів льонопродукції, яка безпосередньо впливає на прийняття стратегічних рішень (*Ос*).

Визначивши основні групи чинників, які впливають на ефективність механізованих процесів збирання льону-довгунця, можна обґрунтувати логічні зв'язки між ними, що є необхідним для розроблення відповідних моделей (рис. 2.3).

Перелічені групи чинників визначають певні події, що формують зміст робіт у механізованих процесах. Критерії, за якими встановлюються ці події, подано в таблиці 2.2.

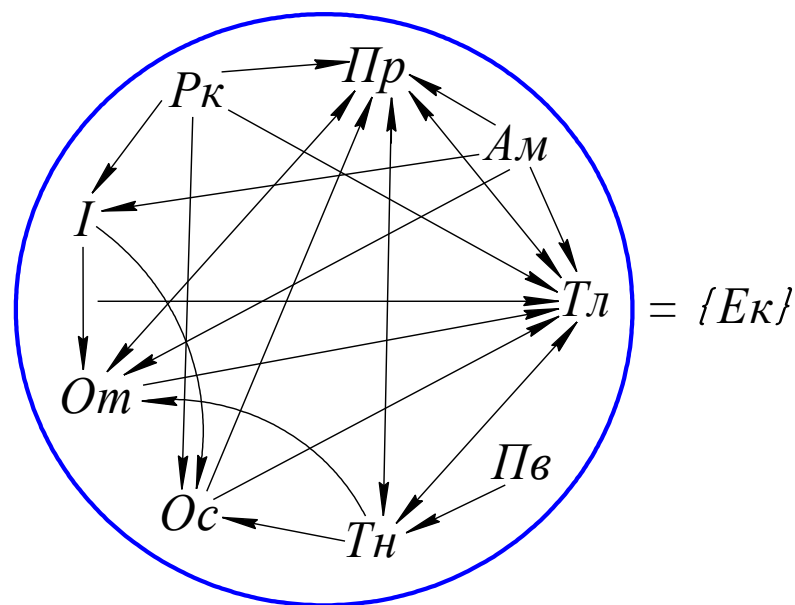


Рисунок 2.3 – Схема взаємозв'язків між групами чинників механізованих процесів збирання льону-довгунця [21, 29, 30, 31, 32]

Означені події та критерії їхнього настання дозволяють створити алгоритм імітаційної моделі механізованих процесів збирання льону-довгунця. Ця модель відобразатиме об'єктивний розвиток подій під час виконання збиральних робіт.

Таблиця 2.2 – Критерії, що визначають події у механізованому процесі збирання льону-довгунця

Події	Критерії
1	2
Час настання ранньої жовтої фази стиглості	<p>1) 32% зелених, 61% жовтих і 7% бурих коробочок;</p> <p>2) насіння в 65-75% жовто-зелених коробочок світло-зелене з жовтим носиком. Решта коробочок – жовті з жовтим насінням;</p> <p>3) абсолютна вологість коробочок 139-70%.</p> <p>Збирати льон на волокно потрібно в ранній жовтій фазі, якість і кількість якого в цій фазі оптимальна. Насіння, зібране в цей період, потребує фізіологічного досягання із застосуванням теплопідігрівача з м'яким режимом сушіння або ж досягання на сонці.</p>
Час настання жовтої фази стиглості	<p>1) 16% зелених, 56% жовтих і 28% бурих коробочок;</p> <p>2) листя жовте, майже повністю осипається. У 50% коробочок насіння жовте, у решті світло-коричневе, трапляється жовто-зелене;</p> <p>3) абсолютна вологість коробочок 69-30%.</p> <p>Вихід і якість волокна в жовтій стиглості починає знижуватися, але якість насіння значно поліпшується.</p>
Час настання повної фази стиглості	<p>1) 2% зелених, 8% жовтих і 90% бурих коробочок;</p> <p>2) стебла льону безлисті. Вони, як і коробочки, мають бурий колір, а насіння коричневе;</p> <p>3) абсолютна вологість коробочок 29-10%.</p> <p>У повній фазі стиглості втрати волокна і насіння великі. Волокно, зібране у фазі повної стиглості, жорстке і грубе.</p>
Поява втрат насіння	<p>Збирання недозрілого насіння, самоосипання та проростання внаслідок несвоечасного виконання робіт або настання повної фази стиглості.</p> <p>Роздільний спосіб: 1) опади, що виникають у період вилежування неочісанної стрічки, можуть призвести до зараження насіння хворобами або його проростання; 2) якщо очісування проводилось не вчасно, щоденні втрати складають 0,5% від біологічного врожаю насіння з гектара.</p> <p>Комбайновий спосіб: 1) щоденні втрати 1,5%.</p>
Поява втрат трести	<p>Перележування, настання жовтої або повної фази стиглості. Якість трести (номер) залежить від тривалості її вилежування.</p> <p>У повній фазі стиглості втрати волокна і насіння великі. Волокно, зібране у фазі повної стиглості, жорстке і грубе.</p>
Поява роси	Дефіцит вологості повітря знаходиться в межах 2-5 мб (гПа).
Поява опадів	Дефіцит вологості повітря знаходиться в межах 2-5 мб (гПа).

1	2
Вибирання	Настання ранньої жовтої фази стиглості.
Очісування-обертання	Через 3 дні після вибирання стрічку можна підібрати, обмолотити, обернути і розстелити.
Комбайнування	Настання жовтої фази стиглості.
Обертання 1	Через 6 днів після комбайнування.
Обертання 2	у середині вилежування; після випадання великого дощу; через 4 дні після робіт очісування-обертання для роздільного та через 5 днів після другого обертання для комбайнового способу збирання.
Обертання 3	Безпосередньо перед підніманням трести.

Розробка відповідної програми та проведення комп'ютерних експериментів на основі даного алгоритму дозволяє визначити експлуатаційні показники механізованих процесів. Це, у свою чергу, забезпечує об'єктивну оцінку їхньої ефективності.

### **2.3. Характерні причинно-наслідкові зв'язки між імовірними подіями у процесах механізованого збирання льону-довгунця**

Деякі групи чинників, наведені у п. 2.2, мають характерні явища, які визначають їх властивості та разом з іншими чинниками впливають на ключові події у механізованих процесах. Явища та події поділяються за ступенем можливості впливу людини на них і можуть бути класифіковані як [21, 24, 29]:

1. *Некеровані* – включають усі явища та події, що виникають у межах агрометеорологічної (*Ам*), природно-виробничої (*Пв*) та частково предметної (*Пр*) груп чинників.

2. *Частково керовані* – охоплюють частину явищ і подій предметної (*Пр*), технічної (*Тн*) та соціальної (*С*) груп.

3. *Керовані* – пов’язані з організаційно-стратегічною (*Ос*) та організаційно-тактичною (*От*) групами, а також частково із соціальною (*С*) та технічною (*Тн*) групами чинників.

*Особливості формування подій у механізованих процесах.* Агрометеорологічна група чинників значною мірою впливає на стан стеблостою та стрічки льону-довгунця, що вилежується. До таких явищ належать:

- опади;
- роса;
- дефіцит вологості повітря.

Ці явища змінюють вологість стеблостою. Підвищення вологості через опади або рясну росу унеможлиблює виконання збиральних робіт. Аналіз можливості виконання робіт проводиться на основі оцінки властивостей предмета праці (стану стеблостою, стрічки, насіння в коробочках). Таким чином, події агрометеорологічної групи чинників досліджуються у взаємозв’язку з предметною групою чинників ефективності механізованих процесів.

Наприклад, поява роси виступає обмежувальною умовою для певних робіт. Підвищення вологості насіння та волокна в таких умовах унеможлиблює виконання збирального процесу, як відображено у таблиці 2.3.

*Опади* як явище характеризуються такими подіями, як їх початок і завершення. У проміжку часу між цими подіями виконання будь-яких збиральних робіт є неможливим. Крім того, слід враховувати, що випадання понад 1,5 мм опадів унеможлиблює проведення операцій із очісування та комбайнування навіть наступного дня.

Комплексним показником, який враховує температурні та вологісні характеристики середовища, є *дефіцит вологості повітря*. Якщо цей показник менший за 3 гПа, виконання збиральних робіт вважається недоцільним. Це обумовлено тим, що такий рівень відповідає умовам із високою вологістю (роса або дощ), у яких реалізація механізованих процесів супроводжуватиметься частими технологічними відмовами та втратами продукції через низьку якість виконаних операцій .



Таблиця 2.3 – Вплив явища наявності роси на можливість виконання технологічних операцій у механізованих процесах збирання льону-довгунця

Можливість виконання					
		+	-	+	-
Спосіб збирання					
Головні роботи	Комбайновий	Вибирання	Комбайновий	Обертання	Піднімання трести

*Дефіцит вологості повітря* суттєво впливає на явище осипання насіння льону-довгунця, особливо в період його дозрівання у стрічці (роздільна технологія). Цей вплив обумовлений біологічними особливостями предмета праці: зі зниженням дефіциту вологості коробочки з насінням закриваються, що мінімізує або повністю запобігає втратам насіння. У протилежному випадку, коли дефіцит вологості зростає, коробочки залишаються відкритими, що збільшує втрати (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Щоденні втрати насіння льону-довгунця (під стрічкою) залежно від показника дефіциту вологості [4, 10]

Дефіцит вологості, гПа	Щоденні втрати насіння від біологічного врожаю, %
2-5	0
8-12	0,18-0,22
18-20	0,31
20-30	0,45-0,75

*Природно-виробнича група чинників (Пв)* механізованих процесів збирання льону-довгунця не має властивих подій. Проте вона разом із технологічною (*Тл*), технічною (*Тн*) та предметною (*Пр*) групами чинників визначає частоту й тривалість таких операцій, як рух машинних агрегатів по полю, їх розвороти, об'їзди перешкод тощо.

Аналізуючи події предметної групи чинників (*Пр*), можна дійти висновку, що льон-довгунець, вирощений на певному полі, характеризується змінами стану, які обумовлюють такі події, як:

- Настання фаз стиглості: рання жовта, жовта та повна фази.
- Перебування на полі у вигляді стрічки (з насінням або без нього).
- Достигання насіння у стрічці.
- Завершення вилежування стрічки.

До подій предметної групи також належать:

- Початок втрат якості насіння, що перебуває в коробочках.
- Початок втрат якості стрічки, що вилежується.

Подія завершення вилежування стрічки ( $\tau_{вл}$ ) характеризується низкою явищ, серед яких:

- Час вибирання ( $\tau_{вб}$ ).
- Час очісування насіння ( $\tau_{об}$ ).
- Агрометеорологічні умови ( $A_m$ ).
- Час проведення операцій обертання ( $Об$ ) та їх кількість.
- Товщина стрічки, яка залежить від урожайності ( $T_{cm}$ ).

$$\tau_{вл} = f(\tau_{вб}, \tau_{об}, A_m, Об, T_{cm}). \quad (2.2)$$

Явище перетворення стебел у тресту характеризується початком вибирання льону-довгунця та завершенням процесу вилежування. У проміжку між цими подіями у стеблах відбуваються хімічні та фізичні процеси, що забезпечують відділення волокна від стебел.

Події, пов'язані з втратою насіння та якості трести, обумовлені такими явищами [4, 10]:

Для насіння:

- Осипання, яке починається на 4-й день вилежування.
- Проростання, що виникає при випаданні опадів протягом 3-х діб (за роздільного способу збирання).

- Втрати через розтріскані коробочки, якщо врожай не був зібраний вчасно (за комбайнового способу збирання).

Для трести:

- Гниття, спричинене надмірною вологістю.
- Невчасне підняття стрічки.
- Зниження фізико-механічних властивостей.

*Соціальна група чинників* ефективності процесу враховує не лише майстерність виконавців, яка впливає на швидкість і якість виконання робіт, але й зумовлює події, пов'язані із зупинками машинних агрегатів через фізіологічні потреби працівників (харчування, відпочинок тощо). Потреба у відпочинку виконавців визначає тривалість робочої зміни та організацію одно-, дво- чи тризмінної роботи. Це призводить до таких подій, як зупинка машин на перезмінку чи для відпочинку.

*Організаційно-тактична група чинників* разом із технологічною, агрометеорологічною та предметною групами визначає впродовж збирального періоду адаптивні події, зокрема доцільність виконання певної роботи в конкретний момент часу з урахуванням її економічної ефективності.

*Технічна група чинників* впливає на часові характеристики подій, пов'язаних із рухом машинних агрегатів по полю, їх розворотами та іншими операціями. Крім того, вона визначає події, такі як зупинки агрегатів через технологічні або технічні причини.

*Організаційно-стратегічна група чинників* впливає на події у механізованих процесах збирання льону-довгунця, зокрема визначає:

- Планову площу, тобто кількість полів і їх розміри.
- Параметри технічного оснащення, такі як кількість і тип техніки, що використовується.
- Організаційні режими роботи, включно з кількістю змін виконавців у процесі виконання робіт.

Таким чином, ця група визначає кількість і характеристики раніше згаданих подій у механізованих процесах.

Події, характерні для всіх груп чинників, що впливають на ефективність механізованих процесів збирання льону-довгунця, виключають *технологічну групу чинників*, яка є основою для прийняття організаційно-тактичних рішень щодо змісту і часу виконання окремих робіт.

Роботи, що виконуються у механізованих процесах збирання льону-довгунця, можна поділити на дві групи залежно від впливу агрометеорологічних умов (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Агрометеорологічні умови, що унеможливають виконання робіт у механізованих процесах збирання льону-довгунця [24]

Група	Перелік робіт	Показники агрометеорологічних умов, що унеможливають виконання робіт
1	1. вибирання; 2. обертання.	1. Опади в день виконання робіт. 2. Якщо в попередній день спостерігались опади $O > 1,5$ мм.
2	1. підбирання-очісування; 2. комбайнування; 3. піднімання трести.	1. Опади в день виконання робіт. 2. Дефіцит вологості повітря $D < 3$ гПа. 3. Наявність роси. 4. Якщо в попередній день спостерігались опади $O > 1,5$ мм.

Доцільність використання роздільної технології визначається на основі розробленого алгоритму, який враховує прогноз агрометеорологічних умов та оцінює технологічні наслідки, що виникають у результаті застосування цього способу збирання.

## Висновки до розділу 2

1. Розроблена концептуальна модель процесів механізованого збирання льону-довгунця, заснована на принципах і концепціях системотехніки, дозволила обґрунтувати узагальнений алгоритм для визначення експлуатаційних показників цих процесів.

2. Події та критерії, які визначають їх настання, стали основою для створення алгоритму імітаційної моделі механізованих процесів збирання льону-довгунця. Ця модель відображає об'єктивний розвиток процесів, а виконання комп'ютерних експериментів дозволяє отримати експлуатаційні показники та об'єктивно оцінити ефективність цих процесів.

3. Встановлено, що ефективність механізованих процесів збирання льону-довгунця залежить від таких чинників: предметного, агрометеорологічного, технологічного, природно-виробничого, технічного, організаційно-стратегічного, організаційно-тактичного, соціального, інформаційного та ринково-кон'юнктурного. Ці чинники класифікуються на три групи: керовані, частково керовані та некеровані.

4. Для оцінки експлуатаційних показників механізованих процесів збирання льону-довгунця необхідно враховувати їх специфіку. Особливістю є стохастичний вплив агрометеорологічних умов на стан предмета праці, який може перебувати у двох основних станах: придатний для збирання; непридатний для збирання. Ці стани застосовуються до кожної з фаз стиглості льону-довгунця.

### 3. МЕТОДИКА ВИРОБНИЧИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ЇХ МАТЕМАТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

#### 3.1. Методика збору статистичних даних та оцінення ймовірності подій у механізованому процесі збирання льону-довгунця

Кількісна оцінка флуктуацій подій у механізованих процесах збирання льону-довгунця дозволяє оцінити можливі наслідки цих подій та визначити необхідні реакції у випадку їх ймовірної появи. Для цього, на основі пасивних експериментів, проводиться збір і аналіз статистичних даних, включаючи час настання та завершення подій, а також їх кількісні характеристики [21, 22, 24].

На основі системного аналізу механізованих процесів збирання льону-довгунця визначено, що зміст і час виконання робіт залежить від наступних подій: 1) часом настання ( $\tau_{p.ж}^n$ , доба від точки відліку – 1 січня) та тривалістю ( $t_{p.ж}^n$ , діб) ранньої жовтої фази стиглості в  $n$ -й рік; 2) часом настання ( $\tau_{жс}^n$ , доба) та тривалістю ( $t_{жс}^n$ , діб) жовтої фази стиглості в  $n$ -й рік; 3) часом настання ( $\tau_n^n$ , доба) та тривалістю ( $t_n^n$ , діб) повної фази стиглості в  $n$ -й рік; 4) часом появи та припинення опадів на календарній осі часу у  $j$ -у добу  $n$ -о року (відповідно  $\tau_{нд}^{jn}$ ,  $\tau_{кд}^{jn}$ , год), а також їх кількістю ( $q_d^{jn}$ , мм); 5) часом появи та припинення роси у  $j$ -у добу  $n$ -о року (відповідно  $\tau_{нр}^{jn}$ ,  $\tau_{зр}^{jn}$ , год); 6) дефіцитом вологості повітря в розрізі  $j$ -ї ( $D^{jn}$ , доби), за якої виконання окремих збиральних операцій недопустиме, гПа.

Для збору необхідної статистичної інформації про зазначені події були проаналізовані архівні дані Яворівської метеорологічної станції, розташованої у Львівській області.

Необхідна інформація про результати щоденних спостережень міститься у двох журналах:

- ТСХ-1 (Таблиці сільськогосподарські), де зафіксовані дати настання фаз стиглості льону-довгунця.
- КМ-1 (Книжка метеорологічних спостережень), що містить дані про агрометеорологічні показники у розрізі доби з інтервалом у 3 години.

На основі цих даних були сформовані таблиці для фіксації результатів щоденних спостережень. Інформацію про початок фенологічних фаз досягання льону-довгунця отримували з журналу ТСХ-1. За графою 10 ("Назва фази") визначали відповідну фазу стиглості, її дату настання (графа 12 "Дата настання"), а також дату завершення збирання (графи 5 "Назва с.-г. робіт" та 7 "Кінець"). Усі ці дані заносили до відповідних граф таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Форма для відображення статистичних даних фенологічних фаз досягання льону-довгунця

Рік	Фази стиглості						Припинення збирання, $\tau_{пз}$
	рання жовта		жовта		повна		
	час настання, $\tau_{рж}$	тривалість, $t_{рж}$	час настання, $\tau_{ж}$	тривалість, $t_{ж}$	час настання, $\tau_{п}$	тривалість, $t_{п}$	
1968	200	12	212	9	221	6	227
1969	206	9	215	6	221	5	226
1970	208	9	217	7	224	4	228
...	...	...	...	...	...	...	...
2023	198	7	205	4	209	3	212

Оскільки результати спостережень містили дані лише про час настання подій, кількісні показники тривалості фаз стиглості в ппн-му році визначали як різницю між датами цих подій. Для ранньої жовтої, жовтої та повної фаз стиглості льону-довгунця тривалість фаз обчислювали за такими рівняннями:

$$t_{рж}^n = \tau_{ж}^n - \tau_{рж}^n ; \quad (3.1)$$

$$t_{рж}^n = \tau_{ж}^n - \tau_{рж}^n; \quad (3.2)$$

$$t_n^n = \tau_{пз}^n - \tau_n^n. \quad (3.3)$$

Одержані результати заносили у відповідні графи табл. 3.1.

Тривалість фаз стиглості льону-довгунця через низку фенологічних його особливостей є величиною, що визначає фонд часу на реалізацію робіт у механізованих процесах його збирання. Тривалість ранньої жовтої фази стиглості ( $t_{рж}^n$ ) є визначальним чинником, що формує фонд часу для роздільної, а тривалість жовтої та повної фаз стиглості ( $t_{ж}^n, t_n^n$ ) – для комбайнової технології збирання.

Інформацію про агрометеорологічні явища (опади, роса, дефіцит вологості повітря) для ймовірного періоду збирання льону-довгунця (липень-серпень) отримували з журналу КМ-1. У ньому в заголовку рядків наведено назви показників, а в заголовку стовпчиків — час виконання замірів. Отримані результати заносили до відповідних граф таблиці 3.2.

Статистичні дані про агрометеорологічну складову механізованих процесів збирання були опрацьовані для липня та серпня впродовж 1981–2023 років. Для спрощення обробки інформації зібрані дані заносили у заздалегідь створені таблиці у середовищі EXCEL.

Отримані дані використовували для побудови емпіричних рядів погожих і непогожих проміжків часу. Погожість доби оцінювали за такими критеріями:

1. Відсутність опадів до 13:00.
2. Кількість опадів за попередню добу не повинна перевищувати 1,4 мм.
3. Дефіцит вологості повітря в час виконання робіт повинен становити не менше 3 гПа.

Наявність і кількісні показники агрометеорологічних подій, таких як роса та опади після обіду, є ключовими для формування добового фонду часу. Однак ці події мають імовірний характер, тому необхідно визначити ймовірність їхнього прояву для  $m$ -го місяця.



Таблиця 3.2 – Форма для відображення статистичних агрометеорологічних даних для періоду збирання льону-довгунця

Дата	Роса		Опади			Дефіцит вологості повітря, гПа				
	припинення, год	поява, год	поява, год	припинення, я,	кількість, мм	9	12	15	18	21
1.07.21	8.00	21.00				1,0	5,4	12,9	15,5	8,3
2.07.21			6.00	9.00	2,5	0,6	2,0	2,6	6,8	5,8
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
31.08.21	12.00	21.30				0,5	2,1	5,8	5,5	1,9

Як зазначалося раніше, добовий фонд часу для виконання певних робіт у погожий день може бути різним. Це пояснюється тим, що виконання окремих робіт неможливе під час росяного періоду (див. табл. 2.3). Згідно з цим критерієм роботи поділяють на дві групи:

$T_1$  – роботи, які не залежать від наявності роси.

$T_2$  – роботи, що залежать від наявності роси.

На основі цих критеріїв тривалість добового фонду часу для групи  $T_1$  визначають за рівняннями (3.4) або (3.5).

– за умови відсутності опадів:

$$T_1 = 7 \cdot N_{zm}, \quad (3.4)$$

де  $N_{zm}$  – кількість змін;

– якщо є опади після обіду:

$$T_1 = P_{Op} - 9,00, \quad (3.5)$$

де  $P_{Op}$  – час появи опадів, год.

Добовий фонд часу групи  $T_2$  може обмежуватися двома подіями – росою та опадами після обіду. Тривалість добового фонду часу знаходимо за рівняннями (3.6 - 3.9) відповідно:

– за відсутності роси та опадів:

$$T_2 = 7 \cdot T_{zm}; \quad (3.6)$$

– є роса, опади відсутні:

$$T_2 = 9 + (7 \cdot T_{zm}) - P_{Ros}, \quad (3.7)$$

де  $P_{Ros}$  – час припинення роси, год;

– роса відсутня, є роса:

$$T_2 = P_{Op} - 9,00; \quad (3.8)$$

– є роса і опади:

$$T_2 = P_{Op} - P_{Ros}. \quad (3.9)$$

Статистичну обробку даних проводили із застосуванням відомих методів математичної статистики, які базуються на основах теорії ймовірностей.

### **3.2. Методика опрацювання результатів виробничих експериментів на підставі методів математичної статистики**

Під час математичної обробки того чи іншого показника за експериментальними (емпіричними) даними, число яких є обмежене, встановити дійсні значення характеристик розподілу неможливо, а тому визначають, так звані, оцінки: математичне сподівання, дисперсії, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнта варіації. Ці оцінки називають статистичними характеристиками [1, 8, 11].

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

1) Відповідно до початкових даних що отримані із звітних форм (ТСХ-6) метеорологічної станції встановлено множину тривалостей погожих проміжків для календарного періоду з 1 липня до 31 серпня за останніх 25 років (1998 – 2023 рр.).

Таким чином, отримано варіаційний ряд емпіричних даних:

$$Y_1 < Y_2 < \dots < Y_N. \quad (3.10)$$

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

$$k = 1 + 3,32 \lg N, \quad (3.11)$$

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

Підставивши відповідні значення отримаємо:

3) Крок інтервалу розрахувати за формулою:

$$\Delta Y = \frac{Y_N - Y_1}{k}; \quad (3.12)$$

4) Побудувати таблицю 3.3 для розрахунку статистичних характеристик.

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

$$P_i = \frac{m_i}{N}; \quad (3.13)$$

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

$$Y_c = \sum_{i=1}^k Y_i \cdot P_i; \quad (3.14)$$

дисперсії

$$D = \sum_{i=1}^k (Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i; \quad (3.15)$$

середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k (Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i}; \quad (3.16)$$

коефіцієнт варіації для нормального закону розподілу.

$$v = \frac{\sigma}{Y_c}; \quad (3.17)$$

для закону розподілу Вейбулла:

$$v = \frac{\sigma}{Y_c - Y_{зм}}; \quad (3.18)$$

де  $Y_{зм}$  - зміщення зони розкиду випадкової величини  $Y$  відносно нуля.

Таблиця 3.3 – Розрахунок кількісних статистичних характеристик потоку предметів праці

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

7) Перевірка крайніх значень варіаційного ряду на належність їх вибірці.

Перше  $Y_1$  і останнє  $Y_N$  значення варіаційного ряду перевірити на належність їх вибірці (чи не є вони помилковими) за критерієм Ірвіна:

$$\lambda_{d1} = \frac{1}{\sigma}(Y_2 - Y_1); \quad (3.19)$$

$$\lambda_{dN} = \frac{1}{\sigma}(Y_N - Y_{N-1}). \quad (3.20)$$

Розрахункові значення порівняти із табличними для заданої ймовірності ( $0,95 < \alpha < 0,99$ ) і кількості дослідів  $N$ . Якщо отримують  $\lambda_d \leq \lambda_r$ , то вважають, що крайнє значення не є помилковим. В іншому разі його вилучають із варіаційного ряду і повторюють розрахунок критерію Ірвіна.

8) Побудова гістограми (полігону) розподілу досліджуваного показника і висунення гіпотези про теоретичну закономірність розподілу.

За даними варіаційного ряду побудувати графік зміни емпіричної частоти ( $P_i$ ) досліджуваних показників для встановленої кількості ( $k$ ) інтервалів. З цією метою на осі абсцис з кроком  $\Delta Y$  відкладають верхні, нижні та середні значення інтервалів величини  $Y$ . На осі координат відкладають значення емпіричної частоти ( $P_i$ ).

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

9) Розрахунок теоретичної частоти.

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

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

$$a = \frac{\sigma}{C_b}; \quad (3.21)$$

10) Для кожного часткового інтервалу розраховують теоретичну частість:

$$P_{Ti}(Y) = f(Y) \cdot \Delta Y, \quad (3.22)$$

де  $\Delta Y$  - крок інтервалу.

11) Перевірка близькості емпіричного і теоретичного розподілів. Близькість між емпіричним і теоретичним розподілом перевірити за критерієм  $\chi^2$  ( $\chi^2$  – квадрат, Пірсона). З цією метою для кожного часткового інтервалу потрібно розрахувати добуток -  $N \cdot P_{Ti}$ . Якщо отримують  $N \cdot P_{Ti} < 5$  то цей інтервал об'єднують із одним або декількома суміжними так, щоб у новому (збільшеному) інтервалі виконувалась умова  $N \cdot P_{Ti} > 5$ .

Виразити критерій за формулою:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k'} \frac{(m_i - N \cdot P_{Ti})^2}{N \cdot P_{Ti}}, \quad (3.23)$$

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

12) Визначити число ступенів вільності за формулою:

$$r = k' - (n + 1), \quad (3.24)$$

де  $n$  - число параметрів функції теоретичного розподілу.

13) Задавши рівень значимості  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05 \dots 0,1$ ), знайдемо для визначеного  $r$ , значення  $(X^*)^2$  і порівняємо його із розрахунковим. Якщо  $X^2 < (X^*)^2$ , то теоретичний розподіл відображає емпіричні дані. В іншому разі близькість між емпіричним і теоретичним розподілом відсутня [1, 8, 11].

### **3.3. Алгоритм та комп'ютерна програма статистичного імітаційного моделювання виконання робіт та оцінення ефективності перебігу механізованих процесів збирання льону-довгунця у часі**

Імітаційне моделювання механізованих процесів збирання льону-довгунця проводилося з метою дослідження впливу агрометеорологічних умов на експлуатаційні показники ефективності цих процесів.

Процес імітаційного моделювання виконувався поетапно [23, 32]:

1. Розробка блок-схеми та алгоритму імітаційного моделювання, а також створення комп'ютерної програми.
2. Попереднє моделювання та перевірка адекватності моделі реальному процесу формування потоку вимог на збирання льону-довгунця для умов Малого Полісся Львівщини.
3. Обґрунтування необхідної кількості реалізацій імітаційного моделювання для забезпечення достовірності результатів.
4. Виконання комп'ютерних експериментів (моделювання) для різних варіантів механізованих процесів.

5. Статистична обробка результатів моделювання для аналізу отриманих даних.

Алгоритм імітаційного моделювання та відповідна блок-схема були розроблені на основі аналізу причинно-наслідкових зв'язків між характеристиками процесів збирання льону-довгунця з урахуванням флуктуацій агрометеорологічних умов.

Блок-схема моделювання складається з 8 блоків і представлена на рисунку 3.1.

1. Занести в пам'ять ПК початкові дані: кількість реалізацій ( $N_{rez}$ ), максимальну планову площу збирання ( $S_{max}$ ), тривалість зміни ( $T_{zm}$ ), експлуатаційні характеристики МТА (продуктивність машин ( $W$ ) та їх кількість ( $n$ )); статистичні характеристики розподілів таких подій як: час настання ранньої жовтої фази стиглості ( $n_{rxf}$ ), тривалості ранньої жовтої ( $t_{rxf}$ ), жовтої ( $t_{xf}$ ) та повної ( $t_{pf}$ ) фаз стиглості; статистичні характеристики розподілів тривалості погожих ( $Dni_1$ ) і непогожих проміжків часу ( $Dni_0$ ); статистичні характеристики розподілів агрометеорологічних чинників, часу припинення роси ( $P_{Ros}$ ) та часу появи опадів після обіду ( $P_{Op}$ ).

2. Обнулити змінні та масиви змінних.

3. Встановити приріст площі у 5 га:

$$S = S + 5. \quad (3.25)$$

4. Згенерувати масиви початкових даних для ймовірнісних величин: часу настання ( $n_{rxf}$ ) та тривалості ранньої жовтої ( $t_{rxf}$ ), а також тривалості жовтої ( $t_{xf}$ ) та повної фаз стиглості ( $t_{pf}$ ); тривалості погожих ( $Dni_1$ ) і непогожих ( $Dni_0$ ) проміжків часу для періоду збирання; часу початку та завершення непогожого проміжку в розрізі доби, а саме: часу припинення роси ( $P_{Ros}$ ) та часу появи опадів після обіду ( $P_{Op}$ ).

5. Сформуувати масив добового фонду часу для робіт. Для цього ми поділяємо їх на дві групи, які є незалежними ( $T_1$ ) та залежними від роси ( $T_2$ ).

6. Визначення прогнозу агрометеорологічних умов на 4 дні.

7. Визначаємо, яка площа є оброблена даною операцією ( $S_{vub}^{max}$ ).

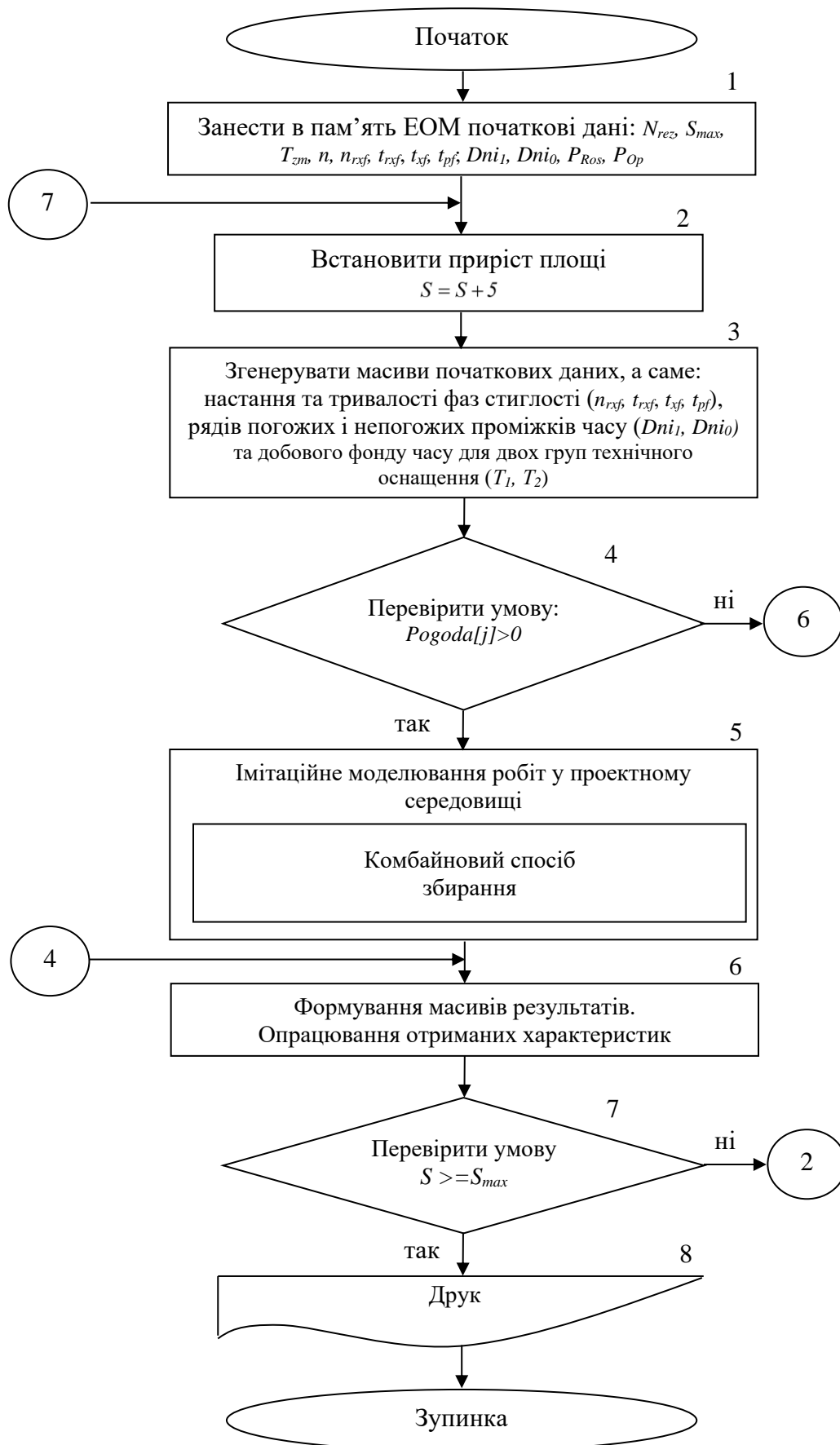


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму статистичного імітаційного моделювання механізованого процесу збирання льону-довгунця



8. Перевіряємо умову, чи день  $j$  є погожий,

$$Pogoda[j] > 0, \quad (3.26)$$

якщо так, виконуємо наступний крок, якщо ні, переходимо до умови (3.33).

9. Знаходимо максимальну площу, оброблену за роботою вибирання ( $S_{vub}^{max}$ ).

Перевіряємо умови, що регламентують можливість використання роботи вибирання льону-довгунця (роздільний спосіб), а саме: чи даний день ( $j$ ) належить до фази ранньої жовтої стиглості

$$j \leq t_{xf}; \quad (3.27)$$

Знаходимо добовий фонд часу для даної роботи:

$$W_1[j] = T_1[j] \cdot W_1 \cdot n_1. \quad (3.28)$$

Перевіряємо, чи є необроблена площа:

$$S > S_{vub}^{max}. \quad (3.29)$$

Перевіряємо умову, чи добовий фонд часу не є більшим від площі, що залишилось обробити:

$$W_1[j] \leq S - S_{vub}^{max}. \quad (3.30)$$

Якщо умови (3.29) та (3.30) виконуються, тоді добовий виробіток ( $S_1[j]$ ) дорівнюватиме добовому фонду часу ( $W_1[j]$ ):

$$S_1[j] = W_1[j]. \quad (3.31)$$

Знаходимо оброблену площу, а саме додаємо добовий виробіток ( $S_1[j]$ ) до вже обробленої площі ( $S_{vub}[j]$ )

$$S_{vub}[j] = S_{vub}[j-1] + S_1[j]. \quad (3.32)$$

Якщо умова (3.30) не виконується, то добовий виробіток визначається так:

$$S_1[j] = S - S_{vub}^{max}. \quad (3.33)$$

Знаходимо оброблену площу:

$$S_{vub}[j] = S_{vub}[j-1] + (S - S_{vub}^{max}). \quad (3.36)$$

10. Знаходимо максимальну площу, оброблену за роботою очісування-обертання ( $S_{och}^{max}$ ).

Перевіряємо умови, що регламентують можливість використання роботи очісування-обертання стрічки, що вилежується, а саме: чи минуло 3 дні від

моменту вибирання стрічки:

$$j > 3. \quad (3.37)$$

Перевіряємо, чи є площа, яку необхідно обробити даним способом:

$$S_{vub}^{max} > S_{och}^{max}. \quad (3.38)$$

Якщо умова виконується, тоді виконуємо наступний крок, якщо ж ні, то переходимо до кроку 12.

Знаходимо добовий фонд часу для даної роботи:

$$W_2[j] = T_2[j] \cdot W_2 \cdot n_2. \quad (3.39)$$

Перевіряємо, чи вся площа є своєчасно обробленою. Для цього знаходимо загальну площу, яка була вибрана 4 дні назад  $S_{vub}[j-4]$ , та порівнюємо її із загальною площею, обробленою за даною роботою станом на день, що минув  $S_{och}[j-1]$ :

$$S_{vub}[j-4] > S_{och}[j-1]. \quad (3.40)$$

Якщо ця умова справджується, то знаходимо площу, що є несвоєчасно обробленою:

$$Sn_2[j] = S_{vub}^{max} - S_{och}[j-1], \quad (3.41)$$

і навпаки

$$Sn_2[j] = 0. \quad (3.42)$$

Якщо виконується умова (3.42), то переходимо до умови (3.46).

За наявності несвоєчасно обробленої площі перевіряємо, чи вона є більшою за добовий фонд часу:

$$Sn_2[j] \geq W_2[j]. \quad (3.43)$$

Якщо умова справджується, тоді добовий виробіток ( $S_2[j]$ ) дорівнюватиме:

$$S_2[j] = W_2[j]. \quad (3.44)$$

У разі, якщо умова (3.43) не виконується, тобто добовий фонд часу ( $W_2[j]$ ) є більшим, ніж несвоєчасно оброблена площа ( $Sn_2[j]$ ), то знаходять різницю ( $A$ ) між ними, що дозволить визначити, яку площу у визначений день ми ще встигнемо обробити:

$$A = W_2[j] - Sn_2[j]. \quad (3.45)$$

У випадку, коли умова (3.41) виконується, перевіряємо, чи площа, яку необхідно обробити, не є більшою за  $W_2[j]$ :

$$S_1[j-3] > W_2[j]. \quad (3.46)$$

Якщо умова (3.46) виконується, тоді присвоюємо:

$$S_2[j] = W_2[j]. \quad (3.47)$$

Якщо умова (3.46) не виконується, тоді присвоюємо:

$$S_2[j] = S_1[j-3]. \quad (3.48)$$

11. Як і в попередньому випадку, знаходимо сумарну площу, оброблену даною технологічною операцією, а саме додаємо добовий виробіток ( $S_2[j]$ ) до вже обробленої площі ( $S_{och}[j]$ ):

$$S_{och}[j] = S_{och}[j-1] + S_2[j]. \quad (3.49)$$

Наступні характерні роботи опрацьовуються аналогічним чином. Однак можливість використання робіт зумовлюється визначеними умовами для кожної з них.

12. Якщо умова (3.26) не виконується, тобто день є непогожий, тоді добовий фонд часу ( $W_n$ ) та добовий виробіток ( $S_n[j]$ ) для  $n$ -ї роботи дорівнюватиме нулю, а сумарна оброблена площа для кожної з них дорівнюватиме сумарній обробленій площі, обробленій у попередній день  $[j-1]$ .

13. Визначаємо часткові втрати, га·діб, та повні втрати насіння, га, а також кількісні показники зібраного врожаю лляної трести різних номерів.

14. Перевіряємо умову

$$S \geq S_{max}. \quad (3.50)$$

Якщо умова (3.49) не виконується, то повертаємось до кроку 3 (приріст площі, яку необхідно зібрати  $S$ ). В іншому разі моделювання механізованих процесів збирання льону-довгунця завершується.

15. Кінець.

Комп'ютерну програму для моделювання процесу збирання льону-довгунця було розроблено на кафедрі АтаТС ім. проф. Олександра Семковича. Програма створена відповідно до розробленого алгоритму статистичного імітаційного моделювання механізованого процесу збирання льону-довгунця. Програмний код моделі було реалізовано в середовищі Turbo Pascal 7.0.

### **Висновки до розділу 3**

1. Математичну обробку даних, отриманих у виробничих експериментах, виконували згідно зі стандартизованими методиками. Це дозволяє вважати розроблені моделі стохастичних явищ достовірними.

2. Моделювання на персональному комп'ютері здійснюється поетапно, включаючи наступні укрупнені етапи: формулювання мети моделювання; розробка концептуальної моделі; підготовка початкових даних; розробка математичної моделі; вибір методу моделювання; вибір засобів моделювання; розробка програмної моделі; перевірка адекватності та коригування моделі; планування машинних експериментів; виконання моделювання на ПК; аналіз результатів моделювання.

3. Дослідження експлуатаційних характеристик механізованих процесів збирання базується на статистичній імітаційній моделі. Ця модель відображає вплив агрометеорологічних умов на стан предмета праці та можливість виконання збиральних операцій.

## **4. РЕЗУЛЬТАТИ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ВИРОБНИЧИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ**

### **4.1. Результати оцінення статистичних характеристик агрометеорологічних умов у процесах механізованого збирання льону-довгунця**

Часовий проміжок, в якому відбувається процес механізованого збирання льону-довгунця, характеризуються послідовністю погожих та непогожих проміжків часу. Для дослідження цих складових було використано дані Яворівської метеорологічної станції, що розташована у Львівській області. З цією метою, як уже зазначалося, була зібрана інформація про агрометеорологічні умови для кожної окремої доби календарного періоду з 1 липня до 31 серпня за останніх 25 років (1998 – 2023 рр.). На підставі отриманої інформації було здійснено оцінку подій, які зумовлюють можливість виконання збирального процесу для кожної окремої доби. Для цього скористалися відомими критеріями, а саме: погожою вважали добу за відсутності опадів до 13 год. До погожих зараховували також і ті доби, в яких за попередню добу опади не перевищували 1,4 мм. Погожою також вважалась доба, якщо дефіцит вологості повітря у період виконання збиральних робіт не був меншим за 3 гПа [22, 23, 29, 30].

Результатом поділу днів на погожі і непогожі є отримання для кожного окремого року послідовності погожих і непогожих проміжків часу. Для кожного з цих проміжків часу перший і останній перевіряють на їх завершеність. У разі, коли перший проміжок часу виконання збиральних робіт починався 1 липня, а останній завершувався 31 серпня, вони вважалися завершеними і включалися до репрезентативної вибірки. В іншому разі вони до репрезентативної вибірки не включалися.

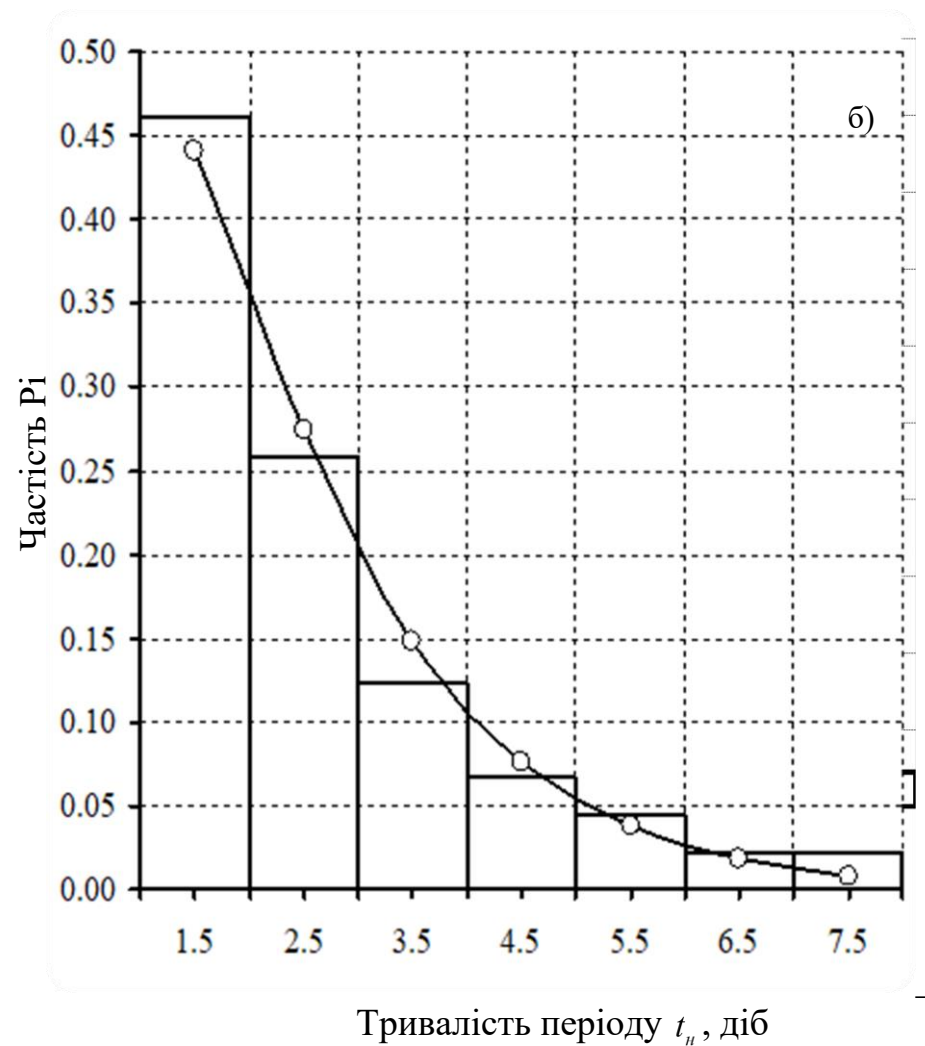
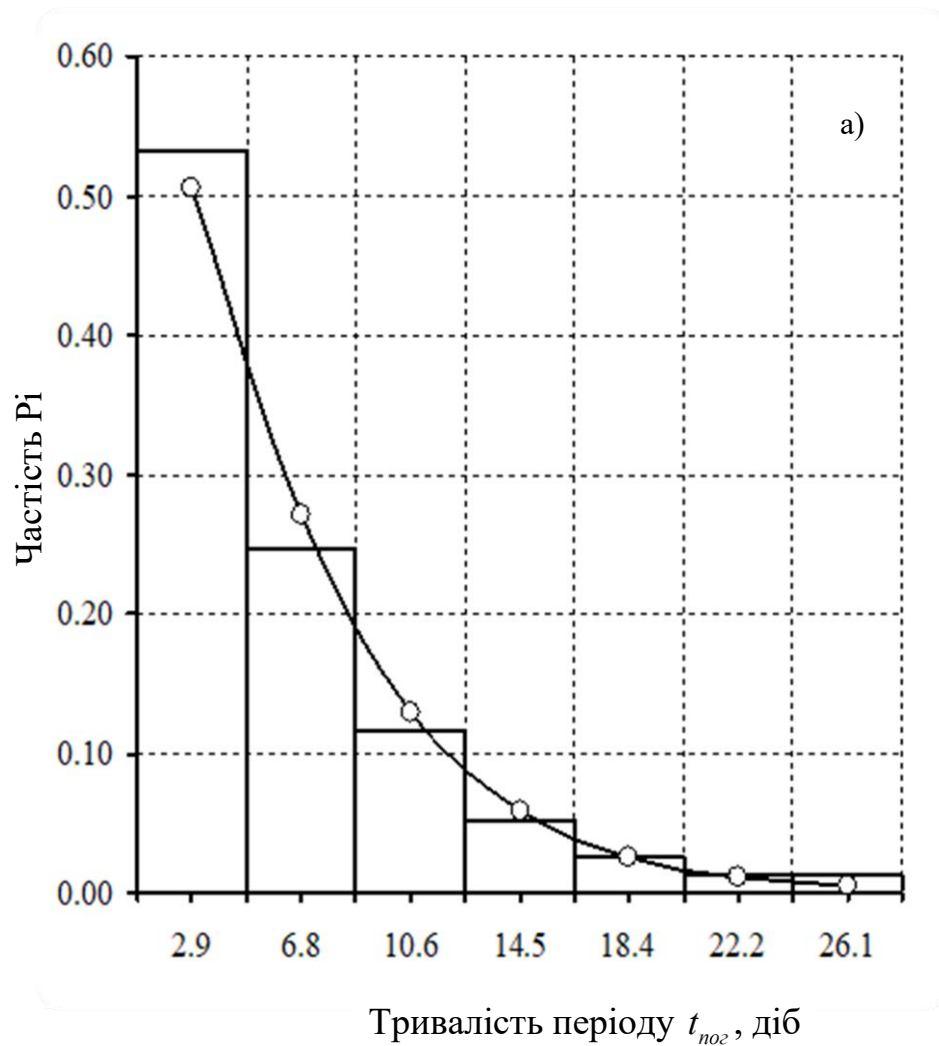


Рисунок 4.1 – Гістограма та теоретична крива розподілів тривалостей погожих  $t_{nog}$  (а) та непогожих  $t_n$  (б) проміжків часу.

Статистичне опрацювання множин (репрезентативних вибірок) погожих і непогожих проміжків часу дало змогу визначити числові характеристики, а також обґрунтувати теоретичний закон розподілу (рис. 4.1), який узгоджується за трипараметричним законом розподілу Вейбулла, функція густини якого має вигляд [1, 8, 11]:

– для погожих проміжків

$$f(t_{noz}) = 0,2 \left( \frac{t_{noz} - 1}{5,516} \right)^{0,105} \times \exp \left[ - \left( \frac{t_{noz} - 1}{5,516} \right)^{1,105} \right]; \quad (4.1)$$

– для непогожих проміжків

$$f(t_n) = 0,663 \left( \frac{t_n - 1}{1,702} \right)^{0,128} \times \exp \left[ - \left( \frac{t_n - 1}{1,702} \right)^{1,128} \right]. \quad (4.2)$$

Статистичні характеристики цих розподілів мають такі значення: оцінки математичного сподівання –  $M[t_{noz}] = 6,335$  доби та  $M[t_n] = 2,635$  доби; оцінки середньоквадратичного відхилення –  $\sigma[t_{noz}] = 4,894$  доби та  $\sigma[t_n] = 1,470$  доби. Значення критерію згоди  $\chi^2$  Пірсона відповідно становить  $1,737 < 6,251$  та  $2,926 < 6,251$ , що свідчить про відповідність гіпотези теоретичному закону Вейбулла. Інші статистичні характеристики розподілу тривалостей погожих і непогожих проміжків часу наведено в табл. А. 1 та А. 2 (див. дод. А).

Однією з характеристик, що впливає на експлуатаційні показники МТА в процесі збирання льону-довгунця, є добовий фонду часу виконання збиральних робіт. На його формування, як уже зазначалося, впливають такі агрометеорологічні події, як час припинення роси та появи опадів після обіду.

До показників, якими характеризується роса, належать частість появи та час її припинення. Частість появи роси визначали як відношення кількості днів з росою до загальної кількості днів, в які проводились статистичні спостереження для кожного з місяців. Проведені дослідження показали, що для липня частість появи роси становить 0,59, а для серпня – 0,7. На підставі проведених досліджень побудовано розподіли припинення роси в липні та серпні (рис. 4.2), головні

статистичні характеристики яких наступні: оцінки математичного сподівання відповідно  $M[t_{pl}] = 10,36$  год, та  $M[t_{pc}] = 10,41$  год; оцінки середньоквадратичного відхилення –  $\sigma[t_{pl}] = 0,95$  год та  $\sigma[t_{pc}] = 1,48$  год. Значення критерію згоди  $\chi^2$  – Пірсона відповідно становить  $6,870 < 7,779$  та  $6,656 < 7,779$ , що свідчить про прийнятність гіпотези щодо нормального закону розподілу. Отримані розподіли часу припинення роси для липня та серпня описуються відповідно такими функціями густини [1, 8, 11]:

$$f(t_{pl}) = 0,420 \times \exp\left[-\frac{(t_{pl} - 10,36)^2}{1,805}\right]; \quad (4.3)$$

$$f(t_{pc}) = 0,269 \times \exp\left[-\frac{(t_{pc} - 10,41)^2}{4,38}\right]. \quad (4.4)$$

Інші статистичні характеристики розподілу тривалостей погожих та непогожих проміжків часу наведено в табл. А.3 та А.4 (див. дод. А).

Аналогічними показниками характеризуються й опади після обіду. Встановлено, що частість їх появи дорівнює 0,15.

Проаналізовано дані та встановлено, що час появи опадів після обіду для періоду реалізації механізованих процесів збирання льону-довгунця, відображається нормальним законом розподілу (рис. 4.3), функція густини якого має вигляд [1, 8, 11]:

$$f(t_{on}) = 0,178 \times \exp\left[-\frac{(t_{on} - 18,55)^2}{10,04}\right]. \quad (4.5)$$



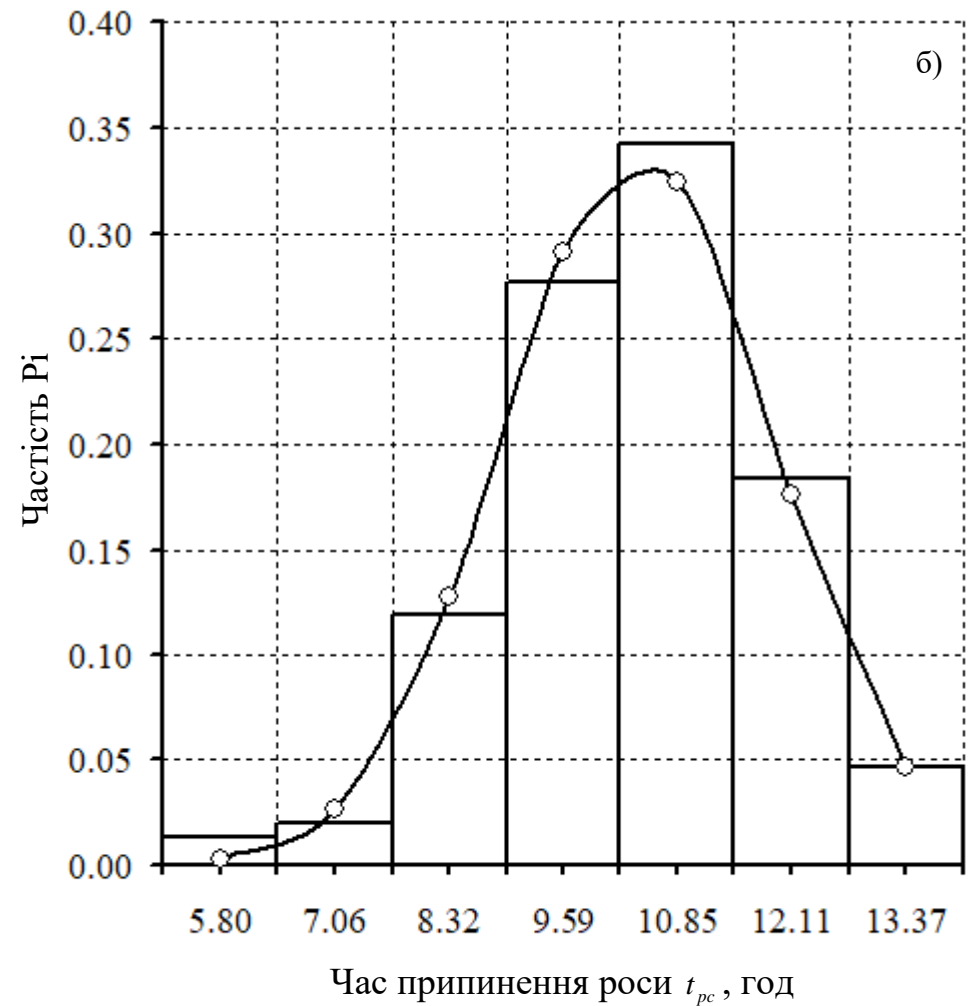
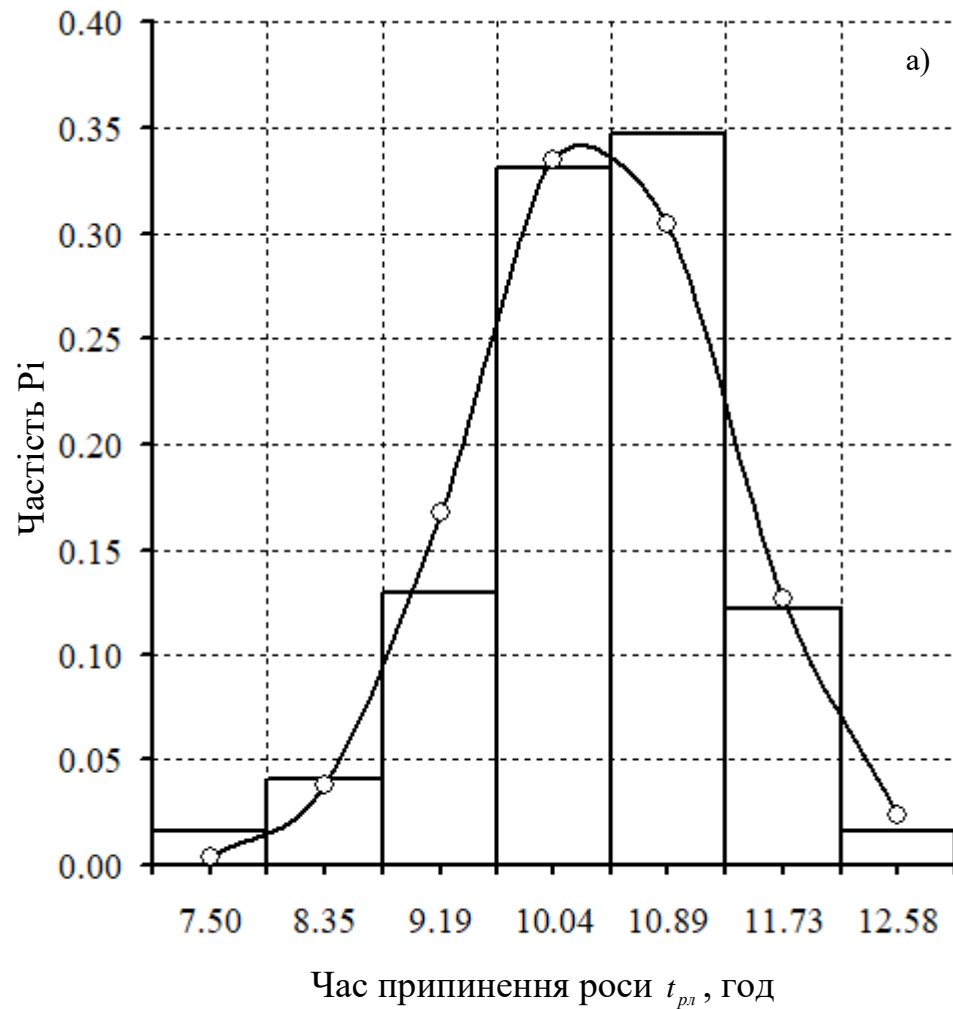


Рисунок 4.2 – Гістограма та теоретична крива розподілів часу припинення роси для липня (а) та серпня (б).

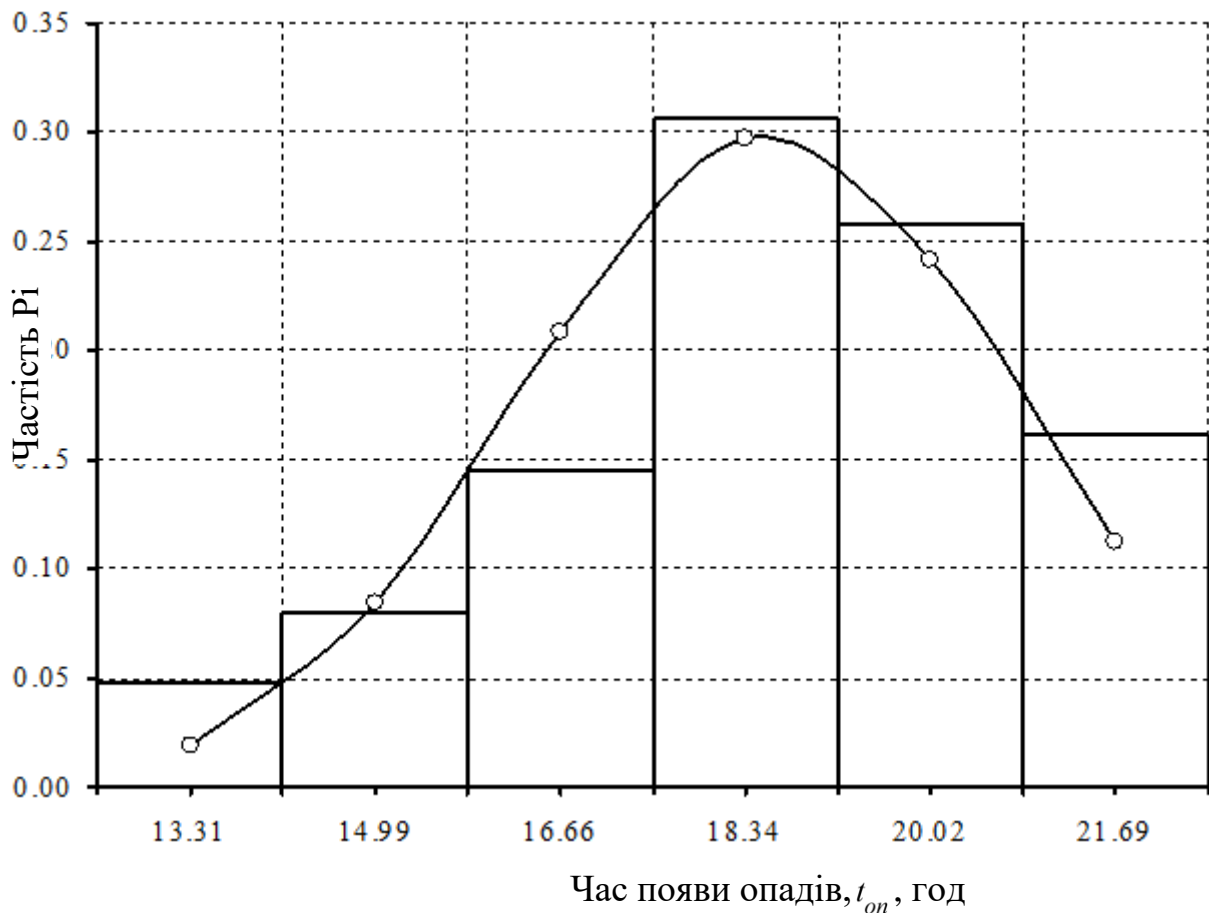


Рисунок 4.3 – Гістограма та теоретична крива розподілу часу появи опадів після обіду

Статистичні характеристики розподілу часу появи опадів мають такі значення: оцінка математичного сподівання –  $M[t_{on}] = 18,55$  год; оцінка середньоквадратичного відхилення –  $\sigma[t_{on}] = 2,24$  год. інші статистичні характеристики цього розподілу наведено в табл. А.5 (див. дод. А).

Таким чином, аналіз отриманих результатів, щодо впливу агрометеорологічних характеристик на процес механізованого збирання льону-довгунця дав змогу обґрунтувати статистичні моделі його погожих та непогожих проміжків часу, а також добового фонду часу виконання збиральних робіт.

## 4.2. Результати імітаційного моделювання процесів механізованого збирання льону-довгунця

З метою визначення впливу агрометеорологічних умов на процес механізованого збирання льону-довгунця (для комбайнового способу), було проведено серію експериментів. Вони являють собою спеціально розроблену комп'ютерну програму, основою якої є імітаційна модель, в яку закладено характеристики агрометеорологічних умов Яворівського району Львівської області, характеристики предмета праці та параметри МТА.

У результаті виконання комп'ютерних експериментів побудовано моделі фактично виконаних робіт за комбайнового способу збирання льону-довгунця від його площі вирощування (рис. 4.4).

На підставі побудованих залежностей встановлено, що для умов даного регіону фактично виконані площі для комбайнового способу збирання описуються такими залежностями [1, 8, 11]:

у ранній жовтій фазі стиглості

$$S_{фрж} = 3 \cdot 10^{-7} \cdot S^4 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot S^3 - 0,0076 \cdot S^2 + 1,0134 \cdot S - 0,3861; \quad (4.6)$$

у жовтій фазі стиглості

$$S_{фж} = 3 \cdot 10^{-7} \cdot S^4 - 9 \cdot 10^{-5} \cdot S^3 + 0,0081 \cdot S^2 - 0,0329 \cdot S + 0,4769; \quad (4.7)$$

у повній фазі стиглості

$$S_{фп} = -1 \cdot 10^{-7} \cdot S^4 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot S^3 + 0,0033 \cdot S^2 - 0,0336 \cdot S + 0,1384. \quad (4.8)$$

Значний вплив на кількісний показник – фактично виконані площі – здійснюється агрометеорологічними та предметними характеристиками (він обмежується тривалістю фаз стиглості льону-довгунця) процесу механізованого збирання та параметрами МТА.

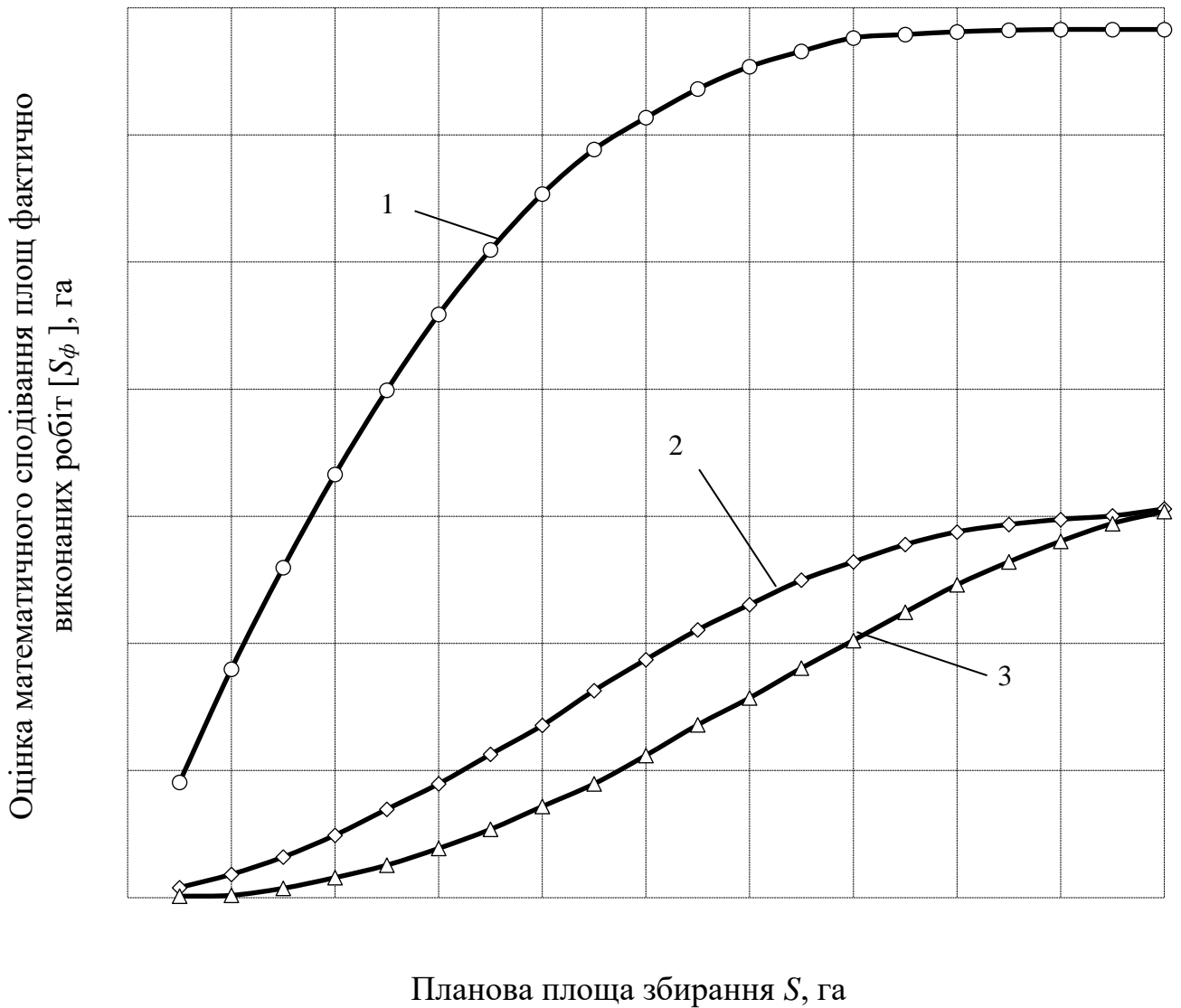


Рисунок 4.4 – Залежність оцінок математичного сподівання площі фактично виконаних технологічних операцій (у 1 – ранній жовтій фазі стиглості; 2 – у жовтій фазі стиглості; 3 – у повній фазах стиглості) від площі збирання.

З рис. 4.4 видно, що максимальне значення математичного сподівання фактично виконаного обсягу збиральних робіт становить відповідно: у ранній жовтій  $M[S_{\phi_{ррж}}] = 34,15$  га, у жовтій  $M[S_{\phi_{ж}}] = 15,29$  га та повній  $M[S_{\phi_n}] = 15,19$  га фазах стиглості.

## Висновки до розділу 4

1. Використання даних метеорологічної станції дозволило сформулювати початкові дані для кількісної оцінки впливу агрометеорологічної та предметної складових на механізовані процеси збирання льону-довгунця.

2. Застосування методів математичної статистики та кореляційно-регресійного аналізу надало можливість провести математичну обробку даних метеорологічної станції та формалізувати характеристики агрометеорологічної й предметної складових механізованого процесу збирання льону-довгунця.

3. Вплив агрометеорологічних умов на ефективність збирання проявляється через предметні чинники та визначається агрометеорологічно дозволеними й недозволеними послідовними проміжками часу. Ці проміжки поділяються на дві групи: погожі та непогожі. Крім того, до погожих інтервалів належать періоди, які враховують час припинення роси та можливі опади в післяобідній час.

4. Вплив агрометеорологічних характеристик на ефективність механізованого збирання льону-довгунця проявляється через природно дозволений фонд часу, який має мінливий характер (див. рис. 4.1–4.3). Отримані результати дозволяють відповісти на поставлені завдання магістерської роботи.

5. Аналіз даних метеорологічної станції показав, що тривалість погожих і непогожих проміжків у календарний період з 1 липня до 31 серпня за останні 25 років (1998–2023 рр.) відповідає теоретичному закону розподілу Вейбулла.

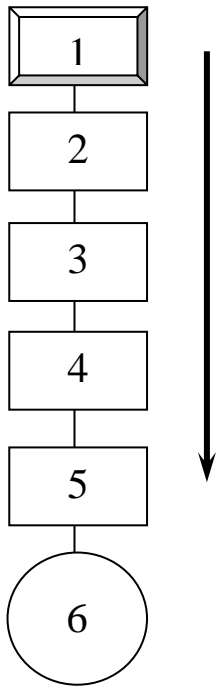
## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1. Моделювання виникнення травм та аварій

Лехман С.Д. описав метод, що дає можливість шляхом побудови “дерева” відказав і помилок операторів різних систем вести математичну обробку моделі з метою одержання ймовірності виникнення таких випадкових подій, як аварія, травма, катастрофа. Даний метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд будівель, виробничих процесів і технологій [12].

Метод логічного моделювання процесів формування виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд, будівель виробничих процесів і технологій.

Основні принципи побудови моделі такі. Вивчається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми чи катастрофи. Наприклад, на складах зберігання вибухових речовин (пестициди, мінеральні добрива, склади зберігання палива тощо) найнебезпечнішим явищем може бути вибух або загоряння речовини. Приймаючи подію «вибух» як головну і зв'язуючи цю подію шляхом логічного аналізу з наступною подією, що обумовлює її виникнення, за допомогою логічних операторів «І», «АБО» та інших, приходимо до кінцевих подій, з яких і починає формуватися головна подія «вибух». За своєю формою така модель нагадує крону дерева, тому вона і одержала назву «дерево відказів і помилок». Кінцеві події мають назву базових.



Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з головної події, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій (рис. 5.1).

Рисунок 5.1 – Схема основних принципів побудови логіко-імітаційних моделей [12]

Кожен блок рисунка, позначений відповідним номером, означає подію (у загальному вигляді) або окремий етап побудови моделі: 1 — відказ (аварія, травма, катастрофа) системи — головна подія; 2 — послідовність подій, що призводять до відказу системи; 3 — послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів «І», «АБО» та інших; 4 — усі вхідні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами всередині; 5 — послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі; 6 — базові події зображують у вигляді кружечків із написами всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі.

## **5.2. Розробка логічно-імітаційної моделі травм у процесі збирання льону-довгунця**

Опишемо методику побудови логічно-імітаційної моделі. Головною причиною, яка зумовлює виникнення травми, модель якої необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва виникає [9, 12, 18].

Після вибору домінуючого явища (події) розпочинаємо побудову моделі (“дерева”). Використовуючи оператора “і” та “або”, використовуємо набір

ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до подій, вибраної як домінуюча чи головна.

Перш за все визначаються травмонебезпечні ситуації та їх кількості, що можуть мати місце в процесі що розглядається, визначаємо ще й інші події, що входять до кожної такої ж ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів “і”, “або” та інших. Процес побудови моделі триває, поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Необхідно мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

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

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки “дерева”, позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі. На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логічно-імітаційної моделі [9, 12, 18].

Побудова логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії та травми в процесі механізованого обробітку ґрунту складемо перелік базових подій. Вони лежатимуть в основі даної моделі. Кожній події (пункту) присвоюють певне значення ймовірності його виникнення:

- |   |               |
|---|---------------|
| 1.Стан охорони праці на виробництві       | $P_1 = 0,4;$  |
| 2.Несерйозне відношення до проходження ТО | $P_2 = 0,07;$ |
| 3.Відсутність комплектуючих               | $P_3 = 0,25;$ |



4.Невисока міцність	$P_4 = 0,05;$
5.Виникнення перешкод на полі під час робочого ходу	$P_6 = 0,18;$
6.Застарілі технічні засоби	$P_7 = 0,3;$
7.Досвід роботи	$P_{12} = 0,1;$
8.Професійний рівень тракториста	$P_{13}=0,12;$
9. Психофізіологічний стан тракториста	$P_{14}= 0,43;$

Наведені події дають змогу побудувати матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічна інтерпретація якої зображено на рис. 5.2.

Розглянемо травмонебезпечну ситуацію, що виникає за умови обробітку ґрунту на значних ухилах поля, близько ярів чи при їх об'їзді, котра може призвести до перекидання ґрунтообробного агрегату, а також розрахуємо ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель процесу механізованого обробітку ґрунту у весняний період.

Ймовірність виникнення події  $P_5$  визначаємо наступним чином:

$$P_5 = P_1 + P_2 + P_4 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_4 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_4 - \\ - P_2 \cdot P_3 - P_4 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_4 \cdot P_3;$$

$$P_5 = 0,4 + 0,07 + 0,05 + 0,25 - 0,4 \cdot 0,07 - 0,4 \cdot 0,05 - 0,04 \cdot 0,25 - 0,07 \cdot 0,05 - \\ - 0,07 \cdot 0,25 - 0,05 \cdot 0,25 + 0,4 \cdot 0,07 \cdot 0,05 \cdot 0,25 = 0,588;$$

Ймовірність виникнення події  $P_{10}$  визначаємо так:

$$P_{10} = P_1 + P_2; \quad P_{10} = 0,4 + 0,07 = 0,47;$$

Ймовірність виникнення події  $P_{11}$  визначаємо:

$$P_{11} = P_6 \cdot P_5 \cdot P_7 \cdot P_{10}; \quad P_{11} = 0,18 \cdot 0,588 \cdot 0,3 \cdot 0,47 = 0,014;$$

Ймовірність виникнення події  $P_{15}$  визначаємо наступним чином:

$$P_{15} = P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14}; \quad P_{15} = 0,1 \cdot 0,12 \cdot 0,43 = 0,005;$$

Ймовірність події  $P_{18}$ :

$$P_{18} = P_{16} \cdot P_{17}; \quad P_{18} = 0,5 \cdot 0,32 = 0,16;$$

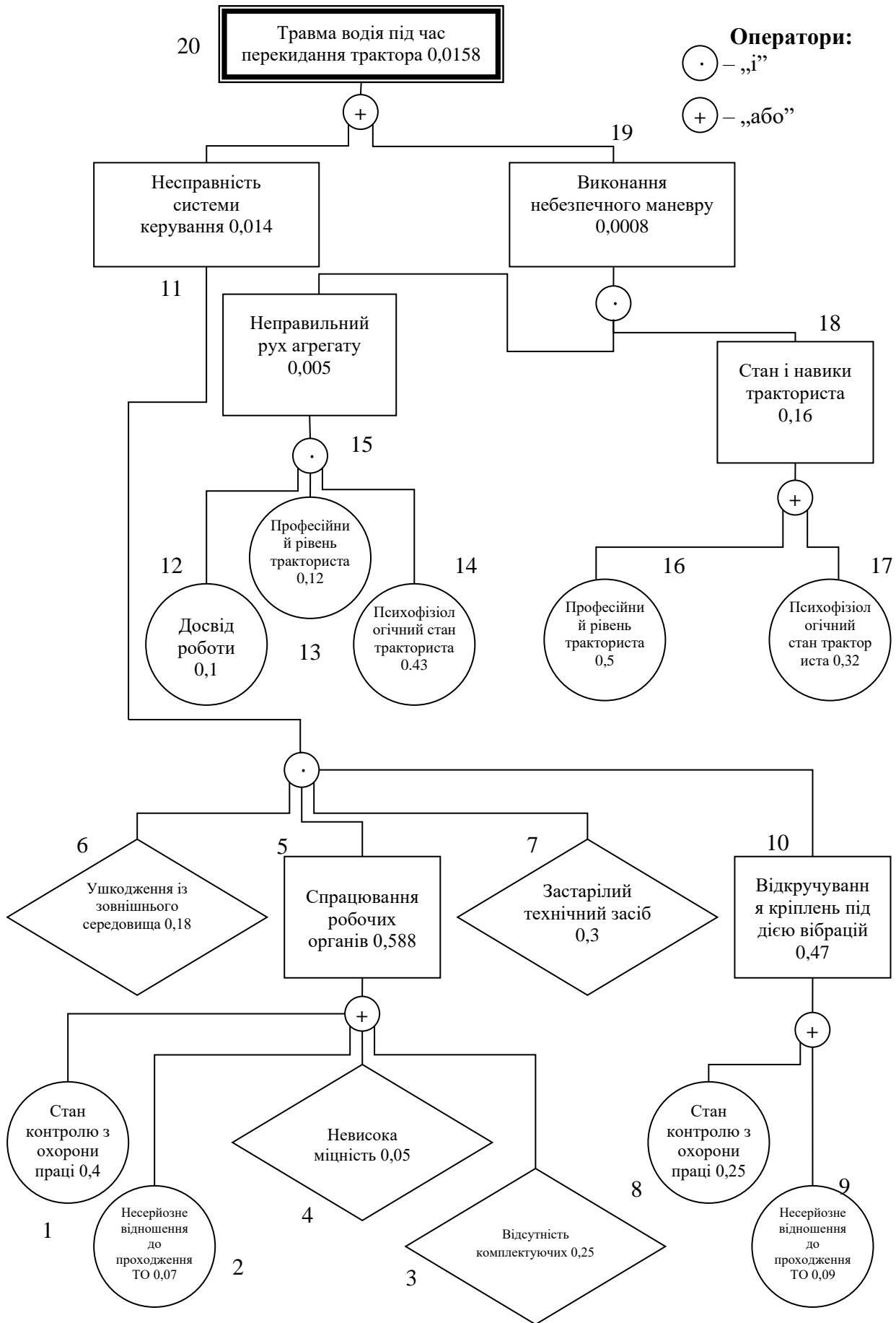


Рисунок 5.2 – Матриця логічних взаємозв’язків між окремими подіями травнебезпечної ситуації

Ймовірність події  $P_{19}$ :

$$P_{19} = P_{15} \cdot P_{18}; \quad P_{19} = 0,005 \cdot 0,16 = 0,0008;$$

Ймовірність події  $P_{20}$ :

$$P_{20} = P_{11} + P_{19}; \quad P_{20} = 0,0149 + 0,0008 = 0,0158.$$

За нашими розрахунками ймовірність виникнення травми тракториста під час перекидання льонозбирального агрегату є досить мала і становить  $P_{20} = 0,0158$ .

### 5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

На сьогоднішній день природно-техногенна безпеки для населення і території, зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невпинно зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе [9, 18].

Згідно із Законом “Про цивільну оборону України” відповідальність за організацію цивільної оборони лягає на керівництво підприємства. Керівництво підприємств повинно забезпечити працівників засобами захисту (індивідуального та колективного), створює загони для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

У системі цивільної оборони окремого господарства необхідно забезпечити захист населення таким чином [9, 18]:

- можливість укриття населення у захисних спорудах;
- використання засобів індивідуального і медичного захисту;
- будівництво захисних споруд, насадження лісосмуг.

Основні положення Женевської конвенції щодо захисту жертв війни та додаткових протоколів до неї, можливого характеру воєнних дій, реальних можливостей держави щодо створення матеріальної бази захисту. З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має право проводитися спеціальний комплекс заходів.

Інформування населення, яке досягається завчасним створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної, територіальних та об'єктових систем оповіщення населення.

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

Інженерний захист проводиться з метою виконання вимог ГГЗ із питань забудови міст, розміщення ПНО, будівлі будинків, інженерних споруд та інше.

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.

Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

## Висновки до розділу 5

1. Під час механізованого збирання льону-довгунця існує значна ймовірність виникнення ситуацій, які можуть негативно вплинути на стан здоров'я виконавців робіт. Охорона праці тракториста як у кабіні трактора, так і біля нього суттєво впливає на ефективність використання робочого часу та продуктивність машини в цілому.

2. Метод побудови "дерева" відмов і помилок операторів, запропонований Д. Хенлі та Х. Кумамото, дозволяє математично моделювати ймовірність виникнення таких випадкових подій, як аварії, травми, катастрофи чи дорожньо-транспортні пригоди (ДТП). Цей метод логічного моделювання є ефективним для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявляються під час обстеження робочих місць, моделей машин, агрегатів, будівель, споруд, а також технологічних процесів і виробництв.

3. Методика оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин і виробничих процесів базується на визначенні об'єктивного критерію рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Основним показником у цій методиці є ймовірність виникнення аварій чи травм залежно від досліджуваного явища.

4. Ризик виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру постійно зростає. У зв'язку з цим важливо звернути увагу на інформування населення про необхідні дії в разі надзвичайних ситуацій. Особливу увагу слід приділити створенню матеріальної бази для забезпечення захисту населення в таких умовах.

## 6. ВАРТІСНЕ ОЦІНЕННЯ ВИТРАТ НА ВИКОНАННЯ РОБІТ У МЕХАНІЗОВАНОМУ ПРОЦЕСІ ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ-ДОВГУНЦЯ

Результати досліджень показали, що тривалість ( $t_{no}$ ) природно дозволеного фонду часу для виконання механізованих процесів збирання льону-довгунця є імовірнісною величиною, що має певні статистичні характеристики. У зв'язку з цим планування обсягів робіт для механізованих процесів збирання в конкретному сільськогосподарському підприємстві (СГП), яке здійснюється для комплексу машин із визначеними параметрами, має враховувати цю особливість.

Традиційно обсяги й терміни виконання робіт для комплексу машин визначаються на основі усереднених показників. Однак, враховуючи мінливість агрометеорологічних умов, зокрема ( $t_{no}$ ), таке планування може призводити до ситуацій, коли використання машинного комплексу на заданій площі культур у СГП є ефективним, несвоєчасним або супроводжується простоем техніки.

Зокрема, якщо  $t_{пд} > t_{пд}$  перевищує середнє значення (математичне сподівання), це призводить до простою техніки через відсутність роботи. Навпаки, якщо  $t_{пд} < t_{пд}$  зменшується порівняно із середнім значенням, виникає ризик несвоєчасного виконання робіт і, відповідно, технологічних втрат.

Для підтвердження цих висновків будуть виконані розрахунки щодо визначення планової площі посівів льону-довгунця в СГП для комплексу машин із заданими параметрами. Наприклад, розглядається комплекс техніки, сформований на базі тракторів Т-25 та МТЗ-82 (табл. 6.1).

Виходячи із усереднених термінів настання ранньої жовтої фази стиглості) (див. п.4.2) розпочинати механізований процес збирання необхідно 19 липня (200 доба). Оскільки, якісний врожай льону-довгунця з мінімальними втратами можна отримати під час реалізації механізованих процесів збирання у

Таблиця 6.1 – Структура комплексу машин для механізованих процесів збирання льону-довгунця (за комбайновою технологією)

№ з/п	Назва робіт	Площа, га	Початок робіт, доба	Агротехнічна тривалість робіт, дів	Коеф. змінності	Марка трактора	Марка машини	К-ть працівн., чол.	К-ть доп. працівн., чол.	Годинна продуктивність (W <sub>год.</sub> ),га,т/км	Питома витрата палива, кг/га
1	Збирання льону-довгунця з розстиланням соломки на льониці	49	19.Лип	14	1.5	МТЗ-82	ЛК-4А	1	0	0.47	15.60
2	Транспортування лляного вороху	49	19.Лип	14	1.5	МТЗ-82	2-ПТС-4	1	0	4.05	3.20
3	Перше обертання стрічки льону-довгунця	49	29.Лип	10	1.5	Т-25А	ОСН-1	1	0	0.65	2.90
4	Друге обертання стрічки льону-довгунця	49	07.Сер	10	1.5	Т-25А	ОСН-1	1	0	0.65	2.90
5	Третє обертання стрічки льону-довгунця	49	17.Сер	10	1.5	Т-25А	ОСН-1	1	0	0.65	2.90
6	Піднімання трести (рулонне)	49	18.Сер	10	1.5	МТЗ-82	ПРП-1.6	1	0	0.40	14.50
7	Наванаження рулонів на ТЗ	49	18.Сер	10	1.5	МТЗ-82	ПФ-0.5	1	0	6.20	4.10

ранній жовтій та жовтій фазах стиглості, встановлюємо на основі усереднених показників тривалості цих фаз  $t_{nd}$  становитиме – 14 діб.

На основі усереднених результатів імітаційного моделювання процесів механізованого збирання льону-довгунця (див. п.4.3) нами вибрано планову площу збирання, яка становить 49 га.

Відповідно до встановленої площі робіт, а також початкових даних вартісного оцінення експлуатаційних витрат (дод. Б) визначено питомі експлуатаційні витрати на виконання відповідного обсягу робіт збирання льону-довгунця.

Питомі експлуатаційні витрати ( $B_{тн}$ ) СГП на функціонування машинного агрегату під час виконання, для прикладу, операції збирання льону-довгунця з розстиланням соломки на льонищі визначають за формулою [15, 20]:

$$B_{тн} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (6.1)$$

де  $C_1$  – оплата праці тракториста, грн/га;  $C_2$  – вартість витрачених паливно-мастильних матеріалів, грн/га;  $C_3$  – відрахування на амортизацію трактора і сільськогосподарської машини, грн/га;  $C_4$  – відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн/га.

Питомі витрати коштів на оплату праці тракториста становить:

$$C_1 = \frac{m\Pi}{W^{год}}, \quad (6.2)$$

де  $m$  – кількість робітників, які обслуговують агрегат;  $n$  – оплата праці за годинну норму виробітку, грн/год;  $W^{год}$  - годинна продуктивність МТА, га/год;

Відповідно до сформованих початкових даних (табл. 6.1) виконаємо розрахунок експлуатаційних витрат для площі – 49 га та операції збирання льону-довгунця з розстиланням соломки на льонищі, за умови що зайнятість трактора на цій операції становить – 0,067 (тобто 6,7% від річного фонду часу).

За формулою (6.2) визначаємо питомі витрати коштів на оплату праці тракториста.



$$C_1 = \frac{(1 \cdot 136,05) + (1 \cdot 108,84)}{0,47} = 521,06 \text{ грн/га.}$$

Вартість паливо-мастильних матеріалів визначається за формулою:

$$C_2 = C_k \cdot Q, \quad (6.3)$$

де  $C_k$  - комплексна ціна одного кілограма палива, грн./кг.;  $Q$  - витрата паливно-мастильних матеріалів, кг/га.

$$C_2 = 50 \cdot 15,6 + 150 \cdot 0,1 = 795,00 \text{ грн/га.}$$

Відрахування на амортизацію [15, 20]:

$$C_3 = \frac{K'' \cdot a \cdot k}{100 \cdot S_\phi}, \quad (6.4)$$

де  $K''$  – балансова вартість трактора (машини), грн;  $a$  - норма відрахувань на амортизацію машини, %;  $k$  - коефіцієнт зайнятості трактора (машини) на технологічних операціях у господарстві;  $S_\phi$  – обсяг робіт, га.

Норма відрахувань на амортизацію машини приймаємо для трактора  $a = 15\%$  та для с.г. машини  $a = 12\%$ ; коефіцієнт зайнятості для трактора  $k_{rm} = 0,067$ , для с.г. машини відповідно –  $k_{rm} = 1$ .

- для трактора:

$$C_{31} = \frac{750000 \cdot 15 \cdot 0,067}{100 \cdot 49} = 153,83 \text{ грн/га.}$$

- для льонокомбайна:

$$C_{32} = \frac{240000 \cdot 12 \cdot 1}{100 \cdot 49} = 587,76 \text{ грн/га.}$$

Відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування визначають за формулою:

$$C_4 = \frac{K'' \cdot p}{W_{\text{год}} \cdot T}, \quad (6.5)$$

де  $p$  - норма відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування для трактора  $p = 0,099\%$  та льонокомбайна  $p = 0,05\%$ ;  $T$  - нормативне річне завантаження для трактора  $T = 1350$  год та льонокомбайна  $T = 60$  год.

Визначаємо відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування у варіанті без вдосконалення

- для трактора:

$$C_{41} = \frac{750000 \cdot 0,099}{0,47 \cdot 1350} = 117,02 \text{ грн/га};$$

- для льонокомбайна:

$$C_{42} = \frac{240000 \cdot 0,05}{0,47 \cdot 60} = 425,53 \text{ грн/га}.$$

Отже визначаємо питомі експлуатаційні витрати ( $B_{тн}$ ) СГП на виконання технологічної операції збирання льону-довгунця з розстиланням соломки на льониці та функціонування машинного агрегату:

$$B_{тн} = 521,06 + 795,00 + 153,83 + 587,76 + 117,02 + 425,53 = 2600,19 \text{ грн/га};$$

За аналогічною методикою виконано розрахунки для інших операцій, отримані результати зводимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати вартісного оцінення загальних експлуатаційних витрат на виконання механізованого процесу збирання льону-довгунця

№ з/п	Назва показника	Розмірність	Питомі витрати, грн/га	Витрати на всій площі культури, грн.
1	Амортизаційні відрахування	грн/га	3279,43	160692,07
2	Відрахування на ремонт та ТО	грн/га	1149,63	56331,87
3	Витрати на зарплату	грн/га	1351,77	66236,73
4	Витрати на ПММ	грн/га	2410,00	118090,00
	<b>Експлуатаційні витрати</b>	грн/га	<b>8190,73</b>	<b>401345,77</b>

Таким чином, виконання вищенаведених розрахунків дає змогу встановити питомі експлуатаційні витрати коштів на виконання механізованого процесу збирання льону-довгунця. Сумарна потреба у коштах для виконання цих робіт на площі 49 га становитиме – 401345,77 грн.

Необхідно також зазначити, що традиційно для визначення потрібної кількості техніки для виконання множини робіт, які передбачені технологією механізованого вирощування сільськогосподарських культур, використовуються детерміновані методи.

Однак, такий підхід не застерігає СГП від ймовірності того, що за тривалих несприятливих агрометеорологічних умов наявний парк техніки дасть змогу виконати роботи вчасно та буде простоювати без роботи (рис. 6.1). Відповідно до цього, така специфіка процесу механізованого збирання льону-ловгунцю зумовлює потребу використання методів ситуаційного прийняття рішень.

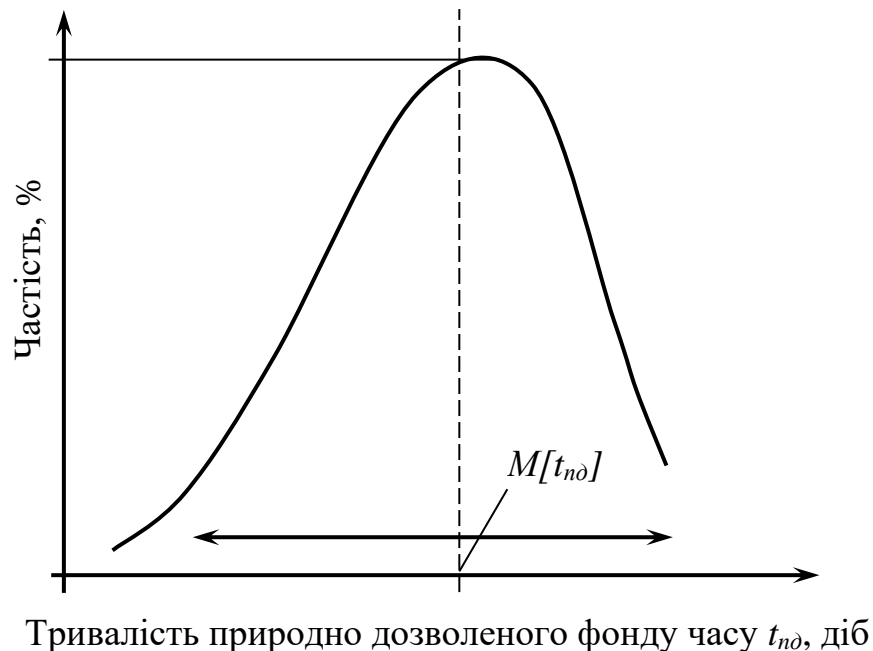


Рисунок 6.1 – Межі відхилення випадкової величини  $t_{nd}$  від її усередненого значення

Таким чином, вартісне оцінення витрат на виконання процесу механізованого збирання льону-ловгунцю на підставі детермінованих показників щодо обсягів робіт у реальних виробничих умовах може бути дещо іншим. Це

відхилення зумовлене стохастичною дією агрометеорологічної складової, а відтак призводить до технологічного ризику.

### **Висновки до розділу 6**

1. Використання методики вартісного оцінювання експлуатаційних витрат підприємства на виконання процесу механізованого збирання льону-довгунця дозволило визначити витрати на оплату праці тракториста, вартість паливно-мастильних матеріалів, а також витрати на амортизацію, технічне обслуговування та ремонт машинних агрегатів.

2. Загальна потреба у фінансуванні для виконання цієї технологічної операції на площі 49 га становить 401345,77 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У сучасному світі спостерігається тенденція до скорочення площ посівів льону-довгунця вдвічі. Однак завдяки впровадженню новітніх технологій вдалося вдвічі підвищити врожайність льоноволокна — з 6–7 до 12–14 ц/га.

2. Чинні методи та моделі дослідження процесів механізованого збирання сільськогосподарських культур, на жаль, не враховують сукупного впливу основних груп чинників, що визначають ефективність процесу збирання льону-довгунця.

3. Встановлено, що ефективність механізованого процесу збирання льону-довгунця залежить від низки чинників, серед яких основними є: предметний, агрометеорологічний, технологічний, природно-виробничий та технічний. Ці чинники класифікуються як керовані, частково керовані та некеровані.

4. Для оцінки експлуатаційних показників механізованих процесів збирання льону-довгунця необхідно враховувати їх специфіку. Вона полягає в стохастичному впливі агрометеорологічних умов на предмет праці, який може перебувати в одному з двох станів: придатний для збирання; непридатний для збирання. Це стосується кожної фази стиглості льону-довгунця.

5. Процес моделювання на ПК включає такі етапи: формулювання мети моделювання; розробка концептуальної моделі; підготовка початкових даних; створення математичної моделі; вибір методу моделювання; вибір засобів моделювання; розробка програмної моделі; перевірка адекватності та корекція моделі; планування машинних експериментів; проведення моделювання; аналіз результатів.

6. Дослідження експлуатаційних характеристик механізованих процесів збирання здійснюється з використанням статистичної імітаційної моделі, яка враховує вплив агрометеорологічних умов на стан предмета праці та можливість виконання операцій.

7. Використання даних метеорологічної станції дозволило сформуванати початкові дані для кількісної оцінки впливу агрометеорологічної та предметної складових механізованого процесу збирання льону-довгунця.

8. Методи математичної статистики та кореляційно-регресійного аналізу дали змогу виконати математичну обробку даних метеорологічної станції та формалізувати характеристики агрометеорологічної та предметної складових механізованого процесу збирання льону-довгунця.

9. Аналіз даних метеорологічної станції показав, що тривалість погожих і непогожих проміжків у календарний період з 1 липня до 31 серпня за 25 років (1998–2023 рр.) узгоджується з теоретичним законом розподілу Вейбулла. Основні статистичні характеристики цих розподілів включають оцінки математичного сподівання –  $M[t_{noz}] = 6,335$  доби та  $M[t_n] = 2,635$  доби; оцінки середньоквадратичного відхилення –  $\sigma[t_{noz}] = 4,894$  доби та  $\sigma[t_n] = 1,470$  доби; довірчий інтервал становить  $t_{noz} = 1 \dots 28$  діб та  $t_n = 1 \dots 8$  діб.

10. Вплив агрометеорологічних характеристик на ефективність процесу механізованого збирання льону-довгунця проявляється через природно дозволений фонд часу, який має мінливий характер (див. рис. 4.1–4.3). Отримані результати забезпечують вирішення завдань, поставлених у магістерській роботі.

11. Використання методики вартісного оцінювання експлуатаційних витрат підприємства на виконання процесу механізованого збирання льону-довгунця дозволило визначити витрати на оплату праці тракториста, вартість паливно-мастильних матеріалів, а також витрати на амортизацію, технічне обслуговування та ремонт машинних агрегатів. Загальна потреба у фінансуванні для виконання цієї технологічної операції на площі 49 га становить 401345,77 грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильків І. М. Основи теорії ймовірностей і математичної статистики : навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 184 с.
2. Вітвіцький В. В., Демчак І. М., Пивовар В. С. Типові норми продуктивності і витрат палива на збиранні сільськогосподарських культур. Київ: НДІ «Украгропромпродуктивність», 2005. 544 с.
3. Галузева програма розвитку льонарства в Україні на 2006 – 2010 роки. URL: <http://www.minagro.gov.ua/> (дата звернення: 07.08.2024).
4. Грибинюк О.М. Дослідження умов функціонування і розробка методу оптимізації парку зернозбиральних комбайнів сільськогосподарського підприємства: Автореф. дис... канд. техн. наук: 50.20.01. ІМЕСГ. Глеваха., 1994. 16 с.
5. Демчук В. Льонарство: Шляхи виходу з кризи. *Пропозиція*. 1999. №6. С.24-26.
6. Державна служба статистики України URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 07.08.2024).
7. Євмінов А.М., Карпунець І.П. та ін. Довідник по технічних культурах. Київ: Урожай, 2009. 265с.
8. Єременко В. С., Куц Ю. В., Мокійчук В. М., Самойліченко О. В. Статистичний аналіз даних вимірювань: навч. посіб. Київ: НАУ, 2013. 320 с.
9. Жидецький В.Н., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 2001. 349 с.
10. Кирилюк Р. М. Зміна якості льонотрести в процесі її приготування і зберігання : дис. ... канд. с.-г. наук : 05.18.03. Київ, 1994. 196 с.
11. Костюк В. О. Прикладна статистика: навч. Посібник. Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 191 с.
12. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993. 220 с.

13. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 141 с.
14. Макаєв В., Гілязетдінов Р., Сірий В. Роздільне збирання льону-довгунцю. Пропозиція. 2000. № 1. С. 84–85.
15. Марченко В. Методика визначення показників економічної ефективності використання комплексів машин та машинно-тракторного парку. Збірник наук.пр. НАУ. *Механізац. с.г. ви-ва.* Т.ХІV. 2003. С. 189-194.
16. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і західного регіону України / [редкол. : М. В. Зубець (гол. редколегії) та ін.]. Київ : Урожай, 2004. 560 с.
17. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Вольвач О. В. Основи агрометеорології: Підручник. Одеса : Видавництво ТЕС, 2012. 250 с.
18. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник / Пістун І.П., Березовецький А.П., Тимочко В.О., Городецький І.М.; за ред. І.П. Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2017. Ч.1. 620 с.
19. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур: підручник. 5-те вид., виправ., допов. Львів: НВФ «Українські технології», 2020. 806 с.
20. Про затвердження Методики обчислення вартості машино-дня та збитків від простою машин” постанова Кабінету міністрів України від 12 липня 2004 р. N 885.
21. Сидорчук О. В., Сенчук С. Р. Інженерний менеджмент: системотехніка виробництва: навч. посібник. Львів: Львів. ДАУ, 2006. 127с.
22. Сидорчук О., Панюра Я., Ціп Є. Модель погодних умов збирання зернових. Вісник Львів. ДАУ: *Агроінженерні дослідження.* № 2. Львів: Львів. ДАУ, 1998. С. 5-8.
23. Сидорчук О., Тимочко В., Ціп Є. Імітаційна модель роботи зернозбирального комбайна впродовж сезону. Вісник Львів. ДАУ: *Агроінженерні дослідження.* №5. Львів: Львів ДАУ, 2001. С.17-26



24. Сидорчук О., Шарибура А. Імовірнісні явища та події у процесі збирання льону-довгунця. Вісник Львівського національного аграрного університету : *Агроінженерні дослідження*. 2008. Т.1, № 12. С.55–62.

25. Сидорчук О., Шарибура А. Переваги і недоліки механізованих технологій збирання льону. Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: *Агроінженерні дослідження*. 2004. №8. С.66-71.

26. Тимочко В., Ленховський С., Мицик М. Вплив термінів збирання на втрати врожаю ярого ячменю // Вісник Львів. держ. агр. ун-ту. *Агроінженерні дослідження*. №4. Львів, 2000. С. 67-72.

27. Уривський Л.О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях: навч. посіб. / Л.О. Уривський, А.В. Мошинська, С.О. Осипчук. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 202 с.

28. Хайліс Г., Проценко Ю., Залужний В. Технологічні аспекти вдосконалення вирощування і збирання льону-довгунцю. *Техніка АПК*. 2003. №3. С. 4-6.

29. Ціп Є. І. Сезонна програма комбайна і ризик у процесі централізованого збирання ранніх зернових: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22. Львів, 2002. 182 с.

30. Шарибура А. О. Управління змістом та часом у проектах з технологічним ризиком (стосовно збирання льону-довгунця): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22 Львів, 2010. 20 с.

31. Lub P., Sharybura A., Sydorчук L., et al., Information-analytical system of plants harvesting project management, in: CEUR Workshop Proceedings, 2020. № 2565, Pp. 244 - 253.

32. Tryhuba A., Hutsol T., Mudryk K., Nurek T., Golebiewski J., Lub P., Głowacki S., Sharybura A.O., Tryhuba I., Kucher O., Mykhailova L., Rud A. Planning of soil-based processes based on modeling. Monograph. Warszawa, 2020. 138 s.

# ДОДАТКИ

## Додаток А.

**Результати математичного опрацювання даних основних виробничих спостережень  
та комп'ютерних експериментів**

Таблиця А.1 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу погожих проміжків часу

№	Униз	Уверх	У <sub>і</sub>	М(і)	Р <sub>і</sub>	У <sub>і</sub> *Р <sub>і</sub>	(У <sub>і</sub> -У <sub>с</sub> ) <sup>2</sup> *Р <sub>і</sub>	f(y)	Теоретична частість
1	1,0	4,9	2,9	41	0,532	1,559	6,178	0,13118869	0,506
2	4,9	8,7	6,8	19	0,247	1,674	0,050	0,07018433	0,271
3	8,7	12,6	10,6	9	0,117	1,244	2,169	0,03327868	0,128
4	12,6	16,4	14,5	4	0,052	0,753	3,463	0,01495351	0,058
5	16,4	20,3	18,4	2	0,026	0,477	3,754	0,00648909	0,025
6	20,3	24,1	22,2	1	0,013	0,288	3,275	0,00274393	0,011
7	24,1	28,0	26,1	1	0,013	0,339	5,059	0,00113652	0,004
				77	1	6,335	23,949		1,003

Закон розподілу - *Вейбулла*

Математичне сподівання	У <sub>с</sub>	6,335	Число ступенів вільності	r	3
Дисперсія	D	23,949	Рівень значимості	α	0,100
Серед.-квдр. відхилення	σ	4,894	Хі-квадрат розрахункове	Х <sup>2</sup>	1,737
Коефіцієнт варіації	v	0,917	Хі-квадрат табличне	(Х*) <sup>2</sup>	6,251
Параметр мірила	a	5,516	Коефіцієнт	Kb	0,967
Параметр форми	b	1,105	Коефіцієнт	Cb	0,887
			Коефіцієнт	b/a	0,200

Таблиця А.2 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу непогожих проміжків часу

№	Униз	Уверх	Уі	М(і)	Рі	Уі*Рі	(Уі-Ус)^2*Рі	f(y)	Теоретична частість
1	1,0	2,0	1,5	41	0,461	0,691	0,593	0,44084646	0,441
2	2,0	3,0	2,5	23	0,258	0,646	0,005	0,27395259	0,274
3	3,0	4,0	3,5	11	0,124	0,433	0,093	0,14876758	0,149
4	4,0	5,0	4,5	6	0,067	0,303	0,235	0,07617958	0,076
5	5,0	6,0	5,5	4	0,045	0,247	0,369	0,03756450	0,038
6	6,0	7,0	6,5	2	0,022	0,146	0,336	0,01801275	0,018
7	7,0	8,0	7,5	2	0,022	0,169	0,532	0,00844708	0,008
				89	1	2,635	2,162		1,004

Закон розподілу - *Вейбулла*

Математичне сподівання	$Ус$	2,635	Число ступенів вільності	$r$	3
Дисперсія	$D$	2,162	Рівень значимості	$\alpha$	0,100
Серед.-квадр. відхилення	$\sigma$	1,470	Хі-квадрат розрахункове	$X^2$	2,926
Коефіцієнт варіації	$v$	0,899	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	6,251
Параметр мірила	$a$	1,702	Коефіцієнт	$Kb$	0,961
Параметр форми	$b$	1,128	Коефіцієнт	$Cb$	0,864
			Коефіцієнт	$b/a$	0,663

Таблиця А.3 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу припинення роси в липні місяці

№	Униз	Уверх	Уі	М(і)	Рі	Уі*Рі	(Уі-Ус)^2*Рі	f(y)	Теоретична частість
1	7,08	7,93	7,50	2	0,016	0,121	0,132	0,00463868	0,004
2	7,93	8,77	8,35	5	0,040	0,337	0,163	0,04495360	0,038
3	8,77	9,62	9,19	16	0,129	1,186	0,176	0,19793844	0,167
4	9,62	10,46	10,04	41	0,331	3,320	0,034	0,39599609	0,335
5	10,46	11,31	10,89	43	0,347	3,775	0,096	0,35995379	0,304
6	11,31	12,15	11,73	15	0,121	1,419	0,227	0,14866123	0,126
7	12,15	13,00	12,58	2	0,016	0,203	0,079	0,02789612	0,024
				124	1	10,361	0,907		0,998

Закон розподілу - *Нормальний*

Математичне сподівання	<b>Ус</b>	10,36	Число ступенів вільності	<b>r</b>	4
Дисперсія	<b>D</b>	0,91	Рівень значимості	<b>α</b>	0,100
Серед.-квадр. відхилення	<b>σ</b>	0,95	Хі-квадрат розрахункове	<b>Х²</b>	6,870
Коефіцієнт варіації	<b>v</b>	0,092	Хі-квадрат табличне	<b>(Х*)²</b>	7,779
Параметр мірила	<b>a</b>	9,560	Коефіцієнт	<b>Kb</b>	0,973
Параметр форми	<b>b</b>	7,927	Коефіцієнт	<b>Cb</b>	0,100
			Коефіцієнт	<b>b/a</b>	0,829

Таблиця А.4 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу припинення роси в серпні місяці

№	Униз	Уверх	У <sub>i</sub>	М(i)	P <sub>i</sub>	У <sub>i</sub> *P <sub>i</sub>	(У <sub>i</sub> -У <sub>c</sub> ) <sup>2</sup> *P <sub>i</sub>	f(y)	Теоретична частість
1	5,17	6,43	5,80	2	0,013	0,076	0,279	0,00218351	0,003
2	6,43	7,69	7,06	3	0,020	0,139	0,221	0,02124786	0,027
3	7,69	8,95	8,32	18	0,118	0,986	0,514	0,10043940	0,127
4	8,95	10,22	9,59	42	0,276	2,648	0,187	0,23063366	0,291
5	10,22	11,48	10,85	52	0,342	3,711	0,066	0,25725916	0,325
6	11,48	12,74	12,11	28	0,184	2,230	0,533	0,13939545	0,176
7	12,74	14,00	13,37	7	0,046	0,616	0,404	0,03669069	0,046
				152	1	10,407	2,204		0,994

Закон розподілу - *Нормальний*

Математичне сподівання	У <sub>c</sub>	10,41	Число ступенів вільності	<i>r</i>	4
Дисперсія	<i>D</i>	2,20	Рівень значимості	<i>α</i>	0,100
Серед.-квадр. відхилення	<i>σ</i>	1,48	Хі-квадрат розрахункове	<i>X</i> <sup>2</sup>	6,656
Коефіцієнт варіації	<i>v</i>	0,143	Хі-квадрат табличне	( <i>X</i> <sup>*</sup> ) <sup>2</sup>	7,779
Параметр мірила	<i>a</i>	10,508	Коефіцієнт	<i>Kb</i>	0,950
Параметр форми	<i>b</i>	6,540	Коефіцієнт	<i>Cb</i>	0,141
			Коефіцієнт	<i>b/a</i>	0,622

Таблиця А.5 – Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу появи опадів після обіду

№	Униз	Уверх	У <sub>i</sub>	М(i)	P <sub>i</sub>	У <sub>i</sub> *P <sub>i</sub>	(У <sub>i</sub> -У <sub>с</sub> ) <sup>2</sup> *P <sub>i</sub>	f(y)	Теоретична частість
1	12,47	14,15	13,31	3	0,048	0,644	1,332	0,01154250	0,019
2	14,15	15,82	14,99	5	0,081	1,208	1,028	0,05014561	0,084
3	15,82	17,50	16,66	9	0,145	2,419	0,520	0,12459960	0,209
4	17,50	19,18	18,34	19	0,306	5,620	0,014	0,17707243	0,297
5	19,18	20,85	20,02	16	0,258	5,165	0,550	0,14392487	0,241
6	20,85	22,53	21,69	10	0,161	3,499	1,587	0,06690696	0,112
				62	1	18,555	5,032		0,963

Закон розподілу - *Нормальний*

Математичне сподівання	У <sub>с</sub>	18,55	Число ступенів вільності	<i>r</i>	3
Дисперсія	<i>D</i>	5,03	Рівень значимості	<i>α</i>	0,100
Серед.-квадр. відхилення	<i>σ</i>	2,24	Хі-квадрат розрахункове	<i>X</i> <sup>2</sup>	5,340
Коефіцієнт варіації	<i>v</i>	0,121	Хі-квадрат табличне	( <i>X</i> <sup>*</sup> ) <sup>2</sup>	6,251
Параметр мірила	<i>a</i>	18,179	Коефіцієнт	<i>Kb</i>	0,960
Параметр форми	<i>b</i>	7,100	Коефіцієнт	<i>Cb</i>	0,123
			Коефіцієнт	<i>b/a</i>	0,391

## Додаток В

Таблиця В.1 – Початкові дані вартісного оцінення експлуатаційних витрат комплексу машин для механізованого процесу збирання льону-довгунця сформованого на базі тркторів Т-25 та МТЗ-82

Перелік операцій та агротехнічні вимоги	Склад агрегату		Вартість машини		Амортизація		Коеф. зайнятості трактора	Коеф. зайнятості машини	ТО і ремонт		Годинна платня		Річне напрацювання	
	трактор, автомобіль	с.-г. машини (їх кількість)	трактор, автомобіль	с.-г. машини (їх кількість)	трактор, автомобіль	с.-г. машини (їх кількість)			трактор, автомобіль	с.-г. машини (їх кількість)	Трактористів	Допоміжних робітників	трактор, автомобіль	с.-г. машини (їх кількість)
Збирання льону-довгунця з розстиланням соломки на льонищі	МТЗ-82	ЛК-4А	750000	240000	15	12	0,1472	1	0,099	0,05	136,05	0	1350	60
Транспортування лляного вороху	МТЗ-82	2-ПТС-4	750000	160000	15	12	0,0135	0,4	0,099	0,13	136,05	0	1350	800
Перше обертання стрічки льону-довгунця	Т-25А	ОСН-1	250000	85000	15	12	0,0798	0,33	0,114	0,05	136,05	0	1350	60
Друге обертання стрічки льону-довгунця	Т-25А	ОСН-1	250000	85000	15	12	0,0798	0,33	0,114	0,05	136,05	0	1350	60
Третє обертання стрічки льону-довгунця	Т-25А	ОСН-1	250000	85000	15	12	0,0798	0,33	0,114	0,05	136,05	0	1350	60
Піднімання трести (рулонне)	МТЗ-82	ПРП-1.6	750000	140000	15	12	0,1297	0,3	0,099	0,08	136,05	0	1350	100
Наванаження рулонів на ТЗ	МТЗ-82	ПФ-0.5	750000	90000	15	12	0,0067	0,3	0,099	0,13	136,05	0	1350	600