

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет \_\_\_\_\_ конструювання та дизайну \_\_\_\_\_  
УДК 631.354:629.017-047.37

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри  
надійності техніки  
(назва кафедри)

доц. \_\_\_\_\_ Новицький А.В.  
(підпис) (ПБ)  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на «Дослідження надійності функціонування кормозбиральних агрегатів  
як складних технічних систем»**

Спеціальність \_\_\_\_\_ 133 - «Галузеве машинобудування» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_  
Магістерська програма «Технічний сервіс машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва» \_\_\_\_\_  
(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ К.Т.Н., доц. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

\_\_\_\_\_ Новицький А.В. \_\_\_\_\_  
(ПБ)

**Керівники магістерської роботи**

\_\_\_\_\_ К.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

\_\_\_\_\_ Новицький А. В. \_\_\_\_\_  
(ПБ керівника)

**Виконав** \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ Маринюк О.А. \_\_\_\_\_  
(ПБ студента)

Форма № Н-9.01

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет \_\_\_\_\_ конструювання та дизайну \_\_\_\_\_

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

К.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_ Новицький А.В.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТА

**Мартинюка Олександра Анатолійовича**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 133 «Галузеве машинобудування» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(назва)

Магістерська програма «Технічний сервіс машини та обладнання  
сільськогосподарського виробництва» \_\_\_\_\_  
(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Дослідження надійності функціонування  
кормозбиральних агрегатів як складних технічних систем»  
затверджена наказом ректора НУБіПУ від «29»12.2023 р. №2401 «С» \_\_\_\_\_

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_ 11.11.2024 р.  
(рік, місяць, число)

3. Вихідні дані магістерської роботи:

Вихідні дані магістерської кваліфікаційної роботи: 1. Складні технологічні системи кормозбиральні агрегати. 2. Типові норми праці на технічне обслуговування і ремонт кормозбиральних агрегатів 3. Перспективні стратегії технічного сервісу кормозбиральних агрегатів. 4. Каталоги кормозбиральних агрегатів. 5. Каталоги ремонтно-технологічного обладнання з ТО та ремонту кормозбиральних агрегатів

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Технологічні системи людина - машина в аграрному виробництві та надійність їх функціонування.
2. Характеристики безвідмовної роботи технологічних систем «людина-машина-середовище» в кормо виробництві.
3. Експериментальна перевірка моделей надійності функціонування кормозбиральних агрегатів

Перелік графічного матеріалу (за потреби) 1. Тема МКР, предмет, об'єкт і методи дослідження. 2. Мета і задачі досліджень МКР. 3 Системи «людина-машина» в аграрному виробництві. 4. Виробництво основних видів с.-г. техніки та її придбання підприємствами України за 2016-2023 р.р. 5. Хронометраж операцій функціонального оперативного діагностування. 6. Система забезпечення надійності кормозбиральних агрегатів. 7. Програма і методика експериментальних досліджень. 8. Аналіз відмов кормозбиральної технологічної системи «Л-М-С-Т». 9. Тимчасові показники моделі формування денної продуктивності кормозбиральних процесів. 10. Результати техніко-економічного обґрунтування. 11. Висновки.

Дата видачі завдання «19» жовтня 2023 р.

Керівники магістерської роботи \_\_\_\_\_

( підпис )

Новицький А.В.

( прізвище та ініціали )

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

( підпис )

Мартинюк О.А.

( прізвище та ініціали студента )

## ЗМІСТ

### ВСТУП

### РОЗДІЛ 1. ЛЮДИНА - МАШИННІ ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ У АГРАРНОМУ ГОСПОДАРСТВІ І НАДІЙНІСТЬ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ (ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ)

1.1. Оснащення аграрних підприємств технікою для кормовиробництва

1.2. Людино-машинні системи в кормовиробництві. Надійність їх функціонування та аналіз

1.2.1. Загальні поняття та визначення

1.2.2. Системи «людино-машина» в аграрному виробництві

1.3. Вплив середовища на роботоздатність і продуктивність кормозбиральних агрегатів

1.4. Кількісна оцінка ступеня впливу факторів "середовища" на працездатність кормозбиральних агрегатів

1.5 Системність дослідження технологічних процесів кормозбиральних агрегатів

1.6. Професійна підготовка механізаторів та їх взаємозв'язок з кормозбиральним агрегатом

### РОЗДІЛ 2. НАДІЙНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

2.1. Застосування марківських ланцюгів для фізичного моделювання технологічного сільськогосподарського процесу

2.2. Характеристики безвідмовної роботи технологічної системи «людина-машина-середовище» в кормовиробництві

### РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Загальна методика обробки експериментальних даних кормозбиральних агрегатів

3.2. Вдосконалення методики розрахунків параметрів надійності

функціонування технологічного процесу кормозбиральних агрегатів

3.3. Методика підрахунку інтенсивності відновлення роботоздатності кормозбиральних агрегатів під впливом складової "середовище"

3.4. Особливості розрахунків характеристик надійності функціонування кормозбиральних агрегатів

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ

4.1. Результати експериментальних досліджень кормозбиральних агрегатів

4.2. Умови і місце проведення хронометражних спостережень надійності кормозбиральних агрегатів

4.3. Характерні відмови кормозбиральних агрегатів за компонентами

4.4. Обґрунтування та ранжування показників оцінки рівня професійної підготовленості операторів кормозбиральних агрегатів

4.5. Експериментальна перевірка моделей надійності функціонування кормозбиральних агрегатів

4.6. Оцінка часу на усунення відмов системи «Кормозбиральний процес» під впливом складових «людина», «машина», «транспорт»

4.7. Статистичні характеристики надійності функціонування агрегатів для заготівлі кормів та їх параметрів

4.8. Продуктивність кормозбиральних агрегатів та їх зв'язок з параметрами надійності функціонування технологічного процесу

4.9. Взаємозв'язки показників моделі формування денної продуктивності агрегату з параметрами надійності функціонування технологічних процесів

4.10. Вплив складової «людина-оператор» на функціонування та продуктивність кормозбиральних агрегатів

## РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ З

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

5.1. Загальні принципи перерахунку кормозбиральних агрегатів як складних систем

ВИСНОВКИ

Список використаної літератури

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АПК - агропромисловий комплекс;

ЛМСТ – людина-машина-середовище-транспорт;

ЛМС – людина-машина-середовище;

МЕЗ – мобільний енергетичний засіб;

МТА – машинно-тракторних агрегатів;

МТП – машинно-тракторний парк;

СТС – складна технічна система;

ТО – технічне обслуговування;

ТОР – технічне обслуговування і ремонт.

## ВСТУП

Від ефективної роботи всіх елементів АПК залежить продовольча безпека країни. Основними з них є сільське господарство та переробна промисловість. В них зосереджено чверть основних фондів, 30% кількості працюючих у матеріальній сфері, понад 70% споживчих товарів. Ці галузі забезпечують населення продуктами харчування, товарами народного споживання, а промисловість - сировиною. Сільський сектор економіки багато в чому визначає ефективність функціонування всіх галузей народного господарства країни.

Сільськогосподарське виробництво являє собою складну, ієрархічну, багаторівневу, динамічну соціально-економічну систему, що складається з багатьох різних підсистем, які, у свою чергу, включають неможливі підмножини. Їх характер визначається напрямом промисловості, матеріально-технічними і кадровими ресурсами, природно-кліматичними факторами та економікою виробництва. Відомо, що врахувати всі фактори, які впливають на сільськогосподарське виробництво, практично неможливо. Тим не менше, досліджуваний системний принцип дозволяє більш точно і всебічно аналізувати досліджувані явища.

Із загальної системи виробник с/г виробництва, можна виділити основні складові (ланки, підсистеми), працездатність яких визначає працездатність усього комплексу технологічних процесів і операцій. Такою системою можна вважати функціонування технічних засобів виробництва, зокрема МТА. Від раціонального використання МТА значною мірою залежить ефективність сільськогосподарського виробництва. В той же час, реформування сільського господарства, внесене в його структуру багатокладності. До останнього часу МТА вивчали переважно з позицій технічних можливостей агрегату машини та її сервісного обслуговування. Здійснювалась, так звана, "техногенна" спрямованість функціонування МТП. Машинно-тракторний агрегат

розглядався як технічна система - "трактор-зчіпка-робочий засіб". При цьому установка управляється людиною (оператором, механіком тощо) і працює в певних умовах зовнішнього середовища. У зв'язку з цим визначення причин відмови технологічної системи та виявлення резервів підвищення ефективності її роботи доцільно здійснювати на основі системних досліджень, а функціонування технологічних процесів – представлена у вигляді системи «людина-машина-середовище» (Л-М-С). При цьому особливий інтерес представляють процеси технологічних систем, що здійснюються МТА у рослинництві.

Метою роботи є підвищення надійності використання кормозбиральних агрегатів за рахунок удосконалення процесу функціонування технологічних систем «людина-машина-середовище».

Об'єктом дослідження є технологічні процеси в кормозбиранні, які здійснюються мобільними технічними засобами в системі «людина-машина-середовище».

Предмет дослідження – закономірності та статистичні характеристики параметрів надійності технологічних систем «людина-машина-середовище» в рослинництві.

Публікації:

Новицький А.В., Мартинюк О. А., студент магістратури, Національний університет біоресурсів і природокористування України. (м. Київ, Україна) «Дослідження надійності функціонування кормозбиральних агрегатів як складних технічних систем».

## **РОЗДІЛ 1. ЛЮДИНА - МАШИННІ ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ У АГРАРНОМУ ГОСПОДАРСТВІ І НАДІЙНІСТЬ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ (ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ)**

### **1.1. Оснащення аграрних підприємств технікою для кормовиробництва**

Останніми роками рівень механізації сільськогосподарського виробництва значно знизився. Виробництво тракторів порівняно з 2016 р. скоротилося у 2,44 рази, кормозбиральних комбайнів - у 3. Аналогічне становище з плугами, культиваторами та іншою технікою. Через складне фінансове становище скоротилося і придбання господарствами техніки (рис. 1.1.)

Енергоозброєність праці працівників сільського господарства на 100 га ріллі складає 30 л.с. Це в 1,5 раза менше від потрібного. Якщо завершення комплексної механізації в Україні необхідно мати на 1000 га ріллі 16 тракторів та 8 кормозбиральних машин, то зараз тракторів доводиться лише 11 а комбайнів 5 шт. Нормативні потреби в тракторах, вантажних автомобілях, сівалках, кормозбиральних комбайнах, преспідборгциках, плугах та ін. задовольняються лише з 50...75%.

В останні роки припинено випуск багатьох машин. У жодній галузі рослинництва комплексну механізацію не завершено. Рівень механізації таких культур як овочі та картопля не перевищує 25 і 43%. Колишня система машин для комплексної механізації сільськогосподарського виробництва освоєна лише на 60...65%). Не вирішено питання про шлейф машин та знарядь для тракторів К-701 та Т-150. Не виконані завдання щодо організації виробництва машин для обробітку кормових культур за інтенсивними технологіями. З 113 найменувань рекомендованих машин було заплановано до випуску лише 59.

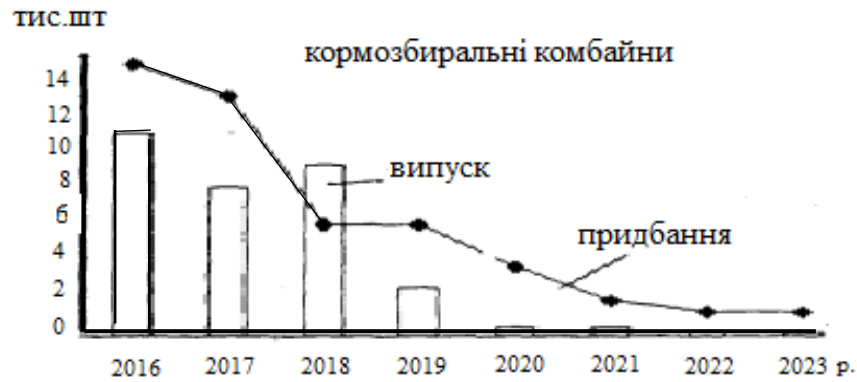


Рис. 1.1. Виробництво основних видів с.-г. техніки та її придбання підприємствами України за 2016-2023 р.р. тис.шт.

Безсистемне завезення техніки призвело до того, що найчастіше трактори експлуатуються в господарствах з невідповідним шлейфом машин. Наявність у складі МТП великої кількості застарілих машин викликає зростання матеріальних витрат за механізовані роботи. Незадовільне становище справ і з випуском техніки для зональних умов. Рівень реалізації зональних систем машин вбирається у 50...60%.

Надійність і технічний рівень більшості машин низькі, що призводить до їх передчасного зносу. За даними випробувань та з експертних оцінок близько 70% техніки для польництва не відповідає світовим стандартам. Через низьку якість виготовлення до 30% машин бракується на контрольних випробуваннях. Приймальні випробування успішно проходять тільки 15...20% досвідчених зразків нової техніки. Світовому рівню відповідає близько 60% сільськогосподарської продукції, що випускається машинобудівниками. Вже в період обкатки першого року експлуатації у половини тракторів, що у господарства, виявляються дефекти і несправності, що виводять їх з ладу тривалий час. Після двох, трьох років експлуатації надійність техніки різко знижується. Залишається досить високим і рівень травматизму під час виробництва та переробки сільськогосподарської продукції.

Понад 60% нещасних випадків із летальним кінцем серед механізаторів зумовлені невідповідністю тракторів та сільгоспмашин показниками з безпеки праці.

Проблема нестачі техніки ускладнюється незадовільною експлуатацією машин. До того ж господарства мають слабку матеріально-технічну базу для проведення ремонту та технічного обслуговування сільськогосподарської техніки, автомобілів та обладнання. Забезпеченість господарств типовими ремонтними майстернями становить трохи більше 60%. Постачання низькоякісної техніки та висока її зношеність вимагають колосальних витрат на підтримку її у працездатному стані, організацію та реалізацію інженерно-технічного сервісу, на задоволення потреб в сільськогосподарських машинах.

Передбачено на українських машинобудівних заводах та конвертованих оборонних підприємствах довести випуск тракторів до 170 тис. од. (Потреба 262 тис.од.).

Ці питання вирішуються спільно з країнами близького зарубіжжя та передбачені міжурядовими угодами. У програмі машинобудування планується забезпечити виробництво та постачання всього комплексу машин для зональних технологій.

Вчені-аграрники посилено шукають шляхи виходу із кризового стану інженерної галузі. Пропонуються нові підходи до вирішення аграрних проблем, розробляються напрями та концепції розвитку механізації, електрифікації сільського господарства, принципи конкурентних конструктивних оформлень машин.

Розгорнуто роботи зі створення нової системи технологій та машин та інженерно-технічного сервісу АПК, функціонування машиннотехнологічних станцій. У СМТ передбачається комплекс машин для всіх технологій від початку до кінця виробничого циклу, нові технології (альтернативні та для кожного виду с.-г. продукції) їх багатоваріантність з урахуванням різнохарактерності с.-г. виробництва, розмірів господарств та зональних умов.

При розробці системи машин та технологій необхідне накопичення матеріалів та створення єдиного банку даних на федеральному та регіональному рівнях за існуючими та розроблюваними в країні технологіями та технічними засобами.

У зв'язку з викладеним виникає гостра необхідність поглибленого дослідження технологічних процесів та машин на основі системного підходу. Враховуючи, що у будь-якому технологічному сільськогосподарському процесі беруть участь люди, техніка, природа доцільно розглядати їх комплексно, системно, тобто. як біомашинну систему "людина-машина-середовище". Результати таких досліджень можуть бути використані для розробки технологій, у соціальній сфері, при конструюванні нових машин та автоматизованих систем з урахуванням природно-кліматичних умов. Особливої значущості набуває вивчення та вдосконалення технологічних процесів, у яких бере участь ще одна людино-машинна ланка - "транспорт" для підвезення матеріалу та відвезення врожаю, що збирається, і на цій основі розробка комплексу заходів щодо поліпшення польових робіт. При цьому "транспорт" може розглядатися як самостійна система "людина-машина-середовище".

Проблем експлуатації МТП безліч. Їх опис у літературі зустрічається досить часто. Досліджуються методи техніка, технологія, виявляються і розробляються нові, поліпшені стосовно організаційних форм ведення сільського господарства, що змінилися, і приналежності основних засобів виробництва, а також з урахуванням природно-кліматичних умов. Досить велика кількість публікацій висвітлює питання автоматизації с.-г. процесів та водіння МТА.

У підручниках та навчальних посібниках, методичній та дослідній літературі, рекомендаціях та іншій технічній бібліографії досить повно освітлені організаційні питання технологічних процесів, всіляких розрахунків складу та структури, як МТП в цілому, так і засобів механізації за циклами польових робіт, економічної їхньої ефективності. Є описи та розрахунки працездатності машин. Однак, слід зауважити, що всі питання, викладені у

зазначених джерелах, розглядаються з погляду технічних можливостей машин, мають "техногенну" спрямованість і лише в небагатьох з них є згадки про системні підходи щодо проблем ЕМТП.

## **1.2. Людино-машинні системи в кормовиробництві. Надійність їх функціонування та аналіз**

### **1.2.1. Загальні поняття та визначення**

Системні дослідження з питань машинокористування засновані на принципі теорії систем. У літературі зустрічається кілька понять "системи". Наприклад, під системою розуміється "будь-яка безліч елементів будь-якої матеріальної природи, яка перебуває у певних відносинах один до одного" або "система - це сукупність взаємодіючих між собою щодо елементарних структур або процесів, об'єднаних у ціле виконанням деякої загальної функції, яка не зводиться до функцій її компонентів". Компоненти системи часто називають елементами. У філософському розумінні, зокрема, систему наук грубо приблизно можна зобразити у вигляді "піраміди", цеглини якої - науки дисциплінарного типу [12]. У словнику з філософії (Радянська Енциклопедія, 1983, 840 с.) система трактується як безліч елементів, що у відносинах і зв'язках між собою, яке утворює цілісність і єдність.

У [12] розглянуто проблеми філософського обґрунтування системних досліджень, наводить таку структурну схему системи:

$$S = \langle W, M, P, R, \alpha, Str(Org), ier, E, G, B, J, C \rangle \quad (1.1)$$

де  $S$  – суттєві ознаки системи як об'єкта дослідження;

$W$  - цілісність системи, що означає наявність інтегральних властивостей;

$M$  -множина членування систем на елементи;

$P, R, \alpha$  - властивості системи, її підсистем та елементів;

*Str(Org)* – структура організації системи;

*ier* - ієрархічна будова;

*E* - взаємовідносини системи із середовищем;

*G* - цілі системи та підсистем;

*B* – опис поведінки системи;

*J* - інформаційний аспект;

*C* – управління системою.

Істотною ознакою системи є цілісність.

Системи функціонують, якщо у роботі механізмів бере участь людина.

Вони мають місце у всіх сферах людської діяльності, галузях народного господарства (машинобудуванні, транспорті, лісовому та сільському господарстві).

Зустрічаються технічні, технологічні, змішані, кібернетичні, автоматизовані, стежать, одно-, дво- та багаторівневі, галузеві та інші системи. Їх аналіз дозволяє порівнювати результати роботи систем, виявляти найкращі.

Відповідно до ДСТУ 2429-94 під системою "людина-машина" розуміється "система, що складається з людини-оператора (групи операторів) та машини, за допомогою якої він (вони) здійснюють трудову діяльність". Будь-який технологічний процес за участю людини та машини класифікується як система, дослідження якої дозволяють виявити резерви виробництва та вдосконалення організаційних її форм, конструкцій машин, що застосовуються. У зв'язку з цим в Україні та багатьох країнах світу розроблено, затверджено та діють різні стандарти на людино-машинні системи. ДСТУ визначено основні поняття та терміни: "людина-машина", "людина-оператор", "засіб відображення інформації", "орган управління" і т.д. (понад п'ятдесят найменувань). Стандартизація основних понять по людино-машинних системах дозволяють систематизувати результати тієї великої експериментальної роботи з системних досліджень, яка проводилася до останнього часу дуже інтенсивно.

У багатьох дослідженнях було вивчено надійність систем, ефективність їх функціонування, експлуатацію, цінні параметри, оціночні показники діяльності оператора, фактори умов праці та режими роботи, оглядовість, реакція та навантаження людини та ціла низка показників, що характеризують працездатність людино-машинної системи.

Системний підхід у дослідженнях різних галузей знань широко поширений. Вченими розроблено загальну теорію систем.

Удосконаленням методів та засобів вимірювання, розширенням математичних теорій, застосування кібернетичних систем та ЕОМ для розрахунків за результатами експериментальних досліджень системність у дослідженнях значно збільшилася.

Основними ознаками будь-якої системи є:

- взаємодія із середовищем та іншими системами як єдине ціле;
- наявність ієрархії підсистем нижчих рівнів;
- приналежність складової частини (підсистеми) до системи вищого порядку;
- збереження загальної структури взаємодії елементів при змінах зовнішніх умов та внутрішнього стану.

Процес функціонування будь-якої системи здійснюється відповідно до її функцій та функцій її елементів. Взаємодіють елементи по каналів взаємозв'язку. Розглядаючи систему, бажано аналізувати лише ті властивості, які визначають особливості взаємозв'язку коїться з іншими елементами і системою загалом і представляють науковий інтерес відповідно до завданнями досліджень. Функції елементів аналізованої нами технологічної системи та її властивості описані у [30].

Для підвищення інформативності систему доцільно зображати схематично, як малюнок, графа, діаграми, блок-схеми тощо. Найбільш поширене зображення системи у вигляді блок-схеми та графів. Блок-схема являє собою символічну інформаційну схему про структуру та взаємозв'язок

ізв'язках між елементами. На ній також зображуються, за необхідності, "вхід" та "вихід" змінних системи. Граф на відміну блок-схеми дає більш повне уявлення про систему. Структур графів може бути велике безліч залежно від цілей та завдань дослідження. Визначення самого графа дозволяє вдаватися до такого прийому. У пропонованих нами дослідженнях обидва методичні підходи до зображення структури системи "Л-М-С" були використані.

### **1.2.2. Системи «людино-машина» в аграрному виробництві**

Досить велика кількість системних досліджень проведена і в сільському господарстві. Як компонент "середовища" виступає ґрунт і поле. Природно-кліматичні умови середовища не враховуються. У [20] розглядається структура чотириланкової біомашинної системи. Порівняння таких систем здійснюється шляхом зіставлення виражених кількісних рангів. Цей метод дозволяє заощаджувати час при експертних оцінках машин та обладнання, виявляти кращі біомашинні системи. Оціночними критеріями є функціонально корисні ступеня свободи, ранжовані за значимістю, з літературних джерел. Як порівнювані біомашинні системи автор розглядає систему доїння корів "людина - доїльний апарат – доїльний верстат (з набором технічних пристроїв) - корова", позначивши її як "оператор - інструмент - верстат - клієнт (корова)". Описуються різні системи (мається на увазі різний набір машин) і вибирається найефективніша.

У роботі [4] розглядаються технологічні системи, особливістю яких є взаємодія екологічної (ґрунт, рослини, клімат, навколишнє середовище тощо), технічної (трактори, с.-г. м. та ін.) та управлінської (впливи людини, математичне забезпечення функціонування системи, програми, алгоритми і т.д.) підсистем. Як показники оцінки функціонування технологічних систем приймаються динамічний та економічний критерії адаптації. Критерій адаптації відображає можливість створення оптимальних умов розвитку рослин для

технологічної системи, що застосовується. За економічний критерій прийнято цільову функцію витрат та непрямих втрат системи обробітку с.-г. культур. Технологічні процеси представлені як послідовно з'єднаних елементів (технологічних операцій). Системний підхід до технологій виробництва с.-г. культур дозволяє суттєво знизити втрати продукції. У роботах [15, 25] наводяться системи інженерно-технічної служби (ІТС) агропрому та диспетчерської служби. В якості "середовища" прийняті підприємства та організації, якими взаємодіє ІТС.

В [2] для аналізу механізованої системи застосовано функціональне, морфологічний та інформаційний її опис. Автор зазначає, що механізована система є обслуговуючою стосовно основних виробничих систем: тваринництва, рослинництва, переробки, комунального обслуговування сільського населення та інших. До складу механізованої системи, наприклад, входять персонал, машини, оброблюваний матеріал, виконавці і т.д. Як одна з підсистем виступає підсистема "Машинно-тракторний агрегат".

У статті про системне дослідження питань машиновикористання в сільське господарство [8] автор розглядає чотирирівневу біомеханічну систему. Перший рівень представляє підсистему технологічних циклів з виробництва с.-г. культур (посів, посадка і т.д.). У другому рівні розглядаються питання (технологічні операції), що відповідають циклам робіт, наприклад, циклу "посів" відповідають операції - підготовка насіннєвого матеріалу, підвезення, заправка сівалок і т.д. Цьому рівні відповідає виробничо-технічне забезпечення технологічних процесів.

До третього рівня належать виконавці технологічних операцій, засоби та об'єкт процесу (оператор-механізатор, машини агрегату, прилад, ґрунт, рослини, насіння і т.д.). У четвертому рівні визначено показники, що характеризують працездатність людини, експлуатаційні властивості машини, фізико-механічні та технічні властивості об'єкта процесу. Середовище виділено особливо. Усі складові системи взаємопов'язані, впливають її функціонування і

кінцевий результат. Зокрема, третій рівень біомашинної системи є головною складовою її ланкою. Вивченню цієї ланки (надалі розглядатимемо її як самостійну систему "Л-М-С") нами було віддано перевагу. Системний підхід до вирішення задач інтенсифікації технологічного процесу дозволить виявити оптимізаційні режими його функціонування.

Описана в [8] система (третій рівень) була використана нами для дослідження надійності та працездатності машинно-тракторних агрегатів як самостійної системи "Л-М-С" на прикладах функціонування кормозбирального процесу. За ознаками системи окремо взятий її елемент не може виконати загальне функціональне завдання. Можна констатувати, що розгляд запропонованої системи "Л-М-С" досить обґрунтовано та її функціонування може бути проаналізоване як робота людино-машинної технологічної системи

### **1.3. Вплив середовища на роботоздатність і продуктивність кормозбиральних агрегатів**

"Середовище" є третім елементом аналізованої людино-машинної системи. Залежно від виконуваного технологічного процесу до середовищі відносяться такі показники як температура, вологість та склад ґрунту, засміченість полів та його конфігурація, рослини, насіння, зерно тощо. Інакше кажучи, до неї відносяться всі фактори, що характеризують умови роботи системи (природно-кліматичні, ґрунтові, погодні, виробничі, агроландшафтні та ін.). Наприклад, агрокліматичні та ґрунтові умови відіграють істотну роль при експлуатації машин, впливають на ефективність використання кормозбиральних агрегатів. У багатьох районах країни різні природно-кліматичні умови, специфічні агротехнічні вимоги, що необхідно враховувати під час розробки, створення машин та його систем.

Природно-кліматичні умови визначають склад та структуру МТП у господарстві. До основних факторів цих умов можна віднести: рельєф

місцевості, розміри оброблюваних полів, тип, механічний склад та вологість ґрунтів, опади (протягом року та в період виконання польових робіт), маса врожаю, співвідношення в урожаї зерна, соломи, густота та висота рослин, вологість маси та вилягання посівів, фізико-механічні та агротехнічні властивості рослин (попередники, наявність бур'янів, глибина обробітку ґрунту та загортання насіння, ступінь кришення пласта, способи оранки, посіву...) та ін.

На працездатність та продуктивність кормозбиральних агрегатів значний вплив надає рельєф місцевості. За наявності ухилу продуктивність знижується. При роботі на малих ділянках, що обробляються, техніко-економічні показники роботи кормозбирального агрегата погіршуються. На довгих гонах коефіцієнт робочих ходів більше, ніж на коротких. Конфігурація полів, ухил та розміри поля визначають вибір способів руху, від яких суттєво залежить продуктивність.

Природні умови багато в чому впливають на нормоутворюючі та техніко-економічні показники машиновикористання. Так, від температури навколишнього повітря залежить потужність двигуна, що розвивається, і величина витрати палива. За різних ґрунтово-кліматичних умов баланси потужності, тягового зусилля та опору машин видозмінюються, а їх складові перерозподіляються відповідно до зміни стану оброблюваного матеріалу, ґрунту, вологості, заморозків, перепаду температур.

Структурно-механічний склад, щільність, стан ґрунту, конфігурація полів, їх засміченість та зеленість багато в чому визначають режим роботи кормозбиральних агрегатів, що викликає маневрування швидкостями та навантажувальними режимами, які безпосередньо впливають на продуктивність та економічність роботи агрегату. У [22] наводяться дослідження системи "Л-М-С" з точки зору виявлення можливостей переробки інформації та виконання керуючого впливу людини на машину з урахуванням факторів середовища.

Системний підхід дозволяє розраховувати структуру МТП з урахуванням зональних умов ("середовища"), зокрема, вплив зональних особливостей клімату, рослин, полів, лук і пасовищ, ґрунти на систему машин [16]. У монографії вчених [25] розглядається принципова можливість та досвід моделювання продуктивності рослин, з урахуванням впливу факторів "середовища".

У роботах [21, 24] наводяться методики оцінки побудови виробничих процесів з урахуванням погодних умов за роками-аналогами. Результати розрахунків використовуються при комплектуванні МТП для сезонних робіт та прийняття стратегічних рішень щодо експлуатації машин.

#### **1.4. Кількісна оцінка ступеня впливу факторів "середовища" на працездатність кормозбиральних агрегатів**

Усі чинники середовища врахувати практично неможливо. Вони постійно змінюються. Тим не менш, деякі з них піддаються опису при складанні норм виробітку та витрати палива на механізовані тракторні роботи. Їх можна вважати оцінними показниками ступеня впливу "середовища" на продуктивність та ефективність роботи системи "людина-машина-середовище" ("Л-М-С"). У дослідницьких роботах та нормативних документах щодо нормування наводяться дані щодо поправочних коефіцієнтів до норм вироблення та витрати палива, що враховують природно-кліматичні умови, яких працюють людино-машинні агрегати. До поправочних коефіцієнтів там віднесені такі [21, 22]: на вологість ґрунту; рельєф, що характеризується кутом схилу; порізаність полів перешкодами, що визначаються співвідношенням площі поля, зайнятої перешкодами, до загальної площі, що обробляється у відсотках; кам'янистість, що вимірюється кількістю каменів в 25 см шарі ґрунту, м<sup>3</sup>/га; висоту над рівнем моря; тягове зусилля; складність конфігурації.

Беручи до уваги, що основне завдання машинно-тракторного агрегату - це виконання норми виробітку, можна вважати, що перелічені поправочні коефіцієнти відбивають ступеня впливу "середовища" на працездатність агрегату. Облік їх дає кількісне відображення комплексу факторів, що впливають "середовища".

Дослідження факторів, що впливають, і виявлення їх закономірностей, взаємозв'язків із параметрами функціональної та технічної надійності агрегату та експлуатаційними його показниками є однією з важливих проблем експлуатації МТП. Ця проблема набуває ще більшої значущості при використанні техніки у різноманітних природно-кліматичних умовах незалежно від форм власності.

Використовуючи перелічені поправочні коефіцієнти, у [25] запропоновано методику та формулу кількісної оцінки ступеня

впливу факторів середовища ( $\xi_c$ ), отримана методом експертних оцінок:

$$\xi_c = 1 - C \sum_{i=1}^5 K_i \varphi_j, \quad (1.2)$$

де  $C$  - постійний коефіцієнт генеральних визначальних таблиць (ГОТ) для п'яти узагальнених факторів ( $C = 0,281$ );

$K_i$  - значення приватних факторів за спеціально складеними таблицями;

$\varphi_j$  - начимість  $j$ -го узагальнюючого чинника.

Чим менший тим більший вплив "середовища" на працездатність агрегату

## **1.5 Системність дослідження технологічних процесів кормозбиральних агрегатів**

Аналіз літературних джерел показує, що питанням збиральних процесів, їх організації, покращення функціонування, оптимізації, підвищення продуктивності збиральної техніки та якості роботи, скорочення втрат урожаю

та термінів виконання технологічних операцій тощо. присвячено велику кількість наукових праць, навчально-методичних посібників та рекомендацій. Практично описати та проаналізувати їх у рамках поставлених завдань цих досліджень не є можливим. Обмежимося в огляді лише згадкою проблем збиральних робіт, що вивчаються. Особливу увагу приділимо збиранню зерна, картоплі, заготівлі кормів. Зокрема, нас цікавлять системні підходи в дослідженнях, розгляд процесів збиральних робіт як систем "людина-середовище".

Вивчення та пошук підвищення ефективності процесу проведено у багатьох регіонах країни з різними виробничо-кліматичними умовами експлуатації збиральної техніки. Усі дослідники вирішували окремі проблеми та завдання збирання, спрямовані зрештою на скорочення періоду збиральних робіт та зниження втрат продукції. Досліджено технологічні основи інтенсифікації збиральних процесів, виявлено резерви підвищення продуктивності машин, відпрацьовано різні варіанти технології організації робіт. Частина досліджень присвячена питанням прогнозування перспектив збирання, маневрування технікою, стійкості збирального процесу, виявлення причин простоїв комбайнів. У багатьох роботах, у тому числі та нормативно-довідковій літературі, докладно викладені результати досліджень за елементами часу зміни та робочого дня.

Відмінною особливістю кормозбирального технологічного процесу є те, що транспортний засіб та кормозбиральний агрегат пересуваються по полю паралельно і одночасно працюють як один агрегат. У цей час комбайн робить робочий хід та одночасно завантажує транспортний засіб скошеною масою. У зв'язку з цим час циклу складається лише з основного (чистого) робочого часу та часу поворотів. Ці відмінні риси впливають на взаємодію компонентів "машина" і "транспорт", і в цілому на працездатність всієї системи.

Для прибирального процесу на відміну орного характерне його транспортне забезпечення. У зв'язку з цим доцільно надійність технологічного

процесу оцінювати по відношенню до основного часу роботи. На збиральних процесах механізатори працюють довше і обслуговуються обідом і вечерею організованіше, ніж на орних агрегатах. Ця обставина вносить деякі зміни в режим роботи механізатора, баланс часу зміни та стійкість працездатного стану системи

Було проведено системні дослідження технологій збирання кормових із обмолотом на стаціонарі. Збиральний процес був представлений у векторній формі як система "середовище організм-людина-машина". Оціночні показники в методиках, що стосуються характеристики механізатора, передбачають певний стаж роботи (понад 2 роки). Водночас відомо, що значна кількість механізаторів – комбайнерів – молоді випускники сільських професійних училищ, які не мають робочого стажу. Ця обставина диктує необхідність розробки спеціальної методики оцінки рівня професійної підготовленості механізатора - випускника ПУ та виявлення його взаємозв'язки з експлуатаційними показниками роботи збиральних машин.

Огляд досліджень з прибиральних процесів свідчить про наявність системних методів, але система "Л-М-С" у комплексі розглядалася недостатньо. Відсутня методика кількісної оцінки рівня професійної підготовленості механізатора-комбайнера та його вплив на надійність та експлуатаційні показники збирально-технологічного процесу

### **1.6. Професійна підготовка механізаторів та їх взаємозв'язок з кормозбиральним агрегатом**

Слід зазначити, що у проаналізованих вище роботах наведено результати досліджень окремих чинників. Описи ж комплексного впливу факторів на функціонування людини-оператора та системи в цілому в їх немає. Ця прогалина певною мірою заповнена дослідженнями. Розглянуто можливості комплексної оцінки професійних та особистісних якостей механізатора та її

взаємозв'язку з ефективністю використання тракторів типу МТЗ та К-700. Він розробив і запропонував спеціальну методику та оціночний показник (рівень професійного потенціалу механізатора,  $P_{\text{пмм}}$ )

Використовуючи метод експертних оцінок у [4] запропоновано рахувати з використанням спеціальних таблиць коефіцієнт ( $K_M$ ) професійного потенціалу механізатора за такою формулою [4]:

$$K_M = \frac{\sum_{i=1}^m K_i \cdot \sum_{j=1}^n K_{zj} \cdot K_{ij}}{\sum_{i=1}^m K_i \cdot \sum_{j=1}^n K_{ij}} \quad (1.3)$$

де  $K_i$  і  $m$  - вагомість та кількість комплексних факторів;

$K_{ij}$  та  $n$  - вагомість та кількість одиничних факторів;

$K_{zj}$  - вагомість  $z$ -го рівня  $p$ -го одиничного чинника.

Використовуючи вплив факторів та їх вагомості, автор отримав значний кількість даних, що дозволили визначити ступеня впливу професійного потенціалу механізаторів на річне та змінне вироблення тракторів К700, К-701, ДТ-75, ДТ-75М, МТЗ-50, МТЗ-80. Аналогічні результати досліджень були отримані за 167 водіями автомобілів (для комбайнерів методика не застосовувалася) та запропоновано рекомендації щодо покращення роботи МТА та автомобілів з ухилом удосконалення ремонтної бази та підвищення якості ремонту. Дана методика оцінки рівня професійного потенціалу механізатора досить універсальна і може застосовуватися при аналізі кадрового складу механізаторів та виявлення резервів виробництва.

Проте слід зазначити, що вона, як і інші, передбачає оцінку професіоналізму механізаторів з певним стажем роботи та не враховує рівня його підготовленості у професійному училищі. До того ж у ній не проглядається взаємозв'язок рівня навчання та рівня його трудової діяльності. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки дещо відмінної методики, яка б визначала рівень професійної підготовленості механізатора в ПУ для роботи в

сільському господарстві. Ця методика повинна, на наш погляд, відображати рівень теоретичних знань при підготовці механізатора за програмами училища, його практичні навички та ув'язування підготовленості до роботи на механізмах.

Виходячи з викладеного, було сформульовано такі завдання досліджень:

- розробити математичні моделі надійності (безвідмовної роботи) та відмов компонент технологічної системи "людина-машина-середовище" у році нієводстві, визначити оціночні характеристики та провести їх статистичні дослідження на процесах обробітку ґрунту та збирання врожаю;

- розробити моделі формування денної та сезонної продуктивності сільськогосподарського агрегату, дослідити їхню стохастичну динаміку.

- виявити зв'язки параметрів надійності технологічної системи "людина-машина-середовище" з експлуатаційними показниками сільськогосподарського агрегату;

- вивчити надійність функціонування компонент "людина", "машина", "середовище" в технологічній системі; розробити методи кількісної оцінки впливуш; їх на них основних факторів; встановити закономірності та зв'язки одержаних оціночних характеристик з експлуатаційними показниками агрегату; визначити ступінь впливу працездатності компонентів на безвідмовність технологічної системи;

- оцінити економічну ефективність основних результатів досліджень.

## РОЗДІЛ 2. НАДІЙНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

### 2.1. Застосування марківських ланцюгів для фізичного моделювання технологічного сільськогосподарського процесу

Представивши технологічний процес, що здійснюється машинно-тракторним агрегатом, складною кібернетичною системою з позиції теорії ймовірностей можна розглядати її функціонування як послідовність подій, наступають по черзі одне одним у випадкові моменти часу, тобто. потоком подій.

Можна помітити появу дискретних подібних подій під час здійснення практично всіх технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві.

Серед подій, що розглядаються, можна виділити потік відмов (зупинок) агрегату, що виникають з причин елементів технологічної системи.

Такий потік подій у загальному випадку можна зобразити на тимчасовій осі як послідовність точок  $t, t_2, \dots, t_k \dots$ . Найбільшого поширення на практиці набули найпростіші потоки подій, які мають певними властивостями. Розглянемо докладніше ці характеристики.

*Стаціонарність* - при будь-якому  $t > 0$  і загальному  $k > 0$  ймовірність появи тієї чи іншої кількості подій протягом інтервалу часу  $t$  залежить тільки від довжини цього інтервалу (а не від початку відліку) і не залежить від того, де саме на часовій осі розташований цей розрив. Це дозволяє через  $P$  визначити ймовірність того, що для будь-якого інтервалу часу наступить рівно  $k$  подій розглянутого потоку ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ).

Для потоку, що володіє властивістю стаціонарності, характеризується постійною щільністю (середня кількість подій, що відбулися в одиницю часу). Технологічний процес, який здійснюють мобільні МТА, можна розглядати як систему з потоком відмов, які виникають за причинами «людина», «машина»,

«середовище», «транспорт» протягом робочого дня. Властивість стаціонарності для потоку подій технологічного агропроцесу з наближенням долі льону можна вважати прийнятною. Щільність потоку відмов приймається постійно.

*Відсутність наслідків* - ймовірність появи тієї чи іншої кількості подій в будь-якому інтервалі часу не залежить від кількості подій, що відбулися до початку цього інтервалу, і від того, як вони вплинули на інші, що не збігаються з даними. Таким чином, коли комбайн «відмовляє» (зупиняється) внаслідок технічної несправності (наприклад, через поломку водопровідної стрічки), технологічної (засмічення молотарки), можна однозначно очікувати, що настання кожної з цих подій не залежить від того, які саме поломки були або будуть в майбутньому, а також від їх кількості.

Ординарність - ймовірність настання двох або більше подій за нескінченно малий проміжок часу  $\Delta t$ - є нескінченно мала величина вищого порядку, ніж  $\Delta t$ :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_k(\Delta t)}{\Delta t} = 0; \quad k = 2, 3, \dots \quad (2.1)$$

де  $P_k(\Delta t)$  - ймовірність настання не менше двох подій за проміжок часу  $\Delta t$ . Практично неможлива одночасна поява двох, трьох і більше подій (відмов). Розглянуті потоки відмов технологічних с.-г. процесів здебільшого мають цю властивість.

З математичної літератури [6] відомо, що потік подій можна віднести до найпростішого і в тому випадку, коли сумарний потік складається з великої кількості незалежних між собою стаціонарних потоків, кожен у тому числі мало впливає дії сумарного потоку. Цей випадок можна застосувати і до с.-г. технологічних процесів. Так, як окремо взяті потоки подій можуть служити потоки відмов, складифіковані за ознакою їх приналежності до "людини", "машини", "середовища", "транспорту" та ін, які виникають незалежно друг від друга. Для ілюстрації цього положення (рис. 2.1.) введемо такі позначення:  $\Pi_1$  -

потік відмов, що виникають причини "людини" (зупинка агрегату, коли людина залишає його з якихось причин - фізіологічних, організаційних тощо);  $\Pi_2$  - потік відмов, що виникають внаслідок "машина" (непрацездатний стан агрегату по причини технічної несправності або зупинки на технічне обслуговування);  $\Pi_3$  - потік відмов, що виникають внаслідок "середовище" (агрегат перебуває у стані відмови, не працює через метеоумови: дощу, снігу, роси і т.п.);  $\Pi_4$  - потоки відмов, назвемо їх умовно "технологічними першого роду" (холості повороти, які є невід'ємною частиною технологічного процесу);  $\Pi_5$  - потоки відмов - "умовно технологічні другого роду" (холості переїзди агрегату по полю, до поля, до заправки, від заправки, до стоянки, від стоянки тощо), у випадку ці відмови можуть бути об'єднані в одну групу;  $\Pi_6$  - потік відмов, що виникають через "транспорт" (відмови технологічного характеру, що залежать від транспортного забезпечення, зупинки агрегату для навантаження транспортного засобу та перевезення) продукції, що прибирається, наприклад, зерна, картоплі, трави, коренеплодів, силосної маси і т.д.). У випадках, коли наявності однієї відмови  $\Pi_3$  агрегат не працює весь залишок дня, цей потік можна не розглядати. Введені потоки відмов системи технологічного процесу можна подати наочно як проекцій точок на тимчасову вісь  $t$ .

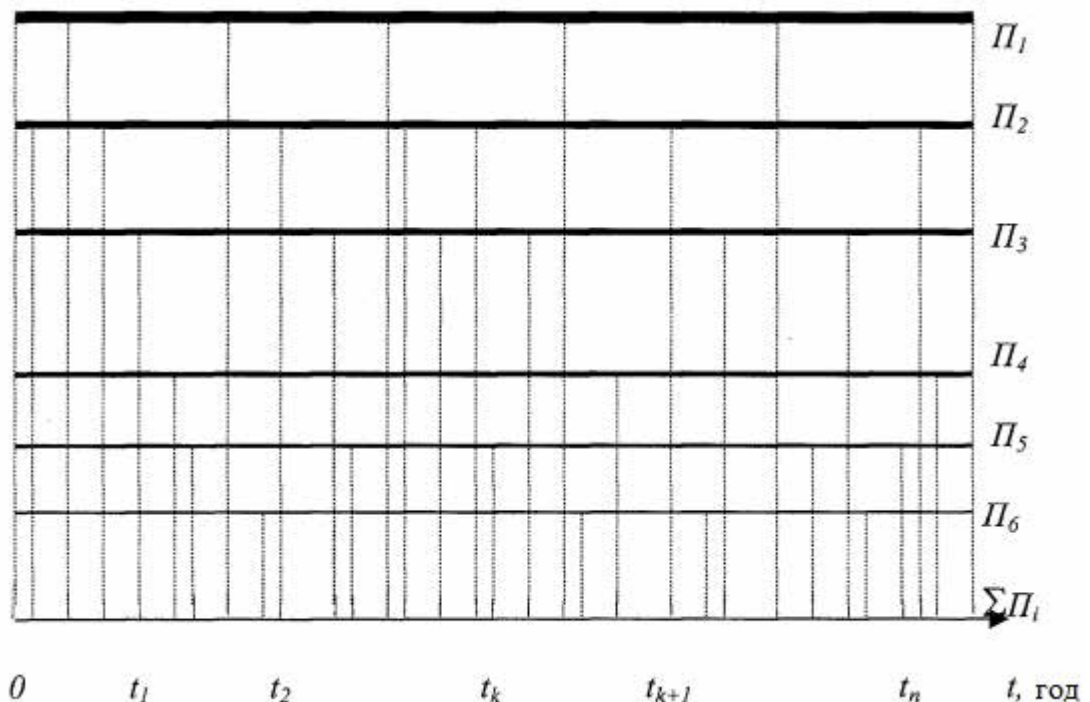


Рис. 2.1. Схема потоку відмов технологічного процесу

Сумарний потік запишеться у вигляді:

$$\Pi = \sum_{k=1}^n \Pi_k \quad (2.2)$$

Зробивши припущення про те, що вплив окремого потоку на сумарний невелико, отримаємо потік, що наближається до найпростішого. Завдяки графічній ілюстрації даного потоку легко переконатися у виконанні властивостей, що характеризують його як найпростіший. Так, якщо взяти два тимчасові інтервали, що не перекриваються  $(t_1, t_2)$  і  $(t_k, t_{k+1})$  можна побачити, що точки, що характеризують відмови того чи іншого потоку, з'являються незалежно один від одного та їхня частина не залежить від розташування інтервалу на часовій осі.

Відомо, що якщо події утворюють найпростіший потік, то розподіл ймовірностей  $P_k(t)$  описується формулою Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t}, \quad (2.3)$$

де  $P_k(t)$  - ймовірність появи рівно  $k$  подій аналізованого потоку за будь-який проміжок часу  $t$ ,

$\lambda$  - інтенсивність надходження подій, тобто. середня кількість подій за одиницю часу.

Зафіксуємо проміжок часу та розглянемо випадкову величину  $X$  - кількість подій найпростішого потоку, що настають за цей період. Якщо позначити  $\lambda t = a$ , то закон розподілу ймовірностей величини  $X$  можна записати:

$$P(X = k) = \frac{a^k}{k!} \cdot e^{-a},$$

(2.4)

де  $a$  - середня кількість відмов (подій), що настають за час  $t$  у найпростішому потік. Характерною особливістю розподілу Пуассона є збіг математичного очікування та дисперсії, причому  $M(X) = D(X) = a$ .

Важливою характеристикою найпростішого потоку є також розподіл проміжку часу  $t$  між двома послідовними подіями потоку, тобто. час безвідмовної роботи системи технологічного процесу, що є безперервною випадковою величиною. Враховуючи властивості найпростішого потоку та застосовуючи раніше введені позначення, було встановлено, що ця випадкова величина розподілена за показовим законом, із щільністю ймовірності:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (2.5)$$

$$\text{та функцією розподілу: } F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

Для доказу того, що за показового закону розподілу проміжок часу  $t$  між двома подіями потік відмов є найпростішим Пуассонівським, а  $P(t)$  не залежить від величини  $t$ , можна скористатися визначенням вибіркового коефіцієнта кореляції ( $r$ ):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (t_i - \bar{t})(t_j - \bar{t})}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (2.7)$$

де  $t_i, t_j$  - часові проміжки між послідовними надходженнями подій (відмов);

$\bar{t}$  - математичне очікування величини часового проміжку.

При  $r \rightarrow 0$  вважатимуться величини  $t_i$  незалежними.

Для показового розподілу математичне очікування середньоквадратичне відхилення рівні між собою й рівні  $1/\lambda$ , тобто  $M(T) = \sigma(T) = 1/\lambda$ . Отриманий результат цілком відповідає статистичному змісту параметра  $\lambda$  ( $1/\lambda$  - є середній проміжок часу між двома послідовними подіями).

Чудовою властивістю показового розподілу є те, що при настанні події  $X \geq T$  випадкова величина  $Y = X - T$  має такий же закон розподілу, як і величина  $X$ . Зауважимо, що хоча при показовому розподілі можливі будь-які позитивні значення  $t$ , але великі значення малоімовірні.

Представляючи сільськогосподарський технологічний процес як функціонування системи "людина-машина-средовище", стани якої змінюються під впливом найпростішого потоку подій, можемо вважати, що маємо справу з марковськими процесами. В наявності суворо марківська властивість: для будь-якого моменту часу до ймовірності всіх станів системи у майбутньому ( $t > t_0$ ) залежать тільки від стану системи в теперішньому ( $t = t_0$ ) і не залежать від її поведінки досі ( $t < t_0$ ) (відсутність післядії). Практично ця властивість означає, що при попаданні в той чи інший стан подальша поведінка процесу не залежить від його поведінки у минулому, тому що події, під впливом яких система змінює свої стани, з'являються є випадкові моменти часу незалежно друг від друга.

Часто ми стикаємося з марківськими процесами з дискретними станами (кількість станів системи звичайно або рахунково, перехід з одного стану в інший здійснюється стрибком) і безперервним часом (переходи системи в різні стани відбуваються не в фіксовані та заздалегідь відомі моменти  $t_0, t_1, \dots, t_m$ , а в будь-які випадкові моменти часу).

Для наочної ілюстрації таких процесів використовують теорію графів, згідно з якою прямокутниками або кружками позначають стан системи ( $S$ ), а стрілками (або орієнтованими ребрами) із зазначенням щільності потоку подій - можливі переходи зі стану до стану.

Марківські процеси, що протікають у системі з дискретними станами та безперервним часом характеризуються ймовірностями станів  $P_i(t)$  будь-який момент часу  $t$ , які визначаються системою диференціальних рівнянь Колмогорова. Остання складається за мнемонічним правилом з використанням графа станів:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -P_i(t) \sum_{\substack{i=1 \\ (i \neq j)}}^n \lambda_{ij} + \sum_{\substack{i=1 \\ (i \neq j)}}^n \mu_{ij} P_j(t), \quad (2.8)$$

де  $P_i(t)$ ,  $P_j(t)$  - ймовірності того, що система в момент  $t$  знаходиться в стані  $S_j$ ,  $S_j$ ;  $\lambda_{ij}$ ,  $\mu_{ij}$  - інтенсивності потоків подій, що переводять систему зі стану у стан. Цю систему вирішують за початкових умов, що задають ймовірності станів у початковий момент часу  $t=0$  за умов виконання нормувальної умови:  $\sum_{i=1}^n P_j$

Якщо потоки подій, що переводять систему зі стану в стан, стаціонарні ( $\lambda_{ij}$ ,  $\mu_{ij}$  - const), загальна кількість станів звичайно і станів без виходу немає, існує граничний режим функціонування системи, що характеризується граничними (фінальними) ймовірностями:

$$P_i = \lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) \quad (2.9)$$

Ці ймовірності визначають рішенням системи лінійних рівнянь алгебри, що отримується з системи диференціальних рівнянь прирівнюванням нулю лівих частин рівнянь Колмогорова, з урахуванням нормувальної умови.

## **2.2. Характеристики безвідмовної роботи технологічної системи «людина-машина-середовище» в кормовиробництві**

Користуючись термінологією ДСТУ 2429-94, ДЕРЖСТАНДАРТ 27.003-90 та ін, основними показниками безвідмовності системи «Л-М-С» можна вважати час безвідмовної роботи системи та напрацювання на відмову. Аналіз

значної кількості літературних джерел та ДСТУ з надійності технічних пристроїв показує, що в практиці експлуатації сільськогосподарської техніки для оцінки показників безвідмовності використовують закони їх розподілу, яких налічується понад 30. Однак для дослідження людино-машинних технологічних систем їх застосування не практикувалося. Тим не менш, необхідність виявлення та їх використання для дослідження технологічних систем доцільна.

У зв'язку з тим, що параметри безвідмовності людино-машинних технологічних систем («Л-М-С») мало вивчені, виникає необхідність дослідити можливі варіанти законів розподілу та їх відповідних композицій часу безвідмовної роботи системи, а також її компонент. Слід відмітити, що всі можливі варіанти композицій скласти практично важко. Зупинимось на деяких найважливіших, на наш погляд.

Методичний підхід до складання композиційних законів розподілу досить повно висвітлено у математичній літературі. Оскільки досліджень щодо застосування законів розподілу для аналізу людино-машинних систем явно недостатньо, можна в порядку гіпотези, припустити, що з кожної компоненти «Л», «М», «С» системи час безвідмовної роботи підпорядковується якомусь, заздалегідь нам невідомо, закону розподілу. Тому доцільно складання композицій законів розподілу, перебору можливих їх варіантів та виявлення їх застосовності для запланованого типу задач. Згідно з цією гіпотезою і, користуючись математичним описом параметрів деяких законів розподілу, можна констатувати, що композиції законів розподілу використовуються у випадках, коли маємо справу з незалежними випадковими величинами та їх підсумовуванням. Щодо наших досліджень випадковими величинами будуть: час та ймовірність безвідмовної роботи «людини», «машини», «середовища» і, часом, «транспорту». Враховуючи, що на даному етапі досліджень компонента «середовище» недостатньо і мало вивчено, є незначна кількість стабільних даних щодо чинників її визначальним. Крім цього щодо її поведінки поки не

встановлено жодних законів розподілу (це самостійна галузь досліджень), обмежимося розглядом двокомпонентних композицій «людина-машина» та трикомпонентних - надійності технічних виробів. Двокомпонентні композиції законів розподілу знаходяться з допомогою операції згортки. Композиція законів розподілу понад два випадкових величин перебуває повторним застосуванням цієї операції. Відомо, що розподіли, що володіють тією ж властивістю, що і композиція, є стійким розподілом того самого типу. До таких законів розподілу належать: біноміальний, Паскаль, Пуассон, нормальний, Коші, експоненціальний.

До нестійких можна віднести розподіл рівномірної густини. Композиція законів розподілу рівномірної щільності є законом Сімпсона. Закон розподілу кінцевого числа незалежних доданків, розподілених по тому самому закону рівномірної щільності наближається до нормального.

Слід зазначити, що композиція різнотипних законів розподілу може мати досить складний вигляд. Його використання для відповідних розрахунків буває важко. Тому в практиці розрахунків надійності та її параметрів (часто з деяким збільшенням похибки) користуються апроксимацією за методом моментів. Іноді як закон розподілу, що апроксимує закон суми випадкових величин, застосовується нормальний закон. Досвід розрахунків щодо надійності технічних виробів та аналіз літературних джерел показує, що, наприклад, Бета-розподіл може бути використане у випадках, коли потрібно визначити закономірність зміни пайового часу в загальному балансі даного відрізка (наприклад, частка часу від загального часу робочого дня, що витрачається механізатором на усунення технічних несправностей та ін.). Біноміальний розподіл застосовується у задачах з фіксованою кількістю успішних випробувань. Імовірність успіху стала протягом усього експерименту (періоду випробувань). Досить часто під час аналізу надійності технічних пристроїв користуються законом розподілу Вейбулла. Зокрема, цьому розподілу підпорядковується напрацювання на відмову. Гамма-розподіл використовують

для дослідження випадкових величин, що мають асиметричний характер розкиду її значень, головним чином у випадках накопичуваних подій.

Логнормальний розподіл застосовно для дослідження та аналізу логарифмічно перетворених даних. По  $\chi^2$ -розподілу порівнюють отримані при експериментах значення параметра, що вивчається з очікуваним або теоретичним. Найчастіше цей закон використовується для експериментального підтвердження гіпотези. Експоненційний розподіл застосовується для моделювання тимчасових затримок між подіями, наприклад час безвідмовної роботи виробу і т.д. Розподіл Пуассона можна використовувати при прогнозуванні цілої кількості подій за передбачуваний період. Розподіл Стюдента використовується на дослідження подій при невеликих вибірках. За допомогою розподілу Фішера встановлюють кореляційний зв'язок між масивами експериментальних даних. Широко поширене застосування нормального закону, зокрема, для перевірки різноманітних гіпотез, оцінки похибок та ін.

Наведений короткий аналіз можливостей застосування законів розподілу випадкових величин дозволяє вважати, що вони можуть мати місце при дослідженнях надійності функціонування як технічних пристроїв, а й технологічних, зокрема, сільськогосподарських процесів. Грунтуючись на цьому, розглянемо кілька прикладів щодо використання законів розподілу для дослідження людино-машинних технологічних сільськогосподарських систем. Враховуючи, що системи, що вивчаються, складаються з компонент «людина», «машина», «середовище», параметри яких можуть підпорядковуватися різним законам розподілу, виникає необхідність складання системи їх композицій. Розглянемо принцип та приклади раніше складених нами композицій.

Нехай величини  $X$  і  $Y$  незалежні і мають відповідно густину ймовірностей  $f(x)$  та  $\varphi(y)$ . Тоді щільність ймовірності  $F(z)$  величини  $Z=X+Y$  визначиться наступним композиційним законом:

$$F(z) = \int f(z - y) \cdot \varphi(y) dy = \int f(x) \cdot \varphi(z - x) dx \quad (2.10)$$

Нами складено композиційні закони розподілу для п'яти видів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Закони розподілу випадкових величин, прийняті довільно для складання їх композицій

Назва закону	Щільність ймовірності
Нормальний	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$
Лапласа	$f(x) = \frac{1}{2\beta} e^{-\frac{ x-\xi }{\beta}}$
Гамарозподіл	$f(x) = \frac{\beta(\beta x)^{L-1}}{(L-1)!} e^{-\beta x}$ , $L$ - ціле
Релея	$f(x) = 2\mu e^{-\mu x^2}$
Експонентний	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$

Комбінуючи попарно закони розподілу, підставляючи їх у формулу композиції (2.10) і вирішуючи, можна отримати вирази для густини ймовірності величини  $Z=X+Y$ . Так, наприклад, композиційна формула щільності ймовірностей закону ( $X$ ) експоненціального та закону Релея ( $Y$ ) буде виглядати наступним чином:

$$f(z) = \lambda \int_0^{\infty} e^{-\lambda x} 2\mu(z-x)e^{-\mu(z-x)^2} dx \quad (2.11)$$

Для вирішення цього інтеграла застосуємо метод інтегрування частинами:

$$\int u dv = uv - \int v du, \text{ де в нашому випадку:}$$

$$u = e^{-\lambda x}, du = -\lambda e^{-\lambda x} dx, dv = 2\mu(z-x)e^{-\mu(z-x)^2} dx, v = -e^{-\mu(z-x)^2}$$

Тоді:

$$f(z) = \lambda e^{-\lambda x} \cdot e^{-\mu(z-x)^2} \int_0^\infty -\lambda^2 \int_0^\infty e^{-\mu(z-x)^2} \cdot e^{-\lambda x} dx \quad (2.12)$$

Останній інтеграл  $J$  перетворюється так:

$$J = \int_0^\infty e^{-\mu(z-x)^2} \cdot e^{-\lambda x} dx = \int_0^\infty e^{-\mu z^2 + 2\mu z x - \lambda x} dx = \int_0^\infty e^{-\mu z^2 + (2\mu z x - \lambda)x - \mu z^2} dx \quad (2.13)$$

Знаючи, що

$$\int_0^\infty e^{-Ax^2 + 2Bx - C} dx = \sqrt{\frac{\pi}{4A}} e^{-\frac{AC - B^2}{A}} \quad (2.14)$$

знайдемо:

$$J = \sqrt{\frac{\pi}{4\mu}} e^{-\frac{4\lambda\mu z - \lambda^2}{4\mu}} \quad (2.15)$$

Таким чином, композиція щільностей розподілу двох законів визначиться:

$$f(z) = \lambda e^{-\mu z^2} - \lambda^2 \sqrt{\frac{\pi}{4\mu}} e^{-\frac{4\lambda\mu z - \lambda^2}{4\mu}} \quad (2.16)$$

Подібним чином вирішуються інші композиційні завдання. Для композиції, один із компонентів якої є гамма-розподіл, формула густини ймовірностей визначиться методом математичної індукції.

Нехай (умовно) компоненти системи мають функції розподілу наступних законів розподілу: експоненціального, Вейбулла та нормального, тобто:

$$F_1(T) = 1 - e^{-\lambda T}, F_2(T) = 1 - e^{-\mu T^n}, F_3(T) = \Phi\left(\frac{T-C}{\sigma}\right) \quad (2.17)$$

де  $\Phi\left(\frac{T-C}{\sigma}\right)$  - функція Лапласа (табульована функція нормального розподілу);

$\lambda, \mu, n, C, \sigma$  - параметри відповідних розподілів;

$T$  - тривалість дії системи. Тоді ймовірність безвідмовної роботи системи можна записати в наступному вигляді:

$$F(T) = 1 - (1 - F_1(T)) \cdot (1 - F_2(T)) \cdot (1 - F_3(T)) \quad (2.18)$$

Підставляючи (2.18) значення функцій розподілу (2.17) і диференціюючи, отримаємо вираз щільності розподілу суперпозиційного закону розподілу трикомпонентної системи:

$$f(T) = e^{-\lambda T} \cdot e^{-\mu T^n} \left\{ \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-C)^2}{2\sigma^2}} + (\lambda + \mu n T^{n-1}) \cdot \left[ 1 - \Phi\left(\frac{T-C}{\sigma}\right) \right] \right\} \quad (2.19)$$

При дослідженнях технологічних людино-машинних систем застосування двох та трьох компонентних композицій законів розподілу є доцільним.

Таблиця 2.2

Двокомпонентні композиції законів розподілу щільності ймовірності безвідмовної роботи

Назва закону розподілу величини $X$	Назва закону розподілу величини $Y$	Композиція законів розподілу
1	2	3
Нормальний	Лапласа	$f(Z) = \frac{1}{2\beta} e^{-\frac{ (z-\xi-a-\frac{\sigma^2}{2\beta}) }{\beta}}$
Експонентний	Лапласа	$f(Z) = \left( \frac{\lambda^2}{2\beta} + \frac{ \lambda }{2\beta^2} \right) e^{-\frac{ z-\xi }{\beta}}$
Гамма-розподіл	Експонентний	$f(Z) = \frac{2\beta^2}{(L-1)!} e^{-\beta z} \cdot \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(-1)^{k+1} k! z^k}{(\lambda - \beta)^{k+1}}$

Експонентний	Релея	$f(Z) = \lambda e^{-h^2 z^2} - \lambda^2 \sqrt{\frac{\pi}{4h}} e^{-\frac{4\lambda h^2 \lambda^2}{4h}}$
Нормальний	Релея	$f(Z) = \frac{2h^2(z-a)}{\sqrt{1+h^2\sigma^3}} e^{-\frac{(z-a)^2}{2(1+h^2\sigma^3)}}$
Сімпсона	Бета $\beta$ - розподіл	$f(Z) = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha) + \Gamma(\beta)} \cdot \left(z - \frac{\alpha}{\alpha + \beta}\right)$ $\alpha + 1, \beta > 0, 0 < z < 1$
Сімпсона	Пірсона	$f(Z) = \frac{z}{2} - \frac{\Gamma\left(k + \frac{3}{2}\right)}{2\sqrt{\pi}(k+1)\Gamma(k+1)}$ $k + 1 > 0, 0 < z < 1$
Хі-квадрат $\chi^2$ - розподіл	Експонентний	$f(Z) = \frac{\lambda e^{-\lambda z} 2^{\frac{n}{2}+1}}{(1-2\lambda)^{n+1}},$ $z > 0, n > 2, \lambda < 1/2$
1	2	3
Максвелла	Експонентний	$f(Z) = \left(\lambda + \frac{2\lambda^2}{\alpha\sqrt{\pi}} + \frac{\lambda^3}{2\alpha^2}\right) \cdot e^{-\lambda z + \left(\frac{\lambda}{2\alpha}\right)^2}$ $\alpha, \lambda > 0, z > 0$
Арксинуса	Сімпсона	$f(Z) = \frac{B}{\pi} \left(\frac{\pi z}{2} - 1\right), B > 0, 0 > z < 1$
Лапласа	Гамма ( $\gamma$ ) - розподіл	$f(Z) = \frac{\lambda^\alpha e^{-\frac{ z-\xi }{\beta}}}{2\beta} \cdot \left\{ \frac{1}{\left(\lambda \mp \frac{1}{\beta}\right)^\alpha} \mid \alpha\beta > 1 \right.$
Ерланга I порядку	Гамма ( $\gamma$ ) - розподіл	$f(Z) = \frac{\beta^2 \lambda^2 e^{-\lambda z}}{(\beta - \lambda)^2} \cdot \left(z - \frac{\alpha}{\beta - \lambda}\right)$ $\beta - \lambda > 0, \alpha + 1 > 0, z > 0$

## РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Загальна методика обробки експериментальних даних кормозбиральних агрегатів

Прийнято вважати, що кожне хронометражне спостереження є одною реалізацією (одним виміром). З кожної хронокарти підраховують показники лінійної моделі формування денної продуктивності та параметри надійності функціонування системи. Таким чином, один конкретний показник відповідає одній хронокарті. У результаті, скільки хронокарт по кожному окремому технологічному процесу, стільки і розрахункових показників, за винятком поточної продуктивності та її характеристик. Кількість останніх відповідає кількості робочих ходів з кожної хронокарти. Так формуються статистичні ряди за кожним досліджуваним параметром, а разом вони дозволяють отримати досить повну характеристику досліджуваних моделей. Статистичній обробці піддавалися всі хронокарти. Підбір законів розподілу основних параметрів моделей проводився вибірково за умови достатності спостережень. Відповідно до плану експерименту, кількість відмов (вимірювань) кожної технологічної системи має бути для добору законів розподілу не менше 100. Так, наприклад, розрахована за отриманими хронокартами кормозбиральних процесів кількість відмов з відповідних причин для кожного агрегату показано у табл. 3.1. Аналіз даних, наведених у табл. 3.1 свідчить про достатність хронометражних спостережень для отримання достовірних висновків досліджень.

Таблиця 3.1

Кількість відмов кормозбиральної технологічної системи «Л-М-С-Т»

Марка машини	За причиною «людина», $n_l$	За причиною «машина», $n_m$	За причиною «транспорт», $n_T$	Загальна кількість відмов, $n_o$
1	2	3	4	5

КСК-100	1385	1349	560	3294
E-282	94	308	425	827
1	2	3	4	5
E-303	1027	1081	-	2107
МТЗ-80+ГВР-6Б	87	75	-	162
E-281	78	282	188	548
	69	212	228	509
	51	124	287	462

Показники часових характеристик моделей підраховуються за даними хронометражних спостережень як різницю кінця та початку операцій. Наприклад, тривалість робочого дня дорівнює:  $T_{\text{дн}} = T_{\text{дн}}^{\text{к}} - T_{\text{дн}}^{\text{н}}$ , де  $T_{\text{дн}}^{\text{к}}$ ,  $T_{\text{дн}}^{\text{н}}$  - кінець та початок робочого дня. Показник є основним і дочитується досить точно. Для перевірки правильності складання хронокарти тривалість робочого дня розраховують також як суму всіх елементів робочого часу:  $T_{\text{дн}} = \sum t_i$ . Якщо результати, підраховані за цими формулами збігаються то, підтверджується висновок про правильність складання хронокарти. Аналогічно підраховуються й інші часові характеристики моделей.

### 3.2. Вдосконалення методики розрахунків параметрів надійності функціонування технологічного процесу кормозбиральних агрегатів

Суть її зводиться до наступного.

Розрахунки передбачають знання кількості операцій, що належать до елементів системи "Л-М-С-Т", та тривалостей простоїв системи по кожному з них. У цьому враховуються пропорційності  $T_{\text{дн}}$  і  $n_p$ ,  $t_p$  і  $n_p$ ,  $t_l$  і  $n_l$ ,  $t_m$  і  $n_m$ ,  $t_{Tp}$  і  $n_{Tp}$ , де  $n_o$ ,  $n_p$ ,  $n_l$ ,  $n_m$ ,  $n_{Tp}$  - відповідно: загальна кількість відмов, кількість робочих ходів, відмов з причин "людини", "машини", "транспорту", які легко визначаються із хронокарт.

Надійність функціонування системи визначиться:

$$P = \frac{t_p}{T_{\text{дн}}} = \frac{n_p}{n_0} = \tau \quad (3.1)$$

де  $t_p$ ,  $n_p$ ,  $n_0$  знаходять із хронокарти. З формули (5.2) отримаємо:

$$n_0 = \frac{n_p}{P} = \frac{n_p}{\tau}. \quad (3.2)$$

Ймовірності відмов унаслідок "машина" ( $g_M$ ), "транспорту" ( $g_{\text{Тр}}$ ), "людини" ( $g_L$ ) по дочитуються таким чином:

$$g_M = \frac{t_M}{T_{\text{дн}}} = \frac{n_M}{n_0} \quad (5.4), \quad g_{\text{Тр}} = \frac{t_{\text{Тр}}}{T_{\text{дн}}} = \frac{n_{\text{Тр}}}{n_0} \quad (5.5), \quad g_L = \frac{t_L}{T_{\text{дн}}} = \frac{n_L}{n_0} \quad (3.3)$$

де значення  $t_M$ ,  $t_{\text{Тр}}$ ,  $t_L$ ,  $n_{\text{Тр}}$  та  $n_L$  беруть із хронокарт. Причому кількість операцій, що належать до причини "людина", можна знайти:

$$n_L = n_0 - n_p - n_M - n_{\text{Тр}} \quad (3.4)$$

З формул (5.4) ... (5.6) тривалості простоїв з причин "людина" ( $t_L$ ), "машина" ( $t_M$ ), "транспорт" ( $t_{\text{Тр}}$ ) визначаються:

$$t_L = g_L T_{\text{дн}}; \quad t_M = g_M T_{\text{дн}}; \quad t_{\text{Тр}} = g_{\text{Тр}} T_{\text{дн}} \quad (3.5)$$

Інтенсивності виникнення відмов ( $\lambda_L, \lambda_M, \lambda_{\text{Тр}}$ ) системи та відновлення ( $\mu_L, \mu_M, \mu_{\text{Тр}}$ ) її працездатності з відповідних причин підраховуються за формулами:

$$\lambda_L = \frac{g_L \mu_L}{P}, \quad \lambda_M = \frac{g_M \mu_M}{P}; \quad \lambda_{\text{Тр}} = \frac{g_{\text{Тр}} \mu_{\text{Тр}}}{P} \quad (3.6)$$

$$\mu_L = \frac{n_L}{t_L}; \quad \mu_M = \frac{n_M}{t_M}; \quad \mu_{\text{Тр}} = \frac{n_{\text{Тр}}}{t_{\text{Тр}}} \quad (3.7)$$

наведені щільності потоків відмов з причин "людина", "машина", "транспорт" можна визначити таким чином:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\lambda_{\text{л}}}{\mu_{\text{л}}}; \quad \alpha_{\text{м}} = \frac{\lambda_{\text{м}}}{\mu_{\text{м}}}; \quad \alpha_{\text{Тр}} = \frac{\lambda_{\text{Тр}}}{\mu_{\text{Тр}}} \quad (3.8)$$

Сумарна наведена щільність потоку відмов підраховується:

$$\Psi = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{м}} + \alpha_{\text{Тр}} \quad (3.9)$$

Перевірка правильності розрахунків проводиться за формулами:

$$\begin{aligned} \text{а) } & n_{\text{р}} + n_{\text{л}} + n_{\text{м}} + n_{\text{Тр}} = n_{\text{о}}; \\ \text{б) } & g_{\text{л}} + g_{\text{м}} + g_{\text{Тр}} + P = 1. \end{aligned} \quad (3.10)$$

### **3.3. Методика підрахунку інтенсивності відновлення роботоздатності кормозбиральних агрегатів під впливом складової "середовище"**

Аналіз хронокарт показує, що зазвичай агрегат після випадання опадів (у вигляді дощу, снігу, дощу зі снігом) не працює, механізатор повертається на місце стоянки, обслуговує с.-г. техніки або закінчує роботу взагалі. Для підрахунку інтенсивності відновлення необхідно знати тривалість простоїв (відмов) агрегату з цієї причини. Можливо кілька варіантів її визначення.

1. Агрегат простоює залишок часу зміни і, якщо ґрунт просох, робота поновлюється наступного дня з ранку, як завжди.

2. Якщо ґрунт не просох, агрегат виходить у поле наступного дня значно пізніше з моменту готовності ґрунту чи не працює у цей день.

3. Якщо опади незначні і ґрунт дозволяє, агрегат продовжує працювати, не перериваючись. У цьому випадку приймали умову, що для досліджуваної схеми відмови через компоненти "середовище" відсутні.

З трьох варіантів нами досліджувався перший. Потенційну (умовну) тривалість часу зміни знаходили з умови тривалості роботи даного агрегату для виконання завданої норми виробітку за існуючих темпів його роботи запишеться:

$$T_{\text{CM}}^{\text{PC}} = t_0^\phi + \frac{W_{\text{CM}}^{\text{H}} - W_0^\phi}{W_0^\phi} \cdot t_0^\phi + \frac{W_{\text{CM}}^{\text{H}}}{W_0^\phi} \cdot t_0^\phi \quad (3.11)$$

Фактично відпрацьований час та фактичну продуктивність знаходять за даними хронометражних спостережень. У разі негативного значення  $t_\mu^{\text{MTY}}$  відмов системи через погодні умови "середовища" не буде. Якщо випадання опадів відбулося вже після того, як було виконано норму виробітку, то  $t_\mu^{\text{MTY}} = 0$ .

### 3.4. Особливості розрахунків характеристик надійності функціонування кормозбиральних агрегатів

Враховуючи відмінні риси розрахунків усереднених значень часу інтенсивностей появи відмов та відновлення для варіанта надійності функціонування системи по відношенню до часу циклу ( $t_{\text{ц}}$ ), тимчасові характеристики будуть визначатися таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \bar{t}_\mu^{\text{Л}} &= \frac{t_{\text{M-c}} + t_{\text{орг}} + t_{\text{пп}} + t_{\text{к}} + t_{\text{па}}}{n_\mu^{\text{Л}}}; & \bar{t}_\mu^{\text{М}} &= \frac{t_{\text{у}} + t_{\text{пт}} + t_{\text{н}} + t_{\text{т}}}{n_\mu^{\text{М}}}; \\ \bar{t}_\mu^{\text{Л}} &= \frac{t_{\text{MTY}}}{n_\mu^{\text{MTY}}}; & \bar{t}_\mu^{\text{Тр}} &= \frac{t_{\text{ож}} + t_{\text{см}}}{n_\mu^{\text{Тр}}} \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{t}_\lambda^{\text{Л}} &= \frac{t_\lambda^{\text{M-c}} + t_\lambda^{\text{орг}} + t_\lambda^{\text{пп}} + t_\lambda^{\text{к}} + t_\lambda^{\text{па}}}{\sum_{i=1}^n n_\lambda^{\text{Л}i}}; & \bar{t}_\lambda^{\text{М}} &= \frac{t_\lambda^{\text{у}} + t_\lambda^{\text{пт}} + t_\lambda^{\text{н}} + t_\lambda^{\text{т}}}{\sum_{i=1}^n n_\lambda^{\text{М}i}}; \\ \bar{t}_\mu^{\text{С}} &= \frac{t_\lambda^{\text{MTY}}}{\sum_{i=1}^n n_\lambda^{\text{С}i}}; & \bar{t}_\mu^{\text{Тр}} &= \frac{t_\lambda^{\text{ож}} + t_\lambda^{\text{см}}}{\sum_{i=1}^n n_\lambda^{\text{Тр}i}} \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

Після складання статистичних рядів та їх відповідної обробки визначали похибки вимірювань, будували гістограми за кожним показником. Для технологічних процесів, за якими було знято 30 і більше хронокарт вели пошуки законів розподілу, виявляли залежності, що нас цікавлять (парної та множинної регресії), визначали тісноту зв'язків (кореляційний аналіз). Весь отриманий матеріал систематизувався та аналізувався, чи приходили до відповідних висновків.

## **РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ**

### **4.1. Результати експериментальних досліджень кормозбиральних агрегатів**

Методів та методик дослідження людино-машинних систем існує досить багато. Їх вибір залежить від цілей та завдань досліджень. Ці дослідження передбачають визначення надійності функціонування технологічного процесу, фіксування відмов та тривалості їх усунення як системи загалом, так і її елементів. Найбільш прийнятним методом дослідження був прийнятий метод хронометражних спостережень. Цей метод широко відомий, і є одним з основних при дослідженнях безвідмовності технічних виробів, різних технологій, основних та другорядних (допоміжних) операцій. Його використовують для виявлення внутрішньогосподарських резервів, розробки передових прийомів роботи, порівняльної оцінки застосовуваних механізмів, приладів та машин, шляхів підвищення продуктивності МТП, складання норм виробітку, витрати палива тощо. Використання даного методу з аналізом поелементних витрат часу, дозволяє наблизитися до вирішення проблеми визначення ступеня впливу елементів технологічної системи на надійність її функціонування, а також виявити та порівняти працездатність її складових компонентів ("людина", "машина", "середовище").

До того ж слід зазначити, що метод хронометражних спостережень за функціонуванням технологічних систем та їх компонент є досить простим і не вимагає значних матеріальних витрат, що важливо у цей час.

Важливою обставиною є те, що хронографію елементів часу можна проводити за операціями циклічності технологічного процесу.

Цей варіант хронографії робочого дня широко використовується на машиновипробувальних та нормувальних станціях. Окремі елементи циклу враховуються шляхом індивідуальних вимірів та загальної їх кількості. Метод комплексного поєднання хронографії та хронометражу забезпечує економію трудових витрат під час проведення спостережень. Цей прийом представляє певний практичний інтерес і для справжніх досліджень, а з використанням комп'ютера для обробки хронометражних даних значно підвищується цінність описаних методик і розширюється можливість їх застосування.

Іншим дуже важливим, на думку, методом при системних дослідженнях є метод експертних оцінок. Він застосовний для вивчення явищ, процесів та подій, на які впливає велика кількість факторів, деякі з них не мають кількісної оцінки. Так, наприклад, при вивченні компоненти технологічної системи "людина" як узагальнені оціночних показників використовуються: кваліфікація виконавця, дисципліна праці, ставлення до техніки та виконання технологічної операції тощо. У свою чергу вони характеризуються такими показниками (назвемо їх приватними) як класність, освіта, стаж роботи, знання техніки та технологій, уміння якісно працювати та ін. Усі приватні та узагальнені показники не мають кількісної оцінки. Тому доцільно ці якісні оцінки переводити в кількісні, а потім визначати комплексний кількісний показник і по ньому судити про те чи інше явище, процес. Так, комплексним оціночним показником компоненти "людина" може бути рівень професійної майстерності.

Для отримання комплексного кількісного оціночного показника вдаються до допомоги експертів, які оцінюють приватні та узагальнені показники у балах (рангах). Методика експертних оцінок для достовірності підрахунків передбачає цілу серію математичних обґрунтувань, наприклад, таких як кількість експертів, критичне значення коефіцієнта конкордації (згоди), середня узагальнена думка експертів та ін. Метод експертних оцінок та обґрунтування перекладу якісних характеристик досліджуваного явища у кількісні викладено у численній літературі.

Аналіз робіт із застосування методу експертних оцінок показує, що його можна з успіхом використовувати і для вирішення завдань щодо визначення впливу компонентів системи "Л-М-С" на надійність її функціонування.

Така практика відома, наприклад, стосовно розробки автоматизованих систем.

Крім використання згаданих методик (хронометражних спостережень та експертних оцінок) при системних дослідженнях застосовувалися елементи теорії випадкових процесів, ймовірностей, математичної статистики, масового обслуговування та ін.

#### **4.2. Умови і місце проведення хронометражних спостережень надійності кормозбиральних агрегатів**

Збирання кормових культур (збирання сіна) з подрібненням комбайном КСК-100 та відвезення подрібненої маси до місця зберігання; скошування трави з подрібненням комбайном Е-282, навантаження в транспортний засіб та перевезення маси до місця зберігання; скошування трави з плюпдінням та формуванням валків косаркою-плющилкою Е-303; згрібання та зворушення сіна агрегатом МТЗ-80+ГВР-6Б; підбір валків з подрібненням, завантаженням у транспортне засіб комбайном Е-281 та відвезенням маси до місця зберігання.

66 хронокарт, знятих у різних регіонах України різними хронометражистами, були запозичені у НДС НУБіП України як пошуковий експеримент з метою перевірки та підтвердження лінійного характеру та стабільності лінійності зміни поточної продуктивності для агрегатів, що працюють у різних природно-кліматичних умовах. Крім цього на цих хронокартах перевірялися моделі формування денної фактичної продуктивності та надійності функціонування людино-машинних кормозбиральних агрегатів з комбайном КСК-100.

Хронокарти з інших видів кормозбиральних робіт було знято в НДІ НУБіП України. Частина з них була отримана при хронометруванні одного і того ж агрегату (Е-303, МТЗ-80+ГВР-6Б та Е-282) протягом двох збиральних сезонів. Ціль таких спостережень полягала в тому, щоб вивчити стабільність протікання відповідних технологічних операцій та їх параметрів, забезпечити однорідність протікання технологічного процесу. В результаті таких спостережень набрався статистичний матеріал з досліджуваних параметрів процесу, який дозволив виявити взаємозв'язки досліджуваних показників надійності функціонування системи та моделі продуктивності БМСА, встановити закони розподілу та отримати відповідні оцінки.

43 хронокарти було знято за трьома агрегатами Е-281 (16; 16; і хронокарт). При цьому однорідність наближено забезпечувалася їх роботою на однотипних полях, розташованих поруч, з однаковою врожайністю однієї та тієї ж культури. Мета дослідження працездатності цієї групи комбайнів полягала в тому, щоб виявити діапазон зміни параметрів надійності функціонування процесу показників моделі формування денної фактичної продуктивності БМСА для даних умов експерименту. У всіх випадках перевірялася стабільність лінійного характеру зміни поточної продуктивності агрегатів.

Попередньо перед спостереженнями було вивчено природно-кліматичні умови у місцях, де проводилися роботи, складено плани полів, виявлено організацію та управління технологічним процесом. У хронокарту та журнал записувалися всі дані про агрегат, механізатор, місце і час роботи, її вид, найменування культури, що підлягає обробці, характеристику ділянки та ін. згідно бланку спостережного листа.

Спостереження проводилися відповідно до ДСТУ 7416-2013, (EN ISO 4254-7:2017, IDT; ISO 4254-7:2017, Corrected version 2019-03, IDT) та ін, які регламентують методи випробувань сільськогосподарських машин. До журналу заносили записи про умови випробувань:

- 1) метеорологічні (температура повітря, °С, відносна вологість, %, опади, швидкість вітру, м/с;
- 2) Показники поля (рельєф, мікрорельєф, зміна поля, засміченість, кам'янистість, закустаренність та інших.);
- 3) характеристики ґрунту (комкуватість, вологість, щільність, твердість);
- 4) характеристика оброблюваного матеріалу (вологість);
- 5) характеристики культур, що забираються (висота рослин, фаза розвитку, врожайність, вологість).

У процесі випробувань визначалися функціональні показники агрегату: робоча швидкість (км/год); фактична ширина захвату (м); втрати; фіксувалися всі елементи часу (початок і кінець робочого дня, всілякі зупинки), оброблена площа, функціональні відмови технологічного процесу та інші показники, необхідні для розрахунків експлуатаційних показників, відповідно до моделей, що перевіряються.

Хронометражні спостереження проводилися в НДГ НУБіП України. У хронометражних спостереженнях щодо перевірки теоретичних розробок автора брали участь (крім автора) аспіранти, претенденти, працівники науково-дослідної групи та науково-дослідні студентські загони, очолювані співробітниками та аспірантами кафедри При проведенні хронометражних спостережень вплив метеоумов на надійність функціонування технологічної системи (як чинника «середовища») досліджувалося лише на орних агрегатах із трактором ДТ-75М. на інших технологічних процесах хронометражні спостереження проводились за хорошої погоди.

#### **4.3. Характерні відмови кормозбиральних агрегатів за компонентами**

Зважаючи на те, що на роботу агрегату впливає велика кількість факторів, хронометражні спостереження та обробка їх результатів мають, на відміну від загальноприйнятих, деякі особливості.

Враховуючи, що надійність функціонування технологічної системи носить випадковий характер, хрономегражні спостереження з визначенням ймовірностей безвідмовної роботи та відмов, інтенсивностей їх появи та відновлення працездатності системи з урахуванням всіх факторів, що впливають, можна проводити аналогічно спостереженням за надійністю відповідно до ДСТУ. При цьому баланс часу зміни представимо у вигляді:

$$T_{\text{дн}} = t_{\text{м-с}} + t_{\text{па}} + t_{\text{пп}} + t_{\text{х}} + t_{\text{т}} + t_{\text{у}} + t_{\text{пт}} + t_{\text{н}} + t_{\text{орг}} + t_{\text{мту}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{к}} + t_{\text{р}} \quad (4.1)$$

де складові балансу - відповідно тривалості:  $t_{\text{м-с}}$  -пересування механізатора від місця відпочинку до стоянки агрегату;  $t_{\text{па}}$  і  $t_{\text{пп}}$  - підготовка агрегату та поля до роботи;  $t_{\text{х}}$  - холостих ходів; та  $t_{\text{у}}$  - технологічного та технічного обслуговування;  $t_{\text{пт}}$  і - усунення технологічних та технічних несправностей;  $t_{\text{орг}}$  - простоїв по організаційним;  $t_{\text{мту}}$ - метеорологічним  $t_{\text{ф}}$  - фізіологічних причин;  $t_{\text{к}}$ - контролю якості роботи агрегату та  $t_{\text{р}}$  - чистої роботи (час безвідмовної роботи агрегату). Усі непродуктивні елементи часу прийняті за функціональні відмови з відповідними інтенсивностями їх виникнення та відновлення працездатності системи. Тривалість знаходження системи в неробочому стані з будь-якої причини буде характеристикою інтенсивності появи відмов і визначатиметься за даними хрономегражних спостережень. Наприклад, система не працювала якийсь час через технологічне обслуговування і почала функціонувати після закінчення. Тривалість цього простою і буде тривалістю "умовного відновлення" працездатності агрегату. Якщо технологічне обслуговування передбачає, наприклад, розвантаження комбайна у транспортний засіб, то така відмова системи буде через «транспорт».

До відмови системи віднесено причини:

«Людина» - відмови (простої), коли механізатор не керує агрегатом, наприклад, при підготовці його до роботи, з організаційних причин, фізіологічних потреб, контролю якості роботи і т.д.;

«Машина»- простої на технологічному та технічному обслуговуванні, при усунення технічних та технологічних несправностей;

«Середовище» (метеоумови) - простої агрегату після випадання опадів, коли агрегат не може працювати (виконувати технологічну операцію) через стану ґрунту, оброблюваного матеріалу. За таких відмов після випадання опадів агрегат не працює весь залишок робочого дня.

#### **4.4. Обґрунтування та ранжування показників оцінки рівня професійної підготовленості операторів кормозбиральних агрегатів**

Система оціночних показників (узагальнюючих та приватних) представлена в таблиці 4.1. Вочевидь, що не всі чинники впливають однаково на рівень професійної підготовленості механізатора. Тому, використовуючи метод експертних оцінок, було визначено значимість кожного з чинників. У якості експертів виступали кваліфіковані висококомпетентні фахівці: інженери господарств, викладачі сільськогосподарських навчальних закладів (агроуніверситетів, академій, технікумів, училищ) майстри виробничого навчання ВУ, працівники управління професійної освіти. Середній бал підсумкових оцінок з предметів ПУ-це не що інше, як експертна оцінка знань учнів. Обробка опитувальних листів експертів проводилася за спеціальною методикою. Кожен із узагальнюючих факторів може перебувати на будь-якому з чотирьох рівнів: високому, середньому, низькому та дуже низькому. Високий рівень відповідає стану, коли виконуються всі умови, що забезпечують максимальну оцінку знань та вмінь механізаторів виконувати роботи відповідно до вимогами та інструкціями, ГОСТами. При визначенні послідовності рангів в узагальнених факторах враховували обсяг годин, що відводиться за програмами

та навчальними планами, вивчення тих чи інших предметів, а також експертні оцінки викладачів ПУ. Четвертий та п'ятий узагальнені фактори були введені на підставі аналізу кваліфікаційної характеристики. Усі приватні показники узагальнених факторів, що мають кількісну та якісну оцінку, були приведені до єдиної бальної системи за допомогою генеральних визначальних таблиць (ГОТ), відомі у практиці інженерного прогнозування.

Таблиця 4.1

Система показників для оцінки рівня підготовки механізаторів, які працюють на кормозбиральних агрегатах

№ п/п	Узагальнюючий показник	Позначення	Значимість оцінки рангу	Приватні показники	Позначення	Значимість оцінки за рангом
1	2	3	4	5	6	7
1	Рівень теоретичної професійно-технічної підготовки	$P_T$	1	А.Знання конструкцій тракторів. Б.Знання конструкцій с.-г. машин. В.Знання організації і технології виробництва механізованих робіт і основ агрономії. Г.Знання системи ТО і ремонту машин. Д.Знання охорони праці та екології	$M_{TA}$ $M_{TB}$ $M_{TV}$ $M_{TG}$ $M_{TD}$	Визначається за середнім балом – порядковий номер оціночного приватного показника
2	Рівень практичної підготовки	$Y_{II}$	1	А.Керування тракторів, автомобілів та ін. самохідних машин. Б.Виробнича практика по організації і технології механізованих робіт. В.Основи експлуатації і ТО МТА Г.Ремонт машин. Д.Слюсарна справа	$M_{IIA}$ $M_{IIB}$ $M_{IIV}$ $M_{IIG}$ $M_{IID}$	Визначається за середнім балом іспитів
3	Рівень загальноосвітньої підготовки	$Y_O$	0,75	А.Знання математики. Б.Знання фізики. В.Знання хімії. Г.Знання основ інформатики та обчислювальної техніки. Д.Знання інших загальноосвітніх дисциплін	$M_{OA}$ $M_{OB}$ $M_{OV}$ $M_{OG}$ $M_{OD}$	Визначається за середнім балом підсумкових оцінок

4	Вміння застосовувати отримані знання на виробництві (в роботі)	$U_p$	0,5	А.Якість виконання механізованих робіт з дотриманням правил і вимог техніки безпеки, протипожежної техніки та екології.	$M_{pA}$	Визначається ро відхиленням від нормативних значень агровимог.
1	2	3	4	5	6	7
				Б.Виконання норм виробітку. В.Економія витрат палива при виконанні механізованих робіт Г. Якість виконання ЕТО Д.Вміння усувати самостійно несправності машин	$M_{pB}$ $M_{pB}$ $M_{pG}$ $M_{pD}$	Визначається повнотою виконуваних операцій за правилами. Визначається якістю, експлуатацією та самовідновлення м.
5	Вміння готувати машини до зберігання	$U_x$	0,31	А. Чистка та мийка шин, монтаж на стенди. Б. Ущільнення двох дверей. В. Консервація вузлів і деталей на машині не відповідає правилам зберігання Г. Зняття деталей і обладнання з машини згідно з ГОСТом, їх підготовка і доставка на склад Д. Підготовка до зберігання шин.	$M_{xA}$ $M_{xB}$ $M_{xB}$ $M_{xG}$ $M_{xD}$	Оцінюється за якістю і повнотою виконання - операцій, передбачених правилами і ГОСТом.

З даних табл. 4.1 видно, що серед узагальнюючих факторів найбільш значні «рівень теоретичної та професійної підготовки» -  $U_T$ , (1) і «рівень практичної підготовки» -  $U_n$  (2). Цим показникам дано однакову оцінку ( $\xi = 1$ ). Наступним за рангом з оцінкою  $\xi = 0,75$  йде узагальнюючий оцінний показник "рівень загальноосвітньої підготовки" -  $U_0$ , (3).

Далі по порядку ранжировані експерти відзначили «вміння застосовувати отримані знання на виробництві (у роботі)» -  $U_p$ , (4) ( $\xi = 0,5$ ). На п'ятому місці знаходиться узагальнений показник «уміння готувати машину до зберігання відповідно до правил» -  $U_x$ , (5), ( $\xi = 0,3$ ). Розглянутий підхід дозволив виявити чинники, що найбільше впливають на загальний рівень професійної підготовки.

При визначенні рівня професійної підготовки механізатора найбільша складність полягала у кількісній оцінці окремих чинників. Для цього було використано навчальні плани та програми підготовки механізаторів, у яких передбачені іспити з відповідних предметів. Оціночний рівень встановлювали за середнім балом підсумкових іспитів (Узагальнені показники 1, 2, 3). Для оцінки узагальнених показників 4 та 5 використовували функцію бажаності Харрінгтона, сенс якої полягає в тому, що натуральні значення приватних факторів перетворюються на безрозмірну шкалу бажаності та переваги. Використовуючи цю функцію, якісні показники приватних факторів  $M_{Пij}$  та  $M_{Хij}$  перетворювали у певні кількісні. Їх ранжування складено за оцінками експертів. Наприклад, при оцінці четвертого узагальненого показника приватні визначали за відхиленнями від нормативних значень агровимог, повнотою виконання операцій ТО та якістю усунення несправностей. Використовуючи дані підсумкових оцінок учнів з відповідних предметів для підрахунку  $U_T$ ,  $U_{П}$ ,  $U_O$ ,  $U_P$ ,  $U_X$  у таблиці зазначали (за середнім балом) номер рангу значимість цієї оцінки.

#### **4.5. Експериментальна перевірка моделей надійності функціонування кормозбиральних агрегатів**

Результати обробки основних тимчасових статистичних рядів представлені у таблиці 4.2.

Аналіз даних показує, що середня тривалість робочого дня ( $T_{дн}$ ) коливається від 7,63 (Е-281 – підбір валків) до 11,06 години (Е-303 – скошування у валки з плющенням). При цьому основне (чисто робочий час,  $t_p$ ) змінюється від 2,89 (Е-281) до 5,75 год (Е-303). Тимчасові інтервали початку ( $T_{дн}^н$ ) та кінця ( $T_{дн}^к$ ) робочого дня рівні (7,73... 9,81) (для Е-303 та Е-281) та (17,02... 18,95) год (для МТЗ-80+ГВР-6Б та Е-282). Середня тривалість часу від початку першого і кінця останнього робочого ходу ( $T_p$ ) становить від 5,13

(МТЗ-80-ГВР-6Б) до 9,16 год (Е-303). Великий розкид (2,07 год) у часі початку дня та першого робочого ходу (2,09 год) пояснюються насамперед тим, що в ранкові години, як правило, випадає роса і проведення технологічних операцій з підбору валків і згрібання сіна неможливо.

Таблиця 4.2.

Тимчасові показники моделі формування денної продуктивності кормозбиральних процесів

Тимчасові показники	КСК-100		Е-282		Е-303		МТЗ-82+ ГВР-65		Є-281	
	год	%	год	%	год	%	год	%	год	%
$T_{\text{дн}}^{\text{н}}$	8,394	-	7,893	-	7,734	-	8950	-	9,806	-
$t_{\text{м-с}}$	0,212	2.4	0,294	2.7	0,287	2.6	0,267	3.3	0,147	1.9
$t_{\text{на}}$	0,384	4.3	0,469	4.2	0,469	4.1	0,933	11.5	0,533	7.0
$t_{\text{орг}}$	0,059	0,7	0,249	2.2	0,394	3.6	0,376	4.6	0,318	4.2
$t_{\text{ф}}$	1,058	11,9	1,416	12.8	1450	13.1	1,079	13.4	1,045	13.7
$t_{\text{у}}$	0,113	1.3	0,351	3.2	0,157	1.4	0,432	5.3	0,161	2.1
$t_{\text{н}}$	0,569	6.4	0,627	5.7	0,807	7.3	1,059	13.1	0,379	5.0
$t_{\text{мм}}$	0,092	1.0	0,139	1,2	0,517	4.7	0,068	0,8	0,216	2.8
$t_{\text{з}}$	0,054	0,6	0,11	1.0	0,119	1.1	0,153	1.9	0,108	1.4
$t_{\text{пдг}}$	0,764	8.7	1,388	12.6	1,515	13.7	2,063	25.5	1,529	20,0
$t_{\text{зкл}}$	0,315	3.6	0,536	4.8	0,453	4.1	0,894	11,1	0,739	9.7
$T_{\text{р}}$	7,719	87.5	8,88	80.4	9.159	83.7	5.218	64.6	5,297	69.4
$t_{\text{о}}$	9,423	-	9,281	-	9,256	-	11.01	-	11.34	-
$t_{\text{р}}^{\text{к}}$	17.09	-	18,17	-	18.51	-	16,23	-	16.67	-
$\Delta t_{\text{нпр}}$	3,561	40.4	3735	39.8	3,409	30.8	2,289	28.3	2405	31.5
$t_{\text{р}}$	4,189	47.5	5,153	46.7	5,751	52,0	2,926	36.2	2,892	37.9
$T_{\text{дн}}^{\text{к}}$	17.5	-	18.95	-	18.86	-	17.03	-	17.39	-
$T_{\text{дн}}$	8,821	100	11.04	100	11.06	100	8,076	100	7,631	100

Під час розгляду гістограм розподілу часу робочого дня було виявлено, що у агрегатів КСК-100, Е-303, Е-282, МТЗ-80+ГВР-6Б початок робочого дня зміщено вліво щодо свого середнього значення. Це ж можна сказати і початок першого робочого ходу. Що стосується часу кінця останнього робочого ходу, то тут зсув відбувається праворуч.

Це свідчить про те, що всі механізатори переважно закінчують роботу в проміжку часу від 17,5 до 18,5 год.

Гістограма розподілу тривалості підготовчих робіт має ухил вправо, ексцес позитивний, що говорить про довгу підготовку агрегату. Це пояснюється тим, що під час підготовчих робіт поряд із підготовкою агрегату іноді проводять експлуатаційний ремонт. За розподілом часу заключних робіт можна говорити про усунення значень вліво щодо середнього, що тлумачиться насамперед тим, що роботи з встановлення агрегату на міжзмінне зберігання, як правило, не проводяться. Закони розподілу деяких тимчасових характеристик наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3.

Закони розподілу тимчасових характеристик моделі формування денної продуктивності кормозбиральних процесів

Агрегат	Параметр	Закон розподілу	Класи	$\chi^2$ -тест	Рівень значимості	Параметри Розподілу	
						$\alpha$	$\beta$
Е-281	$t_{\text{пдг}}$	Вейбулла	8	0,653	0,721	1,249	0,338
Е-281		Гамма	6	0,164	0,921	2,251	1472
КСК-100	$T_p$	Нормальний	6	0,459	0,498	7,719	1,885
Е-281		Логнормальний	7	0,079	0,779	5,315	2260
Е-303	$t_p$	Вейбулла	10	0,157	0,692	5,751	1999
Е-281	$t'_{\text{нпр}}$	Гамма	6	0,048	0,827	3,258	1,355
КСК-100	$t_{\text{зкл}}$	Експоненціальний	9	2680	0,613	0,315	-
КСК-100	$t_o$	Логнормальний	8	2,367	0,499	4,143	1,256
Е-303		Нормальний	10	0,157	0,692	5,751	0,429
Е-303	$t_p^k$	Нормальний	7	0,948	0,622	17,087	1,727
Е-281		Вейбулла	10	1,853	0,603	8,061	17,733

#### 4.6. Оцінка часу на усунення відмов системи «Кормозбиральний процес» під впливом складових «людина», «машина», «транспорт»

При функціонуванні кормозбиральної системи другим за значимістю тимчасовим елементом є тривалість простоїв на усунення технічних несправностей (4,97...13,11%). Причиною цього є поломка ріжучих і механізмів, що підбирають. Це викликано неякісним ремонтом та поганою підготовкою поля перед початком польових робіт.

Наступний у порядку зменшення показник - тривалість простоїв для підготовки агрегату до роботи з урахуванням його заправки (0,384...0,993 год, для КСК-100 та МТЗ-80+ГВР-6Б). Ці простой пояснюються тим, що механізмам поруч із проведенням операцій ТО доводилося робити ремонт свого агрегату.

Не спостерігалося простоїв агрегату через: "підготовка поля", "контроль якості", "технологічне обслуговування" та метеоумов. Підготовку поля проводили інші механізатори, а контроль якості здійснював головний агроном господарства. Відсутність простоїв за метеоумовами пояснюється тим, що технологічні операції проводилися лише за хорошої погоди. Технологічне обслуговування поєднувалося з робочим ходом комбайна, добірка та навантаження трави проводилася одночасно з рухом агрегату.

Час циклу для збиральних процесів вийшов рівним для КСК-100 - 4,436, Е-282 - 5,438, Е-303 - 5,896, МТЗ-80+ГВР-6Б - 3.104 та Е-281 - 3.134 години. Для КСК-100 та Е-303 були отримані закони розподілу даної характеристики (гамма-розподіл з параметрами  $\alpha = 3,927$ ,  $\beta = 3,494$  та  $V_{zn} = 0,716$  і Вейбулла,  $\alpha = 1,253$ ,  $\beta = 6,593$ ,  $V_{zn} = 0,561$ ). Найбільший сумарний час циклів у косарки-плющилки (Е-303) становило 5,896, найменше - у граблів (МТЗ80+ГВР-6Б) - 3,104 години. Час циклів більше основного часу на величину холостих поворотів. У МТЗ-80+ГВР-6Б витрати на повороти більші, ніж у інших агрегатів.

Відповідно до моделі функціонування кормозбирального процесу було визначено, що найбільші простой сінозбиральної системи спостерігалися за причини «людина» (очікування обіду, підготовка агрегату до роботи). Тривалість цих видів відмов склала від 1,967 (КСК-100) до 3,071 год (Е-303), табл. 6.5. Також великі простой системи спостерігалися через «машину»: від 12% до 26% про час робочого дня. Більшість відмов склали простой агрегатів на усунення технічних несправностей і на технічне обслуговування. Основними причинами виникнення технічних несправностей у агрегатів були такі

елементи, що відмовили: КСК-100 - пальці і сегменти; Е-282 – підбираючий апарат; Е-303 - зуби скошуючого апарату; МТЗ-80+ГВР-6Б - поломка зубів грабель; Е-281 - поломка зчеплення та зубів підбираючого апарату.

Агрегати, що обслуговуються транспортними засобами, здебільшого випадків (від 13% до 17% робочого дня) простоювали в їх очікуванні. Це насамперед нестачею автомобілів, значною віддаленістю оброблюваних полів від місця зберігання скошеної та підібраної маси, а також недостатньо організованої роботи ланок транспортного забезпечення.

Підбір законів розподілу тривалості відмов кормозбиральних процесів з причин «Л», «М», «Т» призвів до таких результатів:  $t_{\text{л}}$  підпорядковується нормальному закону розподілу (КСК-100 та Е-303) та гаммарозподілу (Е-281);  $t_{\text{м}}$  - експонентному (КСК-100), нормальному (Е303), гамма-розподілу (Е-281);  $t_{\text{тп}}$  - Експонентному (КСК-100), логнормальному (Е-281). Для інших процесів встановити прийнятні закони розподілу параметрів, що вивчаються, не вдалося.

Результати статистичної обробки тимчасових характеристик, розподілених з відповідних причин, показані в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Тривалість відмов кормозбиральних технологічних систем  
з причин "Л", "М", "Т"

Тривалість простоїв по причині	КСК-100		Е-282		Е-303		МТЗ-80+ +ГВР-65		Е-281	
	год	% к $T_{\text{дн}}$	год	% к $T_{\text{дн}}$	год	% к $T_{\text{дн}}$	год	% к $T_{\text{дн}}$	год	% к $T_{\text{дн}}$
«людина», $t_{\text{л}}$	1,967	22.3	2,419	21.9	3,071	27.8	3,122	38.6	2,015	26.4
«машина», $t_{\text{м}}$	1,628	18.5	1681	15.2	1,982	17.9	2,028	25.1	1,337	17.5
«транспорт», $t_{\text{тп}}$	10.94	12.4	1461	13.2	-	-	-	-	1,317	17.3

#### 4.7. Статистичні характеристики надійності функціонування агрегатів для заготівлі кормів та їх параметрів

Як було зазначено раніше, хронометражні спостереження за кормозбиральними технологічними системами проводились у хорошу погоду.

Тому погодні показники компоненти «середовища» прийняті нульовими. Усі основні параметри надійності функціонування розраховувалися системи «Л-М-Т», які у табл. 4.4. Також були отримані частотні гістограми надійності функціонування та сумарної наведеної щільності потоку відмов системи.

Порівняння досліджуваних технологічних операцій показало, що сама низька надійність функціонування при згрібанні сіна агрегатом МТ380+ГВР-6Б ( $P=0,368$ ), трохи вище за її значення при підборі валків з подрібненням та навантаженням у транспортний засіб агрегатом Е-281 ( $P=0,381$ ). Про великі простоях цих агрегатів свідчить і сумарна наведена щільність потоку відмов системи «Л-М-Т», яка склала відповідно 2,779 та 1,910.

Наведені дані табл. 4.5. показують, що в основному та частіше за інших виникають відмови системи через «людина». Це підтверджується отриманими значеннями ймовірності  $g_i$  виникнення відмов з відповідних причин.

Таблиця 4.5

## Параметри надійності функціонування кормозбиральних процесів

Показники надійності процесу	КСК-100		Е - 282		Е - 303		МТЗ - 80 + ГВР - 65		Е - 281	
	до основного часу	до часу циклу	до основного часу	до часу циклу	до основного часу	до часу циклу	до основного часу	до часу циклу	до основного часу	до часу циклу
$\lambda_L$	5,456	1,395	1,706	1744	6.56	1,714	6443	2,246	1,897	1,512
$\mu_L$	13.6	4,059	2,895	3,038	11,16	3.51	5.7	2,045	3,255	4,554
$\alpha_L$	0,564	0,512	0,591	0,618	0,686	0,507	1,238	1,085	0,863	0,360
$g_L$	0,228	0,223	0,222	0,214	0,295	0,258	0,396	0,377	0,27	0,183
$\lambda_M$	6,262	1,087	4,759	1645	7,027	2437	5,271	1,179	6,839	1,904
$\mu_M$	32,28	3,562	18,14	4,895	21.47	7.35	9,464	2,285	17.36	6,586
$\alpha_M$	0,417	0,307	0,419	0,429	0,409	0,339	0,816	0,671	0,456	0,326
$g_M$	0,129	0,110	0,153	0,155	0,179	0,177	0,236	0,214	0,164	0,164

$\lambda_{\text{Тр}}$	2,712	2,751	6,726	4,302	-	-	-	-	11.09	3,797
$\mu_{\text{Тр}}$	14.45	37,76	28,99	11.79	-	-	-	-	24,21	15.83
$\alpha_{\text{Тр}}$	0,57	0,505	0,437	0,521	-	-	-	-	0,593	0,406
$\mathcal{G}_{\text{Тр}}$	0,244	0,202	0,137	0,159	-	-	-	-	0,181	0,128
$P$	0,471	0,505	0,467	0,494	0,517	0,552	0,368	0,389	0,381	0,511
$\psi$	1,504	1,324	1447	1,231	1,122	0,846	2,779	1,503	1.91	0,938

Порівняння отриманих даних щодо надійності функціонування, розрахованих по відношенню до основного ( $P$ ) та циклового часу ( $P_{\text{ц}}$ ) (табл. 4.5) показує, що  $P_{\text{ц}}$  всім технологічних операцій трохи вище  $P$ . Це обставина пояснюється лише тим, що з підрахунку  $P_{\text{ц}}$  тривалість поворотів увійшла як «корисний» час. Тим не менш, незважаючи на деяке збільшення надійності функціонування та зниження сумарної наведеної щільності потоку відмов з відповідних причин, з практичної точки зору, доцільно розглядати ці показники по відношенню до суто робочого часу. Такий підхід дозволяє повніше врахувати резерви підвищення продуктивності з допомогою зниження часу повороти.

#### **4.8. Продуктивність кормозбиральних агрегатів та їх зв'язок з параметрами надійності функціонування технологічного процесу**

Як зазначалося, продуктивність агрегату залежить від безлічі факторів (довжини гону, способів руху, врожайності, полеглості, засміченості тощо). Природно, що повністю врахувати всі фактори практично не є можливим. Однак, основні з них враховуються поправними коефіцієнтами, які встановлюються до норм виробітку та витрати палива. Так, під час експериментів кормозбиральних процесів і при встановленні у господарствах норм виробітку визначалася вологість, солонистість, врожайність, клас довжини гону та інші показники за паспортними даними полів та

безпосередніми вимірами. На полеглих та засмічених полях до настановних у господарствах норм враховувалися поправочні коефіцієнти, зумовлені на основі вимірів та підрахунків за таблицями додатків. Фактичну продуктивність визначали безпосереднім виміром обробленої площі (га) і порівнювали з розрахунковою з хронокарт. Пряме комбайнування проводилося без подрібнення соломи. Урожайність пшениці на експериментальних полях коливалася від 1,4 до 2,6 т/га. Вологість становила 16.24%. Відношення маси зерна до маси соломи коливалося від 1. Т, 13 до 1. Т, 17. Для розрахунків приймалася рівною 1:1,15.

Безпосереднє накопичення денної продуктивності здійснюється дискретно, кожен робочий хід, починаючи з першого робочого ходу і закінчуючи завершенням останнього. До першого робочого ходу в основному проводиться підготовча робота (пересування механізатора до місця стоянки) агрегату, отримання завдання, технічне його обслуговування, підготовка та налаштування агрегату, переїзд до місця роботи, заїзд у загін). Після закінчення останнього робочого ходу механізатор переганяє агрегат до місця стоянки та готує його до міжзмінного зберігання (заклучний час). Закінчення цих робіт вважається кінцем робочого дня системи «Л-М-С».

Аналіз формування денної продуктивності при обробці на ЕОМ за спеціально розробленою нами програмою численних матеріалів хронометражних спостережень за різними агрегатами та апробація варіантів апроксимації (експоненційна, степінна, логарифмічна та лінійна залежності) показали, що накопичення (підсумовування) продуктивності в переважній більшості випадків здійснюється за лінійним. Було оброблено близько 500 хронометражних карток на збирання кормових культур на силос з КСК-100. Це дозволило зробити висновок про лінійність моделі динаміки накопичення продуктивності.

В результаті аналізу різних апроксимуючих функцій денної фактичної продуктивності було визначено, що для кормозбирального технологічного

процесу характер зміни  $W_{\text{дн}}^{\Phi}$  - лінійний (коефіцієнт кореляції вище, а відносна похибка нижче, ніж в інших апробованих функцій. Це підтверджує теоретичні причини.

Закономірності зміни денної фактичної продуктивності протягом робочого дня для умов експериментів апроксимуються наступними виразами:

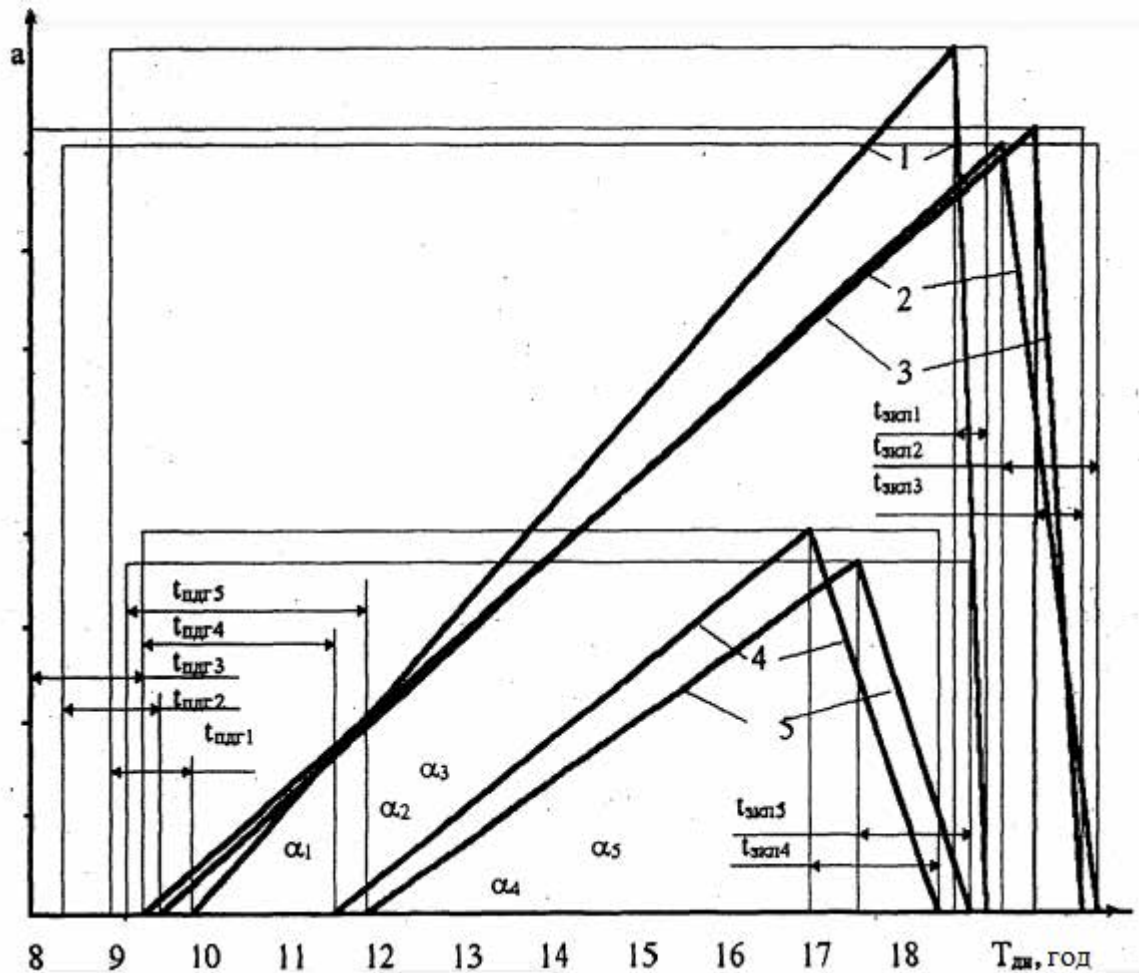


Рис. 4.1. Експериментальна модель формування денної продуктивності кормозбиральних агрегатів

$$\text{КСК-100 } \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i = 0,596 T_{\text{дн}} - 4,933;$$

$$\text{Е-282 } \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i = 1,099 T_{\text{дн}} - 11,682;$$

$$\text{МТЗ-80+ГВР-6Б } \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i = 0,596 T_{\text{дн}} - 4,933;$$

$$\text{Е-281 } \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i = 0,517 T_{\text{дн}} - 5,115;$$

$$\text{Е-303 } \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i = 0,924 T_{\text{дн}} - 7,959.$$

$$W_{\text{дн}}^{\Phi} = 0,119 T_{\text{сез}} + 0,740 .$$

#### 4.9. Взаємозв'язки показників моделі формування денної продуктивності агрегату з параметрами надійності функціонування технологічних процесів

Залежність основних параметрів моделі динаміки поточної продуктивності ( $W_{\text{дн}}^{\Phi}, \omega_i, \alpha_{\Phi}$ ) від функціональної надійності ( $P$ ) показує, що зв'язок між цими параметрами для більшості агрегатів тісний. Це видно за даними табл. 4.6. Отримані дані свідчать, що всі зазначені параметри знаходяться у прямій залежності від надійності функціонування збирального агрегату в системі «Л-М-С-Т». Аналіз отриманих даних показує, що зі збільшенням функціональної надійності поточна, денна фактична продуктивність та інтенсивність їх наростання збільшуються.

Таблиця 4.6

Результати розрахунків лінійної динаміки поточної продуктивності технічних засобів на основі хрономегранжевих спостережень

Показники	Технологічний процес та застосовувані машини				
	КСК-100	Е-282	Е-303	МТЗ-80+ ГВР-6	Е-281
Продуктивність, га:					
ідеальне, $W_{\text{дн.ід.}}$	44.17	39,74	64,36	58.15	13.32
потенціал, $W_{\text{дн.п.}}$	19,13	17,69	17.06	10.97	10,12
теоретична, $W_{\text{дн.т.}}$	17.35	15.47	14.67	8.27	7,99
фактическая, $W_{\text{дн.ф.}}$	8,85	8.38	8.39	3,99	3.57
струм, $\omega_i$	0,23	0,19	0,15	0,16	0,07
Кут нахилу прямий, характеризуючий нарощування продуктивності, ступені					
ідеальною, $\beta_{\text{ід}}$	78,78	74,48	74,77	82,50	60,39
потенціал, $\beta_{\text{п}}$	63.41	58.27	56,31	53,98	53.10
теоретична, $\beta_{\text{т}}$	58.27	52.17	49.24	36,71	41,96
фактической: (с начала рабочего	43,59	38,76	38,54	28.73	28,28

дня), $\beta_\phi$					
з початку робочого ходу, $\alpha_\phi$	46.12	43.02	43,59	37,67	35,37

Продовження таблиці 4.6

підсумковий: (з початку робочого дня), $\beta_{iT}$	42,42	36,91	37,46	26,84	26,15
з початку робочого ходу, $\alpha_{iT}$	44,84	40,86	42,08	33,73	32,17
поточної, ( $\alpha_{iT}=\beta_{IT}$ )	63,41	58,27	56,31	53,98	53,10
угол, характеризуючий $t_{зкл\phi}$	2,93	7,39	3,67	17,12	14,25

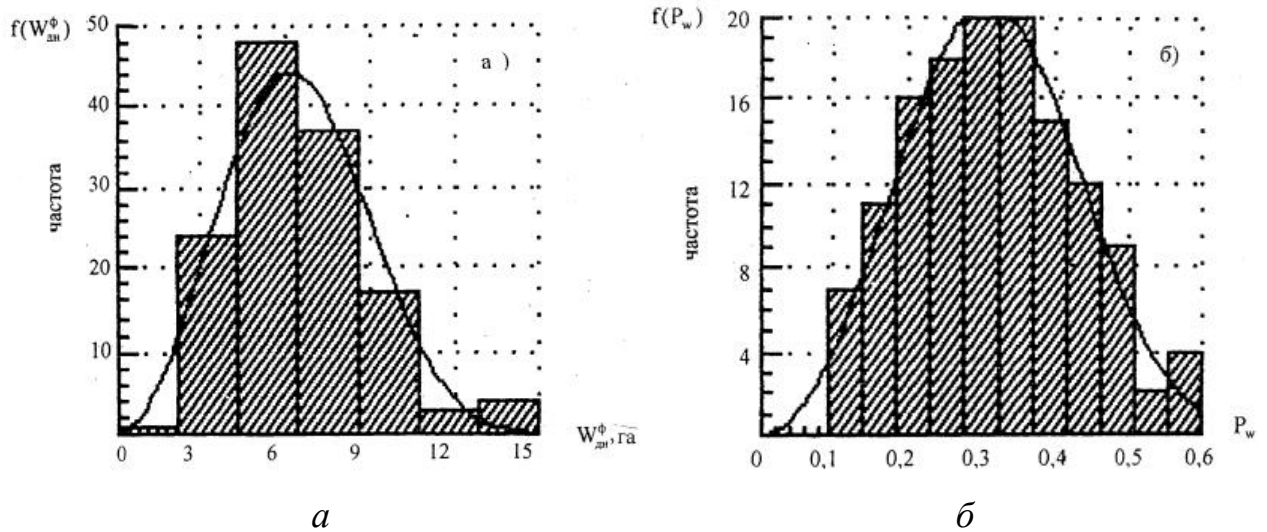


Рис. 4.2. Частотні гістограми та закони розподілу денної фактичної продуктивності (а) та ступеня реалізації працездатності системи (б). Закони розподілу Вейбулла: а)  $\alpha = 2,81$ ,  $\beta = 7,22$ ,  $\chi^2 = 1,92$ ,  $P_{3H} = 0,38$ ; б)  $\alpha = 2,99$ ,  $\beta = 0,35$ ,  $\chi^2 = 0,85$ ,  $P_{3H} = 0,10$ .

Таблиця 4.7

Параметри залежностей основних показників моделі формування денної продуктивності від функціональної надійності кормозбирального БМСА

Коефіцієнт кореляції, r	Відносна похибка, %	Коефіцієнт детермінації, R <sup>2</sup>	Рівняння апроксимації
Скошування з подрібненням та завантаженням у транспортний засіб (КСК-100), 66 хронокарт			
0,714	3,168	50,95	$W_{дн}^{\psi} = 19,007 P - 0,098$
0,774	0,341	59,93	$tga_{\phi} = 2,456 P - 0,0008$
Скріплення та завантаження в транспортний засіб (Е-282-100), 14 хронокарт			
0,974	0,837	94,82	$W_{дн}^{\psi} = 22,295 P - 2,043$
0,871	0,181	75,72	$tga_{\phi} = 1,996 P - 0,004$
Скашивання з плющенням у валки (Е-303), 30 хронокарт			
0,745	2,182	55,55	$W_{дн}^{\psi} = 20,306 P - 2,080$
Сгребание и ворошение (МТЗ-80+ГВР-6Б), 6 хронокарт			
0,837	0,793	70,13	$W_{дн}^{\psi} = 20,306 P - 2,080$
0,703	0,129	49,48	$tga_{\phi} = 0,801 P - 0,539$

Таблиця 4.8

Залежність поточної, денної фактичної продуктивності та темпу її наростання від наведеної щільності потоку відмов

Коефіцієнт кореляції, r	Відносна похибка, %	Коефіцієнт детермінації, R <sup>2</sup>	Рівняння апроксимації
Подрібнення з подрібненням і завантаженням в транспортний засіб (КСК-100), 66 хронокарт			
0,835	2,058	69,69	$\bar{\omega} = \frac{1}{2,454 + 2,819\psi}$
-0,982	0,109	96,47	$W_{дн}^{\phi} = e^{2,753 - 0,515\psi}$
-0,947	0,169	89,65	$tga_{\phi} = e^{0,484 - 0,449\psi}$
Скріплення та завантаження в транспортний засіб (Е-282-100), 14 хронокарт			
0,882	0,076	67,61	$W_{дн}^{\phi} = \frac{1}{2,454 + 2,819\psi}$
-0,817	0,181	75,72	$tga_{\phi} = 4,152 - 0,254\psi$
Скошення із плющенням в валки (Е-303), 30 хронокарт			
0,904	0,053	81,77	$W_{дн}^{\phi} = \frac{1}{2,454 + 2,819\psi}$
0,899	0,253	80,92	$tga_{\phi} = \frac{1}{0,536 + 0,558\psi}$

Згрібання і ворошіння (МТЗ-80+ГВР-6Б), 6 хронокарт			
0,960	0,031	24,63	$W_{дн}^{\phi} = \frac{1}{0,159 + 0,042\psi}$
0,659	0,232	43,48	$tga_{\phi} = \frac{1}{1,114 + 0,081\psi}$

#### 4.10. Вплив складової «людина-оператор» на функціонування та продуктивність кормозбиральних агрегатів

До важливих «людських» факторів, що мають велику практичну значущість, відносяться рівень професійної майстерності та стомлюваність механізатора.

Рівень професійної майстерності механізатора визначався за двома методиками. Перша передбачала оцінку рівня професійного потенціалу механізаторів, стаж роботи яких перевищував два роки. За другою, оцінювався рівень професійної підготовленості механізатора в училищах та працюючого на виробництві менше двох років.

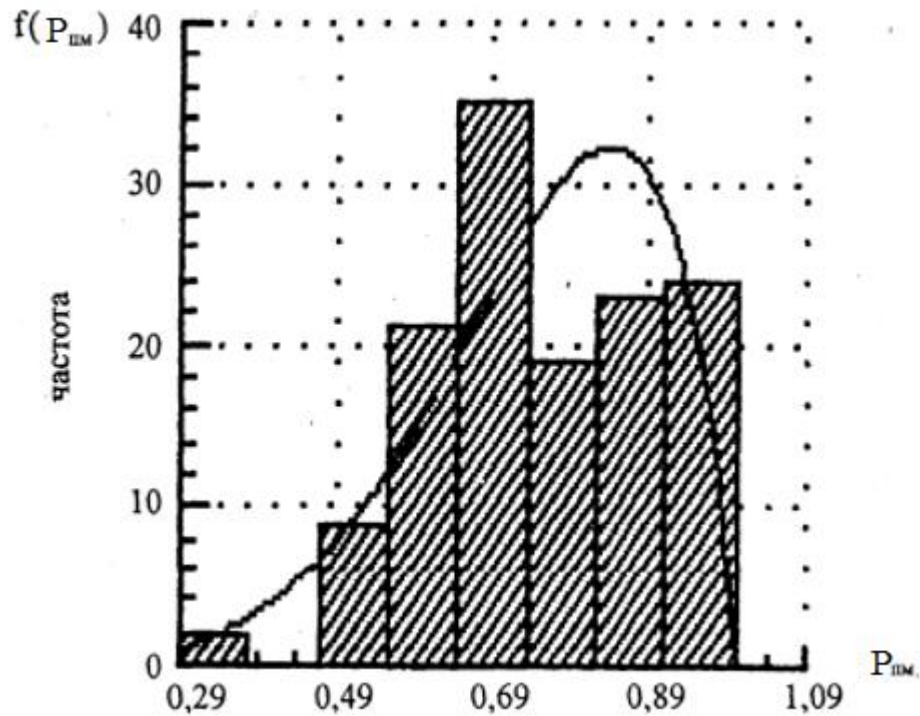
Більшість механізаторів оцінювали за першою методикою. Основні дослідження було проведено на збиранні кормових за прямого комбайнування.

Отримані дані при хронометруванні за рівнем професійної майстерності механізатора-комбайнера відповідним чином скласифіковані. Рівень професійної майстерності  $P_{nm}$  визначався за таблицею 4.1 і відповідно становив: високий (1,00...0,90) - 27,6%, середній (0,89...0,64) - 50,8%, низький (0,63...0,38) - 19,4% і дуже низький (0,37...0,20) - 2,2%. Отримані дані свідчать, що найбільше механізаторів (50,8%) «середнього» рівня професійної підготовленості, найменше – «дуже низького». Із загальної кількості (134) середнє значення вийшло рівним 0,75. При цьому  $\sigma = 0,15$ , а стандартна помилка  $\Delta = 0,01$ , мінімальне значення  $P_{nm} = 0,29$ , максимальне  $P_{nm} 0,97$ .

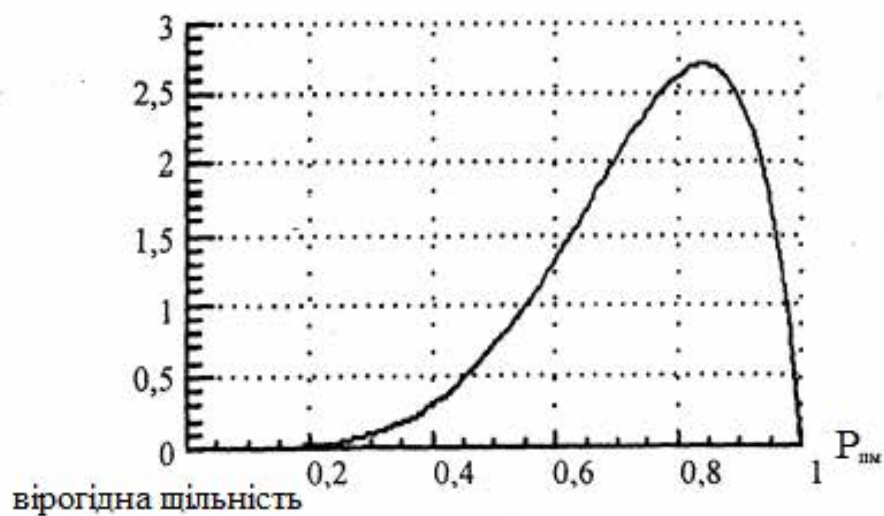
Результати оброблених статистичних даних, отриманих з хронокарт, показують, що рівень професійної майстерності із загальної обстеженої кількості механізаторів коливається від 0,29 до 0,97. Математичне очікування

(0.75) відповідає «середньому» рівню  $P_{nm}$ . Розподіл статистичного ряду  $P_{nm}$  підпорядковане закону Бета з параметрами  $\alpha=5,47$ ,  $\beta=1,855$ ,  $\chi^2 = 18,477$ ,  $P_{зи} = 0,182$ .

У теоретичному плані та в порядку гіпотези нами раніше було зазначено, що надійність функціонування технологічного процесу ( $P$ ) та рівень професійної майстерності механізатора ( $P_{nm}$ ) пов'язані між собою залежністю:



а



б

Рис. 4.3. Частотна гістограма, закон розподілу (а) та функція можливої щільності (б) статистичного ряду рівня професійної майстерності

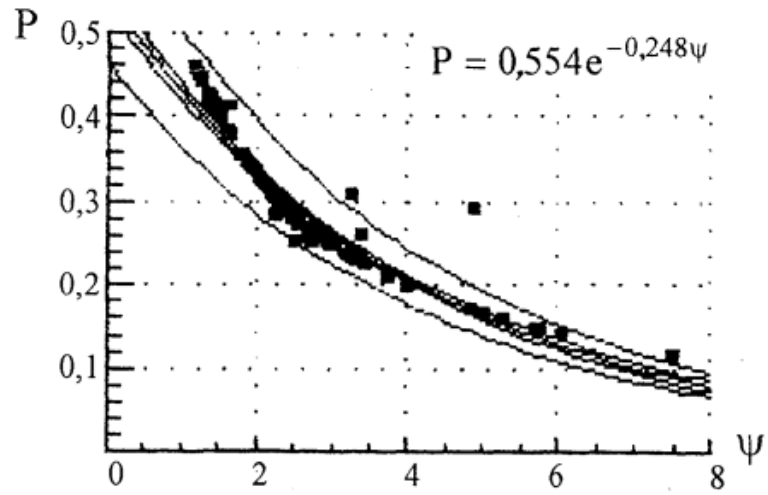
$$P = \frac{1}{1 + \sum_1^3 \alpha_i} = \frac{1}{1 + \psi} = \frac{1}{1 + \varphi P_{\text{пм}}},$$

де  $\psi$  - сумарна наведена щільність потоку відмов системи з відповідних причин;  $\varphi$  - символ функції, що характеризує залежність між  $\psi$  і  $P_{\text{пм}}$ .

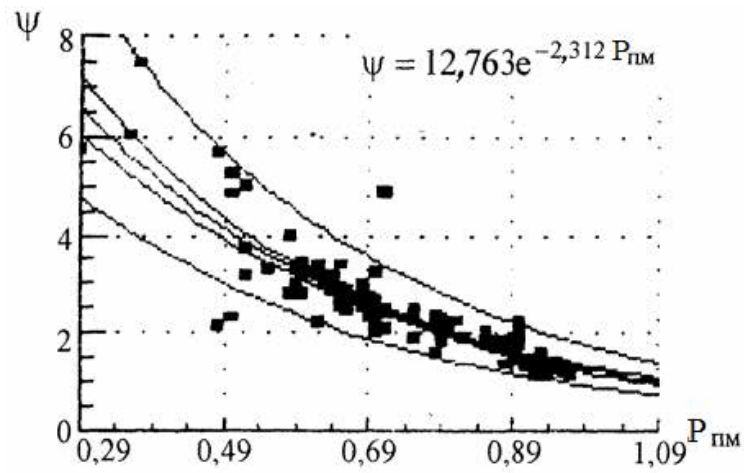
Завданням експериментальних досліджень було встановити залежності  $P = f(\psi)$ ,  $\psi = f(P_{\text{пм}})$ ,  $P = f(P_{\text{пм}})$ - Обробка хронометражних спостережень показала, що надійність функціонування та сумарна наведена щільність відмов пов'язані експоненційною залежністю (рис. 4.4а). Подібний функцією можна описати залежність сумарної наведеної щільності потоку відмов з досліджуваних причин «людина-машина-середовище-транспорт» та рівня професійної майстерності (рис. 4.4б). Зі зростанням  $P_{\text{пм}}$  сумарна наведена щільність потоку відмов знижується. Досліджуючи взаємозв'язок  $P = f(P_{\text{пм}})$ , було виявлено, що надійність функціонування змінюється за лінійним законом залежно від рівня професійної майстерності (рис. 4.4в).

Таким чином, висунута гіпотеза про те, що рівень професійної майстерності безпосередньо впливає на роботу системи, зокрема, на її надійність функціонування та безвідмовність підтверджується. У цьому відносна похибка результатів обчислень становила 0,3...8,8%. Враховуючи, що у методиці визначення рівня професійної майстерності механізатора є деякі умовності (зокрема, експертна оцінка), можна вважати отриманий результат цілком прийнятним.

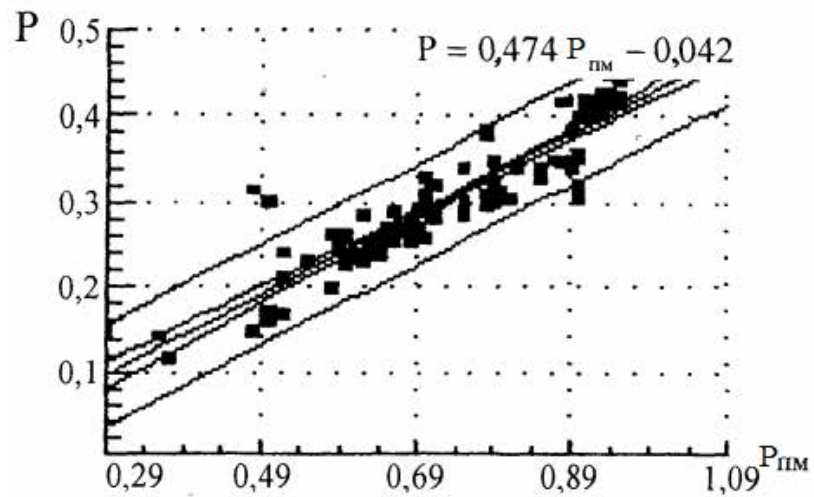
Вивчення взаємозв'язків денної фактичної продуктивності кормозбирального комбайна, рівня реалізації працездатності з рівнем професійної підготовки проводилося на основі теоретичних передумов.



а



б



в

Рис. 4.4. Взаємозв'язок параметрів надійності функціонування процесу та рівня професійної майстерності механізатора

Експериментально визначалися залежності  $W_{\text{дн}}^{\phi} = f(P_{\text{пм}})$  і  $P_w = f(P_{\text{пм}})$ . При обробці статистичних матеріалів хронокарт було отримано такі результати:  $W_{\text{дн}}^{\phi} = 8,405 P_{\text{пм}}^{1,09}$  ( $r=0,639$ ,  $\Delta = 0,293$ ) і  $P_w = 0,447 P_{\text{пм}}^{1,365}$  ( $r = 0,729$ ,  $\Delta = 0,276$ ). Денна фактична продуктивність і рівень реалізації працездатності з підвищенням рівня професійної майстерності зростають (рис. 4.4 а, б). Слід зауважити, що ці статичні залежності відрізняються від прямолінійних незначно. Про це можна судити за показником ступеня ( $b_w = 1,09$ ,  $b_p = 1,36$ ) і наочно - за характером перебігу кривих залежностей. Особливо близька до лінійної залежності  $W_{\text{дн}}^{\phi} = f(P_{\text{пм}})$ . Однак, коефіцієнт кореляції лінійної залежності значно нижчий, ніж статичною, і становить  $r = 0,594$  (тобто не перевищує 0,6). Отриманий результат вважатимуться прийнятним. Відносна похибка вийшла рівною: для  $W_{\text{дн}}^{\phi}$  - 4,29% і  $P_w$  - 4,08%.

В експлуатаційній практиці під час аналізу балансу часу робочого дня (зміни) коефіцієнт  $\tau_{\text{дн}}$  характеризує корисно використовуваний час роботи агрегату. У наших експериментах також (за звичайно прийнятою схемою) проведено аналіз витрат часу та виявлено фактори, що впливають на продуктивність комбайну. Великий практичний інтерес становлять результати досліджень щодо виявлення впливу рівня професійної майстерності ("людського фактора") на коефіцієнт використання часу робітника дня. Обробка експериментальних даних та аналіз отриманих матеріалів показали, що між  $\tau_{\text{дн}}$  і  $P_{\text{пм}}$  існує тісний зв'язок. Залежність  $\tau_{\text{дн}} = f(P_{\text{пм}})$  виражається експонентною: виду  $\tau_{\text{дн}} = 0,044e^{1,965P_{\text{пм}}}$  ( $r=0,929$ ). Враховуючи, що  $P = \tau_{\text{дн}}$  коефіцієнт використання часу робочого дня можна вважати і за лінійним рівнянням апроксимації, показаному на рис. 4.4 ( $r = 0,899$ ,  $\Delta = 5,3\%$ ).

## РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

### 5.1. Загальні принципи перерахунку кормозбиральних агрегатів як складних систем

За основу розрахунків економічної ефективності проведених досліджень прийнято типову методику дослідження економічної оцінки сільськогосподарських машин, результатів науково-дослідних робіт, нової техніки, винаходів та раціоналізаторських пропозицій. За результатами досліджень розраховано річний економічний ефект.

Кінцевою метою дослідження надійності функціонування технологічного процесу як системи «Л-М-С», є підвищення його продуктивності за рахунок скорочення відмов з відповідних причин і збільшення основного робочого часу.

Зазвичай річний економічний ефект розраховується за наведеними витратами шляхом їх порівняння за базовими (існуючими витратами) та експериментальними варіантами. При цьому головною складовою економічного ефекту приймається підвищення продуктивності біомашинного сільськогосподарського агрегату за рахунок скорочення простоїв з причин: «людина», «машина», «середовище» та за наявності транспортного забезпечення «транспорт».

Річний економічний ефект ( $E$ ) визначається за економією наведених витрат і розраховується за формулою:

$$E = (C_6 + E_n K_6) - (C_n + E_n K_n) A_n \quad (5.1)$$

де  $C_6, C_n$  - собівартість одиниці продукції (робіт) за базовим (існуючому) та новому варіантам, грн;

$K_6, K_H$  – пито́ме (в розрахунку на одиницю продукції, одиницю роботи) капітальні вкладення в базовому та новому варіантах, грн;

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень рівний 0.15;  $A_H$  – обсяги застосування результатів наукових досліджень.

## ВИСНОВКИ

1. Технологічний процес виробництва сільськогосподарської продукції, виконуваний технічними засобами, реалізується динамічною системою, що складається з компонентів "людина", "машина", "середовище".
2. Модель надійності кормозбирального комбайна представлена системою диференціальних рівнянь Колмогорова, в яких оціночними характеристиками передбачені показники безвідмовності.
3. Статистичними дослідженнями встановлено, що ймовірність безвідмовної роботи системи кормозбирального комбайна розрахована за основним часом процесів збирання кормів і для КСК-100 – 0,471 становить 0,505, для Е-282 – 0,467 0,494. Дослідженнями встановлено, що продуктивність та тривалість одного робочого ходу кормозбирального комбайна підпорядковуються закону гамма-розподілу. З підвищенням надійності технологічної системи «ЛМС» поточна, денна фактична продуктивність та інтенсивність їх наростання зростають, а зі збільшенням сумарної наведеної щільності потоку відмов вони зменшуються за експоненціальним законом.
4. Для розроблених моделей надійності та продуктивності технологічних систем отримано часові характеристики, статистичні оцінки, гістограми, закони розподілу.
7. Експериментальними дослідженнями встановлено, що основними факторами, які впливають на працездатність компоненти «людина» системи кормозбиральний комбайн, можна вважати рівень професійної майстерності та стомлюваність механізатора.
8. При впровадженні результатів досліджень надійність ситсем кормозбиральний комбайн «ЛМС» систем підвищилася при збирання кормів з 0,39 до 0,55.