

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПУКАС Віталій Леонідович

УДК 631.356.26:631.558.4

ДИСЕРТАЦІЯ
ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 В.Л. Пукас

Науковий керівник

ДУГАНЕЦЬ Віктор Іванович, доктор педагогічних
наук, кандидат технічних наук, професор

Кам'янець-Подільський – 2020

АНОТАЦІЯ

Лукас В.Л. Обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічного процесу збирання цукрових буряків. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Подільський державний аграрно-технічний університет, Кам'янець-Подільський. Львівський національний аграрний університет, Дубляни, 2020.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуального науково-технічного завдання із обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічних процесів (ТП) збирання цукрових буряків (ЗЦБ) завдяки узгодженню із часом початку цих ТП та виробничою площею цукрових буряків. Це узгодження виконано за критерієм мінімальних питомих сукупних витрат коштів завдяки застосуванню методу статистичного імітаційного моделювання, яким враховано стохастичність агрометеорологічних умов і закономірності досягання коренеплодів цукрових буряків.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу збирання цукрових буряків завдяки обґрунтуванню параметрів його технічного забезпечення, які узгодженні з часом початку збирання та виробничою площею культури.

Об'єктом дослідження є технологічний процес збирання цукрових буряків, бурякозбиральні комбайни. *Предметом дослідження* є функціональні показники ефективності ТП ЗЦБ, їх ймовірний характер і залежність від часу початку збирання врожаю, виробничої площі культури та параметрів технічного забезпечення цього ТП за врахування стохастичного впливу агрометеорологічних умов і закономірностей досягання коренеплодів цукрових буряків.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що *вперше* обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ здійснюється на підставі встановлення зв'язку між часом початку ТП, обсягами виробничої площі культури та питомими сукупними витратами коштів у ТП за врахування сукупного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових; розроблено методику моделювання ТП ЗЦБ, яка дає змогу відобразити сукупний вплив параметрів технічного забезпечення, часу початку збирання врожаю, виробничої площі культури, стохастичності агрометеорологічних умов осіннього періоду та закономірностей досягання цукрових буряків на функціональні показники ефективності цих ТП.

Удосконалено методику системно-подієвого відображення впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на часові характеристики виконання ТП збирання врожаю сільськогосподарських культур; статистичну імітаційну модель ТП ЗЦБ, яка враховує неперервне досягання культури, зміну її фізичного стану, часові обмеження на функціонування бурякозбиральних комбайнів і дає змогу встановити закономірності зміни функціональних показників ефективності цього ТП за врахування стохастичної дії агрометеорологічних умов відповідного календарного періоду.

Отримали подальший розвиток статистичні закономірності впливу агрометеорологічних умов та процесів досягання цукрових буряків на терміни виконання ТП ЗЦБ, що дає змогу використати їх у статистичних імітаційних моделях згаданих ТП; науково-методичні засади обґрунтування параметрів технічного забезпечення процесів збирання врожаю сільськогосподарських культур.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблено методику та статистичну імітаційну модель яка дає змогу встановити такий час початку ТП ЗЦБ та виробничу площу цукрових буряків для заданого бурякозбирального комбайна (із відповідними параметрами) за яких досягатимуться мінімальні питомі сукупні витрати коштів у цих ТП.

Розроблений алгоритм та програмне забезпечення можуть доповнюватися базою знань щодо характеристик агрометеорологічної та біологічно-предметної складових з інших регіонів України, що дасть змогу здійснити інженерно-аналітичний супровід розвитку та ефективного функціонування відповідних комплексів збиральних машин для різних СГП.

У першому розділі «Стан питання в практиці та теорії» проаналізовано сучасні тенденції галузі вирощування цукрових буряків в Україні та за кордоном. Акцентовано на особливостях досягання врожаю цукрових буряків, проаналізовано технології збирання коренеплодів їх технічне забезпечення та означено проблему дослідження. Зокрема, обґрунтовано потребу підвищення ефективності ТП ЗЦБ завдяки їх своєчасному виконанню та узгодженню параметрів технічного забезпечення із часом початку збирання та обсягами робіт, а також із об'єктивними процесами досягання культури за врахування стохастичного впливу агрометеорологічних умов осіннього періоду.

У другому розділі «Науково-методичні засади обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічного процесу збирання цукрових буряків» на основі системного підходу проаналізовано технологічну систему збирання цукрових буряків, виокремлено технології збирання та технологічні процеси, зміст робіт, предмети праці, означено чинники ефективності, базові й наслідкові події, фонд часу для функціонування бурякозбиральних комбайнів та означено завдання із підвищення ефективності ТП ЗЦБ.

Зазначено, що ТП ЗЦБ виконується за настання технологічної стиглості коренеплодів, а основне його завдання – зібрати врожай із мінімальними технологічними втратами цукрових буряків. Зібрані коренеплоди є продуктом ТП ЗЦБ, котрі характеризуються: врожайністю та цукристістю, обсягом їх біологічних та технологічних втрат, ступенем пошкоженості та засміченості тощо. Зокрема, розгляд ТП як "елементарної технологічної системи" дав змогу означити його складові – виробничу площу

культури, технічне забезпечення (бурякозбиральні комбайни із тракторними причепами-перевантажувачами), комбайнерів (операторів, виконавців), агрометеорологічну та біологічно-предметну складові. Розгляд їх системної взаємодії дав змогу розкрити вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на часові обмеження процесів збирання, а відтак і на функціональні показники ефективності ТП ЗЦБ. На підставі цих положень висунуто наукову гіпотезу, що обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ слід здійснювати на підставі такого їх узгодження із часом початку збирання ($\tau_{пз}$) та виробничою площею (S) цукрових буряків за яких функціональні показники ефективності ТП сягатимуть свого екстремуму. Сформовану гіпотезу підтверджено на підставі статистичних закономірностей зміни функціональних показників ефективності за різних значень $\tau_{пз}$, S та заданих бурякозбиральних комбайнів. Для встановлення цих статистичних закономірностей використано теорію моделювання, згідно із якою існує практична можливість створити такі методи й моделі, що дадуть змогу врахувати вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на часові обмеження ТП ЗЦБ, а також оцінити їх своєчасність для різних $\tau_{пз}$, S та технічного забезпечення ТП.

У третьому розділі «Методика виробничих експериментів та моделювання технологічного процесу збирання цукрових буряків» наведено загальну програму виробничих та комп'ютерних експериментів, а також загальну схему методики обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ. Розроблено методику визначення агрометеорологічно зумовленого фонду часу на виконання ТП ЗЦБ та характеристик біологічно-предметної складової, а також систематизації й опрацювання даних виробничих спостережень із застосуванням методів математичної статистики та кореляційно-регресійного аналізу. Розкрито методику системно-подієвого відображення цього ТП в статистичній імітаційній моделі та методику визначення функціональних показників ефективності його виконання (зокрема, обсягів біологічних та технологічних втрат врожаю коренеплодів)

за врахування сукупного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на своєчасність збирання врожаю. Розроблено алгоритм та програмний код статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ.

У четвертому розділі «Результати дослідження агрометеорологічної та біологічно-предметної складових технологічного процесу збирання цукрових буряків» за результатами математичного опрацювання даних спостережень Вол.-Волинської метеорологічної станції за впливом агрометеорологічних умов на стан ґрунту та досягання врожаю цукрових буряків сорту «Ялтушковський однонасінний» обґрунтовано статистичні закономірності, котрі дають змогу врахувати вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових ТП. Встановлені закономірності відіграють важливу роль в адекватному відображенні умов функціонування бурякозбиральних комбайнів, а відтак дають змогу отримати достовірні результати комп'ютерних експериментів із статистичною імітаційною моделлю ТП ЗЦБ та встановити закономірності зміни функціональних показників ефективності.

У п'ятому розділі «Результати моделювання технологічного процесу збирання цукрових буряків та обґрунтування параметрів його технічного забезпечення» за допомогою розробленої статистичної імітаційної моделі визначено статистичні закономірності зміни функціональних показників ефективності ТП за різного часу його початку, виробничої площі цукрових буряків та технічного забезпечення. На їх підставі, визначається екстремум функції вартісного критерію (мінімальних питомих скупних витрат коштів) та обґрунтовуються параметри технічного забезпечення ТП ЗЦБ, що виконується за перевалочною технологією.

Результати досліджень впроваджено у практику ТОВ «П'ятидні» Володимир-Волинського району Волинської області і використовуються під час планування ТП ЗЦБ. Зокрема, застосування розробленої статистичної імітаційної моделі й методики узгодження часу початку ТП ЗЦБ та виробничої площі культури із параметрами технічного забезпечення дало

зможу забезпечити економію сукупних витрат коштів під час виконання відповідного ТП на 13,4 %. Розроблене методичне та програмне забезпечення використовується у навчальному процесі Подільського державного аграрно-технічного університету під час викладання дисциплін «Експлуатація машин і обладнання» освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва».

Ключові слова: технологічний процес, технічне забезпечення, параметри, цукрові буряки, агрометеорологічні умови, стохастичність, моделювання, функціональні показники, ефективність.

ANNOTATION

Pukas V.L. Substantiation of the hardware parameters of sugar beet harvesting technological process. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for candidate degree in the field of technical sciences (Ph.D.), specialty 05.05.11 – Machines and means for mechanization of the agricultural production. – Podilsky State Agrarian and Technical University, Kamianets-Podilskyi. L’viv National Agrarian University, L’viv, 2020.

The dissertation is devoted to the solving of the actual scientific and technical task of substantiation of the technical support parameters of technological processes (TP) of sugar beet harvesting (SBH). This justification was achieved by agreeing technical parameters with the start time of the TP and the sugar beet production area. For this purpose, the criterion of minimum specific cumulative cost of funds and the method of statistical simulation modeling were used. Its application made it possible to take into account the stochastic agrometeorological conditions and regularities of sugar beet root ripening.

The purpose of the work is to increase the efficiency of the technological process of sugar beet harvesting by substantiating the parameters of its technical support, which are adjusted with the time of the beginning of harvesting and crop production area.

The object of the research is the technological process of sugar beet harvesting, sugar beet harvesters. *The subject of the study* includes functional indicators of the efficiency of TP SBH, their probable nature and dependence on the harvesting beginning time, the production area of the crop and the parameters of technical support, taking into account the stochastic influence of agrometeorological conditions and regularities of sugar beet root ripening.

The scientific novelty of the obtained results is that *for the first time* it was justified the parameters of technical support of TP SBH by establishing a link between the time of the beginning of TP, the volume of production area of the crop and the specific cumulative costs of funds taking into account the combined impact of agrometeorological and biological objects; the modeling methodology of the TP SBH has been developed, it allowed to reflect the cumulative influence of the parameters of the technical support, the harvesting starting time, the crop production area, stochastic of agrometeorological conditions of the autumn period and regularities of sugar beet root ripening on the functional indicators of the TP efficiency.

The methodology of system-event mapping of the agrometeorological and biological-subject components influence on the temporal characteristics of the harvesting crops TP *has been improved*; a statistical simulation model of the TP SBH, which takes into account the continuous ripening of the culture, change of its physical condition, time constraints on the work of beet harvesters and allows to establish regularities of the functional indicators of the TP efficiency taking into account the stochastic effect of agrometeorological conditions.

The statistical regularities of the influence of agrometeorological conditions and sugar beets ripening on the timing of TP SBH *were further developed*. This makes it possible to use them in the statistical simulation models of the mentioned TP. The scientific and methodological principles of substantiation of the parameters of technical support of the crop harvesting processes were also developed.

The practical value of the work is that a methodology and a statistical simulation model have been developed. It allowed establishing such start time of the TP SBH and the sugar beet production area for a given sugar beet harvester (with appropriate parameters) at which the minimum specific total costs of the TP will be achieved. The developed algorithm and software can be supplemented by the characteristics of agrometeorological and biological-object components from other regions of Ukraine. This will enable the implementation of engineering and analytical support for the development and harvester complexes efficient operation for different agricultural enterprises (AE).

In the first chapter, «The state of the question in practice and theory», analyzes current trends in the sugar beet industry in Ukraine and abroad. The peculiarities of reaching the sugar beet harvest are emphasized, the root harvest technologies and their technical support are analyzed, the problem of research is identified. The necessity of efficiency increasing of the TP SBH due to their timely implementation and harmonization of the technical support parameters with the harvest starting and volume of work, and also with the riping of culture taking into account the stochastic agrometeorological conditions of the autumn period is substantiated.

In the second chapter «Scientific and methodological bases of parameters substantiation of the technical support of sugar beet harvesting technological process» on the basis of a systematic approach the technological system of sugar beet harvesting is analyzed. The harvesting technologies and technological processes, content of works, and objects of work are separated. The efficiency factors, basic and consequential event, and also time fund for the sugar beet harvesters operation are defined. The task for the efficiency improvement of TP SBH are described.

It has been shown that the TP SBH is started from the moment of technological maturity of the root crops, and its main task is to harvest with minimal technological losses of sugar beet. The harvested root crops are a product of the TP SBH, characterized by: yield and sugar content, the amount of their

biological and technological losses, the damage and clogging degree etc. In particular, the consideration of TP as an "elementary technological system" made it possible to define its components – the production area, technical support (beet harvesters with tractor trailers-reloaders), combiners (operators, harvester), agrometeorological and biological-subject components. Consideration of their systemic interaction made it possible to reveal the influence of agrometeorological and biological-subject components on the time constraints of the harvesting processes and, consequently, on the efficiency functional indicators of the TP SBH. On the basis of these theses, the scientific hypothesis has been proposed that the reasoning of the technical support parameters of TP SBH should be created on the basis of their agreement with the start time of harvesting ($\tau_{\text{пз}}$) and production area (S) of sugar beet for which the functional indicators of TP efficiency will reach their extreme. The formed hypothesis is confirmed on the basis of statistical regularities of functional efficiency indicators at different values of $\tau_{\text{пз}}$, S and certain sugar beet harvesters. Modeling theory was used to establish these statistical laws, according to which there is a practical possibility to create such methods and models that will allow to take into account the influence of agrometeorological and biological-subject constituents on the temporal constraints of the TP SBH, and to evaluate their timeliness for different $\tau_{\text{пз}}$, S and technical support of TP.

The third chapter, «Methods of production experiments and modeling of the sugar beet harvesting technological process», provides a general program of accomplished experiments. The general scheme of methodology of the technical support parameters justification for TP SBH is also given. The method of agrometeorological conditioned time fund determination for the TP SBH and characteristics of the biological subject component is developed. The method of systematization and processing of production observations data using methods of mathematical statistics and correlation-regression analysis is presented. The technique of system-event mapping of this TP in the statistical simulation model and the method of determining the functional indicators of its implementation

effectiveness (in particular, the volumes of biological and technological losses of the root crops) are considered, taking into account the combined influence of agrometeorological and biological-subject components on the timeliness of the harvest. Algorithm and program code of statistical simulation model of TP SBH have been developed.

In the fourth chapter «Research results of the agrometeorological and biological- subject components of the sugar beet harvesting technological process» according to the results of mathematical processing of Vol.-Volyn meteorological station's observations on the agrometeorological conditions influence on the soil and "Yaltushkovsky single-seeded" sugar beet variety the statistical regularities was substantiated. These regularities allow taking into account the influence of the agrometeorological and biological-object constituents of TP. They make it possible to adequately reflect the working conditions of beet harvesters, and then to obtain the reliable results of computer experiments and to establish the functional indicators regularities of the TP SBH efficiency.

In the fifth chapter «The modeling results of sugar beet harvesting technological process and parameters substantiation of its technical equipment» with the help of the developed statistical simulation model, the statistical regularities of TP efficiency functional indicators are defined at the different time of its starting, production area and technical equipment. On this basis, the extremum of the cost criterion function (minimum specific aggregate cost) is determined and the parameters of the technical equipment of TP SBH performed by the transshipment technology are substantiated.

The results of the research were implemented in the practice of LLC "Pyatydni" of Volodymyr-Volyn district of Volyn region and are used during the planning of TP SBH. In particular, the usage of the developed statistical simulation model and the coordination method of the TP SBH start time and the production area with the parameters of the technical equipment made it possible to provide a 13.4% savings in the total cost during the execution of the TP. The developed methodology and software are used in the educational process of Podilsky State

Agrarian and Technical University during the teaching of the disciplines "Operation of machines and equipment" of the "Master" educational qualification level in the specialty "Processes, machines and equipment of agro-industrial production".

Key words: technological process, technical support, parameters, sugar beet, agrometeorological conditions, stochasticity, modelling, functional indicators, efficiency.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ. Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у міжнародних наукових виданнях і тих, що входять до міжнародних наукометричних баз (МНБ):

1. Согласование параметров проектов технологических систем / А. Сидорчук, И. Тригуба, **В. Пукас**, В. Спичак. *MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin; Rzeszow. 2015. Vol. 17, № 3. P. 39-45.

[Видання включено до МНБ – Index Copernicus]. Особистий внесок: виокремлено групи чинників та критерії ефективності для обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ. Виконано імітаційне моделювання ТП ЗЦБ та узагальнено результати.

2. Lub P., Sharybura A., **Pukas V.** Modelling of the technological systems projects of harvesting agricultural crops. *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. Lviv, Ukraine, 2019. P. 19-22.

[Матеріали конференції індексуються в МНБ – Scopus]. Особистий внесок: виконано моделювання й встановлено вплив часу початку ТП, виробничої площі культури та параметрів технічного забезпечення на питомі сукупні витрати коштів.

Статті у наукових фахових виданнях України:

3. Дуганець В. І., **Пукас В. Л.**, Луб П. М. Агrometeorологічно зумовлений фонд часу на виконання технологічних процесів збирання цукрових буряків. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8, т. 1. С. 15–23.

Особистий внесок: встановлено статистичні закономірності впливу агrometeorологічної складової на фонд часу виконання ТП ЗЦБ.

4. Дуганець В. І., **Пукас В. Л.**, Луб П. М. Обґрунтування сезонного навантаження бурякозбирального комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1» за різного часу початку збиральних робіт. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. 9 (108). С. 200–209.

Особистий внесок: виконано комп'ютерні експерименти та опрацьовано їх результати, узгоджено час початку ТП ЗЦБ та виробничу площу культури з параметрами технічного забезпечення.

5. Метод визначення часу запуску портфелів проектів збирання цукрових буряків / О. В. Сидорчук, П. М. Луб, Л. Л. Сидорчук, **В. Л. Пукас**. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2017. № 3(1225). С. 59–64. doi: 10.20998/2413-3000.2017.1225.10

Особистий внесок: розроблено методика визначення природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ за планової тривалості їх виконання.

6. Метод врахування об'єктивних причин стохастичності термінів бурякозбиральних робіт / Сидорчук О. В., Луб П. М., Спічак В. С., **Пукас В. Л.** *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 226. С. 109–115.

Особистий внесок: означено вплив агрометеорологічної складової на терміни виконання ТП ЗЦБ, виокремлено статистичні характеристики та розроблено методика врахування цього впливу.

7. **Пукас В. Л.** Обґрунтування вимог до методу визначення часу запуску портфелів проектів збирання цукрових буряків. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 2016. Вип. 4 (103). С. 57–65.

Особистий внесок: сформовано вимоги до врахування впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на вибір того чи іншого часу початку ТП ЗЦБ.

8. Результати статистичного імітаційного моделювання та визначення впливу часу початку технологічних процесів збирання цукрових буряків на своєчасність їх виконання. Дуганець В. І., **Пукас В. Л.**, Луб П. М., Днесь В. І. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 2018. Вип. 8(107). С. 209–218.

Особистий внесок: отримано та узагальнено результати статистичного імітаційного моделювання щодо визначення впливу часу початку ТП ЗЦБ на обсяги біологічних і технологічних втрат.

9. Статистичні закономірності формування початкових біологічно-предметних умов для виконання технологічних процесів збирання цукрових буряків. Дуганець В. І., **Пукас В. Л.**, Луб П. М., Шарибура А. О. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2018. № 22. С. 107–112.

Особистий внесок: встановлено статистичні закономірності впливу біологічно-предметної складової на виконання ТП ЗЦБ.

10. Структурний аналіз проектів технологічних систем збирання врожаю. Сидорчук О. В., **Пукас В. Л.**, Луб П. М., Шарибура А. О. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2018. № 2(1278). С. 10–15. doi: 10.20998/2413-3000.2018.1278.2

Особистий внесок: проаналізовано технологічну систему ЗЦБ та головні складові ТП збирання, які необхідно врахувати в статистичній імітаційній моделі.

11. Узгодження конфігурацій інтегрованих проектів аграрного виробництва / А. М. Тригуба, О. В. Шелега, **В. Л. Пукас**, В. М. Михалюк. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами.* 2015. № 2(1111). С. 135–140.

Особистий внесок: означено структуру та причинно-наслідкові зв'язки між складовими ТП ЗЦБ, а також критерії для обґрунтування параметрів їх технічного забезпечення.

12. Управління проектами технологічних систем вирощування сільськогосподарських культур / Луб П. М., Шарибура А. О., Тригуба І. Л., **Пукас В. Л.** *Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами.* 2016. № 2(1174). С. 81–85. doi: 10.20998/2413-3000.2016.1174.18

Особистий внесок: означено головні завдання з розроблення методики відображення ТП ЗЦБ у відповідній статистичній імітаційній моделі.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Взаємозв'язки між головними складовими проектів техніко-технологічного забезпечення систем збирання цукрових буряків / Луб П. М., **Пукас В. Л.**, Шарибура А. О., Спічак В. С. *Управління проектами: стан та перспективи: матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конф.* Миколаїв: НУК, 2017. С. 66.

Особистий внесок: розкрито ієрархічні зв'язки стратегічного, тактичного та операційного планування ТП ЗЦБ.

14. Вплив узгодженості складових технологічної системи на ефективність збирання врожаю культур / Луб П. М., **Пукас В. Л.**, Шарибура А. О., Спічак В. С. *Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: матеріали XXVII міжнар. наук.-техн. конф.* Глеваха: ННЦ ІМЕСГ, 2019. С. 83–84.

Особистий внесок: виконано моделювання та обґрунтовано оптимальну виробничу площу цукрових буряків для заданого технічного забезпечення.

15. Сидорчук О. В., Луб П. М., **Пукас В. Л.** Обґрунтування тривалості життєвого циклу збирально-рільничих проектів. *Управління проектами у розвитку суспільства* : тези доп. XII Міжнар. конф. Київ : КНУБА, 2015. С. 246–248.

Особистий внесок: виокремлено та структуровано об'єктивні причини часових обмежень на виконання ТП ЗЦБ, сформовано основні вимоги до методики їх врахування.

16. Статистичне імітаційне моделювання технологічних процесів збирання коренеплодів цукрових буряків / Луб П. М., Шарибура А. О., **Пукас В. Л.**, Спічак В. С. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XX Міжнар. наук.-практ. форуму.* Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2019. С. 332-336.

Особистий внесок: виконано моделювання та узагальнено результати стосовно узгодження часу початку збирання, виробничої площі цукрових буряків та параметрів технічного забезпечення.

17. Статистичні моделі агрометеорологічних умов у проектах збирання сільськогосподарських культур / Сидорчук О. В., Луб П. М.,

Дуганець В. І., Пукас В. Л. *Управління проектами: стан та перспективи: матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф.* Миколаїв: НУК, 2016. С. 137–138.

Особистий внесок: розкрито методологію врахування впливу агрометеорологічної складової ТП ЗЦБ на підставі встановлених диференціальних функцій розподілу ймовірнісних чинників.

18. Узагальнена методика узгодження часу початку збирання цукрових буряків та їх виробничої площі із параметрами бурякозбиральних комбайнів / Луб П. М., Шарибур А. О., Пукас В. Л., Спічак В. С. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. форуму.* Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2018. С. 142–144.

Особистий внесок: розроблено алгоритм узагальненої методики узгодження часу початку збирання цукрових буряків та їх виробничої площі з параметрами бурякозбиральних комбайнів.

19. Управління проектами збирально-транспортних технологічних систем / Луб П., Сидорчук Л., Спічак В., Пукас В. *Перспективи ефективних управлінських рішень в бізнесі та проектах: матеріали II Міжнар. наук.-практич. конф.* Одеса: Фенікс, 2016. С. 126–128.

Особистий внесок: виокремлено та охарактеризовано головні етапи формування ефективності виконання ТП ЗЦБ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	19
ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ В ПРАКТИЦІ ТА ТЕОРІЇ	26
1.1. Аналіз галузі цукровиробництва в Україні та за кордоном	26
1.2. Особливості досягання цукрових буряків, аналіз технологій збирання коренеплодів та означення проблеми	31
1.3. Аналіз науково-методичних засад обґрунтування параметрів технічного забезпечення та методик моделювання технологічних процесів рільництва	41
Висновки до розділу 1	53
РОЗДІЛ 2 НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ	55
2.1. Структурний аналіз технологічних систем збирання цукрових буряків	55
2.2. Головні етапи моделювання та розроблення концептуальної моделі технологічного процесу збирання цукрових буряків	59
2.3. Системно-подієве відображення технологічного процесу збирання цукрових буряків та обґрунтування вимог до статистичної імітаційної моделі	71
2.4. Природно зумовлена мінливість термінів виконання технологічних процесів збирання цукрових буряків	81
2.5. Вплив часу початку та тривалості збирання цукрових буряків на своєчасність технологічного процесу та критерії обґрунтування параметрів його технічного забезпечення	86
Висновки до розділу 2	90
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ВИРОБНИЧИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ	92

3.1. Програма виробничих й комп'ютерних експериментів та загальна схема методики обґрунтування параметрів технічного забезпечення	92
3.2. Методика визначення агрометеорологічно зумовленого фонду часу на виконання технологічного процесу збирання цукрових буряків	96
3.3. Методика визначення характеристик біологічно-предметної складової технологічного процесу збирання цукрових буряків	102
3.4. Алгоритм та методика відображення технологічного процесу збирання цукрових буряків у статистичній імітаційній моделі	105
Висновки до розділу 3	115
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ТА БІОЛОГІЧНО-ПРЕДМЕТНОЇ СКЛАДОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ	117
4.1. Результати визначення впливу агрометеорологічної складової на фонд часу для збирання коренеплодів	117
4.2. Результати визначення закономірностей досягання цукрових буряків та формування початкових умов для технологічного процесу їх збирання	121
4.3. Результати оцінення впливу агрометеорологічних умов на відхилення термінів виконання технологічного процесу збирання цукрових буряків	125
Висновки до розділу 4	132
РОЗДІЛ 5 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	134
5.1. Результати перевірки статистичної імітаційної моделі на адекватність	134

5.2. Результати моделювання та визначення впливу часу початку технологічного процесу збирання цукрових буряків на його функціональні показники	137
5.3. Результати моделювання та визначення впливу обсягів виробничої площі цукрових буряків на функціональні показники технологічного процесу їх збирання	144
5.4. Результати обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічного процесу збирання цукрових буряків та оцінення економічного ефекту	148
Висновки до розділу 5	158
ВИСНОВКИ	160
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	164
ДОДАТКИ	182

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- Ам* – агрометеорологічні умови сезону збирання врожаю;
- В* – питомі сукупні витрати коштів;
- Вп* – виробничі параметри полів;
- ВП – виробничий процес;
- ВС – виробнича система;
- Е* – показники ефективності;
- ЗЦБ – збирання цукрових буряків;
- І* – інформаційна;
- І_т, І_п, І_у* – відповідно інформація про технологічні складові, стан полів із цукровими буряками, зібраний урожай;
- Кп, Кр* – відповідно команди на виконання ТП і забезпечення ресурсами;
- П* – предмети праці (цукрові буряки та шар ґрунту поля в якому вони розташовані);
- П_к* – параметри технічного забезпечення ТП;
- Р* – ресурсне забезпечення ТП;
- СПП – сільськогосподарське підприємство;
- СМЗ – система матеріально-технічного забезпечення;
- Ст* – виконавці ТП (комбайнери, оператори, трактористи);
- СТВ – система транспортування врожаю;
- СТО – система технічного обслуговування;
- Су* – управлінці;
- Тл* – технології збирання врожаю коренеплодів цукрових буряків;
- Тн* – технічне забезпечення ТП;
- ТП – технологічний процес;
- ТС – технологічна система;
- ЦБ – цукрові буряки;
- У* – управлінські засоби.

ВСТУП

Актуальність теми. Виробництво цукру в Україні здійснюється завдяки взаємодії різнотипних технологічних систем із вирощування та збирання цукрових буряків, транспортування та переробки коренеплодів на цукрових заводах. Зокрема, технологічний процес (ТП) збирання цукрових буряків (ЗЦБ) відіграє важливу роль у формуванні якісного стану коренеплодів, а також значною мірою визначає обсяги технологічних втрат [57;96;116]. Умовою ж своєчасного виконання ТП ЗЦБ є обґрунтування параметрів відповідного технічного забезпечення, які узгоджені з часом початку збирання та обсягами виробничої площі культури. Таке обґрунтування потребує розроблення специфічних методик і моделей, які давали б змогу врахувати особливості функціонування бурякозбиральних комбайнів, зокрема, враховувати сукупний вплив їх параметрів, часу початку збирання врожаю, обсягів виробничої площі, а також стохастичності агрометеорологічних умов і процесів досягання цукрових буряків на функціональні показники ефективності ТП ЗЦБ.

У дисертаційній роботі розкрито науково-методичні засади та обґрунтовано раціональні параметри технічного забезпечення ТП ЗЦБ на основі статистичного імітаційного моделювання, яким враховується вплив темпів приросту маси коренеплодів та стохастичності агрометеорологічних умов осіннього періоду на продуктивність бурякозбиральних комбайнів та своєчасність виконання ТП ЗЦБ, що є актуальним питанням як у науковому, так і в практичному аспектах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до комплексного плану науково-дослідних робіт (НДР) Подільського державного аграрно-технічного університету на тему «Оптимізація технологій вирощування буряка в умовах західного Лісостепу України» (ДР № 0113U007272), а також НДР Львівського національного аграрного університету на тему «Розробка проектно-керованих

інноваційних систем, ресурсоощадних технологій і технічних засобів в агропромисловому виробництві (АПВ) та його енергозабезпеченні» (ДР №0116U003179).

Мета і завдання досліджень. *Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу збирання цукрових буряків завдяки обґрунтуванню параметрів його технічного забезпечення, які узгоджені з часом початку збирання та виробничою площею культури.*

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати такі завдання:

- проаналізувати чинні методи і моделі дослідження механізованих технологічних процесів збирання врожаю та обґрунтування параметрів технічного забезпечення, виявити недоліки та сформулювати шляхи їх усунення;

- проаналізувати вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на своєчасність ТП ЗЦБ, природно дозволений фонд часу для його виконання, виокремити базові й наслідкові події та розробити методику їх врахування у статистичній імітаційній моделі;

- розробити методику обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ на підставі їх узгодження з часом початку збирання та виробничою площею культури за врахування стохастичності агрометеорологічної та біологічно-предметної складових;

- виконати виробничі спостереження, комп'ютерні експерименти зі статистичною імітаційною моделлю ТП ЗЦБ, опрацювати їх результати і встановити статистичні закономірності зміни характеристик агрометеорологічної та біологічно-предметної складових, а також врахувати їх сукупний вплив на функціональні показники ефективності технологічного процесу збирання;

- обґрунтувати параметри технічного забезпечення ТП ЗЦБ на підставі їх узгодження з часом початку збирання та виробничою площею культури за критерієм мінімальних питомих сукупних витрат;

- впровадити результати досліджень у практику та визначити очікуваний економічний ефект від застосування технічного забезпечення з раціональними параметрами, які узгоджені з часом початку збирання врожаю та виробничою площею цукрових буряків.

Об'єктом дослідження є технологічний процес збирання цукрових буряків, бурякозбиральні комбайни.

Предметом дослідження є функціональні показники ефективності ТП ЗЦБ, їх ймовірний характер і залежність від часу початку збирання врожаю, виробничої площі культури та параметрів технічного забезпечення цього ТП за врахування стохастичного впливу агрометеорологічних умов і закономірностей досягання коренеплодів цукрових буряків.

Методи дослідження. У роботі використано методи: аналізу та синтезу складових ТП ЗЦБ, що визначають їх функціональні показники ефективності; системно-чинникового та системно-подієвого підходів – для виокремлення та відображення в статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ системного впливу чинників ефективності; аналітично-експериментальний – для визначення, формалізації та врахування сукупного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на своєчасність відповідного ТП; статистичного імітаційного моделювання ТП ЗЦБ – для відображення роботи бурякозбиральних комбайнів і визначення функціональних показників ефективності; ітерацій моделі – для врахування ймовірнісного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових; кореляційно-регресійного та статистичного аналізу результатів виробничих спостережень і комп'ютерних експериментів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

➤ *вперше:*

– обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ здійснюється на підставі встановлення зв'язку між часом початку ТП, обсягами виробничої площі культури та питомими сукупними витратами коштів у ТП за врахування сукупного впливу агрометеорологічної та

біологічно-предметної складових;

- розроблено методикау моделювання ТП ЗЦБ, яка дає змогу відобразити сукупний вплив параметрів технічного забезпечення, часу початку збирання врожаю, виробничої площі культури, стохастичності агрометеорологічних умов осіннього періоду та закономірностей досягання цукрових буряків на функціональні показники ефективності цих ТП;

- *удосконалено:*

- методикау системно-подієвого відображення впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на часові характеристики виконання ТП збирання врожаю сільськогосподарських культур;

- статистичну імітаційну модель ТП ЗЦБ, яка враховує неперервне досягання культури, зміну її фізичного стану, часові обмеження на функціонування бурякозбиральних комбайнів і дає змогу встановити закономірності зміни функціональних показників ефективності цього ТП за врахування стохастичної дії агрометеорологічних умов відповідного календарного періоду;

- *отримали подальший розвиток:*

- статистичні закономірності впливу агрометеорологічних умов та процесів досягання цукрових буряків на терміни виконання ТП ЗЦБ, що дозволяє використати їх у статистичних імітаційних моделях згаданих ТП;

- науково-методичні засади обґрунтування параметрів технічного забезпечення процесів збирання врожаю сільськогосподарських культур.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати дають змогу встановити для заданого бурякозбирального комбайна такий час початку ТП ЗЦБ та виробничу площу цукрових буряків, за яких забезпечуватимуться мінімальні питомі сукупні витрати коштів. Застосування в сільськогосподарському підприємстві (СП) удосконаленої статистичної імітаційної моделі дає змогу оцінювати своєчасність ТП ЗЦБ за різного технічного забезпечення та початкових умов їх виконання, а відтак

встановити закономірності зміни функціональних показників ефективності, а також їх статистичні характеристики.

Розроблений алгоритм та програмне забезпечення доповнюються формалізованими характеристиками агрометеорологічної та біологічно-предметної складових з інших регіонів України, що уможливить здійснення інженерно-аналітичного супроводу розвитку та ефективного функціонування відповідних комплексів збиральних машин.

Результати досліджень впроваджено в практику ТОВ «П'ятидні» Володимир-Волинського району Волинської області (Акт впровадження НДР у виробництво від 01.10.2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Автором отримані такі наукові результати: означено структуру технологічної системи, виокремлено групи чинників, їх причинно-наслідкові зв'язки та критерії ефективності для обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ [115;130]; розроблено методику визначення природно зумовленого часу початку збирання врожаю за планової тривалості виконання ТП ЗЦБ [74;92]; розкрито вплив агрометеорологічної [42;120] та біологічно-предметної складових на терміни виконання ТП ЗЦБ, їх обмеження [119], а також розроблено методику врахування цього впливу [75;108] та узгодження часу початку збирання і виробничої площі з параметрами технічного забезпечення [129]; проаналізовано технологічну систему ЗЦБ, розкрито головні складові ТП ЗЦБ, взаємодію яких необхідно врахувати в статистичній імітаційній моделі [121;136]; розкрито головні етапи формування ефективності ТП ЗЦБ, а також ієрархічні зв'язки стратегічного, тактичного та операційного рівнів планування цих ТП [14;135]; виконано імітаційне моделювання ТП ЗЦБ [19;94;118] та узагальнено результати [43;162].

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на: щорічних звітних науково-практичних конференціях викладачів та аспірантів Подільського державного аграрно-технічного університету (м. Кам'янець-Подільський, 2014–2019 рр.);

Міжнародній науково-технічній конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (сmt. Глеваха, 2016, 2018 та 2019 pp.); Міжнародному науково-практичному форумі «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій» (м. Львів, 2017–2019 pp.); XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» (м. Львів, 2019 p.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегроване стратегічне управління, управління портфелями, програмами, проектами» (м. Харків, 2015–2018 pp.); XII Міжнародній конференції «Управління проектами у розвитку суспільства» (м. Київ, 2015 p.).

Публікації. Основний зміст і результати дисертаційної роботи опубліковано в 19 друкованих працях, зокрема 6 – у наукових фахових виданнях України, 2 – у закордонних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, та 11 – у збірниках праць, матеріалах і тезах доповідей конференцій.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ В ПРАКТИЦІ ТА ТЕОРІЇ

1.1. Аналіз галузі цукровиробництва в Україні та за кордоном

Сільськогосподарські підприємства (СПП) України, що спеціалізуються на вирощуванні цукрових буряків, прагнуть зайняти високе місце із забезпечення сировиною цукрової промисловості [55;139;149]. За розрахунками «Інституту аграрної економіки», щоб уникнути дефіциту на вітчизняному ринку цукру в 2017-2018 маркетингових роках [60], необхідно посіяти буряк на площі не менше ніж 300 тис. га. Водночас, в 2016-2017 роках аграрії спромоглися забезпечити усього 282 тис. га, що унаочнює наростання зацікавленості виробників цією галуззю.

Цукрові буряки – це високоприбуткова та важлива технічна культура, оскільки вона забезпечує сировинну базу для виробництва цукру в Україні. Зокрема, із загального обсягу світового виробництва цукру на цю культуру припадає 40%, а в окремих країнах – вона є єдиним джерелом одержання цукру. Це зумовлене біологічною особливістю культури, оскільки коренеплоди цукрових буряків містять 16-18% цукру, а в результаті їх переробки на цукрових заводах вихід солодкого піску становить 12-15% [60].

Цукрові буряки відіграють важливу роль також і для тваринництва. Побічна продукція від їх вирощування та переробки (така як гичка, жом і меляса) використовується як поживний корм. Зокрема, за урожайності коренеплодів – 300 ц/га отримується 50 ц кормових одиниць, а одночасне використання коренеплодів й гички збільшує цей показник до 100 ц корм.од. Окрім згодовування, мелясу також використовують для виробництва комбікормів, спирту, гліцерину, дріжджів, лимонної кислоти та речовин для хімічної, парфумерної і харчової промисловості тощо.

Слід зазначити, що завдяки сприятливим ґрунтово-кліматичним умовам наша держава історично займала провідне місце за площами посіву

цукрових буряків і виробництвом цукру. Тільки для забезпечення внутрішніх потреб щорічно необхідно близько 2 млн. т цукру. Виробництво цукрових буряків в Україні завжди носило актуальне економічне і соціальне значення, оскільки займаючи 3...4% від загальної посівної площі вони дають – 17% рентабельності [132].

Сьогодні Україна входить у дванадцятку світових лідерів із виробництва цукрових буряків. Останніми роками ми займаємо шосте рейтингове місце і поступаємося таким країнам як Росія, Франція, США, Німеччина та Туреччина. Цукрова галузь України – самодостатній сектор, який лише за 2017 рік заплатив 3,1 млрд. грн. податків та забезпечує роботою 85 тис. осіб [132]. Виробництво цукру сягнуло 2,1 млн. т, а держава стала експортним „проривом“ для світу та реалізувала понад 700 тис. тонн продукції. Однак, ці досягнення слід адресувати великим сільгоспвиробникам та холдингам. Зокрема, чверть усіх посівів культури в 2016 році належало таким сільськогосподарським підприємствам як «Астарта» і «Укрпромінвест-Агро», які спеціалізуються на виробництві цукру.

Щодо діючих у державі 46-и цукрових заводів то сьогодні, посиляючись на Урядові постанови, вони щорічно забезпечують внутрішній ринок в обсязі 1,64 млн. т цукру (за квотою «А») [73, 90]. За цих умов, немає потреби імпортувати тростинний цукор-сирець, що закріплюватиме прибутковість вітчизняного виробництва. Окрім того, за 2017 рік експортовано цукру на суму \$279,9 млн., що на 29% більше за попередній дохід – 465,6 тис. т [132]. Щодо загальносвітового експорту цукру то в 2018 році відбувається його збільшення на 30%. Змінилась і його географія – найбільшими імпортерами стали Шрі-Ланка – 69,03 тис. т, Туреччина – 49,1 тис. т, Азербайджан – 44,9 тис. т, Судан – 40,0 тис. т, Лівія – 39,9 тис. т та Кот-д'Івуар – 34,5 тис. т, в той час як минулоріч основними країнами-покупцями були Шрі-Ланка, Грузія, Туніс, Румунія, Єгипет та ін. [132].

Водночас, в Україні знижуються обсяги посівних площ та валовий збір коренеплодів. Згідно із даними Державного комітету статистики така тенденція спостерігається уже давно (рис. 1.1-1.3).

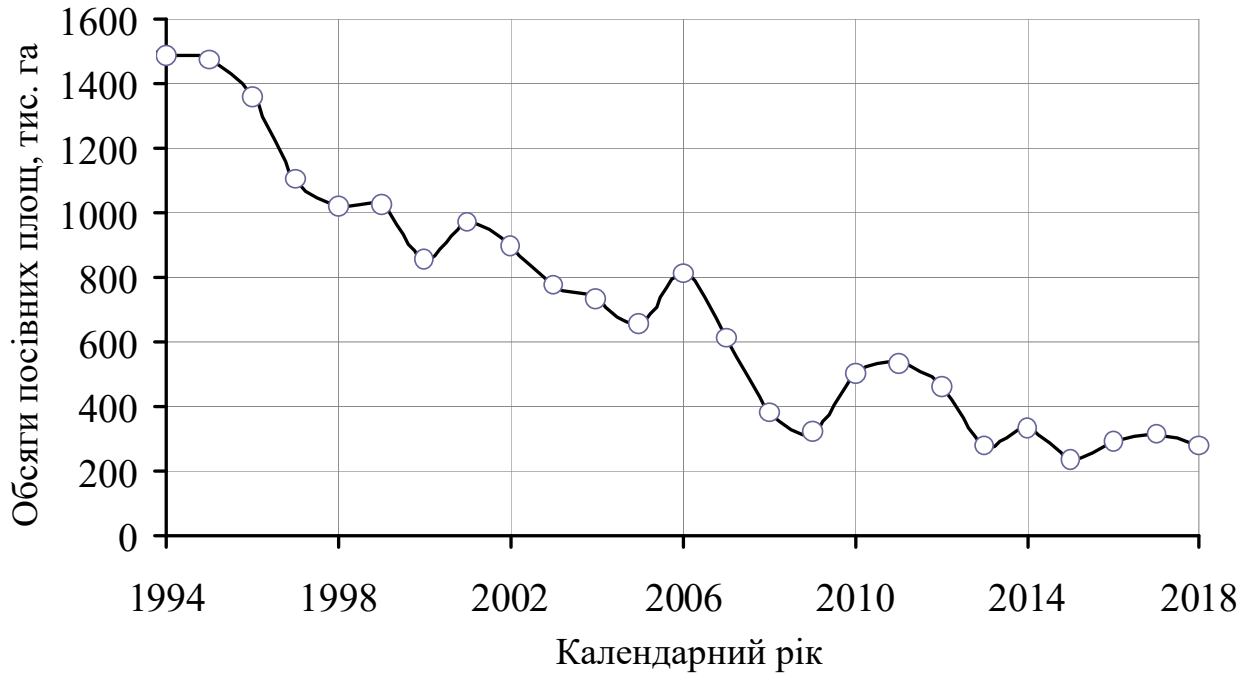


Рис. 1.1 Закономірність зміни обсягів посівних площ цукрових буряків в Україні [117]



Рис. 1.2 Закономірність зміни урожайності цукрових буряків в Україні [117]

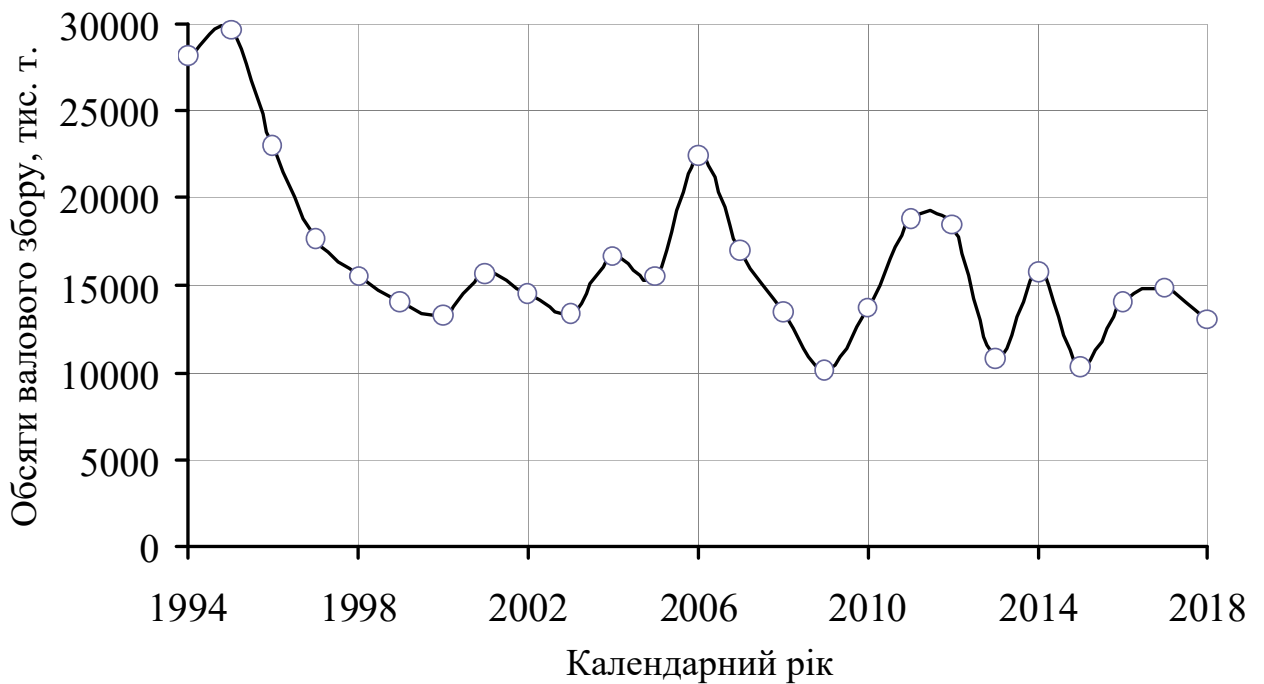


Рис. 1.3 Закономірність зміни обсягів валового збору врожаю цукрових буряків в Україні [117]

Останніми роками діючі цукрові заводи впроваджують нові технології виробництва. Зокрема, у 2017 році Радехівський цукровий завод (ТЗОВ «Радехівський цукор»), Засільський цукровий завод (ТОВ «Юкрейніан Шугар Компані), Агрохолдинги «Укрпромінвест-Агро» та «Астарта-Київ» запровадили контроль вмісту у коренеплодах альфа-амінного азоту, натрію та калію. Таке удосконалення виробничого процесу дасть змогу підвищити якість цукру та обсяги його реалізації в Європейських країнах, а також завойовувати нові ринки збуту.

Водночас, сьогодні спостерігається погіршення стану технічного забезпечення АПК України вітчизняною технікою. За таких негативних тенденцій відбулося значне скорочення парку спеціалізованої техніки для вирощування цукрових буряків та їх збирання. Темпи щорічного спрацювання основних технічних засобів у 5-10 разів перевищують їх оновлення. Галузь сільськогосподарського машинобудування у державі втратила належний технологічний рівень розвитку, занепали конструкторські організації, втрачено кваліфіковані кадри тощо. Спеціалізовані машини, що

використовуються, фактично, є копіями застарілих конструкцій і не відповідають сучасним вимогам, майже 85% із них вичерпало свій технічний ресурс. Це призвело до техніко-технологічної залежності АПК України від імпорту спеціалізованих машин і не тільки для процесів збирання врожаю цукрових буряків (ЗЦБ) [117;132].

Для підтримки підприємств бурякоцукрової галузі та стабілізації цінової ситуації на внутрішньому ринку Кабінет Міністрів зобов'язав центральні органи виконавчої влади вивчити можливість встановлення пільгових цін на природний газ для цукрових заводів на період сезону переробки буряку [132], впровадження пільгових тарифів для виробників цукру на перевезення залізничним транспортом цукрових буряків, вапнякового каменю, мазуту та інших допоміжних матеріалів, необхідних для їх переробки, списання несплачених і штрафних санкцій, які застосовані до виробників тощо.

Дії Уряду скеровані на те, щоб не допустити дефіциту цукру у державі, підвищити зацікавленість виробництва до цієї культури, валовий збір, фінансовий стан СГП, надходження до бюджету тощо. Існують також скептичні погляди [73], які вказують на те, що за період 1990-2017 рр. чисельність цукрових заводів скоротилась від 193 до 46 одиниць. Така тенденція погіршує економічну ситуацію суб'єктів вітчизняного ринку цукровиробництва та формує низку проблем, які стримують розвиток галузі [95]. До основних стримуючих чинників відносять: 1) подорожчання енергоносіїв; 2) обмеженість основних каналів збуту продукції на внутрішньому ринку; 3) низька якість сировини.

Щодо зовнішніх ринків збуту солодкого піску то за два останні роки відбулося деяке зниження цін та їх укріплення на позначці – 430-440 \$/т [149]. Ці ж джерела зазначають, що у 2016 році цукор із буряка вперше «перегнав» тростинний за ціною. Міжнародна організація цукру (МОЦ) прогнозує глобальний дефіцит цього продукту на рівні 6,65 млн т і більше. Це пов'язано із поганими погодними умовами в головних країнах-виробниках

цього продукту. Хоча, за прогнозами Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO) в світовому виробництві очікується певне збільшення ринку цукру. Обсяги виробництва солодкого піску в країнах ЄС-27 зростуть, порівняно із попередніми роками на 12%, Індії – на 7%, США – на 6% [149].

У глобальному розумінні, із збільшенням кількості населення споживання цукру зростатиме. Сьогодні вплив України на світовий ринок цукру є незначним, а частка державного виробництва у загальносвітовому виробництві становить близько 1,2%. За останні три роки експорт українського цукру реалізовувався невеликими обсягами та в основному до Казахстану, Киргизії, Молдови, Таджикистану, Литви, Туркменії, Росії та Грузії. До цих країн також експортується цукор російського та білоруського виробництва, котрий є якісніший. Очевидно що ці обставини стимулюватимуть національних виробників розширювати зовнішні канали збуту цієї продукції і надалі.

Таким чином, стан бурякоцукрової галузі України характеризується деяким сповільненням розвитку та, водночас, сприятливими зовнішньоринковими умовами для його зростання. Збільшення обсягів виробництва цукру та розвиток галузі в Україні загалом потребує державного захисту [95;139;152;160] та фінансової допомоги діючим підприємствам, які слід сконцентрувати на завданнях підвищення ефективності процесів вирощування цукрових буряків, збирання врожаю та переробки коренеплодів.

1.2. Особливості досягання цукрових буряків, аналіз технологій збирання коренеплодів та означення проблеми

Особливістю галузі сільськогосподарського виробництва є те, що переважна більшість механізованих ТП скерована на перетворення якісного стану предметів праці, які мають природне походження. Завданням цих ТП є

створення сприятливих умов для продуктивного і якісного формування кінцевого продукту – врожаю культурної рослини. Очевидно, що зміст та терміни виконання ТП ЗЦБ необхідно узгоджувати із темпами досягання коренеплодів, а саме приростом їх цукристості та маси. Тому, без аналізу природних особливостей формування врожаю, а також впливу своєчасності ТП ЗЦБ на його якісний стан [18], розкриття головних завдань із підвищення ефективності цих ТП є неможливим.

Вчені агрономи [11;96;103], виокремлюють 3 періоди формування врожаю цукрових буряків. В 1-й період (від появи сім'ядоль до змикання листя в рядках) найбільш продуктивно розвивається листовий апарат, а наростання коренів йде повільніше. За 2-го періоду (змикання листя в міжряддях) інтенсивніше наростає маса коренеплодів. Третій період (розмикання листків у міжряддях) відзначається уповільненням приросту листя і коренеплодів з одночасним накопиченням цукру. Тривалість кожного із цих періодів є не постійною та залежать від ґрунтово-кліматичних, агротехнічних, сортових, погодних умов тощо. Відомо також [61;96;143;151], що за сприятливої сонячної погоди і "здорового" листового апарату цей процес може тривати до жовтня, а за відсутності заморозків – і до листопада. Окрім того, якщо гичка буряків відмирає через заморозки, посуху чи ураження грибками, то збирати урожай необхідно до початку формування нових листків, які відростають за рахунок накопиченої у коренеплодах енергії, а відтак погіршують їх кондиційність.

Отже, коренеплоди цукрових буряків характеризуються зміною темпів приросту їх маси, а також наступними технологічним показниками: 1) цукристістю; 2) стиглістю; 3) станом тургору; 4) ступенем забрудненості; 5) концентрацією нецукрів в буряковому соці тощо. Така важлива характеристика коренеплодів як цукристість також має свої особливості формування. Чим вища цукристість, менший вміст нецукрів і забрудненість коренеплодів, тим якість буряка вища. Відомо [11;96], що сахароза коренеплодів складається із двох моносахаридів – глюкози и фруктози, котрі

синтезовані в лисках рослини і переведені в її корінь. Вміст сахарози, що виражений в процентному відношенні до ваги коренеплодів, називається цукристістю. Найбільша кількість сахарози накопичується в коренеплодах

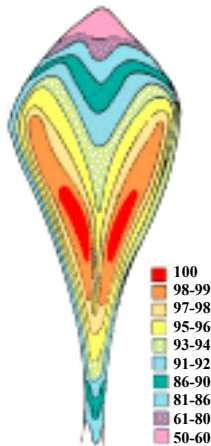


Рис. 1.4 Розміщення сахарози в коренеплодах буряків (за 100% прийнято максимальний її вміст) [132]

цукрових буряків впродовж двох місяців – липня та серпня. Однак, за сприятливих погодних умов (до моменту зниження середньодобової температури повітря нижче $+6-8^{\circ}\text{C}$) ці процеси продовжуються і у вересні та жовтні.

Сахароза в коренеплодах цукрових буряків розподілена нерівномірно (рис. 1.4). Це формує об'єктивні вимоги до робочих процесів викопування й підрізання коренеплодів та, зокрема, до будови робочих органів бурякозбиральних

машин і комбайнів [1;10;16;114]. Такі біологічні особливості формування врожаю цукрових буряків та, зокрема, цукристості їх коренеплодів зумовлюють те, що за теплої і довготривалої осені більш доцільним є пізніше виконання ТП ЗЦБ (рис. 1.5).

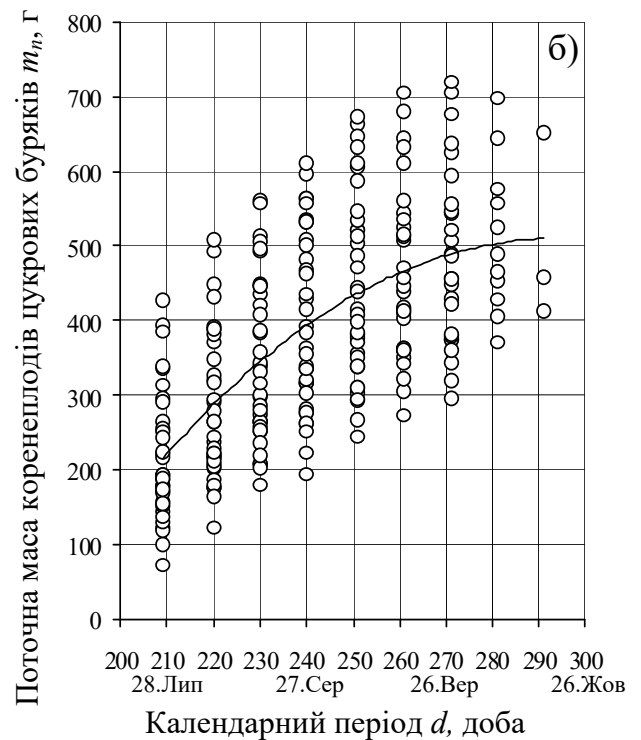
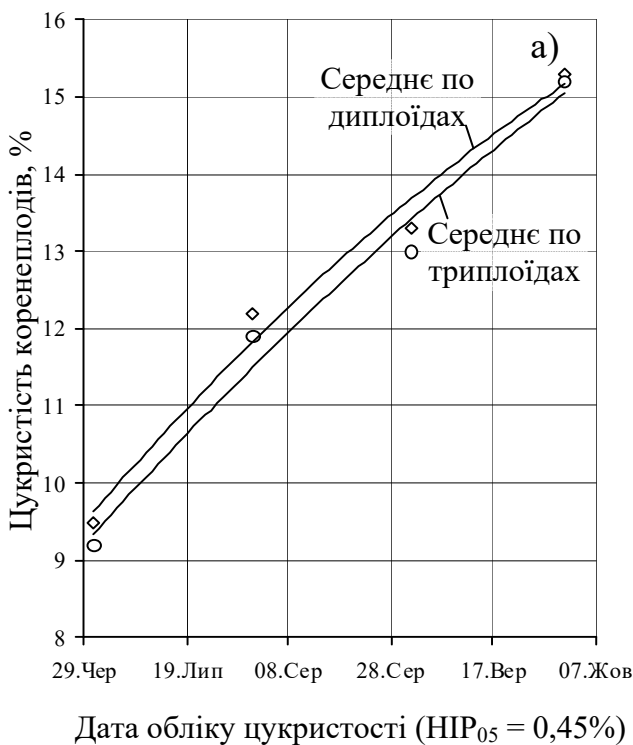


Рис. 1.5 Закономірність календарного приросту цукристості (а) [28] та поточної маси (б) коренеплодів цукрових буряків [116]

Тоді, нагромадження цукрів і приріст коренеплодів досягатиме біологічного максимуму.

З огляду на це, розрізняють ботанічну, біологічну та технологічну стиглість (технічну, або виробничо-господарську) цукрових буряків (табл. 1.1). Ботанічна стиглість настає на другому році життя, коли дозріває насіння.

Таблиця 1.1

Ознаки досягання та втрат врожаю коренеплодів цукрових буряків [33]

Показник	Означення
- <i>біологічна стиглість</i>	Стиглість буряків першого року життя, яка характеризується згасанням життєвих процесів у кінці вегетації.
- <i>технологічна (технічна) стиглість</i>	Стиглість, яка характеризується нагромадженням максимальної маси коренеплоду й цукрози за мінімальних приростів маси і цукристості.
- <i>підморожений коренеплід</i>	Коренеплід, у якого під дією мінусових температур відбулися структурні зміни, що зумовили його почорніння, лущення тканини, або перехід останньої в склоподібний стан.
- <i>муміфікований коренеплід</i>	В'ялий коренеплід, який втратив здатність відновлювати тургор.
- <i>загнилий коренеплід</i>	Коренеплід, в якому внаслідок ураження мікроорганізмами окремі ділянки, або вся маса потемніли та втратили структуру.

В кінці першого року вегетації цукрових буряків, у рослині згасають життєві процеси та настає біологічна стиглість. В цей період інтенсивно відмирають листя, сповільнюється приріст маси коренеплоду і сахарози, підвищується чистота бурякового соку, знижується вміст води в коренеплодах, відбувається розпад білкових речовин в плазмі листя, а продукти розпаду переміщуються в коренеплоди. За технологічної стиглості в коренеплодах формується найбільша кількість сахарози. Наступний приріст маси коренеплоду і кількості сахарози є незначним. Перед настанням технологічної стиглості рядки із буряками розмикаються, листя світлішає, частково жовтіє і відмирає. Час настання цих явищ залежить від сорту,

погодних умов, агротехніки, родючості ґрунту тощо. Зокрема, вчені агрономи відмічають [11;61;96;132], що найдоцільніше збирати врожай коренеплодів цукрових буряків за умови настання їх “технологічної стиглості”. У технологічній стиглості маса коренеплодів і вміст цукрів сягають свого максимуму, чистота соку висока та мінімальний вміст м'ясоутворюючих речовин.

Відповідно до цього, час початку ТП ЗЦБ необхідно узгоджувати із біологічно зумовленими термінами настання технологічної стиглості коренеплодів [3]. У разі перевищення цих термінів та запізнення зі збиранням врожаю до настання похолодань, коренеплоди пошкоджуються заморозками нижче -5°C [96;103;146]. Підмерзлі коренеплоди швидко втрачають сухі речовини, сахарозу і загнивають у кагатах. Це призводить до зменшення виходу цукру внаслідок інверсії сахарози.

Окрім цього, терміни початку ТП ЗЦБ необхідно вибирати виходячи із технологічно можливих темпів їх виконання і завершення, а також враховувати фонд часу для наступного зберігання коренеплодів [145;161]. Довготривале відкрите зберігання коренеплодів зумовлює втрату цукру на процеси дихання і формування нецукрових речовин у коренеплодах [59]. Разом з тим, у вересні та жовтні ще виникають високі температури (до $+20^{\circ}\text{C}$), що значно перевищують оптимальні температури зберігання ($+3-5^{\circ}\text{C}$) коренеплодів. В результаті, погіршується якість переробки коренеплодів та кінцевий продукт цих процесів.

Загальновідомо, що якісний стан зібраних коренеплодів впливає на їх реалізаційну ціну та формує відповідні вимоги до ТП ЗЦБ (табл. 1.2). Зокрема, важливим показником ефективності застосування тих чи інших бурякозбиральних комбайнів вважається повнота збирання та фізична засміченість врожаю ґрунтом і рослинними рештками [96;145]. Окрім того, за несприятливих погодних умов, коли ґрунт поля перезволожений, забруднення коренеплодів і гички буде вищою, відсівання земляних домішок погіршується і, як наслідок, механічні втрати зростають до 20% і більше.

Агротехнічні вимоги до процесів збирання цукрових буряків [24]

Показник	Вимоги і допуски
Технологічні процеси збирання гички	
Зрізування головок коренеплодів	Прямий – 90% (косий – до 10%) Гладенький – 98% (+2%) Без сколювання – 100% (-2%)
Знаходження площини зрізування	Не нижче рівня основи нижніх зелених черешків гички (не вище 2 см від вершка головки коренеплоду)
Відсоток коренеплодів зі зрізом вище 2 см від вершини головки	до 5%
Відходи головок в гичку при обрізуванні	до 5% (-2%)
Загальні втрати зеленої маси гички під час збирання на корм	до 10% (-5%)
Відсоток землі наявний у воросі гички	до 0,5% (-0,3%)
Відсоток коренеплодів, вибитих з ґрунту робочими органами	0(+0,1%)
Спосіб збирання	Потоковий, або з розкиданням по полю
Технологічні процеси збирання коренеплодів	
Повнота викопування коренеплодів робочими органами	98,5% (+1,5%)
Втрати коренеплодів і їх частин в ґрунті і на поверхні поля	до 1,5% (-0,5%)
Пошкодження коренеплодів: - всього; - у тому числі значні	до 20% ($\pm 5\%$) до 5% ($\pm 2\%$)
Забрудненість вороху коренеплодів: - загальна; - у тому числі зеленою масою	до 10% ($\pm 2\%$) 3,0% (-1,5%)
Спосіб збирання	Потоковий (потоково-перевалочний)
Навантаження коренеплодів	
Повнота підбирання вороху коренеплодів навантажувачем-очищувачем з кагату	до 99,5% (-0,5%)
Засміченість землею	до 1,0%
Кількість сильно пошкоджених коренеплодів	до 3,0% ($\pm 1,0\%$)

Зокрема, до якості зібраних цукрових буряків ставляться відповідні вимоги ДСТУ 2153:2006 (табл. 1.3). На зазначені показники також впливає технологія збирання коренеплодів. Зокрема, відомі такі технології збирання врожаю цукрових буряків – потокова, перевалочна, потоково-перевалочна (табл. 1.4). Застосування тої чи іншої технології залежить від конкретних погодних, агротехнічних і організаційних умов, технічного стану комбайнів,

наявності транспортних засобів і трудових ресурсів, відстані перевезень тощо [50;131].

Таблиця 1.3

Вимоги до якісного стану зібраних коренеплодів цукрових буряків [24;33]

Показник	Норма
Фізичний стан	Не прив'язані
Цвітушні, %, не більше	1,0
Підв'язані, % не більше	5,0
З сильними механічними пошкодженнями, %, не більше	12,0
Засміченість зеленою масою, %, не більше	3,0
Підморожені зі скловидними тканинами, які відшаровуються, або почорнілими	Не допускається
Муміфіковані	Не допускається
Загнилі	Не допускається

Кожна із технологій ТП ЗЦБ має свої переваги та недолки (табл. 1.4). Однак спільною вимогою до них є забезпечення належного якісного стану зібраних коренеплодів (табл. 1.3), а також безупинної роботи бурякозбирального комбайна на полі. Для кожної із технологій збирання коренеплодів цукрових буряків це досягається завдяки визначенню витрат часу на виконання збиральних, розвантажувально-навантажувальних та транспортних робіт, а також необхідної кількості відповідних технічних засобів й операторів [24;25;141;142].

Зазначимо, що у дисертаційній роботі ТП ЗЦБ розглядається на рівні бурякозбирального комбайна, який працює на полі і обслуговується тракторним причепом-перевантажувачем. Зокрема прийнято умову, що цей транспортний засіб розвантажує бурякозбиральний комбайн під час руху, перевозить зібрані коренеплоди на край поля та пересипає їх у вантажні автомобілі, або формує насип. Таке узгодження роботи технічних засобів у збирально-транспортній ланці є характерним для перевалочної технології, котра в дисертаційній роботі і розглядається. Отже, вплив транспортної

інфраструктури на темпи роботи бурякозбирального комбайна ідеалізовано і вважається, що відвезення зібраних коренеплодів виконується вчасно.

Таблиця 1.4

Аналіз технологій збирання цукрових буряків [24;25;96;116]

Технологія	Переваги	Недоліки
Потокова	ЦБ зберігаються на полі, відсутність втрат у насипах, відсутня потреба у причепах-перевантажувачах та навантажувачах, найнижчі витрати на навантажувально-розвантажувальні роботи, мінімальна кількість задіяної техніки	Потреба у значній кількості транспортних засобів і трудових ресурсів, незручна під час значних відстаней перевезення, темп роботи комбайна залежить від роботи транспортних засобів та приймальних пунктів, рух завантажених автомобілів по полю, залежність від черг на приймальних пунктах
Перевалочна	Зручна під час значних відстаней перевезення, незалежність від черг на приймальних пунктах, вивезення коренеплодів не залежить від роботи комбайнів, на 40-60% нижча потреба у транспортних засобах порівняно із потоковою технологією, відсутність переїздів ними по полю	Втрати у насипах коренеплодів, найвищі обсяги навантажувально-розвантажувальних робіт, пошкодження ЦБ під час їх виконання, потреба у тракторних причепах-перевантажувачах та навантажувачах
Потоково-перевалочна	Маневрованість збиральними роботами за несприятливих погодних та виробничих умов, порівняно нижча потреба у транспортних засобах, порівняно нижчі втрати ЦБ у насипах, одночасне використати автомобілів та тракторних причепів-перевантажувачів, вивезення коренеплодів не залежить від роботи комбайнів	Багатопотоковість збирально-транспортних процесів, значна кількість трудових ресурсів, втрати у насипах коренеплодів

Ефективність використання бурякозбиральних машин чи комбайнів завжди визначалась їхньою готовністю до виконання своїх завдань. В переважній більшості, сьогодні в Україні використовують бурякозбиральні комбайни закордонних виробників [53;57]: SF-10 фірми Franz Kleine (Німеччина), M-41MH фірми Matrot (Франція), GR-4000, LECTRA-4005 фірми Moreau (Франція), R26.45K і R26.50K фірми ROPA (Німеччина), KRBS фірми Holmer (Німеччина), SR-1800 і SR-2500 фірми TİM (Данія). Однак, використання такого технічного забезпечення ТП ЗЦБ є досить дорогим, що об'єктивно формує вимоги до рентабельності та термінів окупності капіталовкладень.

Щодо самохідних комбайнів то їх поширенню сприяє висока технологічна й технічна готовність працювати навіть за несприятливих пізньоосінніх перезволожених умов, а також можливість вилучити з роботи дорогий технологічний транспорт та використовувати під час ТП ЗЦБ лише одного машиніста. Як за однофазного викопування із прямим комбайнуванням однією самохідною машиною, яка за один прохід виконує всі робочі процеси із збирання гички та коренеплодів.

За двофазного збирання цукрових буряків використовують дві окремі бурякозбиральні машини: гичкозбиральну та коренезбиральну. Для двофазного збирання в нашій державі випускають [53]: 1) причіпні гичкозбиральні машини БМ-6Б, МБП-6 та її модифікації (МГУ-6, МБК-2,7), МГР-6 (роторна), МГШ-6 (шнекова), універсальну – МГМ-6 (розробили ННЦ ІМЕСГ та ІЦБ УААН, виготовлення – ВАТ “Борекс”), також самохідні коренезбиральні машини – КС-6Б, КС-6В, КБ-6, РКМ-6 (01-06), МКК-6 (02-07); 2) причіпні чотири- та шестирядні машини МКП-4, МКП-6, які розроблено та виготовлено у ВАТ “Тернопільський комбайновий завод”. Ці машини агрегатують із тракторами типу ХТЗ-120/121, ХТЗ-161/163 Харківського тракторного заводу.

Трифазне збирання виконують трьома окремими бурякозбиральними машинами: гичкозбиральною, копачем-валкоукладачем КВЦБ-1,2

(ВАТ “Борекс”), або АЗК-6-01 (ВАТ “Уманьферммаш”) і підбирачем-навантажувачем ПНБВ-1,6 “Борекс”, або АЗК-6-03 “Уманьферммаш”.

Спільною ознакою бурякозбиральних машин є те, що їх робочі органи взаємодіють із ґрунтом поля та, власне, з коренеплодами. Відповідно до цього, виникнення опадів в осінній період змінює стан вологості ґрунту, що об’єктивно впливає на темпи та якісні показники виконання ТП ЗЦБ. Відомо [6;26], що найкраще кришіння ґрунту та його відділення від робочих органів і від коренеплодів цукрових буряків, відбувається за його ”фізичної стиглості”. Під фізичною стиглістю ґрунту розуміють такий його стан, за якого досягається найвища якість робочих процесів з найменшими зусиллями на подолання опору ґрунту. Межі цієї вологості для різних типів ґрунтів є різними [6]: 1) для чорноземів – 15-18% від абсолютно сухої маси ґрунту; 2) сірих лісових ґрунтів – 17-16%; 3) дерново-підзолистих середньо суглинкових – 16-18%. Зокрема, за низької вологості ґрунту ускладнюється функціонування робочих органів бурякозбиральних машин через його твердість і в'язкість, за більшої вологості – через високу пластичність тощо. Тому, врахування впливу агрометеорологічних умов на фізичну стиглість ґрунту, а відтак і на можливість роботи бурякозбиральних комбайнів, дає змогу об’єктивно врахувати природно зумовлену мінливість тривалості виконання ТП ЗЦБ.

Окрім того, закономірність приросту маси та цукристості коренеплодів цукрових буряків об’єктивно формує вимоги до термінів виконання ТП ЗЦБ. За "раннього часу початку" цих ТП – виникають біологічні втрати врожаю через збирання коренеплодів у яких ще відбувається приріст маси та цукристості. З іншого боку, "пізній час початку" ТП ЗЦБ – призводить до технологічних втрат через запізнення із збиранням коренеплодів та ураження їх заморозками. Отже, необхідно розробити такі методики моделювання ТП ЗЦБ, які дадуть змогу обґрунтувати параметри їх технічного забезпечення на підставі врахування сукупного впливу усіх складових ТП, що визначають його ефективність.

1.3. Аналіз науково-методичних засад обґрунтування параметрів технічного забезпечення та методик моделювання технологічних процесів рільництва

Вирішенню завдань ефективного використання машинних агрегатів у рослинництві присвячено багато наукових праць. Зокрема, цим питанням займалися такі відомі вчені як П.М. Василенко, С.А. Іюфінов, Ю.К. Кіртбая, Л.В. Погорілий, М.К. Лінник, М.О. Демидко, А.С. Кушнар'єв, Ю.Ф. Скидан, В.Я. Мартиненко та ін. Оптимізацією комплексів машин для вирощування, збирання та транспортування сільськогосподарської продукції займалися Р.Ш. Хабатов, О.П. Терехов, М.А. Босий, Е.А. Фінн, А.Л. Зангієв, М.К. Діденко, В.С. Крамаров, М.С. Рунчев, Е.М. Багір-Заде, Г.М. Данилова, В.І. Дубина, А.М. Криков, Ф.Ф. Мухамад'яров, Ю.Ф. Скидан, А.М. Валге, А.М. Скороходов, С.Г. Фришев, О.В. Сидорчук, І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, В.І. Пастухов та багато інших.

Праці цих науковців є надзвичайно важливими для обґрунтування параметрів комплексів машин рільництва. Однак, їх безпосереднє застосування не дає змоги узгодити час початку ТП ЗЦБ, обсяги виробничої площі цукрових буряків із параметрами відповідного технічного забезпечення, що функціонують в умовах мінливого впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових цих ТП. Разом з цим, як зазначають окремі вчені [82], врахувати усі обставини, що супроводжують виробництво сільськогосподарської продукції, є практично неможливим.

Питаннями механізації збирання цукрових буряків займалась ціла наукова школа, яка виникла в Технічному ННІ (НУБіП України) та розвивалась такими відомими вченими як В.М. Булгаков, І.В. Головач, Р.Б. Гевко та М.М. Хелемендик. Ними розвинуто [10]: 1) теоретичні основи вібраційного викопування коренеплодів цукрових буряків; 2) теоретичні основи очищення вороху коренебульбоплодів; 3) механіко-технологічні

основи збирання цукрових буряків у складних умовах. Керуючись цими здобутками, наступне покоління науковців таких як В.В. Теслюк, Я.І. Козіброда, В.Д. Орехівський, О.О. Сипливець, М.Г. Березовий, В.В. Яременко та А.М. Борис розвинуло теорію технологічних процесів збирання цукрових буряків та конструкції робочих органів бурякозбиральних машин (теорію безпідпорного, безкопірного зрізу гички, теорію очисників головок коренеплодів від залишків гички на корені, теорію руху частинок гички при транспортуванні завантажувальними пристроями, теорію копірно-різального елемента відокремлювача гички тощо).

Основні принципи функціонування викопуючих та очисних робочих органів також розкриваються у працях Л.В. Погорілого [83], М.В. Татянюк, В.Я. Мартиненко, М.М. Зуєва, С.А. Топоровського, О.П. Гурченка, В.О. Дубровіна [49], Г.А. Голуба, В.М. Барановського [4] та інших [1;112;126].

Аналіз цих праць переконує у їх важливості для розвитку теорії функціонування викопуючих та очисних робочих органів, яка дає змогу забезпечити виготовлення таких їх зразків, що задовольнятимуть якісні та агротехнічні вимоги до кінцевого продукту – зібраних коренеплодів цукрових буряків. На жаль, ці науково-методичні положення не дають змоги обґрунтувати параметри технічного забезпечення ТП ЗЦБ оскільки вони розроблені для врахування фізико-механічних особливостей виконання робочих процесів.

Питанням комплексної механізації та потоково-технологічних ліній збирання і транспортування цукрових буряків також присвячено багато уваги такими вченими як В.Д. Гречкосій [24;25;57], С.Г. Фришев [141;142], Р.Б. Гевко [21], А.М. Мазуренко [70] та інші. Зокрема, для обґрунтування потреби в збиральній техніці, транспортних засобах і узгодження їх роботи в складі комбайно-транспортної ланки В.Д. Гречкосій [24;25;57] пропонує виконати розрахунки щодо визначення:

- продуктивності комбайна (коренезбиральної машини) за годину змінного часу:

$$W_z = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (1.1)$$

де B_p – робоча ширина захвату машини, м; V_p – робоча швидкість руху, км/год; τ – коефіцієнт використання часу зміни збиральної машини.

- кількість бурякозбиральних машин для збирання площі (S , га) цукрових буряків у встановлені агросроки:

$$n_k = \frac{S}{W_z \cdot T_{zm} \cdot K_{zm} \cdot n_d}, \quad (1.2)$$

де T_{zm} – тривалість зміни, год; K_{zm} – коефіцієнт змінності; n_d – кількість робочих днів.

- кількість транспортних засобів для відвезення коренеплодів від групи коренезбиральних машин:

$$n_a = \frac{n_k \cdot t_a}{(t_\delta + t_{p.\delta}) \cdot n_\delta}, \quad (1.3)$$

де t_a – тривалість циклу (рейсу) автотранспортного засобу, хв.; t_δ , $t_{p.\delta}$ – відповідно тривалість заповнення бункера комбайна коренеплодами і його розвантаження, хв.; n_δ – кількість бункерів із коренеплодами, яка вміщується в кузові автотранспортного засобу.

- тривалість рейсу автотранспортного засобу:

$$t_a = (t_{p.\delta} + t_{nep.}) \cdot n_\delta + \frac{120 \cdot l_n}{V_a} + t_{розв.} + t_{оч.}, \quad (1.4)$$

де $t_{nep.}$ – тривалість переїзду автотранспортного засобу від краю поля до комбайна, або від одного комбайна до іншого, хв.; l_n – відстань перевезення коренеплодів до цукрового заводу, км; V_a – середньотехнічна швидкість руху автотранспортного засобу, км/год; $t_{розв.}$, $t_{оч.}$ – тривалість зважування, розвантажування та очікування навантаження транспортного засобу, хв.

У праці С.Г. Фришева [142] запропоновано методику визначення раціональних параметрів збирально-транспортного комплексу для цукрових буряків, що реалізовує удосконалену потокову технологію із забезпеченням

роботи комбайнів без зупинок, мінімальною кількістю транспортних засобів та зі зменшенням ущільнення ґрунту. Зокрема, для обґрунтування параметрів цього комплексу, до складу якого входять бурякозбиральні комбайни (БК), тракторні причепи-перевантажувачі (ТПП) та автомобільні транспортні засоби (АТЗ), необхідно визначити такі показники:

- продуктивність БК за годину змінного часу (т/год):

$$W_K = W_{KP} \cdot \tau, \quad (1.5)$$

де W_{KP} – продуктивність БК за 1 годину основного часу, т/год.; τ – коефіцієнт використання змінного часу;

- необхідну кількість ТПП, од:

$$n_{\Pi} = \text{CEILING} \frac{m_K \cdot W_{KP} \cdot \left(\frac{q_{\Pi} - q_H}{W_{KP}} + t_{PYX} + \frac{K_M \cdot q_H}{W_{\Pi}} \right)}{q_{\Pi}}, \quad (1.6)$$

де m_K – кількість БК в групі; q_{Π} – вантажопідйомність ТПП, т; q_H – вантажопідйомність бункера БК, т; t_{PYX} – тривалість руху ТПП від БК до АТЗ та повернення його у зворотньому напрямку, год; K_M – коефіцієнт, який враховує маневрування ТПП під час завантаження АТЗ; W_{Π} – продуктивність вивантажувального транспортера ТПП, т/год;

- запас часу для причепа-перевантажувача на очікування заповнення бункера БК, год:

$$t_{Oч} = \frac{q_{\Pi}}{W_{KP}} \cdot \left(\frac{n_{\Pi}}{m_K} - 1 \right) + \frac{q_H}{W_{KP}} - t_{PYX} - \frac{K_M \cdot q_{\Pi}}{W_{\Pi}}, \quad (1.7)$$

- кількість АТЗ, од:

$$n_A = \text{CEILING} \frac{m_K \cdot T_{\text{ЦА}} \cdot W_{KP}}{q_{\Pi}} \quad (1.8)$$

де $T_{\text{ЦА}}$ – тривалість обороту АТЗ, год.

Наведені методики визначення параметрів збирально-транспортних комплексів скеровані на підвищення ефективності відповідних ТП завдяки встановленню такої взаємодії їх технічного забезпечення, що забезпечує безперервне збирання врожаю та знижує простій техніки. Така

безперервність ТП досягається за рахунок узгодження темпів роботи бурякозбиральних комбайнів, із кількістю та темпами роботи транспортних засобів. Нажаль, застосування цієї методики не дає змоги оптимізувати виробничу площу цукрових буряків для відповідного технічного забезпечення, а також врахувати вплив часу початку й темпів виконання ТП, процесів досягання врожаю коренеплодів та агрометеорологічних умов на своєчасність збирання і обсяги технологічних втрат врожаю коренеплодів.

Окремі методичні питання із оптимізації використання парку машин розглянуто у праці Н.К. Діденка [27], що є важливою підставою для розробки алгоритмів із розв'язання задач оперативного використання технічного забезпечення підприємства. У праці І.А. Лазарева [66] проектування системи машин здійснюється на підставі оптимізації процесів обслуговування вимог підприємства до окремих технологічних операцій. Усі процеси відображаються графом перетворень предмета праці. Аналіз цього графа дає змогу знайти оптимальний варіант процесу та забезпечити екстремум функції ефективності.

Канторовичем Л.В. запропоновано евристичні методи оптимізації комплексів машин, котрі побудовані на прикладі типових СГП. Зокрема, для обґрунтування параметрів технологічної системи використовують експертні оцінки щодо ефективності нових технічних засобів, а також наступних автоматизованих розрахунків для окремих СГП, зон та галузі загалом.

Ці науково-методичні положення та методики розроблені і діють в умовах планової економіки, що призводить до недоліків під час їх використання в умовах ринкового ведення бізнесу. Зокрема, ці методики не враховують вірогідність технологічних втрат, зміну показників ефективності за різних термінів, тривалості процесів збирання врожаю та обсягів площі культури.

Відомі також методи, які враховують вплив предмету праці (культури, що вирощується і врожай якої збирається) на терміни та функціональні показники ефективності відповідних ТП. Зокрема, у працях В.Д. Саклакова

та В.П. Сергєєва [102] запропоновано методику, яка враховує особливості росту сільськогосподарських культур і їх вплив на терміни й тривалість механізованих робіт, а також на втрати врожайності. В основі цієї методики є визначення агротехнічно оптимальних термінів ТП, що здійснюється за двома етапами: 1) встановлення початку робіт; 2) техніко-економічне обґрунтування їх тривалості.

Зокрема, економічно доцільна тривалість роботи машинного агрегату на полі визначається за досягнення мінімуму питомих сукупних витрат:

$$P = U_1 + U_2 + P_y, \quad (1.9)$$

де P – сумарні затрати на виконання роботи агрегатом та втрати через недобір врожаю, грн/га; U_1 – затрати на реновацію техніки, грн/га; U_2 – пропорційні технологічні затрати (паливо, зарплата, ремонт і ТО тощо), грн/га; P_y – втрати через недобір врожаю, грн/га.

Втрати через недобір врожаю P_y визначають:

$$P_y = K_{II} \cdot U \cdot C_{II} \cdot D_P, \quad (1.10)$$

де K_{II} – коефіцієнт втрат врожаю через перевищення оптимальної тривалості роботи на 1 добу; U – питома врожайність культури, ц/га; C_{II} – питома закупівельна ціна врожаю, грн/ц; D_P – тривалість виконання технологічної операції, діб.

На підставі формул (1.9) та (1.10) авторами виведено вираз економічно доцільної тривалості технологічної операції:

$$D_P^{opt} = \sqrt{\frac{C_{\delta} \cdot \alpha \cdot \gamma}{100 \cdot K_{II} \cdot U \cdot C_{II} \cdot W_{\text{дн}}}}. \quad (1.11)$$

де C_{δ} – балансова вартість машини, крб; α – відсоток відрахувань на реновацію; γ – частка технологічних операцій у загальному обсязі робіт, які виконує дана машина; $W_{\text{дн}}$ – добова продуктивність агрегату, га/день.

У праці І.Г. Савіна [101], для визначення оптимальної тривалості технологічної операції запропоновано дещо іншу формулу:

$$T_k^{opt} = \left[\frac{K_i (A + K + Z_{np} + Z_n)}{0,5 \cdot C \cdot Y \cdot W_c \cdot K_{1,2} (1 + D)} \right]^{0,5}, \quad (1.12)$$

де K_i – частка витрат річного фонду часу для виконання i -ї роботи; A, K – амортизаційні та кредитні (лізингові) відрахування, грн/год; Z_{np}, Z_n – накладні витрати і податки, грн/год; C – закупівельна ціна врожаю культури, грн/т; Y – потенційна врожайність культури, т/га; $K_{1,2}$ – частина втрат врожаю за одну добу до (K_1) і після (K_2) агротерміну; D – коефіцієнт, який враховує простої технічного засобу.

Загальновідомо, що між тривалістю виконання технологічної операції і втратами врожаю сільськогосподарських культур є прямопропорційна залежність. Питаннями впливу термінів виконання технологічних операцій на урожайність сільськогосподарських культур займалося багато відомих вчених: Е.С. Уланова [133], М.С. Рунчев [100], Л.К. П'ятовська [93] та ін. [5;69;96;116;137;145;146;151;153;155].

Узагальнення досліджень поточної врожайності U_i сільськогосподарських культур такими вченими як Ю.К. Кіртбая [54], І.Л. Чабаненка, В.Д. Саклакова, М.П. Сергєєва [102] та А.Т. Табашникова [122] дало змогу встановити те, що для опису закономірності зміни U_i ними використовується рівняння:

$$U_i = A \cdot D_i^2 + B \cdot D_i + U_o, \quad (1.13)$$

де A, B, U_o – параметри рівнянь, які мають розмірності відповідно $\frac{ц}{га \times день^2}$,

$\frac{ц}{га \times день}$, $\frac{ц}{га}$; D_i – тривалість роботи на полі, діб.

У своїх працях Ю.К. Кіртбая зазначає, що для невеликих термінів запізнення із роботами (до 20 днів) можна використовувати лінійну модель втрат урожаю сільськогосподарських культур:

$$U_i = U_{max} \cdot (1 - K_n \cdot D_i), \quad (1.14)$$

де U_i – поточна врожайність культури на полі, ц/га; U_{max} – врожайність за виконання робіт в оптимальні терміни, ц/га; K_n – коефіцієнт втрат врожаю.

Керуючись цією методологією, потрібну кількість машинних агрегатів для заданих обсягів площі та оптимальної тривалості технологічної операції слід визначати [102]:

$$x = \frac{F}{W_2 \cdot T_c \cdot D_{opt} \cdot K_k}, \quad (1.15)$$

де F – обсяг площі, га; W_2 – питома годинна продуктивність технічного засобу, га/год; T_c – тривалість роботи впродовж доби, год; D_{opt} – агротехнічно оптимальний термін робіт, діб; K_k – коефіцієнт використання календарного часу.

Узагальнюючи наведені методики, зазначимо, що вони відіграють вкрай важливу роль для оцінення впливу своєчасності ТП на обсяги зібраного та втраченого врожаю. Однак, вони мають недоліки, які є характерні для детермінованих методів. Ними не враховується сукупний вплив стохастичності агрометеорологічних умов, закономірностей приросту врожаю культури, часу початку збирання врожаю, обсягів робіт та продуктивності техніки на закономірності зміни показників ефективності відповідних ТП.

Задачі щодо визначення часу початку й тривалості збиральних робіт на полях із достиглим врожаєм вирішувалися у багатьох наукових працях [28;29;64;70;106;116;122;145;146;148;153;156;159]. В них зазначається, що надто ранні та пізні терміни збирання врожаю сільськогосподарських культур характеризуються недоліками. За ранніх термінів знижується вірогідність технологічних втрат, однак отримується продукція нижчої якості, яку ще необхідно досушувати, вилежувати чи кагатувати. Це зумовлює додаткові витрати. За пізніх термінів отримують більший приріст врожаю (більшу масу коренеплодів та їх цукристість). Однак, за цих умов значно зростає ризик технологічних втрат та зниження ефективності відповідних ТП.

У праці С.Г. Фришева [141] відмічається, що вибір термінів збирання врожаю цукрових буряків впливає на збиток СГП від зниження кількості продукції цукрових буряків. Цей збиток пропонується визначати за формулою:

$$C_Y = C_c \cdot Y_{\max} \cdot \eta \cdot z_p / 200, \quad (1.16)$$

де C_c – приймальна ціна цукрових буряків на заводі, грн/т; Y_{\max} – урожай на дату завершення збирання; η – середній добовий приріст маси врожаю, %; z_p – тривалість збирання, діб.

Середній добовий приріст маси врожаю в %/добу:

$$\eta = 100 \cdot (Y_{\max} - Y_o) / (Y_{\max} \cdot z_o), \quad (1.17)$$

де Y_o – початкова врожайність (наприклад на 1 вересня), т/га; z_o – кількість днів до досягнення Y_{\max} (на дату закінчення збирання).

На цій підставі, для порівняльного оцінювання ефективності техніки пропонується використовувати критерій приведених витрат на одиницю напрацювання [18;25]. З урахуванням економічного ефекту від зміни кількості продукції на одиницю напрацювання комплексні витрати слід визначати:

$$K_3 = \Pi + C_Y = \text{И} + E \cdot B / B_3 + C_Y, \quad (1.18)$$

де Π – приведені витрати, грн/т; И – прямі експлуатаційні витрати на збирання цукрових буряків, їх перевезення по полю, навантаження з бурту та очищення, перевезення у приймальний пункт цукрового заводу, грн./т; E – коефіцієнт (норматив) ефективності капіталовкладень; B – балансова вартість усього технічного забезпечення, грн; B_3 – річне напрацювання, т.

Наведена методика визначення втрат цукрових буряків розглядає два крайні терміни – початок та завершення ТП збирання. Нажаль, вона не дає змоги врахувати поточний приріст маси коренеплодів під час їх збирання, а відтак оцінити сукупний вплив часу початку ТП ЗЦБ, виробничої площі цукрових буряків та параметрів технічного забезпечення на кінцеві показники виконання цих ТП.

Щодо методів моделювання, прогнозування, оптимізації та розрахунків виробничих процесів котрі використовуються в чинних науково-методичних положеннях із обґрунтування параметрів технічного забезпечення механізованих ТП вирощування та збирання врожаю сільськогосподарських культур то вони побудовані за двома принципами – на основі детермінованих та ймовірнісних моделей. Перший принцип застосовується у працях таких відомих вчених, як: Ф.С. Завалішин [45], Ю.К. Кіртбая [54], Л.В. Погорілий [83], М.С. Рунчев [100], А.Т. Табашников [122], та інші [22;46;47;57;65;67;80;102;142]. Основним недоліком детермінованих моделей є те, що вони не враховують стохастичність термінів виконання ТП та зв'язок термінів їх початку, поточної урожайності культури, її виробничої площі та продуктивності машинних агрегатів із обсягами технологічних втрат. Тому, отримані на їх основі результати не дають змоги об'єктивно оцінити відповідне технічне забезпечення.

У праці [106] вирішується задача узгодження параметрів парку збиральних комбайнів із сезонною програмою сільськогосподарських культур за централізованого виконання відповідних ТП. Для визначення оптимальної сезонної програми збирання врожаю r -м комбайном передбачено декілька етапів дослідження (моделювання та оптимізації). В результаті цього, визначають головні функціональні показники [106]: 1) обсяг несвоєчасно зібраних площ (Q_n); 2) обсяг зібраного врожаю (U_3); 3) обсяг втраченого врожаю (U_6); 4) витрати паливо-мастильних матеріалів (C_n); 5) затрати живої праці (Z_n) тощо.

У роботах М.К. Діденка, В.Д. Гречкосія, І.І. Мельника, С.М. Бондара [7;27] розроблена математична модель, яка дає змогу: 1) визначати раціональні структури посівних площ як основу для обґрунтування раціонального складу машинних агрегатів та комплексів машин у системі сівозмін господарства; 2) виконувати уточнений розрахунок норм виробітку та витрат палива під час роботи машинних агрегатів відповідно до коефіцієнта складності умов їх використання; 3) оптимізувати комплекси

машин та машинно-тракторних агрегатів для виконання деякого ТП в залежності від площі вирощування культури.

Зазначені праці дають змогу узагальнити та сформулювати вимоги до часу початку процесів збирання врожаю, однак у них відсутні дослідження стосовно впливу цього моменту на функціональні показники ефективності відповідних ТП. Їх безпосереднє використання не дає змоги оцінити ефективність технічного забезпечення, що функціонує в умовах мінливості термінів робіт, поточної врожайності культури, її ураження заморозками тощо. Однак, це дуже характерно для ТП ЗЦБ.

Щодо ймовірнісних моделей то в останніх наукових працях широко використовують статистичне імітаційне моделювання (так званий метод Монте-Карло) [123;165]. У цих моделях механізований ТП розглядається як замкнута система із входними впливами, параметрами та характеристиками функціонування [12;32;85;107]. Зокрема, відображення ТП в імітаційних моделях ґрунтується на системно-подієвому підході та представленні множини відповідних технологічних операцій у вигляді потоку замовлень на їх виконання. Цей потік замовлень характеризує: 1) предмет праці (ґрунт, рослину, шкідника, утожай тощо), який у розрізі того чи іншого календарного періоду потребує виконання робіт щодо його якісного перетворення; 2) виникнення погожих та непогожих проміжків; 3) технологічних втрат врожаю тощо [69;106;116;148;153]. Початкові дані для об'єктивного відображення статистичних характеристик потоку замовлень у моделях ТП отримують завдяки спеціально організованим спостереженням, а також на підставі даних агрометеорологічних станцій [26;78;99]. Їх опрацювання виконується за стандартизованими методиками [87-89].

Нами використано цей методологічний підхід для розроблення статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ і врахування впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на терміни й своєчасність збирання врожаю коренеплодів цукрових буряків.

Слід зазначити, що методи статистичного імітаційного моделювання використовують для досліджень різних ТП – збирання зернових культур [29;106;148], цукрових буряків [64;116], льону-довгунцю [153], озимого ріпаку [5], процесів механізованого захисту рослин обприскуванням [155], ТО і ремонту сільськогосподарської техніки [104], транспортування молока [127] та його заготівлі й переробки [98], обробітку ґрунту [69] та сівби культурних рослин [48], а також механізації польових робіт загалом [82] тощо.

Зокрема, у праці В.С. Спічака [116], розвинуто основні методичні підходи щодо вирішення завдання із оцінення технологічного ризику та обґрунтування оптимального часу початку ТП ЗЦБ для заданої площі коренеплодів ($S = 100$ га) та одиничного бурякозбирального комбайна (КЗБ-6 «Збруч»). Зазначені результати отримано на підставі комп'ютерних експериментів із статистичною імітаційною моделлю віртуальних проектів ЗЦБ, яка де змогу врахувати стохастичність календарних термінів початку та завершення робіт, погожі та непогожі проміжки, виконати прогноз календарного приросту маси коренеплодів цукрових буряків, а також перебігу робіт у цих проектах. На основі комп'ютерного моделювання отримують такі функціональні показники як обсяг ($Q_{\phi j}$) зібраного врожаю цукрових буряків, площа (S^H) на якій врожай культур уражено заморозками, обсяг (Q_m) технологічних втрат врожаю цукрових буряків.

Однак, у роботі В.С. Спічака [116] відсутні відомості щодо того: 1) як змінюватиметься оптимальний (τ_{np}^{opt}) час початку робіт із ЗЦБ у разі зміни площі цукрових буряків?; 2) як змінюватимуться функціональні показники ТП за різного часу початку збирання врожаю та площі культури? 3) яку оптимальну площу слід планувати для того чи іншого комбайна? Окрім того, у роботі не враховано: 1) вплив поточної врожайності коренеплодів на продуктивність бурякозбирального комбайна; 2) вплив агрометеорологічних умов на природно дозволений добовий фонд часу для

збирання коренеплощів; 3) скорочення тривалості природно дозволеного фонду часу у пізні календарні терміни виконання ТП ЗЦБ.

Узагальнюючи вищенаведене зазначимо, що чинні методи та моделі враховують особливості виконання низки ТП рільництва. Однак, особливостям ТП ЗЦБ не приділено значної уваги, а тому безпосереднє їх застосування призведе до помилок в оціненні ефективності відповідного технічного забезпечення. Вирішення цього завдання зумовлює потребу розроблення нових методів та моделей ТП ЗЦБ, котрі давали б змогу отримати об'єктивні результати комп'ютерних експериментів щодо визначення закономірностей зміни функціональних показників ефективності цих ТП за різного часу їх початку та обсягів виробничої площі культури, а також за врахування стохастичного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових.

Висновки до розділу 1

1. Результати аналізу стану бурякоцукрової галузі України переконують у зниженні її ефективності, а також зниженні темпів розвитку загалом. Зокрема, в державі спостерігаються тенденції зменшення кількості цукрових заводів та площі під цукровими буряками із одночасним зростанням питомої урожайності цих культур. Відродження галузі потребує державної підтримки, а також вирішення завдань із підвищення ефективності технологічних процесів збирання цукрових буряків завдяки обґрунтуванню раціональних параметрів їх технічного забезпечення.

2. Аналіз термінів виконання ТП ЗЦБ дав змогу встановити те, що їх своєчасність безпосередньо впливає на втрати врожаю та, водночас, залежить від узгодженості із темпами досягання цукрових буряків й розвитком агрометеорологічних умов осіннього періоду. Ідеалізація цієї системної особливості ТП ЗЦБ призводить до помилок під час обґрунтування параметрів їх технічного забезпечення.

3. Відомі технології збирання врожаю коренеплодів цукрових буряків характеризуються як перевагами так і недоліками. Однак, спільною вимогою до них є забезпечити беззупинну роботу бурякозбиральних комбайнів на полі завдяки вчасному перевантаженню коренеплодів та їх транспортуванню. Досягнути цього можна завдяки використанню тракторних причепів-перевантажувачів, які дають змогу перевантажувати коренеплоди в автомобільні транспортні засоби, або формувати їх насипи на краю поля.

4. Аналіз чинних науково-методичних положень із обґрунтування параметрів комплексів машин, зокрема для збирання врожаю цукрових буряків, свідчить про те, що вони ще потребують доопрацювання. Зокрема, ними не враховано вплив узгодженості часу початку збирання врожаю цукрових буряків, їх виробничої площі та параметрів технічного забезпечення на функціональні показники ефективності цих ТП.

РОЗДІЛ 2

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

2.1. Структурний аналіз технологічних систем збирання цукрових буряків

Вирішення сучасних агроінженерних завдань ґрунтується на системному підході [2;12;32;107], який в залежності від їх змісту вимагає певного смислового уточнення. Зокрема, уточнення цього підходу зумовлюється особливостями тимчасової зміни якісного стану предметів праці (сільськогосподарських культур, ґрунту поля тощо), на які слід впливати в процесі аграрного виробництва [25;28;96]. Це досягається завдяки розгляду відповідного виробництва не з загальносистемних позицій, а з позицій технологічних систем [107]. Такий підхід дозволяє прискорити процес дослідження завдяки створенню імітаційних моделей відповідних ТП, що виконують у ТС. Методологічні особливості цього дослідницького процесу ще потребують розроблення.

Під поняттям технологічна система (ТС) мається на увазі сукупність функціонально взаємопов'язаних технічних засобів, предметів праці, виконавців ТП, або ж операцій [34;35] в регламентованих виробничих умовах. Поняття ТП означає частину виробничого процесу (ВП), що забезпечує цілеспрямовані дії щодо зміни, або формування стану предметів праці. А під поняттям ВП розуміємо систематичну та цілеспрямовану зміну в часі та просторі кількісних і якісних характеристик предметів та засобів праці (засобів виробництва) і робочої сили для отримання готової продукції з початкової сировини згідно із заданою програмою [34;35].

Таким чином, ТП відбувається завдяки виконавцям, які за допомогою технічних засобів (інструментів перетворення) змінюють початковий стан

предметів праці в технологічно потрібний якісний стан. Впродовж ТП виконавці, технічні засоби і предмети праці можуть переміщатися на незначну відстань. Ці переміщення також називають технологічними. Вони, як і дії із формування якісного стану предметів праці, належать до ТП.

Цілеспрямованість дій в ТП зумовлена технологією (T_l) виробництва (виращування) тої чи іншої продукції. У ВП виконується не один, а кілька ТП, які забезпечують виготовлення моно- або поліноменклатурної продукції. Для кожного такого ТП створюється відповідна ТС. Для ВП створюється виробнича система (ВС), яка складається з декількох ТС.

Виокремлені поняття матеріального виробництва лежать в основі окреслення меж та формування вимог до методики дослідження (моделювання) ТП різних виробничих галузей, та зокрема, ТП ЗЦБ.

Виходячи із визначення ТС і її складових, охарактеризуємо ТС ЗЦБ графічно (рис. 2.1).

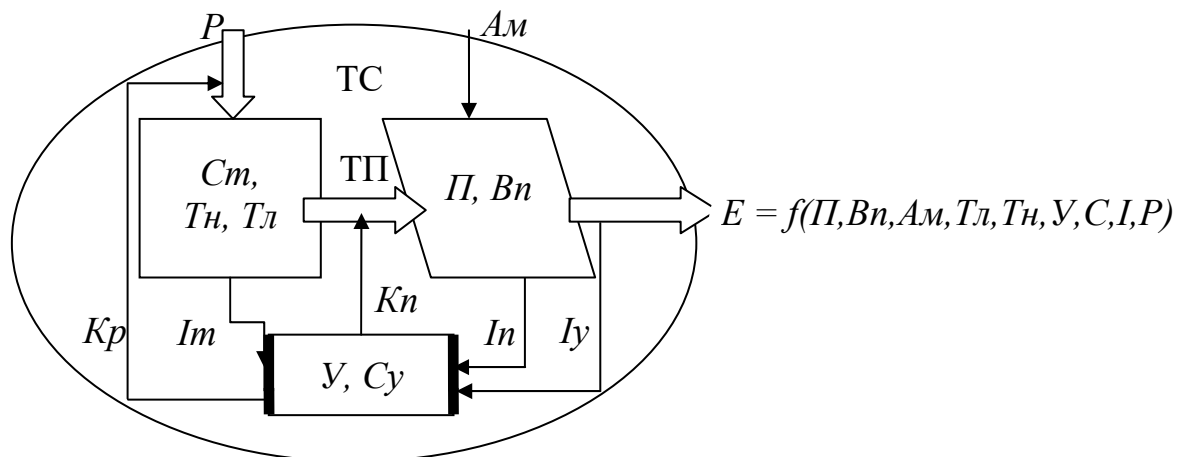


Рис. 2.1 Схема ТС ЗЦБ: C_m , C_y – відповідно виконавці ТП і управлінці; T_n , T_l – відповідно технічне забезпечення ТП і технології збирання; $П$, V_n – відповідно предмети праці (цукрові буряки та ґрунт поля в якому вони розташовані) і виробничі параметри полів (площа, конфігурація, ухил тощо); Y , I_m , I_n , I_y , K_n , K_p – відповідно управлінські засоби, інформація про технологічні складові, стан полів із цукровими буряками, зібраний урожай, а також команди на виконання ТП і забезпечення ресурсами; P , A_m – відповідно ресурсне забезпечення ТП і агрометеорологічні умови збирального сезону; E – показники ефективності

Для цього виділимо три укрупнених складових: 1) предмети праці (цукрові буряки та ґрунт поля в якому вони розташовані) ($П$) і виробничі параметри полів (площа, конфігурація, ухил тощо) ($Вп$); 2) техніко-технологічне забезпечення ($Ст$, $Тн$, $Тп$); 3) організаційно-технічне (управлінське) забезпечення ($У$, $Су$). Крім того, означимо вплив на ТС зовнішнього середовища: 1) агрометеорологічні умови ($Ам$); 2) ресурсне забезпечення ($Р$). Результатом виконання ТП ЗЦБ є зібраний врожай і обсяги біологічних та технологічних втрат коренеплодів на відповідній площі, а також експлуатаційні витрати в ТП [71;72;91].

Кожна з означених укрупнених складових не тільки відображає зміст даної ТС, але і забезпечує її функціонування, яке виконується на рівні відповідного ТП. Його моделювання лежить в основі визначення раціональних параметрів $Тн$, а також організаційних режимів використання технічних засобів.

Розкриємо особливості функціонування ТС ЗЦБ. Вирощений на полях СГП урожай культури є основним предметом праці ($П_\tau$), який в розрізі певного календарного моменту часу (τ) характеризується відповідним якісним станом. Зокрема, $П_\tau$ відображається загальною площею полів (S_τ , га) та врожайністю (U_τ , ц/га) культури, яка залежить від τ :

$$P_\tau = f(S_\tau, U_\tau). \quad (2.1)$$

Ґрунт поля в якому розташовані цукрові буряки, також відноситься до предмета праці оскільки він впливає на робочі процеси викопування коренеплодів [10;25], а також змінюється його якісний стан в результаті виконання ТП ЗЦБ. Властивості наведених предметів праці відображаються характеристиками виробничих умов:

$$B = f(S, l, i, \beta), \quad (2.2)$$

де S – площа полів із цукровими буряками, га; l – середня довжина гону цих полів, м; i – середнє значення ухилу полів, град; β – стан поверхні ґрунту полів.

Слід зазначити, що властивості цих предметів праці змінюються під

впливом агрометеорологічних умов (A_m), які є некерованим зовнішнім чинником. Агрометеорологічні умови впливають як на темпи приросту маси і цукристості коренеплодів цукрових буряків в осінній період так і на вологість ґрунту полів за якої ТП можуть виконуватися, або ж ні [6;26;96].

Аналізуючи техніко-технологічну складову ТС ЗЦБ, слід звернути увагу на її технічне забезпечення (T_n), за допомогою якого виконавці (C_m) (комбайнери) збирають урожай культури. Воно відображається кількістю (n_r) бурякозбиральних комбайнів, а також їх потужністю (потужністю встановлених двигунів – N_d , кВт):

$$T_n = f(n_{kr}, N_d). \quad (2.3)$$

Під ресурсним (P) забезпеченням ТП ЗЦБ розуміємо обсяги паливо-мастильних та витратних матеріалів, фонд запасних частин для ТО тощо. Їх наявність дає змогу забезпечити дотримання організаційних режимів роботи техніки та уникнути її простою з технологічних та технічних причин.

Функціонування ТС не може відбуватися без управління відповідним ТП. Тому, однією із важливих складових цієї системи є підсистема управління, що складається з бригадирів (управлінців, менеджерів) (C_u), а також із засобів управління U . Бригадири на підставі інформації про стан предметів праці (I_n), техніко-технологічної підсистеми (I_m), а також вірогідності технологічних втрат (I_y) приймають рішення стосовно виконання ТП в той чи інший проміжок часу збирального сезону, обґрунтовуючи і видаючи відповідні команди K_u (див. рис. 2.1).

Вплив агрометеорологічних умов на стан P_t предметів праці (цукрових буряків і ґрунту поля) визначається на підставі результатів спостережень агрометеорологічних станцій [5;29;48;69;76;99;116;153]. Крім фізико-механічних властивостей P_t невід'ємною виробничою характеристикою цукрових буряків є поточний врожай коренеплодів – U_p . Він як відомо [15;60;96;103;124;146], зумовлюється багатьма чинниками врожайності. Зокрема, біологічними особливостями сорту, дотриманням технології вирощування культури, а також впливом агрометеорологічних умов впродовж періоду

росту та дозрівання врожаю тощо. Поточний приріст коренеплодів цукрових буряків та нагромадження їх цукристості в осінній період є однією із головних передумов обґрунтування часу початку ТП ЗЦБ [116] за відомих параметрів техніко-технологічної складової, а також характеристик предметів праці.

Означені складові ТС ЗЦБ є початковою інформацією для розроблення концептуальної та математичної моделі, а також імітаційного моделювання (дослідження) цих ТП з метою обґрунтування раціональних параметрів технічного забезпечення.

2.2. Головні етапи моделювання та розроблення концептуальної моделі технологічного процесу збирання цукрових буряків

Виходячи із наведених у п. 2.1 положень зазначимо, що ТП ЗЦБ характеризуються властивостями складних виробничих систем [2;12;107]. Тому, для їх дослідження доцільно використовувати метод статистичного імітаційного моделювання, або метод Монте-Карло [123;165]. Для виконання цих досліджень, згідно із технологією моделювання [2;107], необхідно виконати такі укрупнені етапи: 1) формулювання мети моделювання; 2) створення концептуальної моделі; 3) підготовка початкових даних; 4) розроблення математичної моделі; 5) вибір методу моделювання; 6) вибір засобів моделювання; 7) розроблення програмної моделі; 8) перевірка адекватності та коригування моделі; 9) планування комп'ютерних експериментів з моделлю; 10) виконання моделювання; 11) аналіз результатів моделювання та обґрунтування рішень.

Розкриємо сутність цих укрупнених етапів. Отже, метою моделювання (дослідження) ТП ЗЦБ є визначення закономірностей зміни функціональних показників їх ефективності за різної техніко-технологічної складової (технічного забезпечення й технологій збирання), організаційно-

технологічних режимів роботи (часу початку ТП) та характеристик предметів праці (виробничої площі цукрових буряків та поточної маси коренеплодів) за стохастичного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових.

Зокрема, до функціональних показників ТП ЗЦБ відносимо: 1) обсяг незібраних площ (S^H , га); 2) ймовірність біологічних втрат ($p[Q_6]$); 3) ймовірність технологічних втрат врожаю ($p[Q_T]$); 4) обсяг біологічних втрат (Q_6 , ц/га); 5) обсяг технологічних втрат (Q_T , ц/га); 6) фактична тривалість (t_3^Φ , діб) виконання ТП ЗЦБ.

Виходячи із цих функціональних показників визначають питомі сукупні витрати коштів (B , грн/га) на виконання ТП, які у вартісному виразі відображають: 1) питомі експлуатаційні витрати (B_{TH}) на виконання ТП ЗЦБ [71;91]; 2) питомі технологічні втрати (B_{TL}) через несвоєчасне виконання цих ТП [96;116;145]. На підставі цих критеріїв ефективності ТП ЗЦБ виникає можливість пошуку такого поєднання його складових (часу початку ($\tau_{пз}$) ТП, виробничої площі (S) культури та параметрів технічного забезпечення ($П_k$)) за якого B сягатимуть свого екстремуму:

$$B = f(\tau_{пз}, S, П_k). \quad (2.4)$$

Отже, для досягнення мети дослідження слід створити таку методику моделювання ТП ЗЦБ, яка б давала змогу врахувати залежність функціональних показників ефективності цих ТП від сукупного впливу таких складових: 1) часу початку ТП; 2) виробничої площі культури; 3) параметрів технічного забезпечення; 4) темпів приросту маси коренеплодів та формування поточного врожаю цукрових буряків на полі; 5) впливу поточної врожайності коренеплодів на продуктивність їх збирання; 6) впливу агрометеорологічних умов на стан ґрунту та можливість роботи бурякозбирального комбайна; 7) ураження коренеплодів заморозками та виникнення технологічних втрат врожаю тощо.

Структура початкових даних для моделювання формують за результатами опису концептуальної моделі та, зокрема, виокремлення

процесів (технологічних, фізичних, біологічних, управлінських тощо), явищ та подій у ТС, врахування яких є важливим з точки зору досягнення мети дослідження. Зокрема, початкові дані для моделювання ТП нами сформовано на підставі уже відомих досліджень [116], офіційних даних СГП, результатів спостережень метеорологічних станцій, чинних типових норм продуктивності і витрат палива бурякозбиральними комбайнами [125], а також на підставі спеціально проведених виробничих спостережень та експериментів (див. р.4).

Розглядаючи етап розроблення математичної моделі, слід звернути увагу на те, що він сформований та логічно доповнює використаний нами метод моделювання. Зокрема, математична модель представляє собою сукупність математичних виразів, закономірностей та функцій, які в певній послідовності застосовуються для відображення процесів, подій та явищ, а також причинно-наслідкових зв'язків між цими елементами, а відтак сукупно формують функціональні показники ефективності ТП ЗЦБ.

Математична модель виконання ТП ЦЗБ має алгоритмічну структуру із певними розгалуженнями, передбачає певну мінливість у послідовності та кратності використання тих чи інших математичних функцій. Окрім того, до її складу може входити декілька підмоделей, які сукупно відображають головні складові імітаційної моделі ТП: 1) календарний приріст маси коренеплодів цукрових буряків; 2) характеристики полів, поточний стан вологості ґрунту та його зміну під впливом агрометеорологічних умов; 3) агрометеорологічні умови впродовж осіннього періоду, а також в розрізі кожної календарної доби; 4) щоденну роботу бурякозбиральних комбайнів і комбайнерів; 5) правила та обмеження щодо виконання ТП ЗЦБ, які відображають управлінські рішення й дотримання агротехнічних вимог до нього; 6) вплив обслуговуючих підсистем на виконання ТП тощо.

Обґрунтування методу моделювання ТП ЗЦБ полягає в тому, щоб для нашого дослідження застосувати такий метод, який дасть змогу адекватно відобразити особливості функціонування бурякозбиральних комбайнів та

отримати об'єктивні закономірності зміни показників ефективності цих ТП. Відомо [2;48;64;106;116;148;153;155;158;163;165], що метод статистичного імітаційного моделювання дає змогу відобразити мінливість природної складової (розвитку цукрових буряків, зміну вологості ґрунту та агрометеорологічних умов тощо) впродовж відповідного календарного періоду, а також щоденне виконання ТП ЗЦБ та врахувати сукупний вплив на його перебіг детермінованих і стохастичних подій та явищ, що позначаються на показниках ефективності.

За математичною моделлю та обґрунтованим методом моделювання вибирають засоби моделювання і розробляють блок-схему алгоритму статистичної імітаційної моделі. Сучасні персональні комп'ютери (ПК) дають змогу розробити у відповідному програмному середовищі [105;166] програмний код імітаційної моделі ТП, виконати комп'ютерні експерименти із нею та формалізувати результати визначення закономірностей зміни функціональних показників ефективності цього ТП. Після написання програмного коду моделі виконують пробне моделювання ТП ЗЦБ, а отримані результати аналізують та проводять коригування (валідацію моделі) імітаційної моделі. Підставою такого коригування є зафіксовані ознаки неадекватного відображення тих чи інших складових ТП ЗЦБ.

Якщо адекватність моделі доведена то це дає підстави виконувати наступний етап – розробити план комп'ютерних експериментів, який передбачає виконання лише тих досліджень, що відповідають меті та завданням дослідження. Для об'єктивного врахування впливу складових ТП ЗЦБ, що характеризуються стохастичністю, виконують репрезентативну кількість реалізацій (ітерацій) статистичної імітаційної моделі. В результаті цього, отримують множину функціональних показників ТП, що потребує наступного їх опрацювання за методами математичної статистики та встановлення відповідних розподілів й статистичних характеристик випадкових величин.

Розкривши укрупнені етапи створення статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ, зупинимося більш докладно на розробці її концептуальної моделі. Відомо [2;107], що концептуальна (змістовна) модель є абстрактною, у ній в словесній формі описується "природа", параметри й особливості взаємодії складових ТС, а також значення кожного елемента для результатів її функціонування. Концептуальна модель передбачає декілька етапів її створення [2;107]: 1) визначення і орієнтування; 2) стратифікування; 3) деталізування; 4) локалізування; 5) структурування та управління; 6) виділення процесів; 7) відображення станів.

Виконуючи структурний аналіз ТС ЗЦБ (див. п. 2.1) ми частково розкрили основні положення та здійснили орієнтування моделі – які саме особливості виконання ТП необхідно врахувати в статистичній імітаційній моделі. Насамперед зауважимо, що під особливостями ТП ЗЦБ розуміємо те, що терміни їх виконання формуються відповідно до тенденцій зміни якісного стану двох предметів праці – цукрових буряків та ґрунту поля в якому вони розташовані. Зокрема, темпи зміни стану цих предметів праці є стохастичними та зумовлені дією агрометеорологічних умов впродовж відповідного календарного періоду. Роботу бурякозбиральних комбайнів та обсяги площі відповідної культури необхідно узгоджувати таким чином, щоб цей ТП завершився до початку осінніх заморозків (нижче -5°C [96]). Невиконання цієї об'єктивно зумовленої вимоги призводить до ураження коренеплодів, виникнення технологічних втрат врожаю [96;116], а відтак до зниження доходів СГП [55].

Таким чином, модель ТП ЗЦБ орієнтується на виявлення закономірностей зміни функціональних показників його ефективності (рис. 2.2). Основними ознаками орієнтованої моделі є: 1) врахування сукупного впливу $П, В, T_n, T_l, C_t, C_u$ та A_m на функціональні показники ТП ЗЦБ; 2) відображення щоденного перебігу ТП за врахування сукупного впливу детермінованих та ймовірнісних складових; 3) врахування стохастичності складових ТП ЗЦБ на підставі багаторазової (циклічної)

реалізації (ітерації) імітаційної моделі; 4) інтерактивність – можливість зміни початкових даних та моделювання ТП за різного технічного забезпечення, часу початку ($\tau_{пз}$) збирання та виробничої площі культури (S); 5) врахування неперервності зміни стану предметів праці (приросту маси коренеплодів та зміни вологості ґрунту через дію агрометеорологічних умов), зміни початкових умов виконання ТП ЗЦБ, наслідкових подій, а також зміну функціональних показників ефективності.

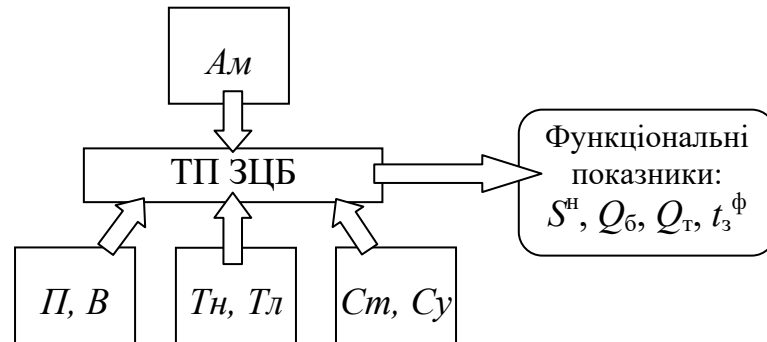


Рис. 2.2. Схема орієнтованої моделі ТП ЗЦБ

Щодо стратифікації то цей етап передбачає поділ ТС на частини та визначення укрупнених її складових [2]. З огляду на мету дисертаційної роботи, стратифікацію (виокремлення структури) ТС ЗЦБ необхідно здійснювати з позиції підвищення ефективності відповідного ТП. Тому, до страт ТС ЗЦБ відносимо групи чинників ефективності відповідного ТП, які відображають вплив тої чи іншої складової на функціональні показники. Це, фактично, ті укрупнені елементи, що відрізняються між собою за походженням, керованістю, способом та ступенем впливу, але сукупно формують результати виконання ТП ЗЦБ.

Відповідно до розкритої схеми ТС ЗЦБ (див. рис. 2.1) та методології системно-чинникового підходу нами виокремлено наступні групи чинників ефективності (E) ТП ЗЦБ: 1) предметна ($П$); 2) виробнича ($Вн$); 3) агрометеорологічна ($Ам$); 4) технологічна ($Тл$); 5) технічна ($Тн$); 6) управлінська ($У$); 7) соціальна ($С$); 8) інформаційна ($І$); 9) ресурсна ($Р$). Сукупний вплив зазначених груп чинників формує показники E відповідного ТП:

$$E = f(I, Bn, Am, Tl, Tn, Y, C, I, P). \quad (2.5)$$

Як уже зазначалося, на виконання ТП ЗЦБ об'єктивно впливає поточна (календарна) зміна якісного стану двох предметів праці (I) – коренеплодів цукрових буряків та шару ґрунту в якому вони розташовані. Однак, в осінній період існує висока вірогідність опадів та заморозків (Am), що впливає на стан ґрунту та його фізичну стиглість [6;96], а відтак – можливість, або ж неможливість роботи бурякозбиральних комбайнів на полі [116].

Під виробничою (B) групою чинників розуміємо площу, поточний обсяг врожаю цукрових буряків, конфігурацію, розташування і ухил полів. Ці характеристики полів впливають на продуктивність бурякозбирального комбайна та добовий обсяг виконаних робіт [125].

Технологічна (Tl) група чинників відображає технологію ЗЦБ, котра лімітує зміст, якість, терміни та послідовність виконання технологічних операцій (зрізання гички, вибирання коренеплодів, їх складування в кагати чи транспортування до цукрових заводів тощо), а також вимагає застосування того чи іншого технічного забезпечення. Вибір технології ЗЦБ зумовлений стратегією СГП та управлінськими рішеннями, наявністю відповідних технічних засобів, віддалю розташування цукрових заводів, нерівномірністю досягання врожаю, природно дозволеним фондом часу на виконання відповідного ТП, ризиком виникнення заморозків тощо.

Технічна (Tn) група чинників – це, в першу чергу, бурякозбиральні комбайни. Кожен комбайн характеризується: потужністю двигуна, кількістю викопуваних рядків культури (шириною захвату), типом рушія, продуктивністю, витратою ПММ, напрацюванням на технічну відмову тощо.

Щодо управлінської (Y) групи чинників то вона визначає зміст та періодичність прийняття управлінських команд на виконання ТП ЗЦБ і забезпечення ресурсами. Управління відбувається на трьох рівнях декомпозиції ТС – узагальненому (стратегічному), часткових процесів та операційному [107]. Зокрема, на узагальненому рівні узгоджуються

раціональні терміни початку ТП ЗЦБ та обсяги виробничої площі цукрових буряків із параметрами відповідного технічного забезпечення. На рівні часткових процесів приймаються поточні рішення щодо термінів початку, тривалості та завершення згаданих ТП, а також оцінюються технологічні можливості щодо виконання агротехнічних вимог й своєчасного збирання врожаю. Операційний рівень відображає рішення комбайнера (оператора) щодо режимів роботи комбайна в загінці, розворотів, вивантаження коренеплодів, завантаженості двигуна, контролю якості викопування, якісного стану коренеплодів тощо на тому чи іншому полі.

Соціальна (С) група чинників ефективності ТП ЗЦБ характеризує вплив "людського фактора" (управлінців та комбайнерів) на тривалість ТП ЗЦБ. Вона зумовлена своєчасністю та ефективністю управлінських рішень, фаховістю (класністю), потребою виділення фонду часу на фізіологічні потреби працівників тощо.

Інформаційна (І) група чинників відображає вчасність, об'єктивність та достатність інформації стосовно: 1) стану предметів праці та агрометеорологічних умов; 2) закономірностей їх зміни; 3) наявності, стану та місця розташування технічних засобів; 4) імовірності несвоечасного завершення ТП ЗЦБ; 5) прогнозованої зміни стану предметів праці та їх впливу на функціональні показники цих ТП тощо.

Ресурсна (Р) група чинників відображає наявність, доступність і потребу у ресурсах – технічних (комбайни), енергетичних (паливі, мастилі тощо), матеріально-технічних тощо.

Деталізування передбачає поділ виокремлених страт ТС ЗЦБ на елементарні складові (деталі), які в межах дослідження не підлягають наступному поділу [2] і дають змогу відобразити сукупний вплив виокремленої груп чинників ефективності (табл. 2.1).

Локалізування передбачає означення зовнішніх впливів на своєчасність виконання ТП ЗЦБ. Як уже зазначалося, ці ТП виконують лише

за певного стану предметів праці, який змінюється під впливом агрометеорологічних умов осіннього періоду.

Таблиця 2.1

Деталізування чинників ефективності ТП ЗЦБ

№ п/п	Група чинників	Показники, якими відображаються в статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ	Позначення, розмірність
1	2	3	4
1	Предметна (П)	- час початку досягання (в'янення листків) цукрових буряків; - поточна маса коренеплодів; - стан вологості верхніх шарів ґрунту.	τ_d , доба m , г ω , %
2	Виробнича (В)	- виробнича площа культури; - площа γ -о поля; - кількість полів у складі S ; - середня кількість коренеплодів на 1 га площі; - ухил γ -о поля; - довжина γ -о гону.	S , га S_γ , га n_γ , шт n_k , шт i_γ , град l_γ , м
3	Агрометеорологічна (Ам)	- тривалість погожих проміжків; - тривалість непогожих проміжків; - час завершення фізичної стиглості ґрунту; - час виникнення заморозків нижче -5°C ; - тривалість добового фонду часу.	$t_{пп}$, діб $t_{нп}$, діб τ_ϕ^3 , доба τ^{-5} , доба $t_{пдд}$, год
4	Технологічна (Тл)	- витрати часу на виконання технологічної операції (збирання, вивантаження, заправку ПММ тощо); - витрати часу на усунення технологічних відмов;	t_z , год $t_{вгл}$, год
5	Технічна (Тн)	- потужність двигуна бурякозбирального комбайна; - робоча ширина захвату (кількість рядків, що збирається); - технологічна швидкість комбайна; - тривалість розвороту; - витрати часу на усунення технічних відмов.	$N_{дв}$, кВт B_p , м $V_{тл}$, км/год $t_{розв}$, хв $t_{вгн}$, хв
6	Управлінська (У)	- час початку ТП ЗЦБ; - коефіцієнт змінності.	$\tau_{пз}$, доба $k_{зм}$

1	2	3	4
7	Соціальна (<i>C</i>)	- витрати часу на перерви; - тривалість зміни; - класність управлінців і комбайнерів.	$t_{п}$, хв. T , год R_i
8	Інформаційна (<i>I</i>)	- своєчасність інформації щодо прояву відповідних груп чинників.	I_m, I_n, I_y
9	Ресурсна (<i>P</i>)	- забезпеченість ПММ; - забезпеченість матеріально-технічними ресурсами.	$Z_{ПММ}$, л $Z_{МТР}$, грн (шт)

Відповідно до цього, вхідні впливи щодо виконання ТП слід відображати у вигляді множини полів, котрі потребують збирання врожаю, та агрометеорологічних умов, що формують тенденції зміни якісного стану предметів праці і впливають на перебіг ТП ЗЦБ (рис. 2.3).

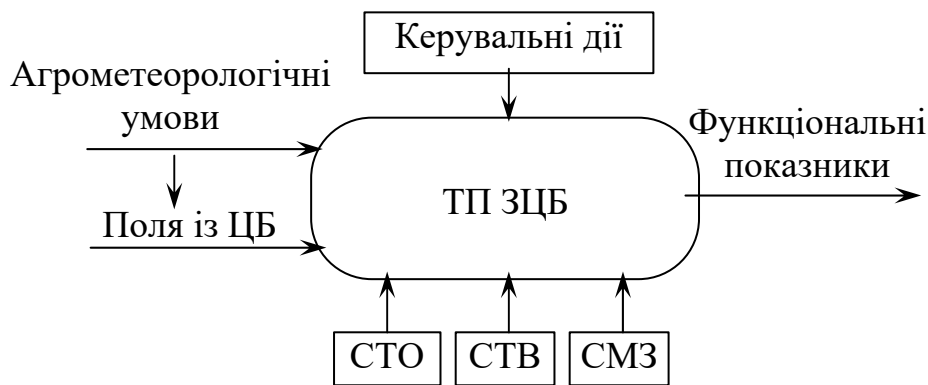


Рис. 2.3. Схема локалізованої моделі ТП ЗЦБ: ЦБ – цукрові буряки; СТО – система технічного обслуговування; СТВ – система транспортування врожаю; СМЗ – система матеріально-технічного забезпечення

Стосовно темпів виконання ТП ЗЦБ то вони також залежать від системи технічного обслуговування (СТО), системи транспортування (СТВ) зібраного врожаю та системи матеріально-технічного забезпечення (СМЗ). Слід зазначити, що в нашій статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ вплив СТО, СТВ та СМЗ ідеалізовано. Вважається, що їхнє функціонування своєчасне, узгоджене із ТП ЗЦБ та деструктивно не впливає на своєчасність ТП.

Етап структуризації та управління передбачає виокремлення зв'язків між елементами, зокрема, речовинних та інформаційних. З огляду на те, що основним завданням ТП ЗЦБ є зібрати вирощений врожай із мінімальними втратами то виділення цих зв'язків слід здійснювати в контексті предметів праці. Через те, що виконання зазначених ТП слід здійснювати з огляду на два предмети праці то в концептуальній моделі ТП ЗЦБ доцільно використати алгоритмічний принцип побудови із означенням послідовності і основних правил виконання ТП [2;107]. Ці правила "диктуються" агротехнічними вимогами та ефектом від їх застосування.

Щодо речовинних зв'язків то вони мають природне (об'єктивне) походження. Зокрема, приріст маси та цукристості коренеплодів відбувається незалежно від управлінської (керованої) складової та під впливом агрометеорологічних умов (некерованої складової). Зміна стану ґрунту в осінній період також зумовлює потребу узгодження термінів виконання цих ТП із явищами та подіями об'єктивної зміни якісного стану предметів праці.

Інформаційні зв'язки між зазначеними елементами характеризують їхню взаємодію та результат від "втручання" ТП ЗЦБ в процесі досягання врожаю. Зокрема, інформація щодо поточної маси й цукристості коренеплодів, розрахункової тривалості ТП, а також вірогідності заморозків є підставою для прийняття рішення щодо початку ($\tau_{\text{пз}}$) ТП.

Виділення процесів у концептуальній моделі передбачає опис її перебігу у часі. Виконуючи попередні етапи концептуальної моделі ТП ЗЦБ ми вже частково описали ці особливості. Отже, ТП ЗЦБ виконують послідовно на полях того чи іншого СГП. В залежності від кількості бурякозбиральних комбайнів ці ТП можуть виконуватись послідовно чи паралельно. Однак, для кожного окремого комбайна ці процеси слід представити у вигляді потоку вимог (замовлень) [8;12;67;68;107], який представляє собою скінчену послідовність полів на яких необхідно зібрати коренеплоди. Кожне із полів цього потоку замовлень характеризується наступними показниками: 1) площею; 2) поточною врожайністю цукрових

буряків; 3) фізичною стиглістю ґрунту; 4) середньою довжиною гону; 5) ухилом. У свою чергу, потік замовлень характеризується: 1) сезонною кількістю замовлень на виконання ТП ЗЦБ; 2) інтенсивністю надходжень цих замовлень; 3) часом виникнення першого та останнього замовлення; 4) пріоритетністю замовлень тощо.

Такий етап побудови концептуальної моделі як відображення станів ТП ЗЦБ передбачає опис зміни якісного стану предметів праці як під час своєчасного виконання цих ТП так і у разі їх запізнення (рис. 2.4). За кожної із зазначених послідовностей зміни стану предметів праці отримують різні результати збирання коренеплодів цукрових буряків, а відтак різну ефективність ТП ЗЦБ із відповідним технічним забезпеченням.

Стосовно технічного забезпечення, то воно може бути у стані усунення технологічної відмови, готовності до виконання відповідних ТП, або ж задіяне на їх виконанні. Виконавці можуть бути у стані очікування, або ж виконання операцій.

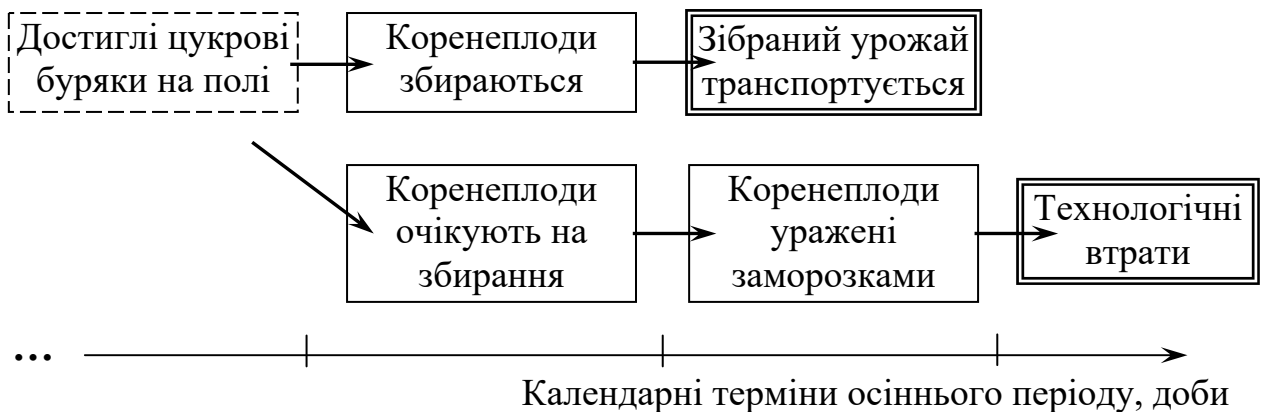


Рис. 2.4. Відображення станів предмету праці (цукрових буряків) впродовж ТП ЗЦБ

Таким чином, розроблення концептуальної моделі ТП ЗЦБ дало змогу виокремити та охарактеризувати вплив дев'яти груп чинників ефективності, а також обґрунтувати послідовність моделювання за якої враховуватиметься сукупний вплив цих чинників на функціональні показники ефективності відповідних ТП.

2.3. Системно-подієве відображення технологічного процесу збирання цукрових буряків та обґрунтування вимог до статистичної імітаційної моделі

Як уже зазначалося, особливістю ТП ЗЦБ є те, що терміни його виконання та функціональні показники ефективності значною мірою залежать від закономірностей досягання врожаю цукрових буряків. До особливостей цих ТП також відносимо:

- дія агрометеорологічних умов (випадання дощу, температура повітря та виникнення заморозків) позначається на якісному стані коренеплодів цукрових буряків та фізичній стиглості ґрунту поля, що об'єктивно формує тривалість природно дозволеного фонду часу для ТП ЗЦБ, впливає на його своєчасність, а відтак і на обсяги технологічних втрат;

- приріст маси коренеплодів цукрових буряків та нагромадження цукрів у них відбувається в осінній період (до зниження температури повітря до $+6-8^{\circ}\text{C}$ [96;150;151]), тому надто ранній початок ТП призводить до біологічних втрат від недобору потенційного урожаю;

- впродовж виконання ТП ЗЦБ також відбувається приріст маси коренеплодів і їх цукристості;

- тривалість ($t_{зб}$) ТП ЗЦБ через несприятливий вплив агрометеорологічних умов (непогожих проміжків) може зростати та характеризується стохастичністю;

- пізні календарні терміни цього ТП зумовлюють порівняно більший обсяг зібраного врожаю, а також збільшують вірогідність технологічних втрат через ураження коренеплодів заморозками;

- узгодження часу початку ТП ЗЦБ та виробничої площі культури із параметрами бурякозбиральних комбайнів дає змогу забезпечити мінімальні питомі сукупні витрати коштів.

Врахування зазначених особливостей ТП ЗЦБ здійснюється на основі відображення в імітаційній моделі біологічних, агрометеорологічних та

фізико-механічних процесів, які поділяють на природні та штучні. Природні процеси характеризують властивості та відбуваються на рівні предметів праці (коренеплодів цукрових буряків та верхніх шарів ґрунту поля). Під штучними процесами, як уже зазначалося, розуміємо ТП ЗЦБ, який на рівні робочих процесів здійснює перетворення якісного стану предметів праці: 1) підкопування верхнього шару ґрунту поля у рядках із коренеплодами; 2) вибирання коренеплодів; 3) їх очищення; 4) вивантаження.

Очевидно, що врахування тих чи інших процесів, їх причинно-наслідкових зв'язків та закономірностей зміни стану предметів праці у відповідній статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ відіграє важливу роль в отриманні об'єктивних результатів комп'ютерних експериментів, а відтак в отриманні достовірних закономірностей зміни функціональних показників ефективності. Вартісне оцінення зазначених показників та їх закономірностей дає змогу обґрунтувати параметри технічного забезпечення ТП ЗЦБ.

Вирішувати таке завдання доцільно за допомогою системно-подієвого підходу, який дає змогу відобразити об'єктивно зумовлені процеси на підставі сукупності взаємопов'язаних явищ та подій [5;48;69;106]. Ці події є своєрідними індикаторами зміни якісного стану предмету праці ТП ЗЦБ, зокрема коренеплодів цукрових буряків, за якими приймаються рішення щодо початку чи припинення відповідного ТП.

Зокрема, під подією розуміємо момент (календарний день або годину доби) зміни якісного стану тієї чи іншої складової ТП ЗЦБ (предметів праці, технічних засобів, операторів тощо). Подія характеризується причинами та ймовірністю виникнення, часом початку та ступенем впливу на перебіг тих чи інших процесів, а відтак і на їх показники. Загальновідомо, що ТП ЗЦБ характеризується цілою сукупністю різнотипних процесів, явищ та подій. Однак, серед них можна виокремити такі, що безпосередньо впливають на функціональні показники ефективності.

За результатами розроблення концептуальної моделі ТП ЗЦБ виокремлено множину подій, які слід врахувати в статистичній імітаційній моделі. Зокрема, за пріоритетністю їх класифіковано на базові та наслідкові. Отже події, що відображають момент природно зумовленої (об'єктивної) зміни якісного стану предметів праці, яка важлива з огляду на виконання відповідного ТП, названо – базовими (B) (рис. 2.5) [5;48;116]. Їх виникнення зумовлює наслідкові події (H) (табл. 2.2), які належать до керованих та відображають початок, перебіг чи завершення відповідного ТП (P).

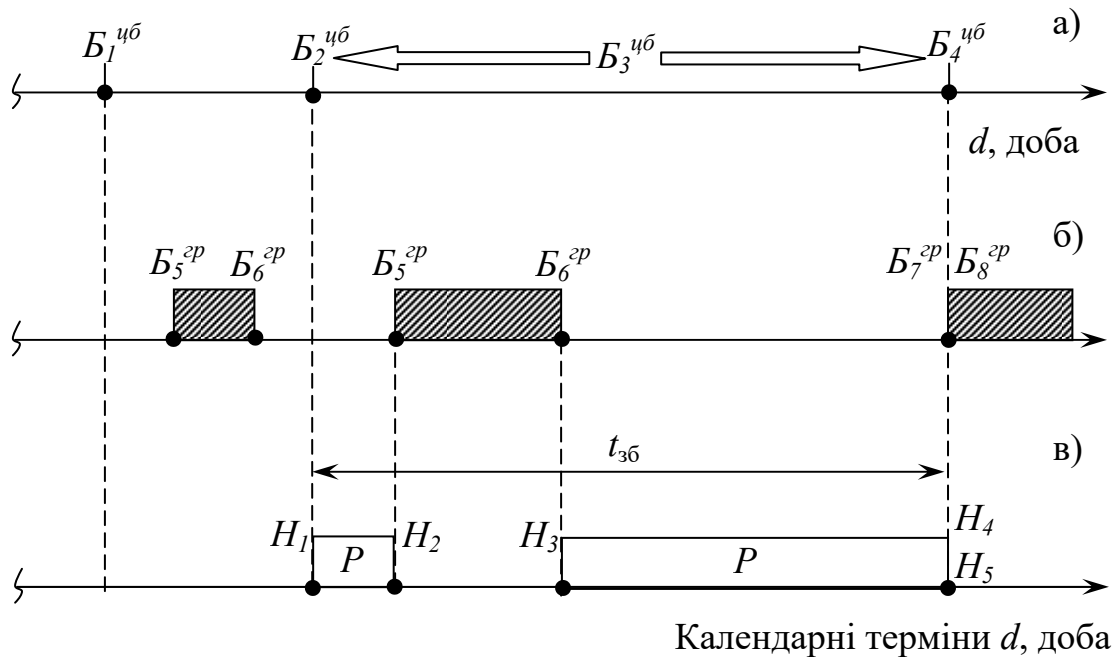


Рис. 2.5. Системно-подієве відображення ТП ЗЦБ: *a* – базові біологічно зумовлені події; *б* – базові події зумовлені впливом агрометеорологічних умов на стан ґрунту полів; *в* – наслідкові події виконання ТП; P – технологічні операції (роботи) ЗЦБ

Отже, перші три базові події B_1^{ub} , B_2^{ub} та B_3^{ub} ідентифікують етапи досягання коренеплодів цукрових буряків. Як уже зазначалося, розрізняють ботанічну, біологічну та технологічну стиглість коренеплодів цукрових буряків [11;33;96]. Зокрема, настання події біологічної стиглості B_1^{ub} ідентифікують за ознаками згасання життєвих процесів [11;96;97;145;156]: 1) інтенсивне відмирання старого листа; 2) зниження темпів приросту маси

коренеплодів і їх цукристості; 3) підвищення доброякісності соку;
4) зменшення відсоткового вмісту води і золи в коренеплодах.

Таблиця 2.2

Класифікація системно зумовлених подій ТП ЗЦБ

Група подій	Позначення	Подія	Причини виникнення
1	2	3	4
Базові події			
Базові біологічно зумовлені події	<i>B₁^{цб}</i>	початок біологічної стиглості коренеплодів	біологічні процеси росту та розвитку, сортові особливості, агрометеорологічні умови, агротехніка
	<i>B₂^{цб}</i>	початок технологічної стиглості коренеплодів	біологічні процеси росту та розвитку, сортові особливості, агрометеорологічні умови, агротехніка
	<i>B₃^{цб}</i>	приріст (щоденна зміна) маси коренеплодів	біологічні процеси росту та розвитку, сортові особливості, агрометеорологічні умови, агротехніка
	<i>B₄^{цб}</i>	виникнення технологічних втрат (через підмороження коренеплодів)	ураження коренеплодів заморозками нижче -5°C, запізнення ТП ЗЦБ
Базові події зумовлені впливом агрометеорологічних умов на ґрунт полів	<i>B₅^{зр}</i>	перезволоження (або замерзання) верхніх шарів ґрунту	випадання дощів, снігу, зниження температури повітря
	<i>B₆^{зр}</i>	підсихання верхніх шарів ґрунту та відновлення їх фізичної стиглості	температурні умови, випаровування вологи ґрунту
	<i>B₇^{зр}</i>	завершення фізичної стиглості ґрунту в осінній період (та початок зими)	випадання дощів, снігу, зниження температури повітря
	<i>B₈^{зр}</i>	виникнення заморозків, що пошкоджують коренеплоди	зниження температури повітря нижче -5°C

1	2	3	4
Наслідкові події			
Наслідкові події із виконання ТП ЗЦБ	H_1	початок виконання ТП ЗЦБ	настання подій B_1^{nb} та B_2^{nb} , управлінська команда про початок ТП
	H_2	призупинення ТП через непогожі проміжки	настання події B_5^{zp}
	H_3	відновлення ТП ЗЦБ на полі внаслідок відновлення фізичної стиглості ґрунту полів	настання події B_6^{zp}
	H_4	завершення збирання врожаю на усій виробничій площі цукрових буряків	зібрано всю площу із врожаєм
	H_5	вимушене завершення ТП ЗЦБ із технологічними втратами	завершення фізичної стиглості ґрунту, виникнення заморозків нижче -5°C , несвоєчасність ТП ЗЦБ

Настання події B_1^{nb} є інформативним для початку ТП ЗЦБ, однак доцільність починати збирання є невеликою. Це зумовлене тим, що приріст маси коренеплодів ще відбуватиметься надалі і завчасне збирання врожаю призведе до біологічних втрат – недобору врожаю через надто ранній початок ТП ЗЦБ.

Настання події B_2^{nb} початку технологічної стиглості ідентифікується за [11;33;96;97;124;145;156]: 1) досягненням максимальної маси коренеплодів та їх цукристості; 2) мінімальним середньодобовим приростом цих показників; 3) початком пожовтіння, в'янення і відмирання листя. У виробничих умовах настання події B_2^{nb} може бути досить розтягнутим у часі, оскільки залежить від агрометеорологічних умов, агротехніки, сортових особливостей, посушливості останнього місяця літа тощо [6;93;97;145;156]. Окрім того, виникнення цієї події відіграє важливу роль у плануванні часу початку ТП ЗЦБ. Загальновідомо, що збирання коренеплодів слід розпочинати з розрахунку того, щоб усі роботи завершилися до події B_8^{zp}

виникнення осінніх заморозків на поверхні ґрунту нижче -5°C [96;97;156] за яких уражаються (підмерзають) коренеплоди. Відомо [33;36;41], що у підморожених коренеплодів відбуваються структурні зміни, почорніння тканини, її луцення або перехід в склоподібний стан. Такі коренеплоди швидко загнивають у кагатах і вихід цукру внаслідок інверсії сахарози набагато зменшується.

Базова подія B_3^{ub} відображає щоденний приріст маси коренеплодів цукрових буряків. Її врахування дає змогу відобразити вплив поточної врожайності коренеплодів на зміну продуктивності бурякозбирального комбайна. Кількісна оцінка обсягів врожаю цієї культури на тому чи іншому полі дає змогу визначити обсяги біологічних втрат коренеплодів через надто ранні терміни початку ТП ЗЦБ. І навпаки, у разі запізнення із виконанням цього ТП (через настання заморозків) виникає можливість визначити обсяги технологічних втрат у кількісних показниках.

Настання події B_4^{ub} може бути наслідковим через завершення фізичної стиглості ґрунту (подія B_7^{sp}) в осінній період. Настання останньої зумовлене змінами фізико-механічних властивостей ґрунту через випадання дощів за яких робота бурякозбиральних комбайнів на полі є неможливою (або неефективною) [6;114]. Ця подія, фактично, відображає настання такого стану вологості ґрунту за якого ТП ЗЦБ зупиняють, а наступні агрометеорологічні умови не дозволяють їх продовжувати. Обсяг врожаю коренеплодів цукрових буряків, що залишився на полях також вважають втраченим.

Базова подія B_4^{ub} може бути спричинена й іншою подією – B_8^{sp} настанням заморозків, що пошкоджують коренеплоди культури. У разі, коли ТП ЗЦБ на момент B_8^{sp} не завершені то їх виконання припиняють і визначають обсяг технологічних втрат врожаю. У реальних виробничих умовах після події B_8^{sp} продовжують виконання ТП ЗЦБ, однак зібраний врожай вважається некондиційним, який погано зберігається, швидко муміфікується, а також не відповідає технологічній якості [33;36;41]. Такі

коренеплоди використовуються для власних потреб. В наших дослідженнях некондиційні коренеплоди, що невідповідають вимогам технологічної якості вважатимемо нетоварними та повністю втраченими.

Щодо базових подій, які зумовлені впливом агрометеорологічних умов на стан верхніх шарів ґрунту поля то до них відносимо B_5^{zp} , B_6^{zp} , B_7^{zp} та B_8^{zp} (див. рис. 2.5 та табл. 2.2). Зокрема, подію B_5^{zp} ідентифікують за виникненням несприятливих агрометеорологічних умов (опади дощу, снігу) внаслідок чого вологість верхніх шарів ґрунту поля змінюється до такого стану [6], за якого робочі органи бурякозбиральних комбайнів неможуть якісно підкопувати та вибирати коренеплоди. Це зумовлює призупинення ТП ЗЦБ (та виникнення наслідкової події – H_2), яке триває до моменту підсихання ґрунту та відновлення його фізичної стиглості. Відповідно до цього, завершення непогожих проміжків відображається подією B_6^{zp} , за якої виникає наслідкова подія H_3 та роботу P комбайнів на полях продовжують.

Як уже зазначалося, події B_7^{zp} та B_8^{zp} відображають час завершення фізичної стиглості та час виникнення заморозків на поверхні ґрунту нижче -5°C за яких відбувається відмороження коренеплодів. Ці об'єктивно зумовлені події є завершальними стосовно виконання ТП ЗЦБ. В статистичній імітаційній моделі після настання цих базових подій визначаються функціональні показники ефективності ТП ЗЦБ, що отримано в розрізі Np -х реалізацій моделі.

Усі вищезазначені події відображають об'єктивно зумовлений вплив предметів праці на ТП, а відтак ініціюють наслідкові події. Наслідкові події ТП мають також суб'єктивну (управлінську) складову, яка керуючись настанням тих чи інших базових подій приймає керуючі дії щодо початку, або завершення збирання врожаю коренеплодів.

Виходячи із особливостей досягання коренеплодів цукрових буряків (зокрема, закономірностей приросту маси та цукристості) в осінній період, сільськогосподарські виробники завжди будуть зацікавлені розпочинати ТП ЗЦБ в якомога пізніші терміни та завершувати його виконання до настання

базових подій B_7^{cp} і B_8^{cp} . За такого "ідеального варіанту" початку (H_1) ТП ЗЦБ досягаються максимальні обсяги зібраного врожаю із мінімальними технологічними втратами.

Однак визначення часу початку H_1 ТП ЗЦБ для заданого варіанту технічного забезпечення та обсягів виробничої площі культури ще потребує спеціального дослідження та обґрунтування [116], в результаті якого необхідно встановити відповідні функціональні показники щодо імовірності своєчасного завершення робіт та виникнення біологічних і технологічних втрат, а також їх обсягів. На цій підставі, виникає можливість обґрунтувати параметри технічного забезпечення ТП ЗЦБ завдяки їх узгодженню із H_1 та виробничою площею (S , га) цукрових буряків.

Вирішенню цього завдання присвячено дисертаційну роботу.

Таким чином, наслідкова подія H_1 є керованою та приймається виходячи з аналізу множини поточних даних ТП ЗЦБ:

$$H_1 = f(U_d, h_d, t_{\text{пд}}, S, W_{\text{доб}}, p[\tau_{\text{зф}}], p[\tau^{-5}]), \quad (2.6)$$

де U_d – поточна урожайність цукрових буряків в d -у календарну добу, ц/га; h_d – поточна цукристість в d -у календарну добу, кг/т; $t_{\text{пд}}$ – тривалість природно дозволеного фонду часу на виконання ТП, діб; $W_{\text{доб}}$ – добова продуктивність бурякозбиральних комбайнів, га/добу; $p[\tau_{\text{зф}}]$, $p[\tau^{-5}]$ – відповідно імовірність завершення фізичної стиглості ґрунту та виникнення заморозків в осінній період.

Наслідкова подія H_1 настає у відповідності із B_2^{no} , а також в погожий проміжок – до настання базової події B_5^{cp} . Призупинення ТП ЗЦБ (H_2) через непогожі проміжки відбувається з моменту настання базової B_5^{cp} . Завершення непогожих проміжків (B_6^{cp}) та наступне підсихання верхніх шарів ґрунту із "відновленням" його фізичної стиглості об'єктивно формує потребу продовжувати ТП ЗЦБ. Це явище відображається наслідковою подією – H_3 :

$$H_2, H_3 = f(A_m, \omega), \quad (2.7)$$

де A_m – агрометеорологічні умови; ω – вологість верхніх шарів ґрунту.

Наслідкові події H_4 та H_5 відображають технологічно та природно зумовлені причини завершення ТП ЗЦБ. Зокрема, момент завершення збирання врожаю на усій площі цукрових буряків фіксує день завершення ТП ЗЦБ. Цей момент відображається подією H_4 :

$$H_4 = f(\tau_{\text{пз}}, S, W_{\text{доб}}, \sum t_{\text{нп}}), \quad (2.8)$$

де $\tau_{\text{пз}}$ – час початку ТП ЗЦБ, доба; $\sum t_{\text{нп}}$ – сумарна тривалість непогожих проміжків впродовж виконання ТП, діб.

Очевидно, що настання події H_4 до моменту B_7^{zp} та B_8^{zp} доводить правильність рішення щодо H_1 , тобто прийнятого часу початку ТП ЗЦБ за заданого технічного забезпечення та виробничої площі S цукрових буряків. Однак, ефективність такого узгодження необхідно ще оцінювати і обґрунтовувати.

Необхідно зазначити, що через те, що ТП ЗЦБ виконується паралельно із приростом маси коренеплодів цукрових буряків можливим є явище, коли подію H_1 необхідно планувати у дещо пізніші терміни із незначними технологічними втратами врожаю. Ці втрати можуть "перекриватися" збільшенням обсягів зібраного врожаю (що отриманий внаслідок поточного приросту коренеплодів), хоча із вищою імовірністю технологічних втрат.

Щодо наслідкової події H_5 то її виникнення зумовлене об'єктивною появою базових подій B_7^{zp} та B_8^{zp} . Настання події H_5 відображає випадок коли ТП ЗЦБ виконується невчасно і виникають технологічні втрати:

$$H_5 = f(\tau_{\text{пз}}, S, W_{\text{доб}}, \sum t_{\text{нп}}, \tau_{\text{зф}}, \tau^{-5}). \quad (2.9)$$

Тоді, моделювання Np -о року виконання ТП ЗЦБ зупиняється і визначаються функціональні показники його ефективності.

Необхідно звернути увагу на те, що у формулі неявного вигляду (2.9) відображається співвідношення двох складових – фактичної тривалості ($t_{\text{зб}}$) ТП ЗЦБ та природно дозволеного фонду часу ($t_{\text{пд}}$) за якого цей ТП виконуватиметься вчасно:

$$t_{зб} = f(S, W_{доб}, \sum t_{нп}), \quad (2.10)$$

$$t_{пд} = f(\tau_{пз}, \sum t_{нп}, \tau_{зф}, \tau^{-5}). \quad (2.11)$$

Відповідність між значеннями $t_{зб}$ та $t_{пд}$ для прийнятого $\tau_{пз}$ визначає своєчасність виконання ТП ЗЦБ. Ця умова матиме вигляд:

$$\tau_{пз} + t_{зб} \leq \tau_{пз} + t_{пд}. \quad (2.12)$$

Через те, що $t_{зб}$ та $t_{пд}$ характеризуються стохастичністю для дослідження статистичних закономірностей зміни функціональних показників ТП ЗЦБ доцільно застосовувати методи статистичного імітаційного моделювання.

Узагальнюючи вищенаведене, нами обґрунтовано наступні вимоги до статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ яка повинна: 1) врахувати природно зумовлені події, що впливають на функціональні показники ефективності ТП; 2) адекватно відображати детерміновані та стохастичні явища та події, а також їх причинно-наслідковий вплив на своєчасність виконання ТП ЗЦБ; 3) враховувати щоденну мінливість умов роботи технічного забезпечення та результатів виконання ТП; 4) бути ітераційною (багаторазово моделювати ТП ЗЦБ для різних років його виконання) та враховувати ретроспективність стохастичних подій; 5) враховувати неперервний та нестационарний приріст маси коренеплодів цукрових буряків, а також вплив стану ґрунту на функціональні показники ТП; 6) враховувати вплив поточної врожайності коренеплодів на продуктивність бурякозбиральних комбайнів; 7) враховувати стохастичність добового природно дозволеного фонду часу та його вплив на добові обсяги виконаних робіт; 8) враховувати вплив стохастичності погожих та непогожих проміжків, а також тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання ТП; 9) бути інтерактивною та передбачати можливість виконання статистичного імітаційного моделювання ТП ЗЦБ для різних значень часу початку ТП, виробничої площі цукрових буряків та технічного забезпечення; 10) враховувати біологічні та технологічні втрати врожаю цукрових буряків;

11) враховувати соціальну складову – можливість виконувати ТП із різними організаційними режимами.

Таким чином, створення статистичної імітаційної моделі дає змогу врахувати особливості виконання ТП ЗЦБ та визначати їх функціональні показники ефективності, виконати комп'ютерні експерименти та встановити їх закономірності зміни для заданих початкових даних моделювання. Це дає змогу здійснити пошук екстремуму функції мети, а відтак – обґрунтувати параметри технічного забезпечення відповідного ТП, що узгоджені із часом початку збирання коренеплодів та виробничою площею цукрових буряків.

2.4. Природно зумовлена мінливість термінів виконання технологічних процесів збирання цукрових буряків

Поля із достиглими коренеплодами є основною ідентифікаційною ознакою для прийняття рішення щодо початку ТП їх збирання. Для визначення природно зумовленого часу початку ($\tau_{пз}$) ЗЦБ сформулюємо умову розв'язання даної задачі – час (календарний день) початку ТП ЗЦБ вважається раціональним ($\tau_{пз}^p$), якщо його виконання завершиться ($\tau_{зз}$) до моменту початку зимового періоду (до часу (τ_{ϕ}^3) завершення фізичної стиглості ґрунту, або до часу (τ^5) виникнення заморозків нижче -5°C) [11;96]. Як уже зазначалося, $\tau_{зз}$ характеризує агрометеорологічно зумовлене завершення ТП ЗЦБ (через початок зимового періоду), а незібраний врожай коренеплодів вважається втраченим повністю.

Для визначення $\tau_{пз}^p$ слід мати дані про τ_{ϕ}^3 (τ^5), а також знати тривалість ($t_{зб}$) ТП ЗЦБ:

$$t_{зб} = \frac{\sum_{\gamma=l}^{\gamma=p} S_{\gamma}}{W_{\text{доб}}} \quad (2.13)$$

де S_γ – площа γ -о поля, на якому виконують ТП ЗЦБ і котре входить до виробничої площі (S) культури сформованої із p -о числа полів, га; $W_{\text{доб}}$ – добова продуктивність бурякозбирального комбайна, га/добу.

З урахуванням цього, час початку $\tau_{\text{пз}}$ необхідно вибирати так, щоб ТП ЗЦБ завершилися до події τ_ϕ^3 :

$$\tau_{\text{пз}} = \tau_\phi^3 - t_{36}. \quad (2.14)$$

Відповідно до вищезазначеного, раціональним часом $\tau_{\text{пз}}^p$ початку ТП слід вважати такий календарний день за якого виконуватиметься умова:

$$\tau_{33} = \tau_\phi^3. \quad (2.15)$$

Забезпечення умови (2.15) є ймовірнісним, оскільки час завершення τ_{33} ТП залежить від впливу агрометеорологічної складової:

$$\tau_{33} = f(\tau_{\text{пз}}, S_\gamma, W_{\text{доб}}, \sum t_{\text{нп}}). \quad (2.16)$$

де $\sum t_{\text{нп}}$ – відповідно тривалість непогожих проміжків, діб.

Такий підхід до визначення $\tau_{\text{пз}}^p$ буде достовірним лише за ідеальних умов, тобто для однозначно встановлених (детермінованих) початкових даних - τ_ϕ^3 , $W_{\text{доб}}$, S , $\sum t_{\text{нп}}$, $t_{\text{нп}}$. На жаль, на практиці зміна стану коренеплодів та агрометеорологічних умов в розрізі осіннього періоду нівелює доцільність визначення $\tau_{\text{пз}}^p$ на підставі (ідеальних умов) детермінованих показників. Це вимагає вдосконалення методики визначення $\tau_{\text{пз}}^p$ ТП ЗЦБ (табл. 2.3).

Отже, через вплив ймовірнісних чинників на час τ_{33} , для будь-якого $\tau_{\text{пз}}$ існує лише певна вірогідність того, що ТП завершаться в момент τ_ϕ^3 (τ^5) та виконуватиметься умова (2.15).

Окрім агрометеорологічно зумовлених складових умови (2.15), а саме $t_{\text{пз}}$, $t_{\text{нп}}$, τ_ϕ^3 та τ^5 , на значення τ_{33} також впливає мінливість добової продуктивності бурякозбирального комбайна – $W_{\text{доб}}$, га/добу. Значення $W_{\text{доб}}$ для γ -го поля залежить від багатьох чинників: 1) параметрів технічного забезпечення (T_{H_γ}); 2) поточної урожайності цукрових буряків ($U_{\text{пг}}$); 3) конфігурації (K_γ) та рельєфу (ρ_γ) поля; 4) стану (λ_γ) ґрунту (вологості,

твердості тощо); 5) природно дозволеного добового фонду часу для збирання ($t_{\text{пдд}}$); 5) організаційно-технологічних режимів виконання робіт ($T_{\text{л},\gamma}$):

$$W_{\text{добу}} = f(T_{\text{н},\gamma}, U_{\text{пу}}, K_{\gamma}, \rho_{\gamma}, \lambda_{\gamma}, t_{\text{пдд}}, T_{\text{л},\gamma}). \quad (2.17)$$

Таблиця 2.3

Основні вимоги до методики визначення часу початку ТП ЗЦБ та способи їх вирішення

Що слід врахувати	Спосіб врахування
1. Ймовірнісний вплив агрометеорологічних умов на час припинення ТП в осінній період	Визначити статистичні характеристики агрометеорологічно зумовленого часу припинення ТП для відповідного регіону. Обґрунтувати диференціальну функцію розподілу цієї випадкової величини.
2. Ймовірнісна тривалість природно дозволеного фонду часу на виконання ТП	Визначити тривалість погожих і непогожих проміжків, визначити їх статистичні характеристики для множини років. Обґрунтувати диференціальні функції розподілу.
3. Мінливість біологічно-предметної складової до та під час виконання ТП	Визначити календарні терміни настання біологічної та технологічної стиглості коренеплодів. Визначити закономірності календарного приросту маси коренеплодів.
4. Мінливість добового фонду часу на виконання ТП	Визначити тривалість світлової частини доби, часу виникнення опадів за яких робота комбайнів призупиняється та часу відновлення фізичної стиглості ґрунту в розрізі доби.
5. Мінливість добової продуктивності збирання врожаю коренеплодів цукрових буряків	Врахувати вплив поточної врожайності коренеплодів на продуктивність бурякозбиральних комбайнів.
6. Виникнення біологічних та технологічних втрат врожаю коренеплодів	Визначити закономірності календарного приросту маси коренеплодів. Моделювати ТП ЗЦБ, приріст коренеплодів, добові обсяги виконаних робіт, їх терміни та своєчасність, визначити втрати.

Слід зазначити, що через приріст $U_{\text{пу}}$ та скорочення тривалості $t_{\text{пдд}}$ впродовж осіннього періоду відбувається об'єктивне зменшення – $W_{\text{добу}}$.

Окрім того, через виникнення непогожих проміжків $t_{\text{нп}}$ зростає тривалість $t_{3\phi}$, що зумовлює потребу зміщення часу $\tau_{\text{пз}}$ ТП в більш "ранні терміни". Тоді, "реальна" тривалість $t_{3\phi}^p$ ТП ЗЦБ буде більшою за розрахункове значення (2.13), котре визначене для "ідеальних умов":

$$t_{3\phi}^p = t_{3\phi} + \sum t_{\text{нп}}. \quad (2.18)$$

Застосування цієї методології дає змогу врахувати сукупну дію ймовірнісних чинників $\tau_{\text{пз}}$ завдяки багаторазовій ітерації моделі і, на цій підставі, встановити ретроспективну множину даних для визначення статистичних характеристик та обґрунтування розподілу $\tau_{\text{пз}}^p$.

Врахування впливу ймовірнісних чинників ($t_{\text{пп}}$, $t_{\text{нп}}$, τ_{ϕ}^3 , τ^{-5} , $t_{\text{пдд}}$ та $U_{\text{п}}$) в статистичній імітаційній моделі ТП здійснюється на підставі диференціальних функцій їх розподілів та відповідних статистичних залежностей, котрі обґрунтовуються за даними спостережень агрометеорологічних станцій. Застосування методу генерування псевдовипадкових величин дає змогу відобразити час настання того чи іншого ймовірнісного чинника на календарній осі часу (рис. 2.6).

Знання про добову продуктивність $W_{\text{доб}}$ дає змогу (2.13) визначити $t_{3\phi}$, для відповідної виробничої площі (S) цукрових буряків. Тоді, відносно τ_{ϕ}^3 у зворотному до календарної осі напрямі (рис. 2.6), фіксується проміжок часу із тривалістю $t_{3\phi}$, який і визначає день початку ТП. Встановлена доба фіксується як $\tau_{\text{пз}}^p$ за якої виконуватиметься умова (2.15). Аналогічні процедури виконують для Np ітерацій моделі, що дає змогу зафіксувати ретроспективну множину даних $\tau_{\text{пз}}^p$ для наступного їх опрацювання за методами математичної статистики.

Представлення цієї методики визначення $\tau_{\text{пз}}^p$ в аналітичному виразі буде наступним:

$$\tau_{\text{пз}}^p = \tau_{\phi}^3 - (t_{3\phi} + \sum t_{\text{нп}}). \quad (2.19)$$

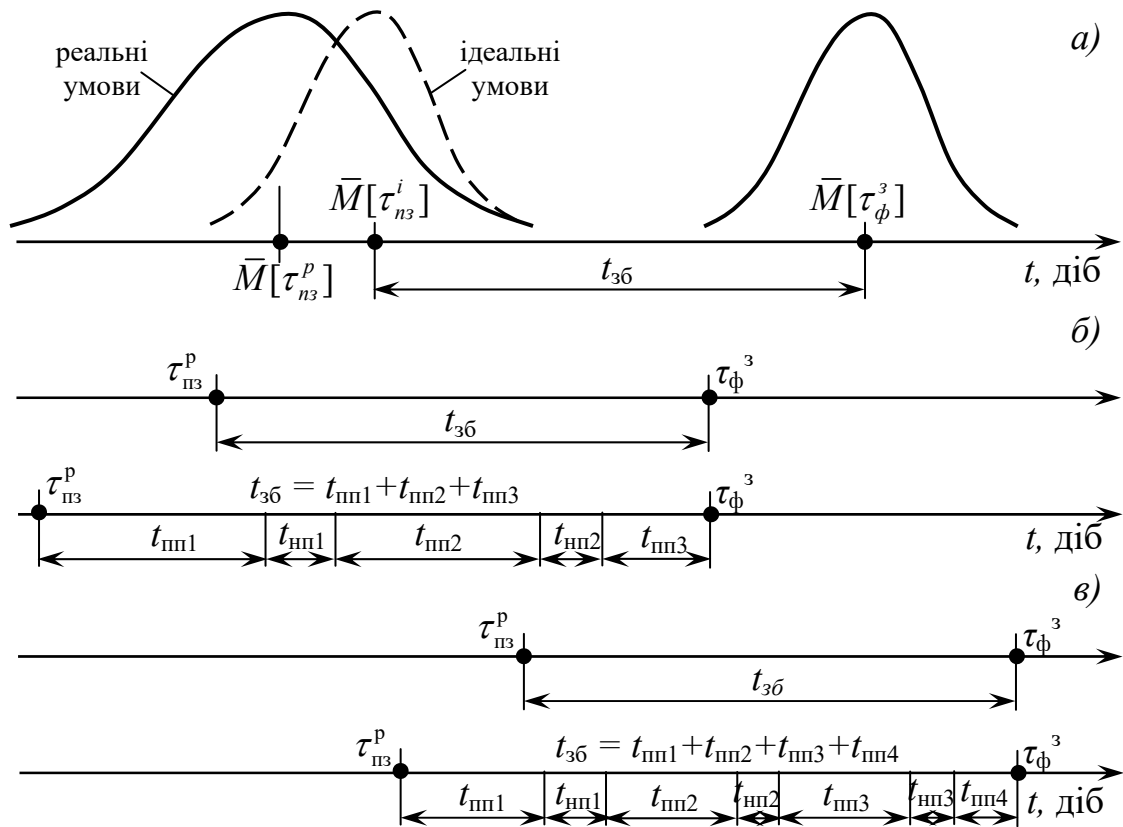


Рис. 2.6. Графічна інтерпретація оцінення впливу агрометеорологічних умов на терміни виконання ТП ЗЦБ: а) вплив погодних умов на відхилення $\tau_{пз}$ ТП; б) вплив погожих ($t_{пп}$) та непогожих ($t_{нп}$) проміжків за "раннього" τ_{ϕ}^3 на $\tau_{пз}$; в) вплив погожих та непогожих проміжків за "пізнього" τ_{ϕ}^3 на $\tau_{пз}$

Отже, вибір того чи іншого часу $\tau_{пз}$ ТП ЗЦБ за відомої його тривалості t_{36} дасть змогу забезпечити своєчасність збирання коренеплодів лише до певної вірогідності. За довготривалого виконання ТП об'єктивно виникатиме більший "розкид" значень розподілу $\tau_{нз}^p$ (рис. 2.6, а) порівняно із розподілом τ_{ϕ}^3 . Це свідчить про те, що забезпечення умови (2.15) буде менш ймовірнішим, а відтак зростатиме вірогідність технологічних втрат.

2.5. Вплив часу початку та тривалості збирання цукрових буряків на своєчасність технологічного процесу та критерії обґрунтування параметрів його технічного забезпечення

Як уже зазначалося, СГП зацікавлені починати ТП ЗЦБ у пізні календарні терміни за яких середня маса (m) коренеплодів цукрових буряків є максимальною – $m \rightarrow \max$, а також збирати врожай цієї культури за якомога коротший термін. Однак, зміщення $\tau_{пз}$ у пізні календарні терміни підвищує вірогідність запізнення із збиранням, ураження коренеплодів заморозками, а відтак зниження ефективності ТП. З іншого боку, скорочення тривалості ($t_{зб}$) збирання коренеплодів потребує потужного парку комбайнів та призводить до значних експлуатаційних витрат [72]. Для вирішення цього завдання необхідно узгоджувати $\tau_{пз}$ ТП ЗЦБ та обсяг виробничої площі цукрових буряків із параметрами їх технічного забезпечення.

Відповідно до положень викладених у п. 2.3, для виконання умови (2.12) необхідно врахувати сукупний вплив некерованих (стохастичних) – $t_{пп}$, $t_{пф}^5$, $\tau_{ф}^3$, $t_{пдд}$, $U_{п}$ та керованих складових – $\tau_{пз}$, S і $W_{год}$ на своєчасність ТП ЗЦБ, що дасть змогу забезпечити мінімальні обсяги біологічних ($Q_б$) та технологічних ($Q_{т}$) витрат. Зазначені некеровані складові відображають вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на своєчасність та функціональні показники ефективності цих ТП. Зокрема, за незмінної $t_{зб}$ (коли $S = const$ і $W_{год} = const$) та різного часу початку $\tau_{пз}$ ($\tau_{пз} = var$) ТП ЗЦБ функціональні показники ефективності їх виконання формуватимуться по різному (рис. 2.7):

$$\begin{aligned}
 \tau_{пз1} &< \tau_{пз2} < \tau_{пз3}; \\
 t_{зб1} &= t_{зб2} = t_{зб3}; \\
 m_1 &< m_2 < m_3; \\
 Q_{б1} &> Q_{б2} > Q_{б3}; \\
 Q_{т1} &< Q_{т2} < Q_{т3}.
 \end{aligned}
 \tag{2.20}$$

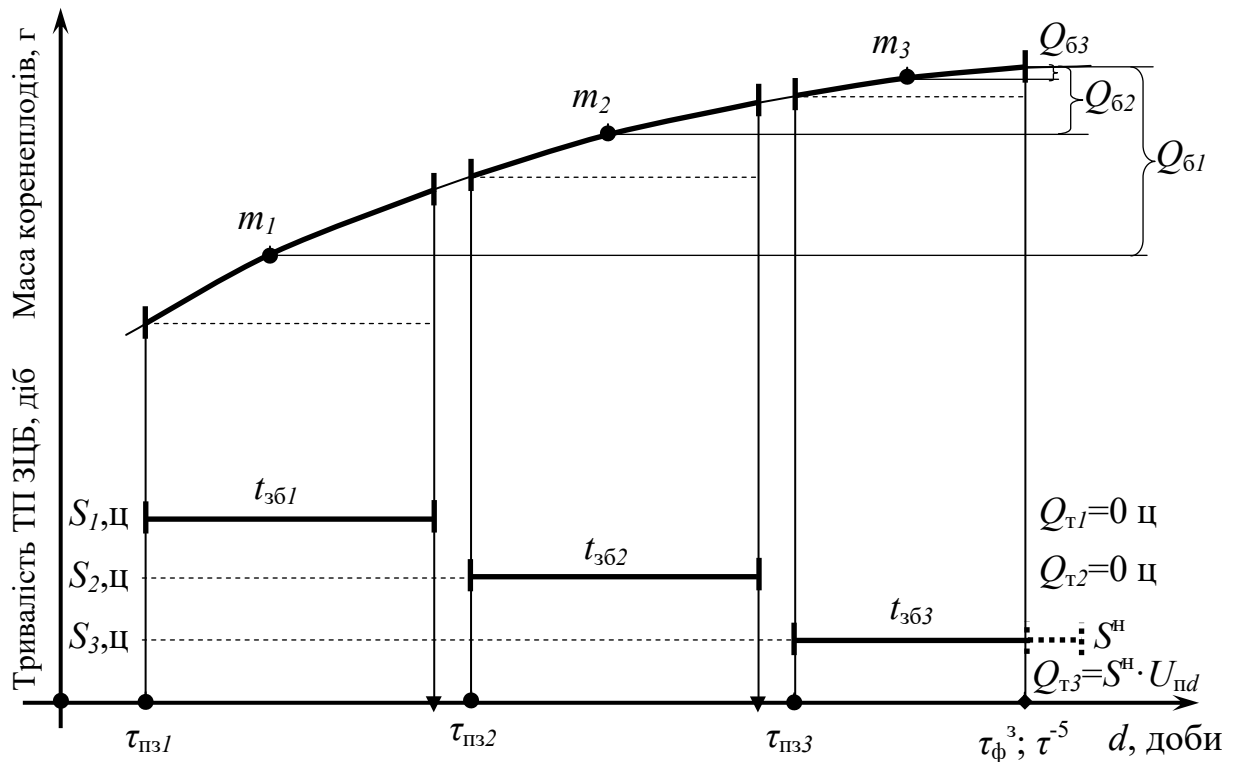


Рис. 2.7. Вплив часу початку ТП ЗЦБ на обсяги біологічних та технологічних втрат врожаю коренеплодів

Аналогічно, за незмінного $\tau_{ПЗ}$ ($\tau_{ПЗ} = const$) та різної тривалості t_{36} (за $S = var$ або $W_{год} = var$) виникатимуть різні функціональні показники ефективності ТП ЗЦБ (рис. 2.8):

$$\begin{aligned}
 \tau_{ПЗ1} &= \tau_{ПЗ2} = \tau_{ПЗ3}; \\
 t_{361} &< t_{362} < t_{363}; \\
 m_1 &< m_2 < m_3; \\
 Q_{61} &> Q_{62} > Q_{63}; \\
 Q_{T1} &< Q_{T2} < Q_{T3}.
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

Відповідно до рис. 2.7 та рис. 2.8, обсяг технологічних втрат Q_T відображає обсяг втраченого врожаю коренеплодів внаслідок невиконання ТП ЗЦБ до моменту настання заморозків нижче -5°C (τ^{-5}), або до завершення фізичної стиглості (τ_{ϕ}^3) ґрунту в осінній період:

$$Q_T = f(S, W_{доб}, t_{Пд}, U_{цб}),
 \tag{2.22}$$

де $W_{доб}$ – добова продуктивність технічного забезпечення ТП, га/добу;
 $U_{цб}$ – середня урожайність цукрових буряків, ц/га.

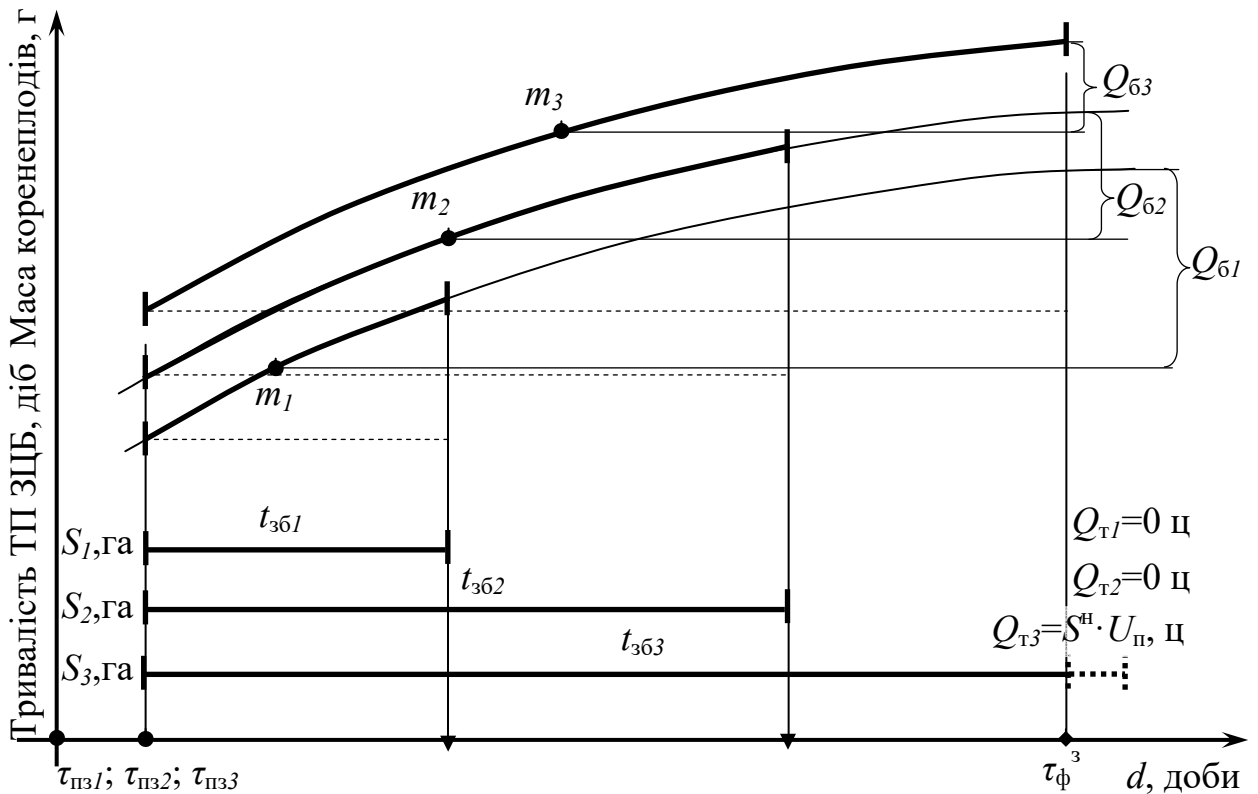


Рис. 2.8 Вплив тривалості ТП ЗЦБ на обсяги біологічних та технологічних втрат врожаю коренеплодів

Обсяг біологічних втрат Q_b , як уже зазначалося, відображає обсяг втрат потенційного врожаю через збирання коренеплодів у яких ще відбувається приріст маси:

$$Q_b = f(S, W_{\text{доб}}, U_{nd}, U^{\text{max}}), \quad (2.23)$$

де U^{max} – максимальна урожайність коренеплодів в межах окремого сезону виконання ТП, ц/га.

Узагальнюючи ці положення з позиції загальної теорії систем [12;44;107;128;157] та розгляду ТП ЗЦБ як елементарної замкнутої системи приходимо до висновку, що задача аналізу зводиться до встановлення залежності показників ефективності (E) від керованих складованих:

$$E = f(\tau_{\text{ПЗ}}, S, \Pi_{\text{к}}), \quad (2.24)$$

Задача синтезу ж зводиться до визначення оптимальних параметрів елементарної системи, за яких $\{E\}$ сягатимуть екстремуму своїх значень – $\{\tau_{\text{ПЗ}}, S, \Pi_{\text{к}}\} \rightarrow \text{opt}$, за умови $\{\tau_{\text{ПЗ}}\}, \{S\} = \text{var}, \Pi_{\text{к}} = \text{const}$ та $E \rightarrow \text{extr}$.

Обґрунтування параметрів технічного забезпечення (бурякозбиральних комбайнів) ТП ЗЦБ здійснюється на підставі їх узгодження із $\tau_{\text{пз}}$ та S . Це узгодження здійснюється на підставі вартісного критерію ефективності (E) – мінімальних питомих сукупних витрат коштів (B) на виконання ТП ЗЦБ:

$$E = f(B) \rightarrow \min. \quad (2.25)$$

Мінімальні питомі сукупні витрати коштів (B) ТП визначають із відомої формули [71;91;116]:

$$B = B_{\text{тн}} + B_{\text{тл}}, \quad (2.26)$$

де $B_{\text{тн}}$ - питомі експлуатаційні витрати, грн/га; $B_{\text{тл}}$ - питомі технологічні втрати, грн/га.

Кількісне оцінювання $B_{\text{тн}}$ та $B_{\text{тл}}$ здійснюється на підставі відповідних початкових даних (див. дод. Е та дод. Є), а також обсягів технологічних втрат ($Q_{\text{т}}$).

Питомі експлуатаційні витрати ($B_{\text{тн}}$, грн./га) на виконання ТП визначають із формули [71;91]:

$$B_{\text{тн}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (2.27)$$

де C_1 – оплата праці оператора (комбайнера, тракториста), грн/га; C_2 – вартість паливно-мастильних матеріалів, грн/га; C_3 – відрахування на амортизацію технічного забезпечення, грн/га; C_4 – відрахування на поточний ремонт і ТО, грн/га.

Питомі технологічні втрати ($B_{\text{тл}}$, грн./га) коштів через підмороження коренеплодів визначимо із наступних формул:

$$B_{\text{тл}} = \frac{Q_m \cdot V_k}{S}, \quad (2.28)$$

$$Q_{\text{т}} = U_{\text{нд}} \cdot S^{\text{н}}, \quad (2.29)$$

де $U_{\text{нд}}$ – поточна врожайність коренеплодів в d -у добу виникнення $S^{\text{н}}$, ц/га; V_k – ринкова вартість коренеплодів, грн/ц; S – виробнича площа цукрових буряків, га.

Розкриття методології обґрунтування параметрів технічного

забезпечення ТП ЗЦБ спрямоване на виокремлення критеріїв та функції мети, а також означення вимог до методики моделювання і встановлення статистичних закономірностей зміни функціональних показників ефективності відповідних ТП. Встановлення цих закономірностей є підставою перевірки висунутої гіпотези про те, що підвищення ефективності ТП ЗЦБ можна забезпечити завдяки обґрунтуванню раціональних параметрів технічного забезпечення, на підставі їх узгодження із часом початку збирання врожаю та виробничою площею культури за критерієм мінімальних питомих сукупних витрат коштів.

Виконання комп'ютерних експериментів та встановлення закономірностей зміни Q_6 та Q_T за різних $\tau_{пз}$, S і $W_{доб}$ дає змогу знайти поєднання таких їх значень за яких використання технічного забезпечення ТП ЗЦБ, із заданими параметрами, дасть змогу досягнути мінімальне значення критерію ефективності – B , грн/га. Це уможливить розв'язок оптимізаційної задачі, що також лежить в основі методики обґрунтування параметрів технічного забезпечення, а відтак – підвищення ефективності ТП ЗЦБ.

Висновки до розділу 2

1. Структурний аналіз ТС ЗЦБ дав змогу охарактеризувати виробниче середовище, означити його вплив та внутрішні елементи, а також встановити те, що ТП ЗЦБ доцільно розглядати як складну, відкриту та стохастичну систему. Розкриття причинно-наслідкових зв'язків щодо забезпечення своєчасності цього ТП дало змогу виокремити його головні складові – предмети праці, агрометеорологічні умови, технічне забезпечення, організаційно-технічне та ресурсне забезпечення, а відтак обґрунтувати вимоги до статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ.

2. Розкриття головних етапів створення концептуальної моделі ТП ЗЦБ дало змогу виокремити та охарактеризувати вплив дев'яти груп

чинників ефективності, а також обґрунтувати послідовність моделювання щодо відображення їх сукупного впливу на функціональні показники ТП. Це є важливою науково-методичною основою для формування початкової бази даних у вигляді формалізованих статистичних закономірностей впливу тої чи іншої групи чинників, а відтак дослідження ТП ЗЦБ.

3. Системно-подієвий підхід дав змогу локалізувати структуру базових та наслідкових подій, а також сформулювати правила щодо відображення часових характеристик виконання ТП ЗЦБ. Формалізація взаємозв'язків між ними дає змогу удосконалити методику моделювання ТП ЗЦБ за допомогою відповідної статистичної імітаційної моделі, а відтак здійснити кількісну оцінку узгодження часу початку ($\tau_{пз}$) цього ТП, виробничої площі (S) цукрових буряків із параметрами технічного забезпечення.

4. Визначення функціональних показників ефективності ТП ЗЦБ необхідно здійснювати на підставі технологічних критеріїв – обсягів біологічних (Q_b) та технологічних ($Q_{тл}$) втрат коренеплодів цукрових буряків. Завдяки побудові закономірностей зміни Q_b та $Q_{тл}$ за різних значень $\tau_{пз}$, S та технічного забезпечення можливий ітераційний пошук такого їх поєднання, за якого досягатиметься екстремум функції мети, а відтак – обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ВИРОБНИЧИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

3.1. Програма виробничих й комп'ютерних експериментів та загальна схема методики обґрунтування параметрів технічного забезпечення

Наведені у р. 2 науково-методичні положення акцентують на тому, що ТП ЗЦБ володіє властивостями складних виробничих систем [2;12;107;157]. Зокрема, до характерних ознак відносимо: 1) значна кількість взаємодіючих складових; 2) сезонна повторюваність подій та явищ, а також закономірностей зміни предметів праці, робіт на тих чи інших полях СГП; 3) стохастичність впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на терміни виконання ТП; 4) приріст середньої маси коренеплодів впродовж виконання ТП ЗЦБ; 5) потреба узгодження ТП ЗЦБ із об'єктивними процесами зміни якісного стану предметів праці (приростом коренеплодів та зміни стану ґрунту полів під впливом агрометеорологічних умов) тощо.

З огляду на це, дослідження у дисертаційній роботі виконувалися за такою загальною схемою: 1) аналіз особливостей досягання цукрових буряків, агротехнічних та організаційно-технологічних вимог до виконання ТП ЗЦБ; 2) означення складових ТС ЗЦБ, виокремлення ТП ЗЦБ та чинників їх ефективності, аналіз взаємозв'язків між ними, а також їх керованості; 3) означення системно-подієвого підходу до відображення ТП імітаційною моделлю, а також сукупного впливу термінів їх виконання на функціональні показники ефективності; 4) побудова робочої гіпотези щодо підвищення ефективності ТП ЗЦБ на підставі узгодження часу початку ТП та виробничої площі культури із параметрами технічного забезпечення; 5) узагальнення теоретичних положень та розробка методики виробничих й комп'ютерних

експериментів; 6) виконання виробничих спостережень, систематизація й математичне опрацювання їх результатів; 7) формування статистичних закономірностей для відображення агрометеорологічної та біологічно-предметної складових в статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ; 8) розроблення методики відображення цих ТП в статистичній імітаційній моделі, побудова алгоритму та комп'ютерної програми; 9) всебічна перевірка робочої гіпотези на підставі комп'ютерних експериментів із статистичною імітаційною моделлю, завдяки встановленню закономірностей зміни функціональних показників ефективності ТП ЗЦБ, за різного часу їх початку, виробничої площі цукрових буряків та бурякозбиральних комбайнів; 10) обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ та формулювання висновків.

Однак слід зазначити, що розроблені науково-методичні положення щодо обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ на підставі узгодження із часом початку цього ТП та виробничою площею культури розкрито лише теоретично. Проте, окремі гіпотези і положення залишаються ще експериментально непідтвердженими. Однією із передумов їх підтвердження є встановлення статистичних закономірностей впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на терміни виконання та функціональні показники ефективності цих ТП ЗЦБ.

Отже, для виконання цих завдань розроблено часткові методики виробничих спостережень та комп'ютерних експериментів щодо: 1) визначення впливу агрометеорологічних умов на характеристики фонду часу для процесів збирання; 2) визначення закономірностей досягання коренеплодів цукрових буряків; 3) визначення статистичних характеристик відхилення термінів виконання ТП; 4) узгодження термінів виконання ТП із агрометеорологічно та біологічно зумовленими подіями; 5) відображення ТП ЗЦБ статистичною імітаційною моделлю та виконання комп'ютерних експериментів; 6) узгодження часу початку ТП та виробничої площі цукрових буряків із параметрами технічного забезпечення.

За результатами експериментування із статистичною імітаційною моделлю ТП ЗЦБ формували базу відповідних функціональних показників та виконували перевірку висунутих гіпотез. Зокрема, за отриманими рядами емпіричних даних визначали коефіцієнти (r) кореляції й кореляційні відношення (n), а відтак оцінювали тісноту зв'язку між відповідними величинами (чинниками ефективності).

Врахування імовірнісного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на своєчасність виконання ТП ЗЦБ у відповідній статистичній імітаційній моделі повинне відбуватися на основі відображення сукупного впливу чинників, що визначають продуктивність збирання врожаю коренеплодів впродовж осіннього періоду. Такий підхід дає змогу, отримати достовірні результати моделювання, встановити статистичні закономірності зміни функціональних показників, вартісно їх оцінити та встановити екстремум функції ефективності, а відтак обґрунтувати параметри технічного забезпечення відповідного ТП. Загальна схема алгоритму цієї методики наведена в рис. 3.1.

Як уже зазначалося, в основу методики обґрунтування параметрів технічного забезпечення покладено вирішення задачі – узгодити час початку ($\tau_{пз}$) ТП ЗЦБ та виробничу площу (S) цукрових буряків із параметрами технічного забезпечення ($П_k$), за якого досягатимуться мінімальні питомі сукупні витрати (B) коштів на виконання цих ТП. Для її вирішення передбачено розроблення та застосування певного набору моделей: 1) агрометеорологічних умов; 2) зміни стану ґрунту; 3) досягання коренеплодів цукрових буряків; 4) базових подій ТП ЗЦБ; 5) виконання ТП в розрізі календарної доби та в розрізі осіннього періоду; 6) відтворення множини років функціонування технічного забезпечення – Np реалізацій (ітерацій) ТП; 7) формування множини статистичних даних Q_6 , $Q_{тл}$ та S^H для $\tau_{пз} = \text{var}$; $S = \text{var}$; $П_k = \text{const}$; 8) аналіз результатів моделювання та узгодження $\tau_{пз}$, S та $П_k$.

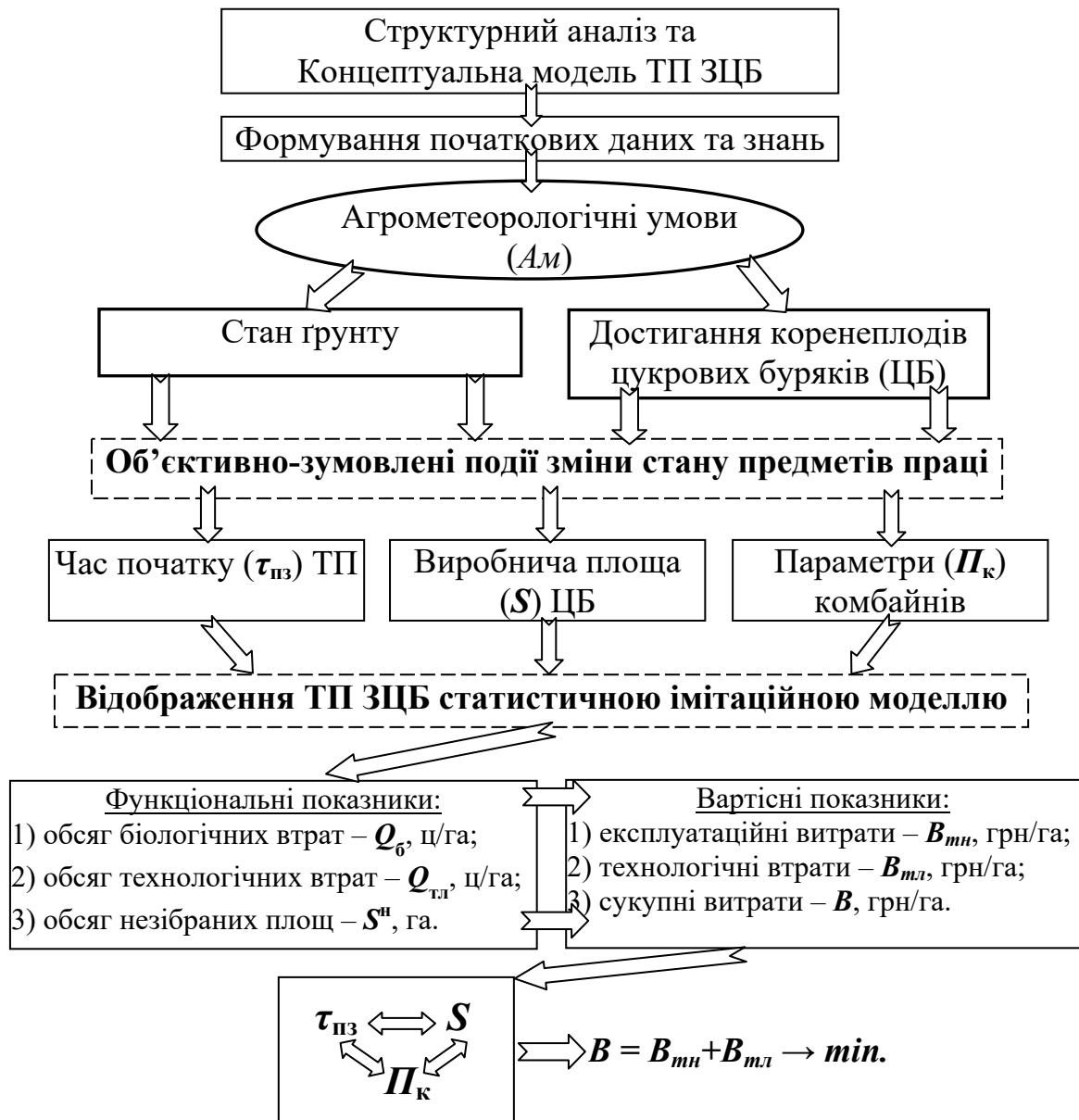


Рис. 3.1. Загальна схема методики обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ

Наявність некерованих та стохастичних чинників ефективності ТП ЗЦБ зумовлює потребу використання теорії ймовірностей для аналізу результатів моделювання та формалізації статистичних закономірностей їх зміни. Зокрема, гіпотезу про можливий закон розподілу тої чи іншої випадкової величини висували на основі попереднього оцінення значення коефіцієнта варіації. Якщо визначений коефіцієнт варіації емпіричних даних становив 0,08-0,33, то висували гіпотезу про нормальний теоретичний розподіл [87], якщо ж коефіцієнт варіації більший за 0,33, то висували

гіпотезу про закон теоретичного розподілу Вейбулла [88]. Перевірку гіпотези щодо узгодження теоретичного та емпіричного розподілів ймовірнісних величин виконували на підставі критерію χ^2 Пірсона [89]. Якщо розрахункове сумарне значення критерію χ^2 для встановленого рівня значимості 5% було меншим за його табличне значення – χ^{2*} то приймалося, що гіпотеза про той чи інший теоретичний закон розподілу є вірною. На цій підставі визначали диференціальні функції розподілу відповідної випадкової величини з метою її "введення" в статистичну імітаційну модель ТП ЗЦБ.

3.2. Методика визначення агрометеорологічно зумовленого фонду часу на виконання технологічного процесу збирання цукрових буряків

Темпи виконання ТП ЗЦБ залежать від сукупності елементів частина із яких є некерованою та зумовлена впливом агрометеорологічних та біологічно-предметних складових (див. п. 2.4). Зокрема, врахування впливу агрометеорологічної складової у статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ здійснюється на підставі: 1) тривалості добового фонду часу ($t_{\text{пдд}}$); 2) тривалості природно дозволеного фонду часу ($t_{\text{пд}}$) на виконання ТП у розрізі осіннього періоду. Формалізація закономірностей зміни $t_{\text{пдд}}$ та $t_{\text{пд}}$ дає змогу врахувати у відповідній імітаційній моделі вплив агрометеорологічних умов на добову продуктивність ($W_{\text{доб}}$) тих чи інших бурякозбиральних комбайнів, а також відобразити об'єктивно зумовлені часові обмеження для ТП ЗЦБ в осінній період.

Для визначення статистичних закономірностей зміни $t_{\text{пдд}}$ розроблено методику, котра поєднує в собі використання загальновідомої інформації та проведення виробничих спостережень і комп'ютерних експериментів. Розкриємо її суть.

Тривалість $t_{\text{пдд}}$ обмежена двома подіями – організаційно-відкоригованим часом початку ($\tau_{\text{п}}^{\circ}$) збирання та часом заходу сонця ($\tau_{\text{зс}}$) (рис. 3.2, а). Слід зазначити, що з метою врахування організаційно-технологічної підготовки до роботи, час початку ТП (вихід техніки у поле) у розрізі кожної погожої доби приймався як $\tau_{\text{п}}^{\circ} = 8^{00}$ год. Вважається, що за проміжок часу між $\tau_{\text{сс}}$ та $\tau_{\text{п}}^{\circ}$ комбайнер (оператор) стигне виконати усі щоденні підготовчі етапи: 1) отримання наряду на виконання роботи; 2) перевірка технічного стану комбайна; 3) заправка пального тощо.

Для відображення подій $\tau_{\text{сс}}$ та $\tau_{\text{зс}}$ використано загальнодоступну інформацію із метеоресурсів щодо часу сходу і заходу сонця в розрізі відповідного календарного періоду. Зокрема, для визначення $\tau_{\text{сс}}$ та $\tau_{\text{зс}}$ використано наступні рівняння:

$$\text{- час сходу сонця: } \tau_{\text{сс}} = -2,1 \cdot 10^{-5} \cdot d^2 + 0,0457 \cdot d - 4,46; \quad (3.1)$$

$$\text{- час заходу сонця: } \tau_{\text{зс}} = 9,9 \cdot 10^{-5} \cdot d^2 - 0,0929 \cdot d + 35,998. \quad (3.2)$$

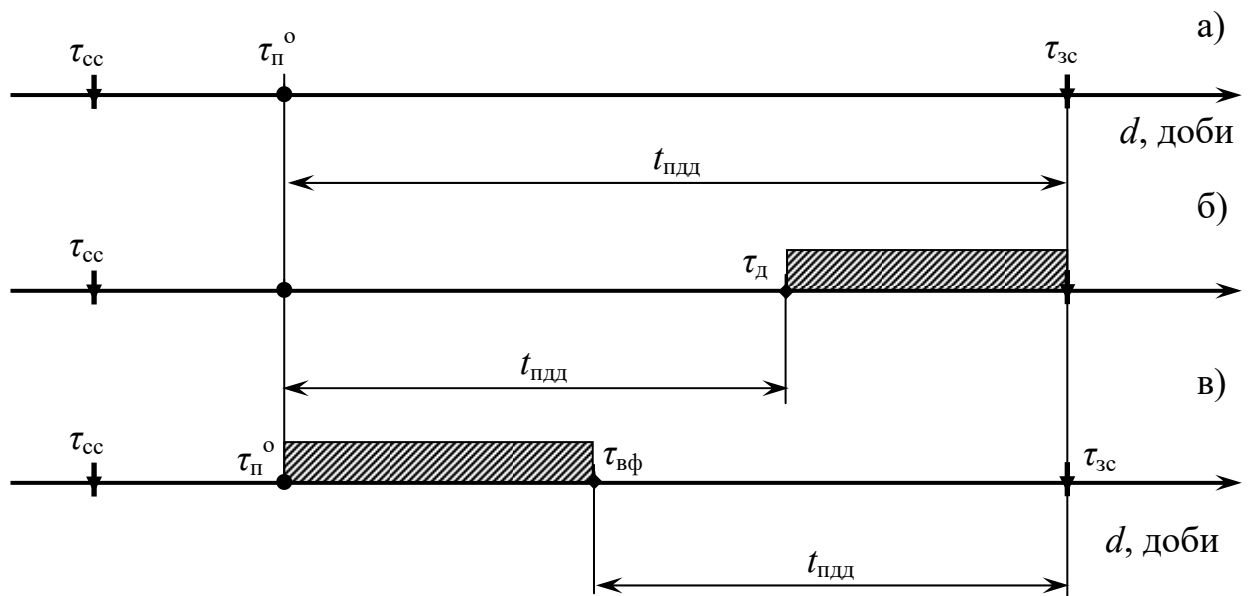


Рис. 3.2. Графічна інтерпретація методики визначення тривалості природно дозволеного добового фонду часу на виконання ТП ЗЦБ: 1) доба без дощу; 2) доба із дощем; 3) доба із відновленням фізичної стиглості ґрунту; $\tau_{\text{сс}}, \tau_{\text{зс}}$ – відповідно час сходу та заходу сонця, год; $\tau_{\text{п}}^{\circ}$ – організаційно відкорегований час початку ТП ЗЦБ в розрізі доби, год; $\tau_{\text{д}}$ – час випадання дощу в розрізі доби, год; $\tau_{\text{вф}}$ – час відновлення фізичної стиглості ґрунту, год

Загальновідомо, що випадання дощу (τ_d) призводить до перезволоження ґрунту та ускладнення викопування коренеплодів [10;96;100]. Це знижує продуктивність бурякозбиральних комбайнів та технологічну якість зібраних коренеплодів. Тому, для визначення $t_{\text{пдд}}$ прийнято умову, що у разі перезволоження ґрунту ТП ЗЦБ призупиняють до моменту відновлення його фізичної стиглості – тобто виникнення події $\tau_{\text{вф}}$. Зазначимо, що у разі виникнення події τ_d до моменту $\tau_{\text{п}}^{\circ}$ вважалося, що поточний день є непогожим, за якого – $t_{\text{пдд}}=0$ год. У разі, коли подія τ_d виникає після $\tau_{\text{зс}}$, вважалося, що непогожим буде наступний день. Для випадку, коли τ_d виникала між подіями $\tau_{\text{п}}^{\circ}$ та $\tau_{\text{зс}}$ визначали $t_{\text{пдд}}$ (рис. 3.2, б):

$$t_{\text{пдд}} = \tau_d - \tau_{\text{п}}^{\circ}. \quad (3.3)$$

Аналогічно визначали $t_{\text{пдд}}$ для доби в якій після непогожого проміжку відновлюється фізична стиглість ґрунту – $\tau_{\text{вф}}$. Зокрема, для випадку $\tau_{\text{вф}} \leq \tau_{\text{п}}^{\circ}$ приймалось, що поточна доба є погожою. За умови $\tau_{\text{вф}} \geq \tau_{\text{зс}}$ вважали, що погожою буде наступна доба. Для випадку $\tau_{\text{п}}^{\circ} < \tau_{\text{вф}} \leq \tau_{\text{зс}}$ визначали $t_{\text{пдд}}$ (див. рис. 3.2, в):

$$t_{\text{пдд}} = \tau_{\text{зс}} - \tau_{\text{вф}}. \quad (3.4)$$

Слід зазначити, що для погожої доби $t_{\text{пдд}}$ обмежується тільки двома подіями $\tau_{\text{п}}^{\circ}$ та $\tau_{\text{зс}}$:

$$t_{\text{пдд}} = \tau_{\text{зс}} - \tau_{\text{п}}^{\circ}. \quad (3.5)$$

Для формалізації статистичних закономірностей τ_d опрацьовано результати пасивних спостережень Вол.-Волинської метеорологічної станції (звітна форма ТСХ-1 та КМ-1) за часом випадання такої кількості опадів за якої верхні шари (2-10 см) ґрунту переходили у перезволожений стан. Ці спостереження виконані за відповідними методиками [26;78;99], а тому їх результати слід вважати вірогідними. Першочергово за 45 річними (1971-2016 рр.) даними заповнено формуляр (табл. 3.1) календарних дат та годин виникнення опадів, які зумовлювали перезволоження ґрунту полів.

**Формуляр для фіксування термінів настання опадів та перезволоження
грунту в осінній період**

№ п/п	Рік	Календарний день	Кількість опадів, мм	Час виникнення опадів τ_d , год
1	1971	10 вересня	2,2	9.45
2	1971	02 жовтня	1,4	12.30
...
26	2001	24 вересня	3,1	19.15
27	2001	12 жовтня	2,6	10.35
...
105	2016	05 вересня	4,2	19.00
106	2016	13 вересня	2,4	22.50
<i>n</i>

За отриманими значеннями часу τ_d виникнення опадів сформовано варіаційні ряди даних, які опрацьовано за методами математичної статистики і встановлено статистичні характеристики τ_d [20;23;87-89]:

- математичне сподівання:

$$\bar{M}[\tau_d] = \sum_{i=1}^k (\tau_{d_i} \cdot P_i); \quad (3.6)$$

де P_i – емпірична частість.

- дисперсія:

$$D[\tau_d] = \sum_{i=1}^k ((\tau_{d_i} - \bar{M}[\tau_d])^2 \cdot P_i); \quad (3.7)$$

- середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma[\tau_d] = \sqrt{\sum_{i=1}^k ((\tau_{d_i} - \bar{M}[\tau_d])^2 \cdot P_i)}; \quad (3.8)$$

- коефіцієнт варіації для нормального (Гаусса) закону розподілу:

$$\nu[\tau_d] = \frac{\sigma[\tau_d]}{\bar{M}[\tau_d]}; \quad (3.9)$$

та для закону розподілу Вейбулла-Гніденка:

$$\nu[\tau_d] = \frac{\sigma[\tau_d]}{\bar{M}[\tau_d] - \tau_{d_{3M}}}, \quad (3.10)$$

де $\tau_{d_{3M}}$ – зміщення зони розкиду випадкової величини τ_d відносно нуля.

Щодо часу $\tau_{\text{вф}}$ відновлення фізичної стиглості ґрунту, за якого відновлюється робота бурякозбиральних комбайнів на полі, то нами прийнято умову, що $\tau_{\text{вф}}$ розподілений за нормальним законом розподілу із оцінками математичного сподівання – $\bar{M}[\tau_{\text{вф}}] = 14^{00}$ год.

Відображення у статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ цих об'єктивно зумовлених подій як для окремих календарних днів так і для осіннього періоду загалом, дає змогу на підставі багаторазових ітерацій (Np) моделі відтворити стохастичність $t_{\text{пдд}}$, а відтак – вплив агрометеорологічних умов на добову продуктивність бурякозбиральних комбайнів. Такі процедури також дають змогу сформувати варіаційні ряди емпіричних даних $t_{\text{пдд}}$ та встановити статистичні закономірності зміни цього показника для кожної d -ї доби відповідного календарного періоду.

Використання загальновідомої методики кореляційно-регресійного аналізу за якої перевіряють наявність кореляційної залежності між двома величинами $t_{\text{пдд}}$ (X) та d (Y) передбачає оцінення тісноти їх зв'язку. Відомо [23;133;138], що за формою кривої кореляція може бути лінійною та криволінійною, за напрямом – прямою й оберненою. Для оцінення тісноти (сили) зв'язку лінійної кореляції використовують коефіцієнт кореляції (r), а для криволінійної – кореляційне відношення (n). Коефіцієнт кореляції r визначають за формулою [23;133;138]:

$$r = \frac{\Sigma(X - X_c) \times (Y - Y_c)}{\sqrt{\Sigma(X - X_c)^2 \times \Sigma(Y - Y_c)^2}}, \quad (3.11)$$

де $\Sigma(X - X_c)^2$ – сума квадратів відхилень значень X від середньоарифметичного X_c ; $\Sigma(Y - Y_c)^2$ – сума квадратів відхилень відповідних значень Y від середньоарифметичного Y_c .

Кореляційне відношення n , відповідно:

$$n = \sqrt{\frac{\Sigma(Y - Y_c)^2 - \Sigma(Y - Y_c x)^2}{\Sigma(Y - Y_c)^2}}, \quad (3.12)$$

де $\Sigma(Y - Y_c x)^2$ – сума квадратів відхилень значень Y від часткових середніх $Y_c x$, що відповідають певним фіксованим значенням незалежної змінної X .

Отримані кількісні значення r (або n) свідчать про тісноту кореляційного зв'язку між двома величинами. Зокрема вважається, що за $r < 0,3$ кореляційна залежність між величинами слабка, якщо $r = 0,3-0,7$ – середня, а за умови $r > 0,7$ – сильна [23;133;138].

Інший важливий показник, що характеризує вплив агрометеорологічної складової є тривалість природно дозволеного фонду ($t_{\text{пд}}$) часу (в розрізі осіннього періоду) на виконання ТП ЗЦБ. Зокрема, для забезпечення своєчасності ТП необхідно знати закономірність зміни $t_{\text{пд}}$ впродовж осіннього періоду. Зазначимо, що тривалість $t_{\text{пд}}$ відображає проміжок часу між "потенційним" днем (часом) початку ($\tau_{\text{пз}}$) збирання коренеплодів та останнім календарним днем осіннього періоду за якого погодні умови дозволяють виконувати ТП ЗЦБ. Тобто, до моменту настання події τ^{-5} , або $\tau_{\text{ф}}^3$ (рис. 3.3). Відповідно до рекомендацій вчених агрономів розпочинати ТП ЗЦБ можна з моменту в'янення зовнішніх листків ($\tau_{\text{вл}}$) цих культур.

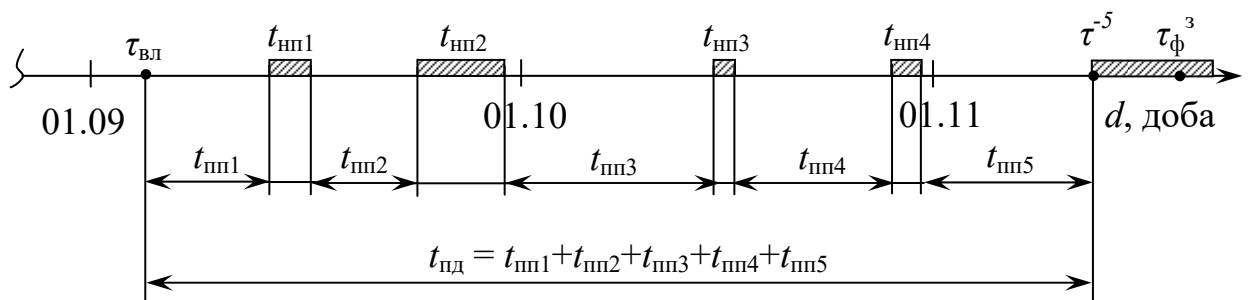


Рис. 3.3. Графічна інтерпретація методики визначення тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання ТП ЗЦБ: $t_{\text{пп}}$, $t_{\text{нп}}$ – тривалість погожих та непогожих проміжків, діб

Окрім того, виникнення непогожих проміжків між подіями $\tau_{\text{вл}}$ та τ^{-5} (або $\tau_{\text{ф}}^3$) зумовлює скорочення тривалості $t_{\text{пд}}$ [116]:

$$t_{\text{пд}} = \tau^{-5} - \tau_{\text{вл}} - \sum_{i=1}^n t_{\text{нп}i}, \quad (3.13)$$

де n – кількість непогожих проміжків між подіями τ^{-5} та $\tau_{пз}$.

Використання звітних даних Вол.-Волинської метеорологічної станції щодо термінів виникнення τ^{-5} , τ_{ϕ}^3 , а також тривалостей $t_{пн}$ і $t_{пш}$ дає змогу визначити $t_{пд}$, а відтак встановити закономірності її зміни для різних планових значень $\tau_{пз}$. База початкових даних для оцінення $t_{пд}$ сформована на підставі вищеописаної методики, в результаті чого для кожного із 45 років (1971-2016 рр.) визначали кількість погожих днів між прийнятим значенням $\tau_{вл}$ та агрометеорологічно зумовленими термінами τ^{-5} або τ_{ϕ}^3 .

Математичне опрацювання результатів визначення $t_{пд}$ для розглянутих 45 років дає змогу побудувати залежність тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання ТП ЗЦБ від часу початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків. Отже, встановлення статистичних закономірностей зміни $t_{пдд}$ та $t_{пд}$ дає змогу врахувати вплив агрометеорологічної складової ТП ЗЦБ та відіграє важливу роль у визначенні термінів та своєчасної їх виконання.

3.3. Методика визначення характеристик біологічно-предметної складової технологічного процесу збирання цукрових буряків

Як уже зазначалося, досягання врожаю коренеплодів цукрових буряків супроводжується приростом їх маси та цукристості. Зокрема, темпи приросту маси коренеплодів формують поточну врожайність культури, показники ефективності ТП ЗЦБ, а також залежать від впливу агрометеорологічних умов. Саме тому, для моделювання цих ТП необхідно володіти інформацією щодо термінів досягання врожаю цукрових буряків, початкового стану коренеплодів та закономірностей приросту їх маси в розрізі осіннього періоду. Для врахування в імітаційній моделі цих біологічно-предметно зумовлених початкових умов виконання ТП ЗЦБ нами опрацювано звітні дані Вол.-Волинської метеорологічної станції (форма

ТСХ-1) щодо спостережень за ростом та розвитком цукрових буряків сорту «Ялтушковський однонасінний» впродовж 38 років (з 1978 до 2016 року). Першочергово, проаналізовано та сформовано вибірку даних: 1) часу ($\tau_{\text{вл}}$) початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків; 2) середньої початкової маси ($m_{\text{ПК}}$) коренеплодів на момент в'янення зовнішніх листків; 3) максимального приросту маси ($\Delta m_{\text{к}}$) коренеплодів цукрових буряків.

Для чисельного представлення термінів досягання коренеплодів використовували точку відліку – 1 січня. Зокрема, визначення проміжку часу між відповідним етапом досягання та точкою відліку дає змогу встановити тривалість відповідного періоду, або чисельне значення дня настання події досягання цієї культури (рис. 3.4).

Систематизація проаналізованих даних щодо $\tau_{\text{вл}}$ та $m_{\text{ПК}}$ (табл. 3.2) дає змогу виконати їх математичне опрацювання та встановити відповідні статистичні закономірності, а також зв'язок між цими показниками.

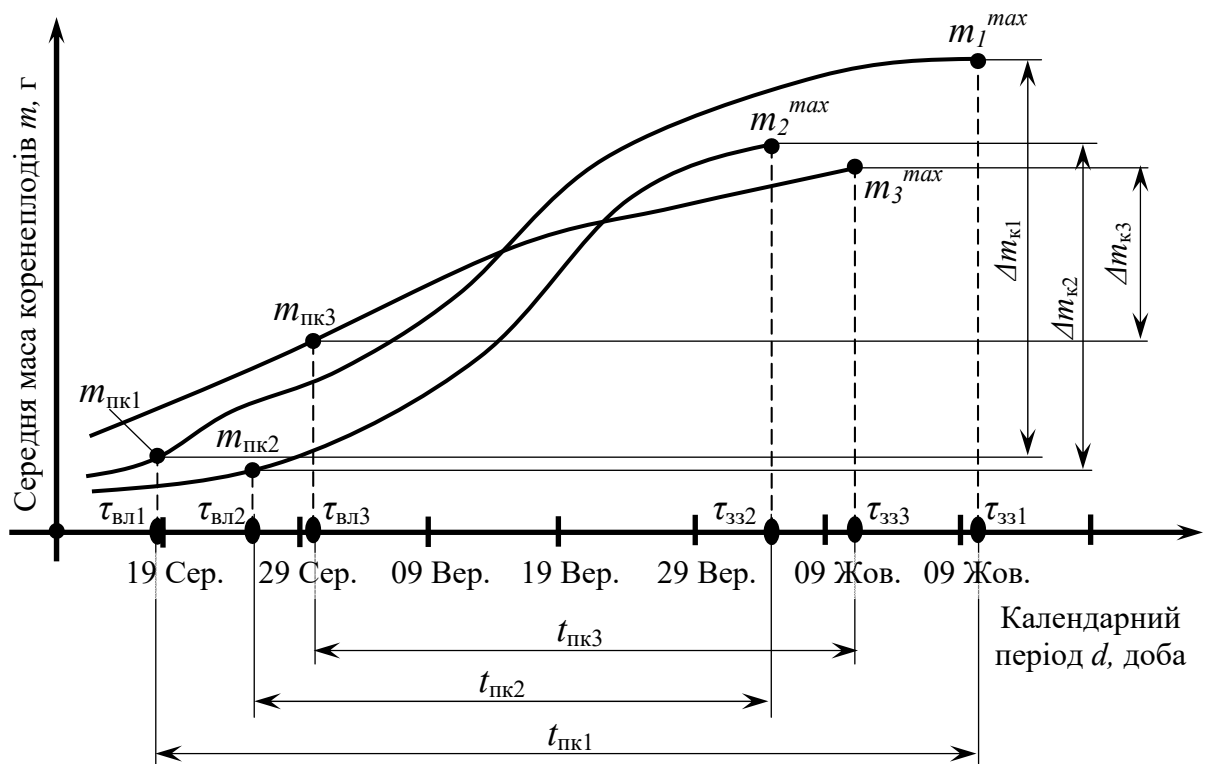


Рис. 3.4. Календарні терміни приросту маси коренеплодів цукрових буряків: m^{max} – максимальна маса коренеплодів, г; $t_{\text{ПК}}$ – тривалість приросту коренеплодів, дів; $\tau_{\text{зз}}$ – час завершення ТП ЗЦБ, доба

Систематизація показників початкового стану коренеплодів цукрових буряків для виконання ТП ЗЦБ

Показник	Рік спостережень				
	1978	1979	...	2015	2016
Час початку в'янення зовнішніх листків ($\tau_{вл}$) цукрових буряків, доба	21 серп.	10 вер.	...	3 вер.	31 серп.
Середня початкова маса ($m_{пк}$) коренеплодів на момент в'янення зовнішніх листків, г	445	586	...	275	364

Згідно із даними спостережень, поточну середню масу коренеплодів вимірювали щодавно (з кроком у 10 діб). Для випадків коли масове в'янення листків $\tau_{вл}$ наставало між днями вимірювань то середню початкову $m_{пк}$ масу коренеплодів визначали методом інтерполяції між двома відомими точками.

Для встановлення закономірностей зміни максимального приросту маси (Δm_k) коренеплодів цукрових буряків нами також використано звітні форми ТСХ-1 агрометеорологічної станції. Зокрема, для кожного із років спостережень визначали різницю між середньою початковою масою $m_{пк}$, яка фіксувалася на момент $\tau_{вл}$, та середньою максимальною масою коренеплодів (m^{max}), яку фіксували в завершальний момент ($\tau_{зз}$) збирання врожаю цукрових буряків (табл. 3.3):

$$\Delta m_k = m^{max} - m_{пк}. \quad (3.14)$$

Таким чином, виконуючи вищеописані етапи збору, аналізу та систематизації даних щодо термінів досягання врожаю цукрових буряків, початкового стану коренеплодів та закономірностей приросту їх маси в розрізі осіннього періоду виникає можливість формалізувати статистичні закономірності біологічно-предметної складової, а відтак врахувати її вплив на функціональні показники виконання ТП ЗЦБ.

Формуляр спостережень за приростом маси коренеплодів

Рік спостережень	Час масового в'янення листків цукрових буряків $\tau_{вл}$, доба	Середня початкова маса ($m_{пк}$) коренеплодів на момент $\tau_{вл}$, Г	Середня маса (m^{max}) коренеплодів на момент останнього вимірювання, Г	Максимальний приріст маси коренеплодів Δm_k , Г
1978	21 серпня	445	600	155
1979	10 вересня	586	686	100
...
2016	31 серпня	364	574	210

Зокрема, використання методів математичної статистики та кореляційно-регресійного аналізу для встановлення диференціальних рівнянь розподілу і залежностей між відповідними показниками є важливою передумовою їх врахування в статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ, а відтак забезпечення її адекватності реальним процесам. Виконання таких кроків дає змогу використати цю імітаційну модель для комп'ютерних експериментів щодо встановлення закономірностей зміни функціональних показників ефективності ТП ЗЦБ за різних значень часу початку цих ТП, виробничої площі цукрових буряків та заданого технічного забезпечення.

3.4. Алгоритм та методика відображення технологічного процесу збирання цукрових буряків у статистичній імітаційній моделі

Відображення ТП ЗЦБ в статистичній імітаційній моделі відбувається на підставі системно-подієвого підходу, що дає змогу врахувати сукупний вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на терміни виконання цих ТП, продуктивність бурякозбиральних комбайнів та

біологічні й технологічні втрати врожаю коренеплодів. Методологія відображення моделлю впливу цих об'єктивних (некерованих і природно зумовлених) складових ґрунтується на загальновідомому підході генерування потоку вимог [12;68;69;144;148;165] на виконання відповідних технологічних операцій та його обслуговування заданим технічним забезпеченням ТП ЗЦБ.

Зокрема, системно-подієве відображення ТП ЗЦБ передбачає відтворення часових характеристик настання базових та наслідкових подій на календарній осі часу, приріст маси коренеплодів та врожаю культури загалом, роботу бурякозбиральних комбайнів на заданих обсягах площ та втрати врожаю через невідповідність часу початку і тривалості ТП природно зумовленому фондові часу на їх виконання. Це здійснюється завдяки попередньо сформованим статистичним закономірностям, а також розподілам імовірнісних показників (див. р. 4), які відображають часові характеристики настання базових подій ТП ЗЦБ та вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на виконання цих ТП. Зазначимо, що в дисертаційній роботі використано як уже відомі, так і встановлені нами статистичні закономірності та розподіли.

Розкриємо методику відображення моделлю базових подій на календарній осі часу, котрі формують часові обмеження на виконання відповідних ТП. Для того, щоб сформувавши у чисельному виразі календарну вісь на якій зазначено базові події виконували генерування псевдовипадкових величин в кожній із N_p ітерацій статистичної імітаційної моделі. Для цього використано множину статистичних закономірностей та розподілів (табл. 3.4).

Зокрема, для генерування цих імовірнісних подій у статистичній імітаційній моделі використано стандартний для програмного середовища MS Visual Studio 2010 C# [164;166] генератор псевдовипадкових чисел від 0 до 1 та оберненої функції відповідних теоретичних розподілів:

$$\text{- Вейбулла-Гніденка: } x = c + a \cdot \exp\left[\left(\frac{1}{b}\right) \cdot (\ln(-\ln(\text{rnd})))\right], \quad (3.15)$$

Таблиця 3.4

Статистичні закономірності виникнення базових подій ТП ЗЦБ (для умов Вол.-Волинського р-ну Волинської обл.)

№ п/п	Назва показника	Диференціальна функція та рівняння закономірності
1	Розподіл тривалості погожих ($t_{пп}$) проміжків осіннього періоду (Вейбулла) [116]	$f(t_{пп}) = 0,23 \cdot \left(\frac{t_{пп} - 1}{5,665}\right)^{0,148} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t_{пп} - 1}{5,665}\right)^{1,148}\right]$
2	Розподіл тривалості не погожих ($t_{пп}$) проміжків осіннього періоду (Вейбулла) [116]	$f(t_{пп}) = 0,427 \cdot \left(\frac{t_{пп} - 1}{2,531}\right)^{0,08} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t_{пп} - 1}{2,531}\right)^{1,08}\right]$
3	Розподіл часу початку (τ^{-5}) заморозків (Вейбулла) [116]	$f(\tau^{-5}) = 0,06 \cdot \left(\frac{\tau^{-5} - 286}{33,796}\right)^{1,033} \cdot \exp\left[-\left(\frac{\tau^{-5} - 286}{33,796}\right)^{2,033}\right]$
4	Розподіл часу завершення (τ_{ϕ}^3) фізичної стиглості ґрунту (Нормальний) [116]	$f(\tau_{\phi}^3) = 0,024 \cdot \exp\left[-\frac{(\tau_{\phi}^3 - 319,452)^2}{539,002}\right]$
5	Закономірність зміни оцінок математичного сподівання тривалості природно дозволеного добового фонду часу на виконання ТП ЗЦБ	$t_{пд}^{\mu} = -0,0428 \cdot d + 21,371. r = 0,995$
6	Залежність тривалості природно дозволеного фонду на виконання ТП ЗЦБ від часу початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків	$\tau_{вл} = 0,0148 \cdot d^2 + 6,43 \cdot d - 645,81. n = 0,72$
7	Розподіл часу початку випадання дощу в розрізі календарної доби осіннього періоду	$f(\tau_{\delta}) = 0,071 \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \{1 - 0,0896 \cdot t \cdot (t^2 - 3) - 0,0264 \cdot [t \cdot (t^2 - 2) - 3(t^2 - 1)]\}, t = \frac{\tau_{\delta} - 14,848}{5,591}$
8	Розподіл часу початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків (Вейбулла)	$f(\tau_{вл}) = 0,092 \cdot \left(\frac{\tau_{вл} - 221}{19,86}\right)^{0,821} \cdot \exp\left[-\left(\frac{\tau_{вл} - 221}{19,86}\right)^{1,821}\right]$
9	Закономірність зміни початкової маси коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків	$m_{пк} = -0,0934 \cdot \tau_{вл}^2 + 52,207 \cdot \tau_{вл} - 6757,8. n = 0,702$
10	Закономірність зміни максимального приросту маси коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків	$\Delta m_{к} = 0,0614 \cdot \tau_{вл}^2 - 33,789 \cdot \tau_{вл} + 4677,4. n = 0,708$
11	Закономірність оцінки математичного сподівання інтенсивності щодакного приросту маси (Δm) коренеплодів цукрових буряків [116]	$\Delta m = -0,0056 \cdot d^2 + 2,0722 \cdot d - 120,87. n = 0,981$

- нормального закону:

$$x = \sqrt{-2 \cdot \ln(\text{rnd})} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \text{rnd}) \cdot \sigma[x] + \bar{M}[x], \quad (3.16)$$

де a , b , c – відповідно параметри мірила, форми та зміщення теоретичного розподілу випадкової величини x ; rnd – рівномірно розподілені на інтервалі $0, \dots, 1$ псевдовипадкові числа; $\sigma[x]$, $\bar{M}[x]$ – відповідно середньоквадратичне відхилення та математичне сподівання випадкової величини x .

Відповідно до сформованої календарної осі часу та зафіксованих на ній базвих подій (рис. 3.5, а) наступними відображалися початкова маса коренеплодів $m_{\text{пк}}$ та їх приріст $\Delta m_{\text{к}}$ в розрізі осіннього періоду. Це дає змогу визначати поточну врожайність $U_{\text{п}}$ коренеплодів та виконати моделювання роботи бурякозбиральних комбайнів на площі S [116].

Початкові дані моделювання формувалися для перевалочної технології збирання коренеплодів. Вони включали: 1) площу цукрових буряків S , на якій необхідно виконати ТП; 2) тип та технічні характеристики бурякозбирального комбайна; 3) кількість операторів (трактористів та комбайнерів). Відображення у статистичній імітаційній моделі процесу обслуговування потоку замовлень на збирання врожаю коренеплодів відбувається із моменту настання відповідної події – часу початку $\tau_{\text{пз}}$ ТП. Зокрема, обсяг площі яку зібрано комбайном в j -ту добу відповідає його добовій продуктивності – $S_j = W_{\text{доб}}^j$, тоді площа, яка залишилася незібраною на кінець j -ї доби визначалась:

$$S_j^H = S_{j-1}^H - W_{\text{доб}}^j, \quad (3.17)$$

де S_{j-1}^H – площа, яка залишилась незібраною в попередню $j-1$ добу, га.

Незібрана площа S_j^H залишається на наступну $j+1$ добу і т.д. У разі виникнення непогожих проміжків ТП ЗЦБ призупиняють, тоді $S_j^H = S_{j-1}^H$. Аналогічні кроки в імітаційній моделі виконують до моменту збирання усієї площі цукрових буряків – $S = 0$ га.

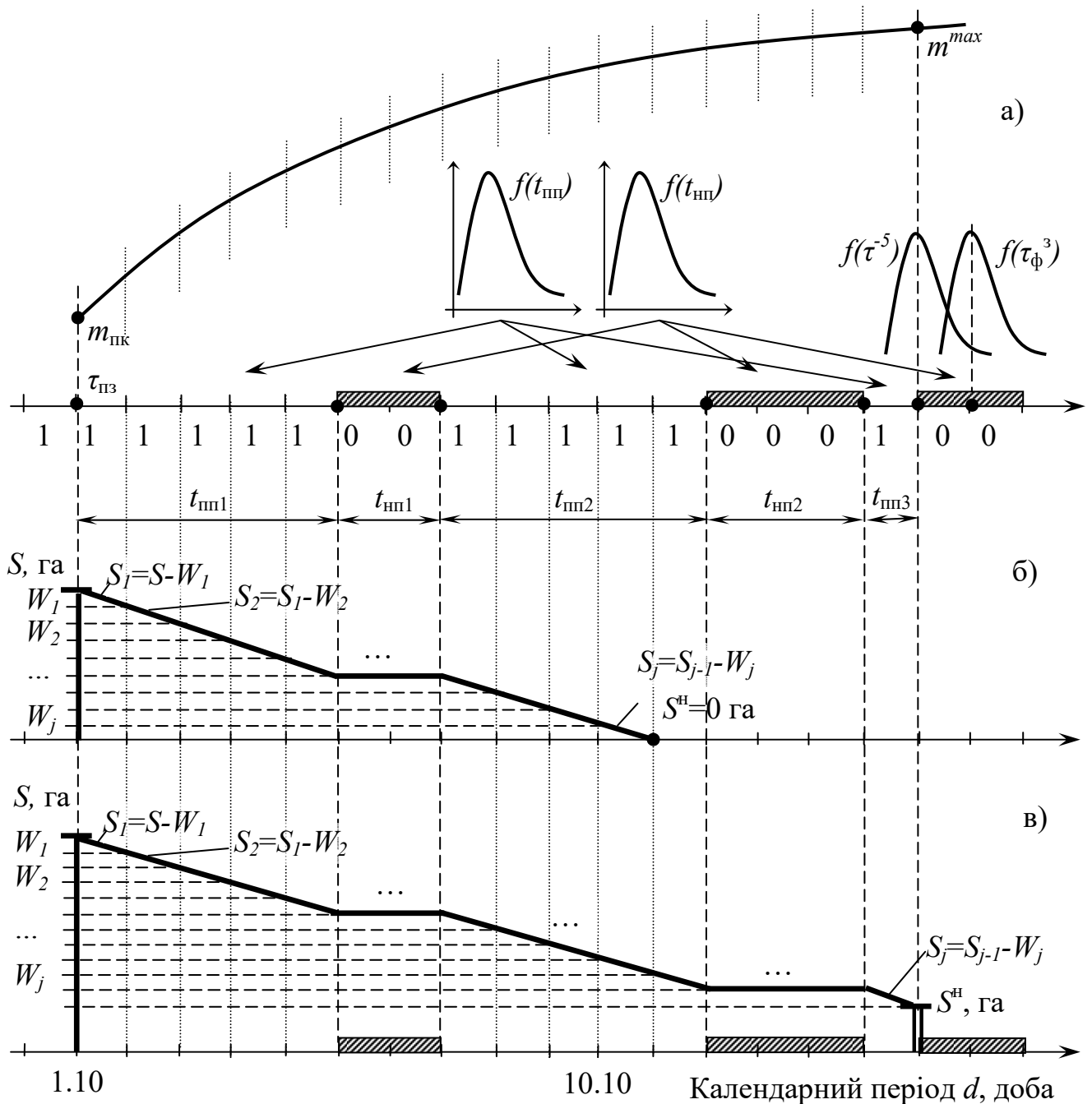


Рис. 3.5. Графічна інтерпретація методики відображення технологічного процесу збирання цукрових буряків імітаційною моделлю: а – базові біологічно-предметні та агрометеорологічно зумовлені події (відображають процеси досягання коренеплодів та зміну фізичного стану ґрунту); б – ТП ЗЦБ, що виконуються вчасно; в – ТП ЗЦБ, що виконуються несвоєчасно; $m_{\text{пк}}$ – початкова середня маса коренеплодів, г; $\tau_{\text{пз}}$ – час початку ТП ЗЦБ, доба; $t_{\text{пог}}, t_{\text{пог}}$ – відповідно тривалість погожих та непогожих проміжків; m^{max} – максимальна маса коренеплодів, г; $\tau^{\text{ф}}, \tau_{\text{ф}}^{\text{з}}$ – відповідно час виникнення заморозків та завершення фізичної стиглості ґрунту, доба

Методика визначення продуктивності ($W_{\text{доб}}$) бурякозбиральних комбайнів відома. Зокрема, моделювання ТП ЗЦБ у дисертаційній роботі виконано для технічного забезпечення (одиночного комплексу машин), який сформовано із комбайна (дод. Е.1), що обслуговується відповідним тракторним причепом-перевантажувачем (дод. Е.2). Зауважимо, що останній машинно-тракторний агрегат підбрано із врахуванням об'єму бункера комбайна та швидкості його наповнення, а також витрат часу на перевезення коренеплодів на край поля і їх вивантаження. Відповідно до цього, деструктивний вплив транспортних процесів на продуктивність бурякозбирального комбайна не виникає, а відтак це явище в статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ ідеалізовано.

Визначення добової продуктивності ($W_{\text{доб}}$) бурякозбирального комбайна у статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ виконували із врахуванням поточної врожайності ($U_{\text{п}}$) культури, типу полів [57;58;77] та природно зумовленого добового фонду часу $t_{\text{пдд}}$ на виконання цих ТП. Визначення $t_{\text{пдд}}$ відбувалось за вищеописаною методикою (див. п. 3.2) із використанням відповідних рівнянь та диференціальних функцій розподілу агрометеорологічно зумовлених подій (див. табл. 3.4), а також офіційних даних щодо годинної ($W_{\text{год}}$) продуктивності (див. дод. Е.) [57;58;77]:

$$W_{\text{доб}} = W_{\text{год}} \cdot t_{\text{пдд}}. \quad (3.18)$$

Зокрема, годинну продуктивність $W_{\text{год}}$ бурякозбирального комбайна визначали із врахуванням приросту поточної врожайності $U_{\text{п}}$ коренеплодів цукрових буряків для тої чи іншої d -ї календарної доби осіннього періоду (рис. 3.6).

Однак слід зазначити, що в розробленій статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ прийнято деякі обмеження та правила щодо обслуговування потоку замовлень: 1) моделювання ТП відбувається в межах чітко зафіксованих базових подій із відображенням наслідкових подій, біологічних та технологічних втрат; 2) виробнича площа цукрових буряків розглядається

як одне умовне поле; 3) збирання коренеплодів виконують у повному обсязі; 4) у разі настання події τ_ϕ^3 , або τ^5 ТП припиняють та визначають S^H .

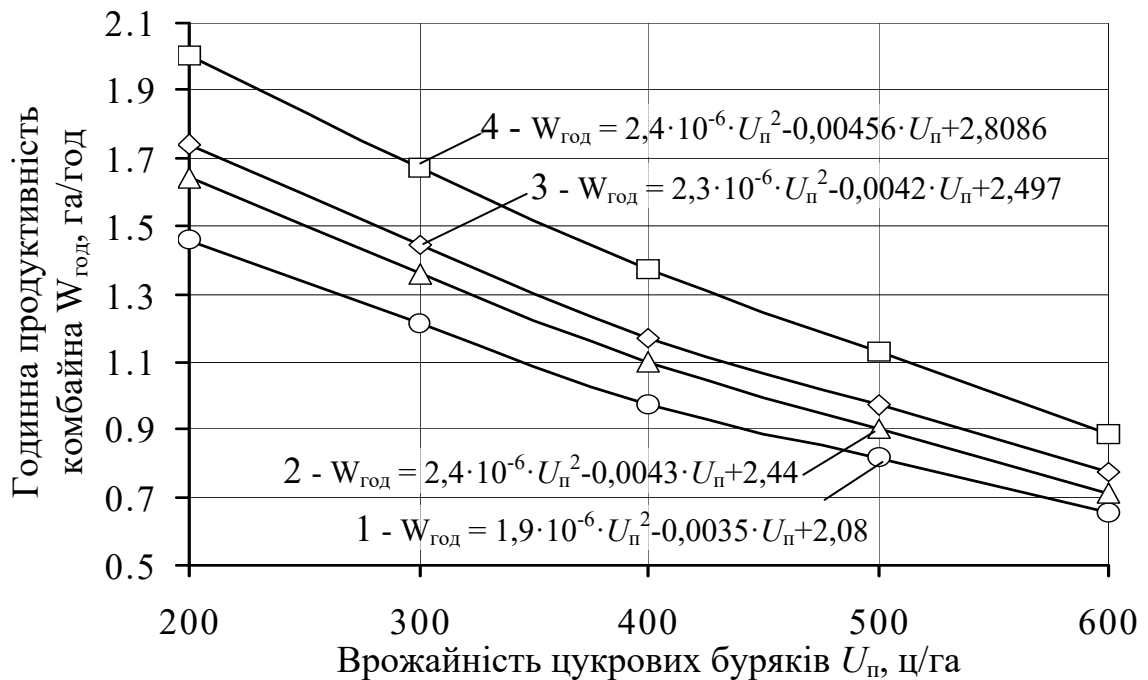


Рис. 3.6. Залежність годинної продуктивності бурякозбирального комбайна від врожайності цукрових буряків [56;77]: 1 – Franz Kleine SF-10-2 (275 кВт), ХТЗ-242К.20 + Franz Kleine LS 16; 2 – СКС-624 «Палессе BS624-1» (290 кВт), ХТЗ-243К.20 + Hawe Ruw 2500Т; 3 – Holmer Terra-Dos T2 (308 кВт), ХТЗ-243К.20 + Hawe Ruw 2500Т; 4 – Ropa Euro-Tiger V8-3 (444 кВт), Claas Axion 930+ТПЗ-49 Атлант+ПЗС-40.

Для визначення обсягів біологічних (Q_6) та технологічних втрат (Q_T) коренеплодів використано відому методику [116]. Зокрема, обсяг технологічних втрат у ТП ЗЦБ оцінюють відповідно до незібраної площі культури – S^H :

$$Q_T = U_{\text{п}} \cdot S^H, \quad (3.19)$$

де $U_{\text{п}}$ – поточна урожайність коренеплодів цукрових буряків на момент виникнення S^H , ц/га.

Для визначення Q_6 та Q_T , а також їх закономірностей зміни за різного $\tau_{\text{пз}}$ ТП ЗЦБ та S необхідно виконати комп'ютерні експерименти із відповідною статистичною імітаційною моделлю. Комп'ютерні експерименти включали підготовчі етапи, аналіз та математичне опрацювання результатів моделювання [2;107]:

- 1) сформувані початкові дані та статистичні закономірності для відображення базових подій в імітаційній моделі;
- 2) розробити блок-схему алгоритму статистичної імітаційної моделі та її програмний код для ПК;
- 3) виконати попереднє моделювання ТП, валідацію моделі та перевірку її адекватності;
- 4) встановити мінімально потрібну кількість ітерацій моделі для відтворення впливу імовірнісних чинників ТП ЗЦБ;
- 5) виконати комп'ютерні експерименти із цією статистичною імітаційною моделлю;
- 6) опрацювати результати, встановити закономірності зміни функціональних показників ефективності та їх статистичні характеристики.

Отже, з метою виконання вищеописаних етапів розроблено блок-схему алгоритму статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ, який складається із 20 блоків (див. дод. А). На підставі цього алгоритму створено код комп'ютерної програми (див. дод. Б) у середовищі MS Visual Studio 2010 C# [164;166], яка складається із 330 рядків та займає 380 кБ фізичної пам'яті.

Перший елемент блок-схеми алгоритму імітаційної моделі призначений для її запуску із завданням процедури резервування місця в оперативній пам'яті для змінних та масивів, означення констант, формування масивів та їх типів, змінних, а також компіляції стандартних і розроблених процедур та функцій. Цей блок також ініціює введення початкових даних і присвоєння кількісних значень відповідним змінним у пам'яті ПК.

Другий блок запускає зовнішній цикл із приросту виробничої площі (S) цукрових буряків для якої необхідно змоделювати ТП ЗЦБ. Приріст площі S відбувається із кроком 20 га в межах від 60 до 300 га. Для кожного значення S в моделі передбачено визначення оцінок статистичних характеристик функціональних показників ефективності ТП. Це дає змогу побудувати їх залежності від виробничої площі цукрових буряків.

Третій та четвертий блоки також запускають вкладені цикли для Np^x реалізацій моделі ТП ЗЦБ та Np^x варіантів часу початку $\tau_{пз}$ ТП ЗЦБ.

Блок 5 призначений для запуску внутрішніх процедур з генерування та визначення початкових даних моделювання, які заносять у пам'ять ПК та викликають у наступних блоках.

Блок 6 призначений для обнулення масивів та змінних, що використовують у тілах циклів. Обнулення відповідних величин призначене для усунення можливих похибок між Np ітераціями. У цьому ж блоці формується масив $masM[1, j]$, який використовує процедури формування календарної осі із означеними в п. 2.3 базовими подіями ТП ЗЦБ.

Блок 7 запускає внутрішній цикл для виконання ТП впродовж кожної j -ї доби осіннього календарного періоду. Передбачено, що ТП ЗЦБ можуть виконуватися в таких часових рамках – $j = \tau_{пз} \dots \tau^{-5}$ (або τ_{ϕ}^3 залежно від того яка подія настане швидше).

У блоці 8 виконується перевірка чи поточна j -а доба є погожою. Якщо "так" то компілятор переходить до 9 блоку. У разі коли умова не виконується ініціюється наступний крок циклу для наступної $j+1$ доби виконання відповідних ТП.

У блоці 9 для кожної j -ї доби визначають поточну урожайність ($U_{п}$) коренеплодів та добовий фонд часу ($t_{пдд}$) на виконання ТП (відповідно до методики описаної в п. 3.2).

Блок 10 призначений для визначення добової продуктивності (W_{dob}) комбайна відповідно до попередньо згенерованих значень – $U_{пj}$ та $t_{пддj}$. Це здійснюється завдяки генератору псевдовипадкових величин, що разом із оберненими функціями відповідних розподілів (див. табл. 3.4) дає змогу відобразити вплив природних складових (агрометеорологічної та біологічно-предметної) на W_{dob} і зафіксувати отримане значення в основному масиві статистичної імітаційної моделі – $masM[1, j]$.

У блоці 11 відображаються обсяги виконаних робіт в j -у добу – $Plow4a = W_{dob}$.

Блок 12 перевіряє умову, чи всю виробничу площу цукрових буряків зібрано? Якщо збирання площі S завершено то переходять до блоку 17 для запису функціональних показників ТП у масив результатів моделювання $mas_Rez [1, Np^r]$. Якщо умова не виконується то компілятор переходить до наступного блоку 13.

У цьому блоці відбувається перевірка умови – " $j+1 = \tau^{-5}$ (або τ_{ϕ}^{\ominus})?" чи наступний день не відповідає календарному дню виникнення заморозків нижче -5°C , або дню завершення фізичної стиглості ґрунту після якого починається зимовий період. Якщо умова не виконується то компілятор переходить до блоку 7, який ініціює моделювання ТП ЗЦБ для наступного календарного дня. Коли умова блоку 13 виконується то компілятор послідовно виконує блоки 14, 15 та 16. В результаті цього у чисельному виразі визначаються функціональні показники ефективності – обсяг незібраних площ (S^H) для S -ї площі, Np^r -о року, $\tau_{пз}$ -о початку ТП, поточна урожайність $U_{п}$ коренеплодів на незібраній площі S^H та обсяг технологічних втрат $Q_{т}$.

Блок 17 призначений для запису функціональних показників ТП ЗЦБ масиві результатів $mas_Rez [1, Np^r]$: 1) обсяг незібраних площ S^3 , га; 2) обсяг біологічних втрат $Q_{б}$, ц; 3) обсяг технологічних втрат $Q_{т}$, ц. Виконання цього блоку є завершальним для циклу Np^r варіантів початку ТП, що зумовлює перехід до наступного Np^r і т.д. Коли буде виконано Np^r циклів для відповідних меж $\tau_{пз} = 260 \dots 320$ із кроком 1 то компілятор повернеться до блоку 3 і т.д.

Аналогічно для завершення циклів у блоках 3 та 2. Останній блок переводить компілятор до блоку 18 в якому запускаються процедури розрахунку статистичних характеристик функціональних показників ТП із масиву – $mas_Rez [1, Np^r]$.

Останнім виконується блок 19, яким фіксуються статистичні характеристики функціональних показників ефективності ТП ЗЦБ у зовнішніх файлах для $S = 60...320$ га. Наступним на екран монітору виводиться повідомлення про завершення моделювання.

Таким чином, об'єктивне відображення впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових ТП ЗЦБ на фонд часу для функціонування бурякозбиральних комбайнів – важлива передумова адекватного відображення цих ТП у відповідній статистичній імітаційній моделі, а відтак отримання об'єктивних результатів комп'ютерних експериментів.

Висновки до розділу 3

1. Специфіка поставлених завдань дослідження зумовлює потребу поєднання виробничих спостережень та комп'ютерних експериментів, які скеровані на системно-подієве відображення впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових ТП ЗЦБ на своєчасність їх виконання. Некерованість та стохастичність базових подій, що впливають на перебіг ТП, зумовлюють потребу розгляду функціональних показників у ймовірнісному виразі.

2. Методика виконання виробничих спостережень за впливом агрометеорологічної та біологічно-предметної складових ТП ЗЦБ ґрунтується на результатах спеціально організованих спостережень метеорологічної станції. На цій підставі отримано ретроспективну множину показників та виконано їх математичне опрацювання, що дало змогу сформулювати вичерпний перелік статистичних закономірностей для врахування часових обмежень на виконання ТП ЗЦБ в їх статистичній імітаційній моделі.

3. Методика моделювання ТП ЗЦБ зводиться до відображення впливу природних процесів на терміни їх виконання, а також до відображення щоденного перебігу бурякозбиральних робіт, які виконуються адаптивно до неперервного у часі приросту маси коренеплодів цукрових буряків, їх досягання та зміни фізичної стиглості ґрунту під стохастичним впливом агрометеорологічних умов осіннього періоду.

4. Розроблена методика обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ ґрунтується на результатах статистичного імітаційного моделювання цих ТП за системно-подієвого відображення перебігу бурякозбиральних робіт у часі. Багаторазова реалізація цієї моделі дає змогу відобразити сукупний вплив часу початку ТП, виробничої площі цукрових буряків та заданого бурякозбирального комбайна на функціональні показники ефективності за стохастичного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ТА БІОЛОГІЧНО-ПРЕДМЕТНОЇ СКЛАДОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

4.1. Результати визначення впливу агрометеорологічної складової на фонд часу для збирання коренеплодів

Врахування впливу агрометеорологічної складової на перебіг ТП дає змогу об'єктивно встановити статистичні закономірності зміни їх функціональних показників ефективності. Зокрема, для врахування впливу агрометеорологічної складової ТП ЗЦБ виконано збір, систематизацію та опрацювання відповідних даних (див. п. 3.2). На основі опрацювання звітів спостережень (ТСХ-1, КМ-1) Вол.-Волинської метеорологічної станції за станом верхніх шарів (0-2, 2-10см) ґрунту (для періоду 45 років – 1971-2016 рр.) та часом і обсягами випадання дощу (для 16 років – 2000-2016 рр.) побудовано наступні ряди емпіричних даних (для календарного періоду з 1 вересня до 30 листопада): 1) тривалості ($t_{\text{пдд}}$) природно дозволеного добового фонду часу на виконання ТП ЗЦБ; 2) тривалості ($t_{\text{пд}}$) природно дозволеного фонду часу для цих ТП впродовж осіннього періоду; 3) час ($\tau_{\text{д}}$) випадання дощу в розрізі доби.

Отже, керуючись вимогами до організаційних режимів роботи комбайнерів та визначивши тривалість світлової частини доби й час випадання дощу (котрий перезволожує ґрунт і унеможлиблює роботу бурякозбиральних комбайнів) нами встановлено кількісні значення та побудовано емпіричні ряди даних щодо тривалості $t_{\text{пдд}}$ в розрізі тої чи іншої календарної доби осіннього періоду.

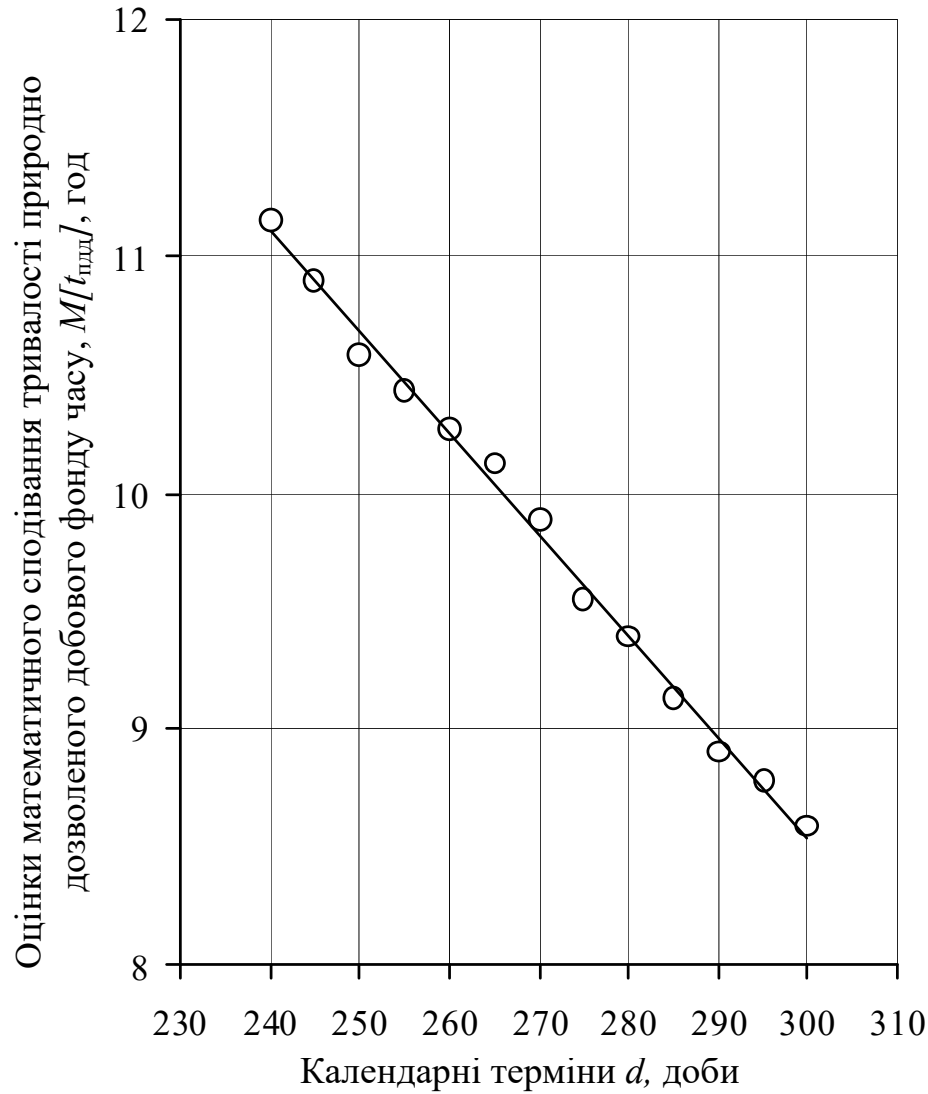


Рис. 4.1. Закономірність зміни оцінок математичного сподівання тривалості природно дозволеного добового фонду часу на виконання ТП ЗЦБ

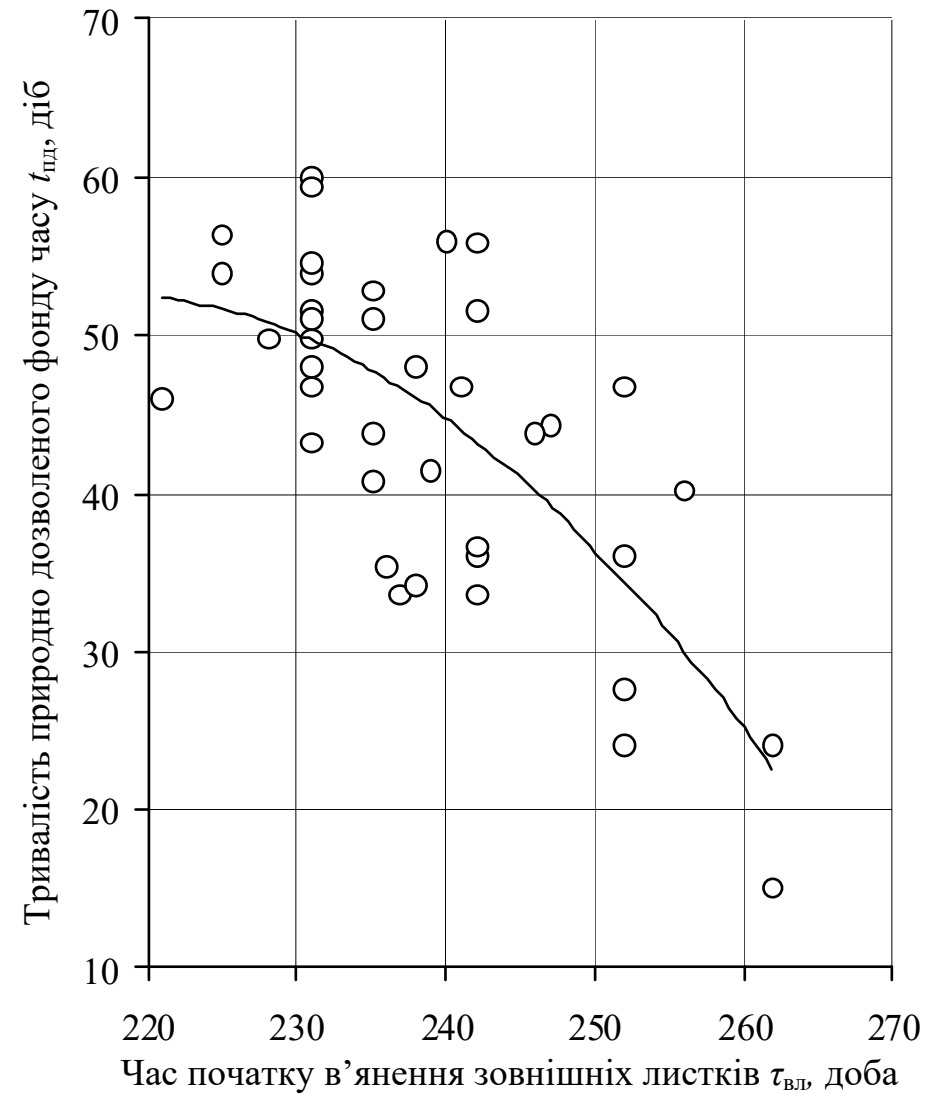


Рис. 4.2. Залежність тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання ТП ЗЦБ від часу початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків

Наступне використання методів математичної статистики і кореляційно-регресійного аналізу для опрацювання множини показників $t_{\text{пдд}}$ дало змогу обґрунтувати закономірність зміни оцінок їх математичного сподівання ($\bar{M} [t_{\text{пдд}}]$) (див. рис. 4.1) для відповідного календарного періоду. Рівняння цієї лінійної закономірності має вигляд:

$$\bar{M} [t_{\text{пдд}}] = -0,0428 \cdot d + 21,371. \quad (4.1)$$

Коефіцієнт кореляції $r = -0,995$ підтверджує гіпотезу про обернену кореляційну закономірність.

Аналіз результатів опрацювання даних щодо часу початку ($\tau_{\text{вл}}$) в'янення зовнішніх листків цукрових буряків та наступної кількості днів за яких агрометеорологічні умови дозволяють виконувати ТП ЗЦБ, дав змогу обґрунтувати обернену кореляційну залежність (див. рис. 4.2) тривалості ($t_{\text{пд}}$) природно дозволеного фонду часу від $\tau_{\text{вл}}$. Квадратичне рівняння цієї залежності має вигляд:

$$t_{\text{пд}} = 0,0148 \cdot \tau_{\text{вл}}^2 + 6,43 \cdot \tau_{\text{вл}} - 645,81 \quad (4.2)$$

Кореляційне відношення, яке становить $-n = -0,720$, підтверджує наявність кореляційної залежності.

Щодо часу ($\tau_{\text{д}}$) випадання дощу то аналіз відповідних емпіричних даних здійснено із використанням методів математичної статистики [23;87;88]. Це дало змогу побудувати варіаційні ряди та встановити статистичні характеристики цієї ймовірнісної величини. Зокрема, застосування критерію χ^2 Пірсона за стандартизованими методиками [89] дало змогу обґрунтувати розподіл $\tau_{\text{д}}$ (рис. 4.3), який узгоджується із чотири параметричним теоретичним законом Лапласа-Шарльє [144]. Диференціальна функція розподілу $\tau_{\text{д}}$ має вигляд:

$$f(\tau_{\text{д}}) = 0,071 \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \left\{ 1 - 0,0896 \cdot t \cdot (t^2 - 3) - 0,0264 \cdot [t \cdot (t^2 - 2) - 3(t^2 - 1)] \right\}, \quad (4.3)$$

де t – відносна величина, $t = \frac{\tau_{\text{д}} - 14,848}{5,591}$.

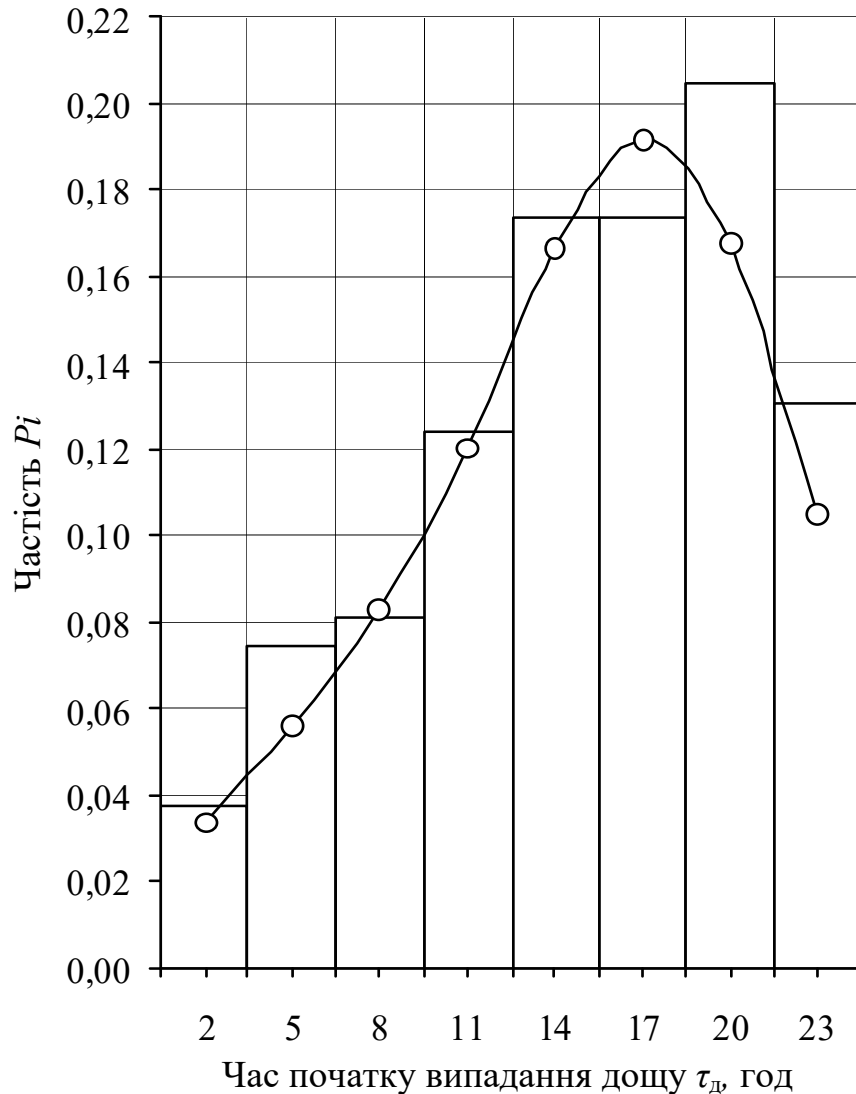


Рис. 4.3. Розподіл часу початку випадання дощу в розрізі календарних днів осіннього періоду

Головні статистичні характеристики розподілу τ_d наступні: оцінки математичного сподівання – $\bar{M}[\tau_d] = 14,85$ доба; коефіцієнт варіації – $\nu[\tau_d] = 0,404$. Довірчий інтервал τ_d становить 1...24 години. Інші статистичні характеристики наведено в дод. В, табл. В.1.

Отже, встановлені закономірності (4.1-4.3) доповнюють базу початкових даних для відображення впливу агрометеорологічної складової на часові характеристики виконня ТП ЗЦБ. Це відіграє важливу роль в об'єктивному відображенні ТП за допомогою статистичної імітаційної

моделі, а відтак в отриманні достовірних результатів комп'ютерних експериментів.

4.2. Результати визначення закономірностей досягання цукрових буряків та формування початкових умов для технологічного процесу їх збирання

Календарні терміни досягання цукрових буряків та, зокрема, настання біологічної й технологічної стиглості коренеплодів, зумовлюють початок ТП ЗЦБ та безпосередньо впливають на природно дозволений фонд часу на їх виконання. Окрім того, темпи нагромадження маси та цукристості коренеплодів в осінній період об'єктивно підвищують вагомість завдання щодо своєчасного виконання цих ТП з метою забезпечення мінімальних технологічних втрат.

Для відображення базових подій в імітаційній моделі ТП ЗЦБ щодо досягання коренеплодів нами опрацьовано звіти виробничих спостережень (див. п. 3.3) Вол.-Волинської метеорологічної станції. Систематизація та математичне опрацювання відповідних даних (для періоду 38 років – 1978-2016 рр. та сорту «Ялтушковський однонасінний»), дало змогу обґрунтувати:

- 1) розподіл часу ($\tau_{\text{вл}}$) початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків;
- 2) розподіл середньої початкової маси ($m_{\text{пк}}$) коренеплодів цукрових буряків на момент в'янення зовнішніх листків;
- 3) закономірність зміни $m_{\text{пк}}$ за різного $\tau_{\text{вл}}$;
- 4) закономірність зміни максимального приросту маси ($\Delta m_{\text{к}}$) коренеплодів за різного $\tau_{\text{вл}}$.

На підставі систематизованих показників побудовано варіаційні ряди емпіричних даних щодо часу початку ($\tau_{\text{вл}}$) в'янення зовнішніх листків цукрових буряків. Опрацювання цих даних за відомими методами математичної статистики [23;87-89], дало змогу на підставі критерію χ^2 Пірсона встановити, що емпіричний розподіл $\tau_{\text{вл}}$ (рис. 4.4) узгоджується із

трипараметричним теоретичним законом Вейбулла [88]. Диференціальна функція розподілу $\tau_{\text{вл}}$ описується рівнянням:

$$f(\tau_{\text{вл}}) = 0,092 \cdot \left(\frac{\tau_{\text{вл}} - 221}{19,86} \right)^{0,821} \cdot \exp \left[- \left(\frac{\tau_{\text{вл}} - 221}{19,86} \right)^{1,821} \right]. \quad (4.4)$$

Головні статистичні характеристики розподілу $\tau_{\text{вл}}$ наступні: математичне сподівання – $\bar{M}[\tau_{\text{вл}}] = 238,7$ доба; коефіцієнт варіації – $\nu[\tau_{\text{вл}}] = 0,565$. Довірчий інтервал $\tau_{\text{вл}}$ становить 221...263 доби. Інші статистичні характеристики наведено в дод. В., табл. В.2.

Використання аналогічної методики для опрацювання даних спостережень за ростом та розвитком цукрових буряків дало змогу сформуванню ретроспективну множину показників щодо середньої початкової маси ($m_{\text{пк}}$) їх коренеплодів на момент $\tau_{\text{вл}}$. В результаті цього, обґрунтовано розподіл $m_{\text{пк}}$ (рис. 4.5), який узгоджується із теоретичним розподілом Вейбулла. Диференціальна функція розподілу наступна:

$$f(m_{\text{пк}}) = 0,009 \cdot \left(\frac{m_{\text{пк}} - 165,7}{238,213} \right)^{1,097} \cdot \exp \left[- \left(\frac{m_{\text{пк}} - 165,7}{238,213} \right)^{2,097} \right]. \quad (4.5)$$

Головні статистичні характеристики розподілу $m_{\text{пк}}$: математичне сподівання – $\bar{M}[m_{\text{пк}}] = 376,7$ г, коефіцієнт варіації – $\nu[m_{\text{пк}}] = 0,50$. Довірчий інтервал $m_{\text{пк}}$ становить 165,7...622,0 г. Інші статистичні характеристики наведено в дод. В., табл. В.3.

З досліджень вчених агрономів відомо [96;97;99;100;124;134], що довготривале збереження зеленого листка на стеблі культурних рослин та, зокрема, цукрових буряків зумовлює порівняно більше "наливання плодів" та, відповідно, більший приріст їх маси. Таким чином, для врахування в статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ зв'язку між $m_{\text{пк}}$ (на момент початку виконання ТП) та $\tau_{\text{вл}}$ нами формалізовано відповідну закономірність. (рис. 4.6). Ця закономірність описується поліномом другого ступеня:

$$m_{\text{пк}} = - 0,0934 \cdot \tau_{\text{вл}}^2 + 52,207 \cdot \tau_{\text{вл}} - 6757,8. \quad (4.6)$$

Кореляційне відношення $n = -0,702$ підтверджує зв'язок між $m_{\text{пк}}$ та $\tau_{\text{вл}}$.

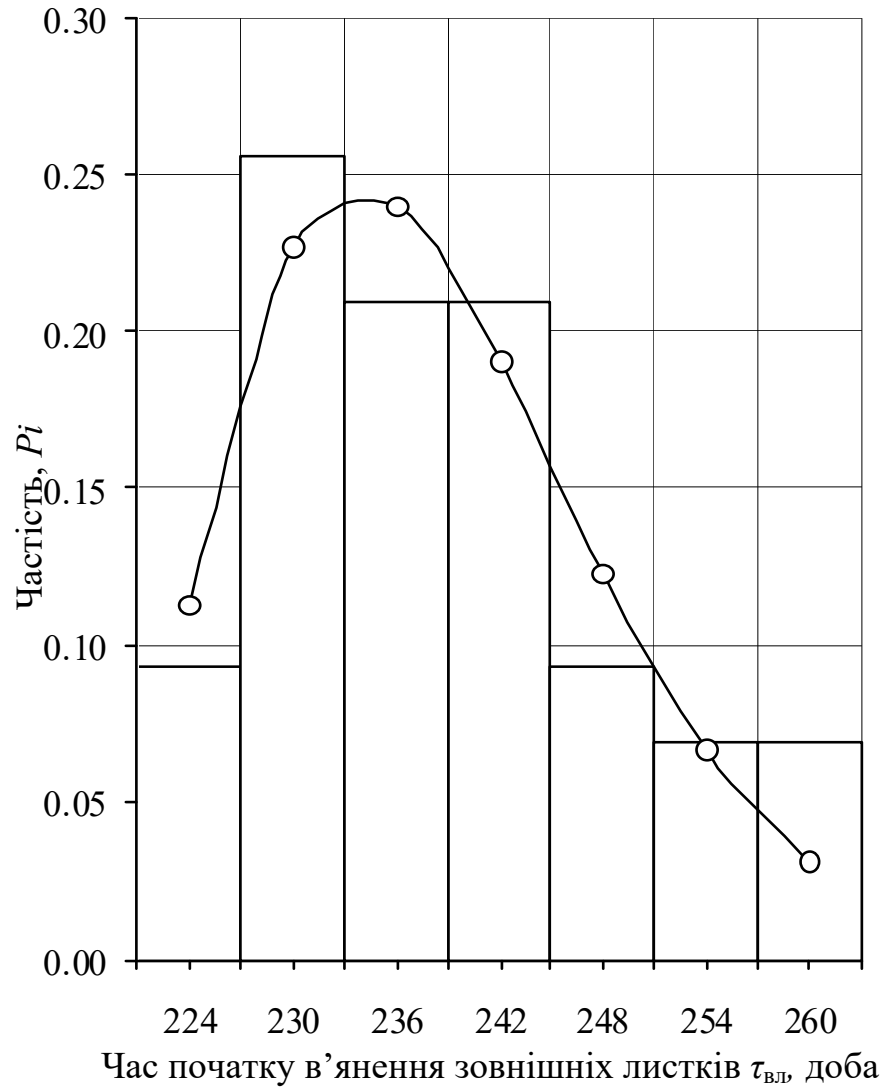


Рис. 4.4. Розподіл часу початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків (Вейбулла).

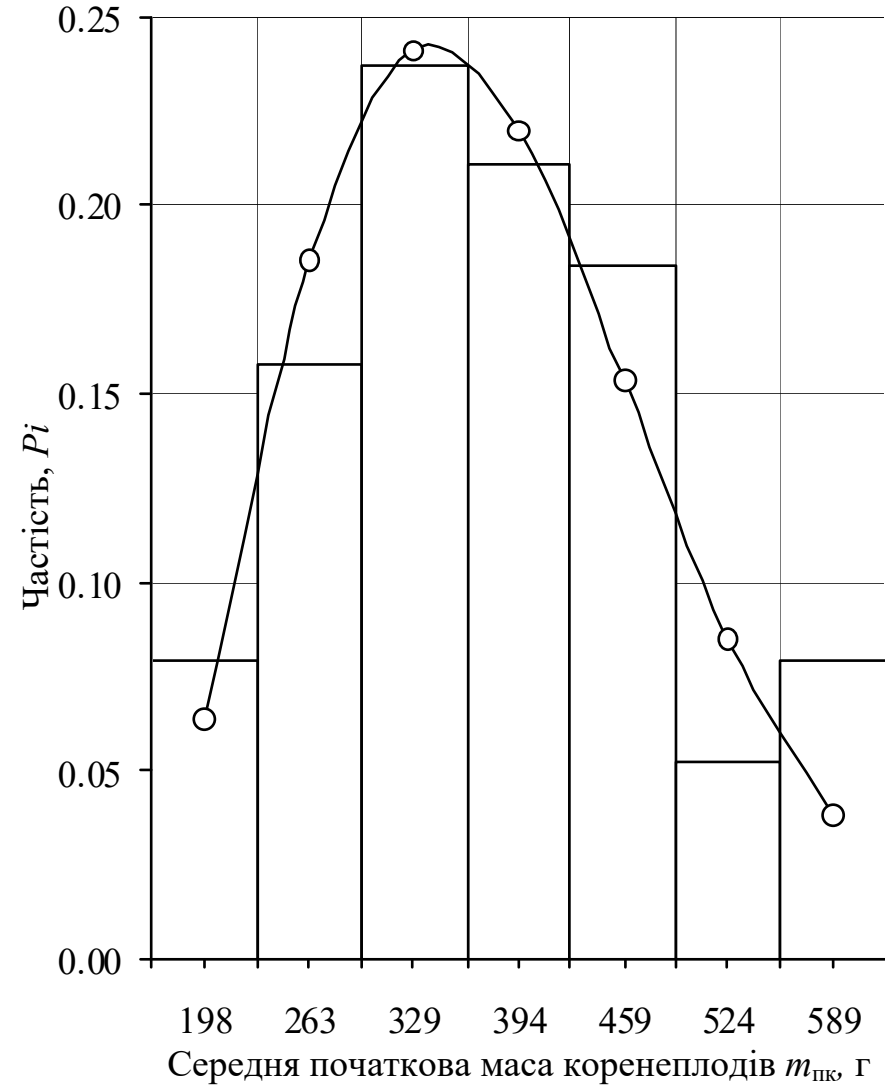


Рис. 4.5. Розподіл середньої початкової маси коренеплодів цукрових буряків на момент в'янення зовнішніх листків (Вейбулла).

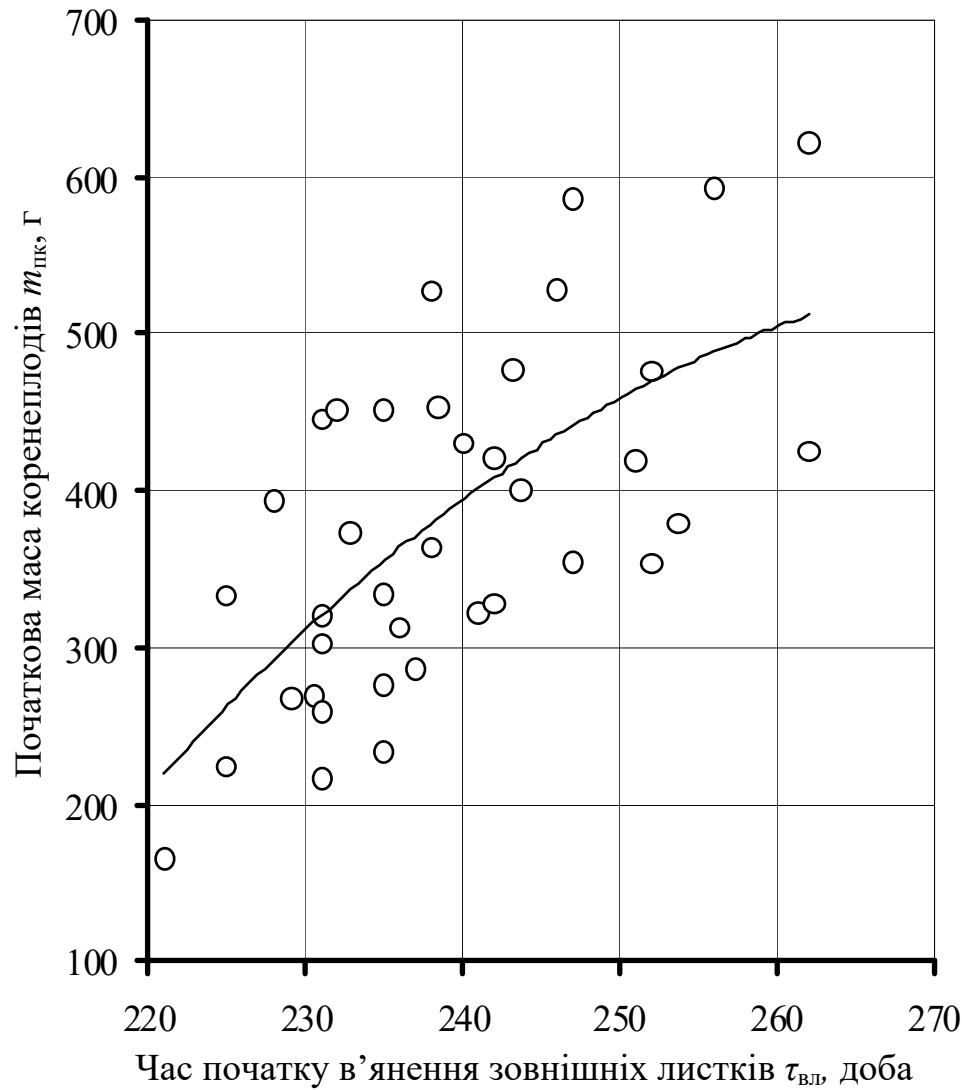


Рис. 4.6. Закономірність зміни початкової маси коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків

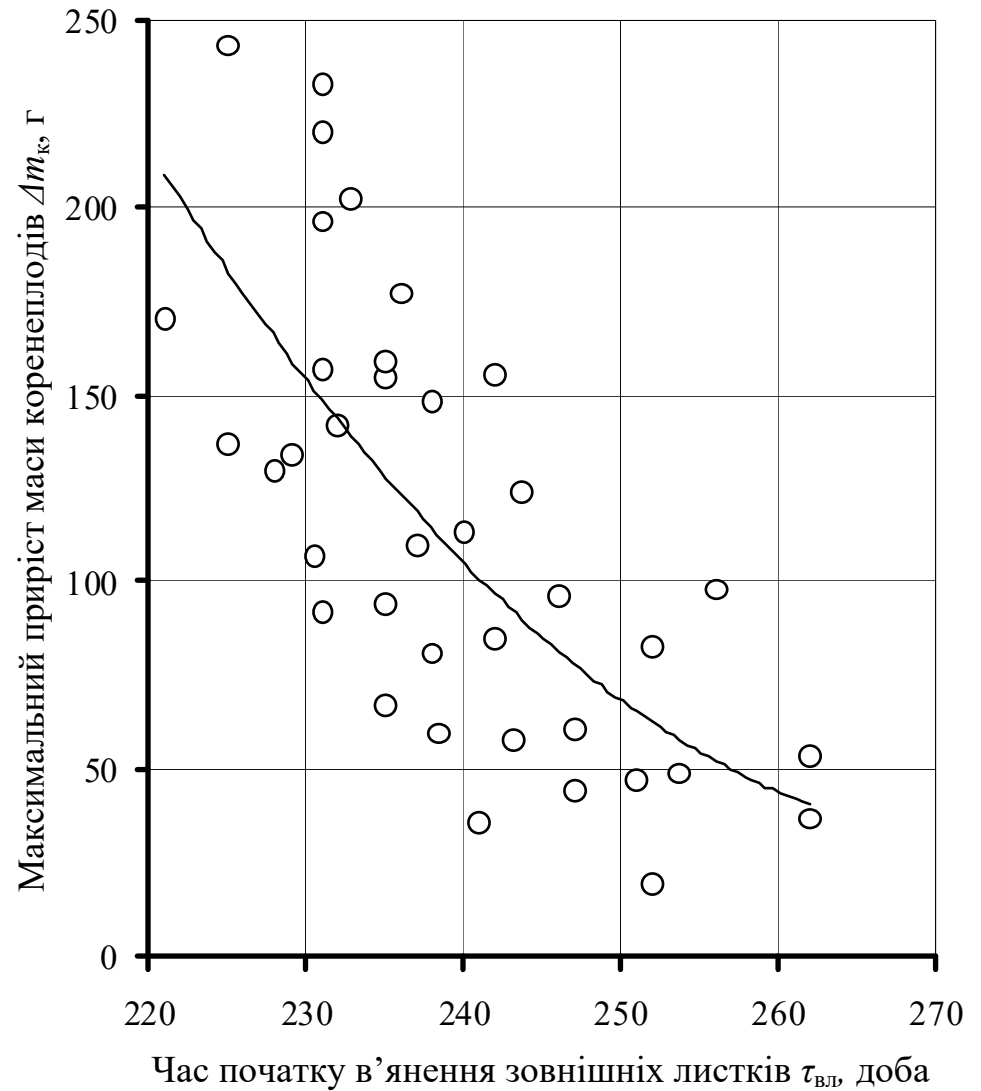


Рис. 4.7. Закономірність зміни максимального приросту маси коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків

За аналогічною методикою встановлено закономірність зміни максимального приросту маси Δm_k коренеплодів за різного $\tau_{вл}$ (рис. 4.7). Отримане рівняння залежності має вигляд:

$$\Delta m_k = 0,0614 \cdot \tau_{вл}^2 - 33,789 \cdot \tau_{вл} + 4677,4. \quad (4.7)$$

Значення кореляційного відношення $n = -0,708$ підтверджує наявність оберненої закономірності зміни вказаних показників.

Обґрунтовані розподіли та закономірності зміни відповідних показників, що характеризують біологічно-предметну складову ТП ЗЦБ, дають змогу реалізувати методику системно-подієвого відображення роботи бурякозбиральних комбайнів в статистичній імітаційній моделі цих ТП. Поєднання статистичних закономірностей впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових дають змогу відобразити об'єктивні причини формування природно дозволеного фонду часу на виконання ТП ЗЦБ, а відтак оцінити їх своєчасність для заданих умов – часу початку збирання, виробничої площі культури та технічного забезпечення.

4.3. Результати оцінення впливу агрометеорологічних умов на відхилення термінів виконання технологічного процесу збирання цукрових буряків

Загальновідомо, що через таку біологічну особливість формування врожаю коренеплодів цукрових буряків як приріст їх маси та цукристості в осінній період, цілком економічно вмотивовано виникає завдання зібрати весь урожай в якомога пізніші терміни і до початку заморозків. Однак, через стохастичність агрометеорологічних умов своєчасність виконання ТП ЗЦБ характеризуватиметься певною вірогідністю [116].

Саме тому, фонд часу для виконання згаданих ТП необхідно узгоджувати із природними процесами скорочення тривалості світлової частини доби, ймовірності виникнення непогожих проміжків, а також

початку зимового періоду. Для розкриття (див. п. 2.4) зв'язку між плановою (розрахунковою) тривалістю t_{36}^p ТП та природно зумовленим часом його початку $\tau_{пз}^n$, нами проведено статистичне імітаційне моделювання розвитку погодних умов осіннього періоду. Зокрема, визначення $\tau_{пз}^n$ ТП ЗЦБ здійснено для чотирьох варіантів t_{36}^p – 5, 10, 15 та 20 діб (рис. 4.8).

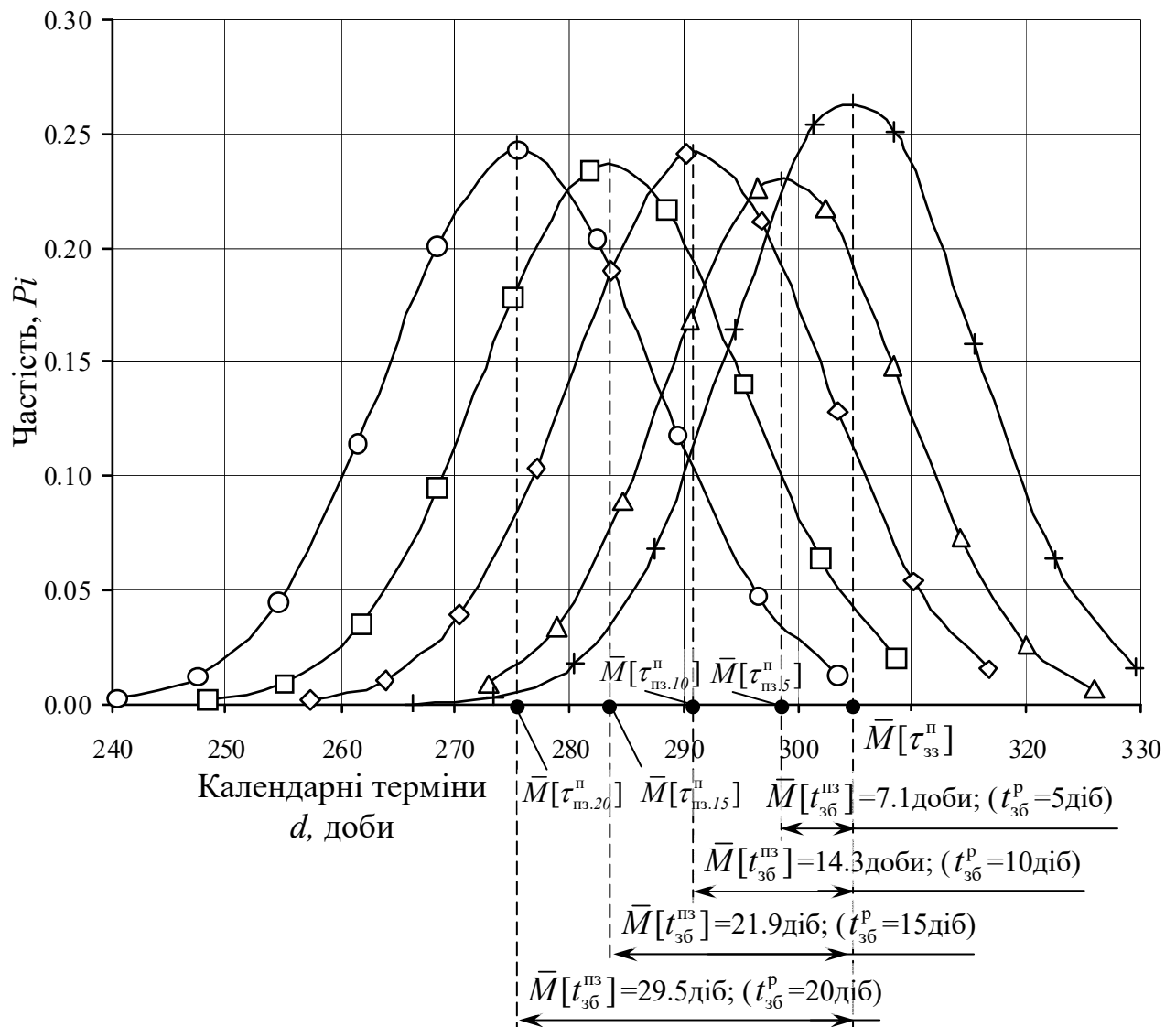


Рис. 4.8. Розподіл природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ за різної планової тривалості його виконання: $\bar{M}[\tau_{пз.5}^n], \bar{M}[\tau_{пз.10}^n], \bar{M}[\tau_{пз.15}^n], \bar{M}[\tau_{пз.20}^n]$ – відповідно оцінки математичного сподівання природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ за різної (5,10,15 та 20 діб) планової тривалості (t_{36}^p) їх виконання; $\bar{M}[\tau_{33}^n]$ – оцінки математичного сподівання природно зумовленого часу завершення ТП ЗЦБ, доба

Отримані результати моделювання опрацьовано за методами математичної статистики, що разом із застосуванням критерію χ^2 Пірсона дало змогу обґрунтувати розподіли $\tau_{пз}^n$. Диференціальні функції розподілу $\tau_{пз}^n$ наведено в табл. 4.1. Головні статистичні характеристики цих розподілів наведено в дод. В., табл. В.4-В.7.

Аналіз отриманих розподілів $\tau_{пз}^n$, а також даних щодо природно зумовленого часу завершення ($\tau_{зз}^n$) ТП переконує у значних межах відхилення зазначених показників.

Таким чином, вплив агрометеорологічних умов на природно зумовлені терміни початку й завершення ТП ЗЦБ зумовлює значні межі відхилень вірогідності своєчасного їх виконання.

Таблиця 4.1

Диференціальні функції розподілу та оцінки статистичних характеристик природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ

Планова (розрахункова) тривалість ТП ЗЦБ $t_{зб}^p$, діб	Диференціальна функція розподілу (нормальний закон розподілу)	Оцінки статистичних характеристик	
		$\bar{M}[\tau_{пз}^n]$, доба	$\nu[\tau_{пз}^n]$
5 діб	$f(\tau_{пз.5}^n) = 0,039 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_{пз.5}^n - 298,779)^2}{206,488} \right]$	298,8	0,353
10 діб	$f(\tau_{пз.10}^n) = 0,037 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_{пз.10}^n - 291,253)^2}{235,557} \right]$	291,2	0,291
15 діб	$f(\tau_{пз.15}^n) = 0,035 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_{пз.15}^n - 283,722)^2}{252,679} \right]$	283,722	0,290
20 діб	$f(\tau_{пз.20}^n) = 0,035 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_{пз.20}^n - 275,656)^2}{264,431} \right]$	275,656	0,297

Зокрема, побудова інтегральних залежностей розподілу $\tau_{пз}^n$ для різної планової тривалості виконання ТП ЗЦБ дає підстави констатувати, що розгляд тільки агрометеорологічної складової як визначального критерію для

обґрунтування часу початку цих ТП є некоректним. Зокрема встановлено, що за умови планування часу $\tau_{\text{пз}}$ ТП ЗЦБ у календарні терміни, які відповідають встановленим оцінкам математичного сподівання $\bar{M}[\tau_{\text{пз}.5}^{\text{п}}] = 298,8, \dots, \bar{M}[\tau_{\text{пз}.20}^{\text{п}}] = 275,6$ доби (табл. 4.1), вірогідність "правильного" рішення щодо виконання цих ТП знаходиться у межах $Pi = 0,61 \dots 0,621$ (рис. 4.9). Згідно з цим, а також з побудованими статистичними закономірностями приходимо до висновку, що час початку $\tau_{\text{пз}}$ ТП ЗЦБ необхідно розглядати у системній єдності із обсягами робіт та темпами їх виконання відповідним технічним забезпеченням. Як уже зазначалося, оцінку цієї своєчасності слід виконувати на підставі технологічного критерію – обсягів біологічних та технологічних втрат, а також їх наступного вартісного оцінення.

Опрацювання отриманих множин даних $\tau_{\text{пз}}^{\text{п}}$ за різних значень планової тривалості $t_{36}^{\text{п}}$ (1...30 діб) дало змогу встановити відповідну кореляційну залежність оцінок їх математичного сподівання $\bar{M}[\tau_{\text{пз}}^{\text{п}}]$ від $t_{36}^{\text{п}}$ (рис. 4.10). Рівняння цієї оберненої лінійної кореляційної залежності має вигляд:

$$\bar{M}[\tau_{\text{пз}}^{\text{п}}] = -1.5238 \cdot t_{36}^{\text{п}} + 306.52. \quad (4.8)$$

Високий коефіцієнт кореляції $r = -0,998$ вказує на пряму залежність $\bar{M}[\tau_{\text{пз}}^{\text{п}}]$ від $t_{36}^{\text{п}}$.

Слід також зауважити, що через вплив непогожих проміжків планова тривалість $t_{36}^{\text{п}}$ ТП ЗЦБ зростатиме. Такий прояв агрометеорологічної складової зумовлює підвищення вірогідності технологічних втрат у відповідному ТП, а відтак формує потребу врахування цього природно зумовленого явища для узгодження часу початку $\tau_{\text{пз}}$ ТП, виробничої площі S цукрових буряків та параметрів технічного забезпечення. Виконані нами комп'ютерні експерименти також дали змогу встановити вплив агрометеорологічних умов на "видовження" тривалості ТП ЗЦБ у порівнянні із її плановим значенням $t_{36}^{\text{п}}$ (рис. 4.11).

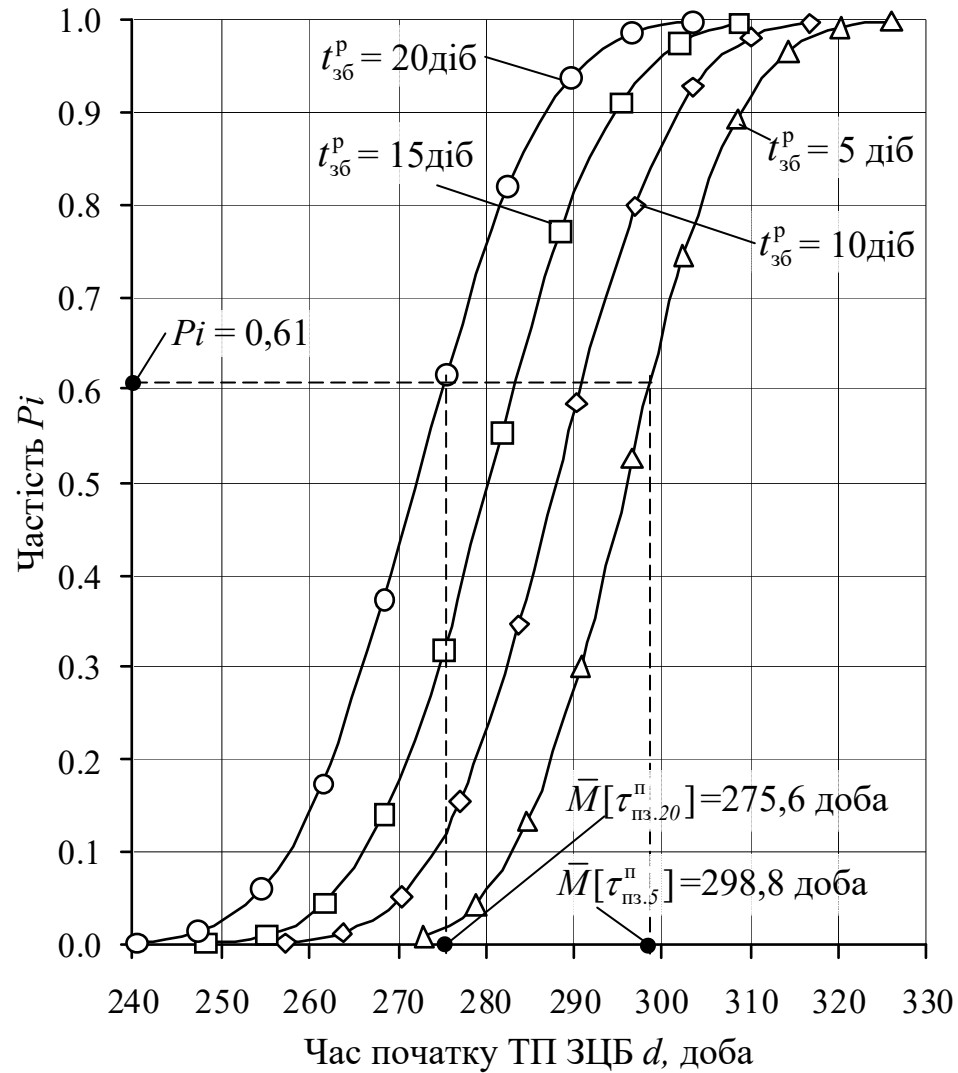


Рис. 4.9. Інтегральні залежності розподілу природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ за різної планової тривалості (t_{36}^p) його виконання

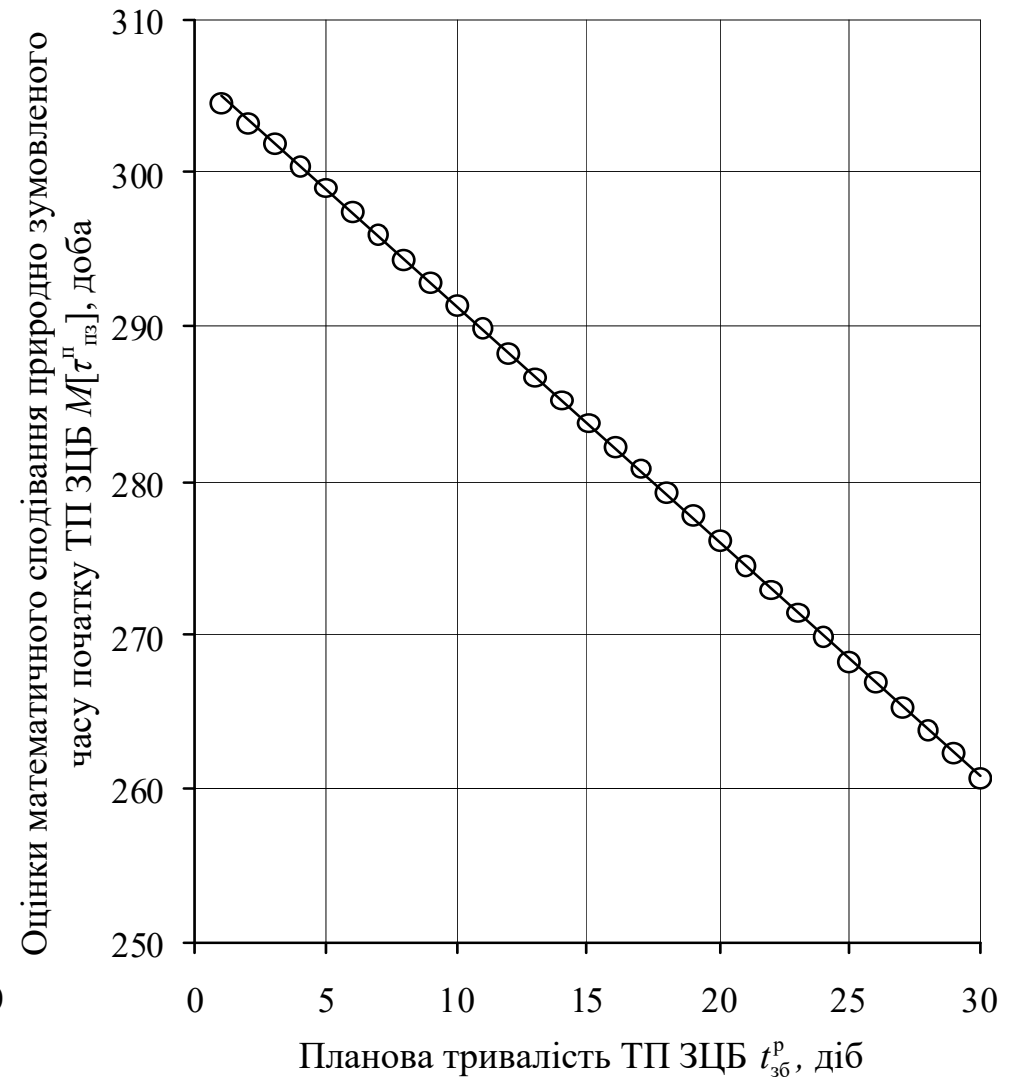


Рис. 4.10. Залежність оцінок математичного сподівання природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ від планової тривалості його виконання

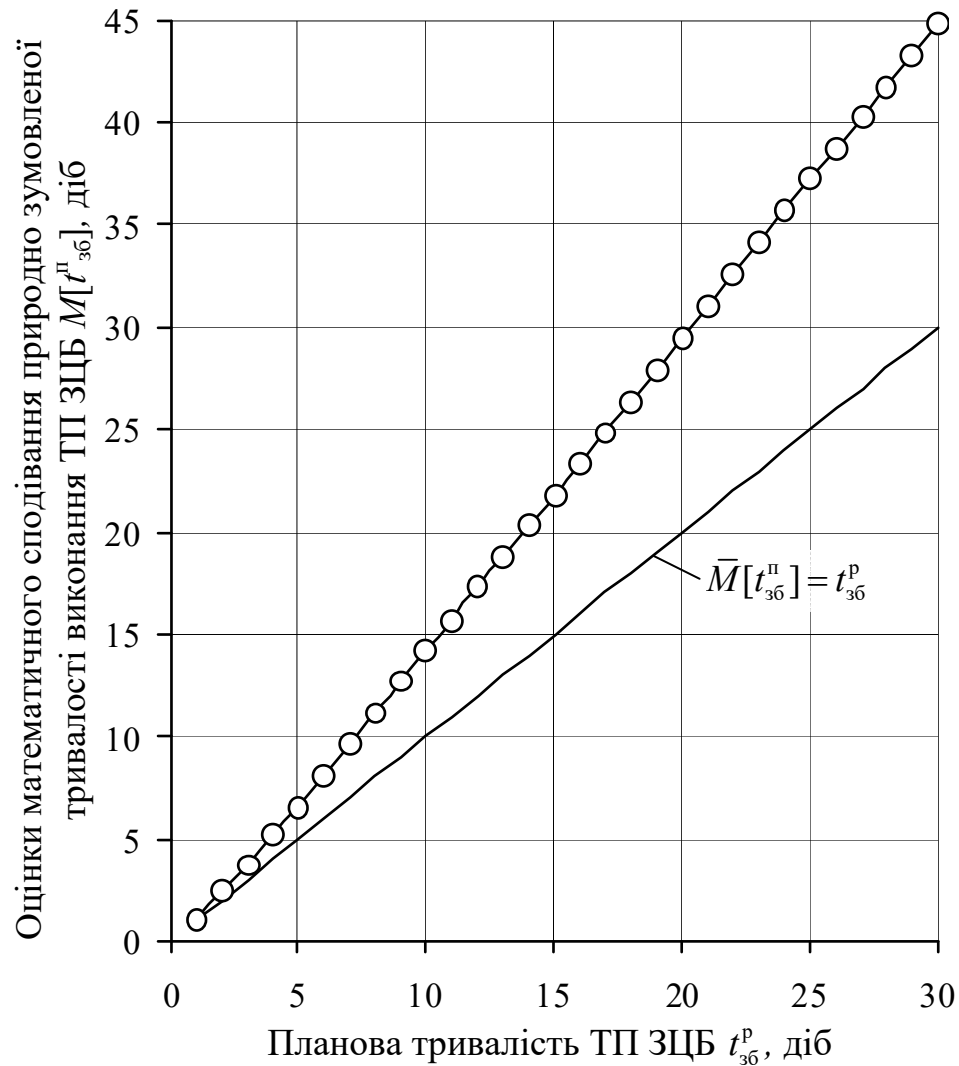


Рис. 4.11. Закономірність зміни оцінок

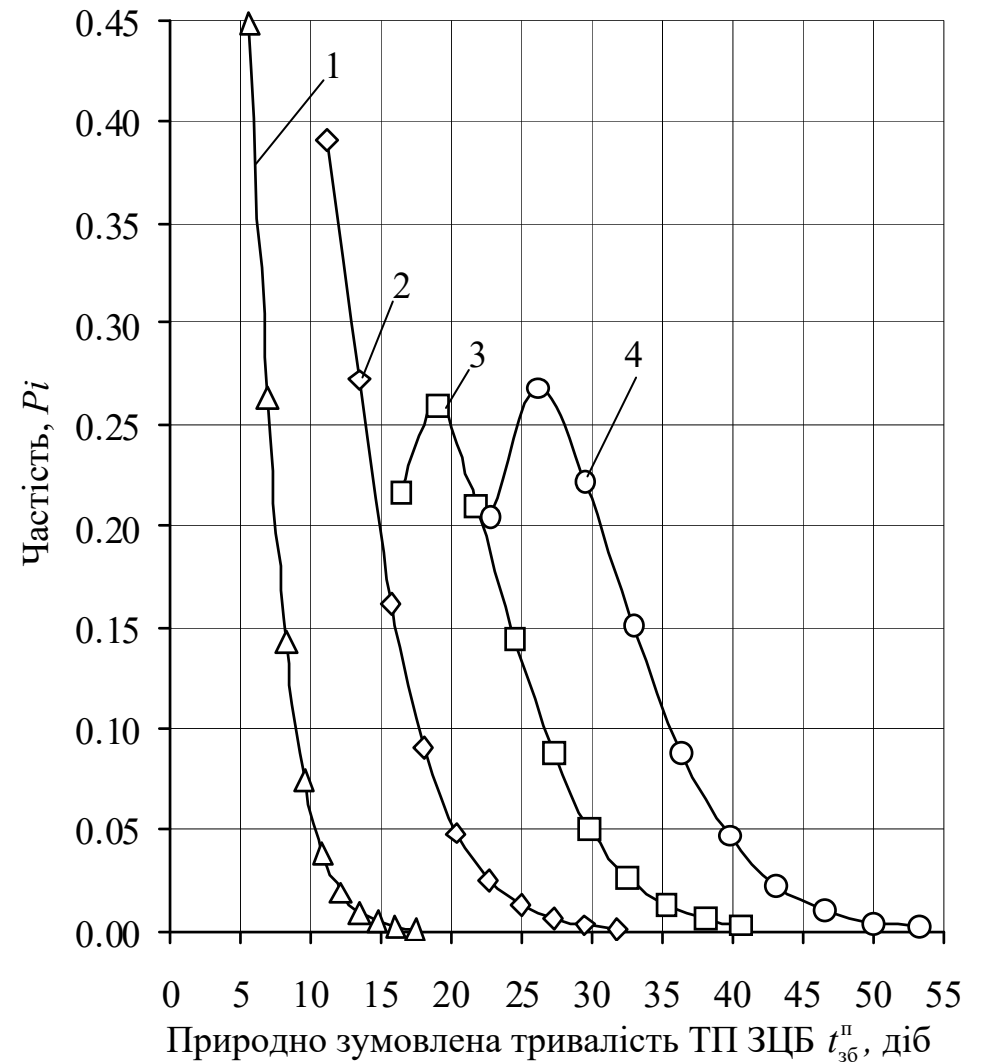


Рис. 4.12. Розподіли природно зумовленої тривалості

математичного сподівання природно зумовленої тривалості (t_{36}^n) виконання ТП ЗЦБ за різного планового її значення ТП ЗЦБ (порівняно із її плановим значенням)

(t_{36}^p): 1 – 5 діб; 2 – 10 діб; 3 – 15 діб; 4 – 20 діб

Отримана закономірність зміни оцінок математичного сподівання $\bar{M}[t_{36}^{\Pi}]$ за різної планової тривалості t_{36}^P ТР (див. рис. 4.11) підтверджує гіпотезу про те, що для порівняно більших значень t_{36}^P вплив непогожих проміжків на своєчасність ТП ЗЦБ буде відчутнішим. Це явище також формує об'єктивні причини простою технічного забезпечення через непогожі проміжки, а відтак позначається на сезонних обсягах виконаних робіт. Зокрема, закономірність зміни $\bar{M}[t_{36}^{\Pi}]$ відносно t_{36}^P має вигляд:

$$\bar{M}[t_{36}^{\Pi}] = 1.5238 \cdot t_{36}^P - 0.9413. \quad (4.9)$$

Значення коефіцієнту кореляції $r = 0,999$ констатує тісний зв'язок між зазначеними величинами.

Таблиця 4.2

Диференціальні функції розподілу та оцінки статистичних характеристик природно зумовленої тривалості виконання ТП ЗЦБ

Планова (розрахункова) тривалість ТП ЗЦБ t_{36}^P , діб	Диференціальна функція розподілу (Вейбулла)	Оцінки статистичних хар-к	
		$\bar{M}[\tau_{\Pi 3}^{\Pi}]$, доба	$\nu[\tau_{\Pi 3}^{\Pi}]$
5 діб	$f(t_{36.5}^{\Pi}) = 0,498 \cdot \left(\frac{t_{36.5}^{\Pi} - 5}{2,169}\right)^{0,079} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t_{36.5}^{\Pi} - 5}{2,169}\right)^{1,079}\right]$	7,115	0,939
10 діб	$f(t_{36.10}^{\Pi}) = 0,258 \cdot \left(\frac{t_{36.10}^{\Pi} - 10}{4,472}\right)^{0,154} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t_{36.10}^{\Pi} - 10}{4,472}\right)^{1,154}\right]$	14,265	0,879
15 діб	$f(t_{36.15}^{\Pi}) = 0,19 \cdot \left(\frac{t_{36.15}^{\Pi} - 15}{7,624}\right)^{0,451} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t_{36.15}^{\Pi} - 15}{7,624}\right)^{1,451}\right]$	21,910	0,698
20 діб	$f(t_{36.20}^{\Pi}) = 0,161 \cdot \left(\frac{t_{36.20}^{\Pi} - 21}{9,492}\right)^{0,528} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t_{36.20}^{\Pi} - 21}{9,492}\right)^{1,528}\right]$	29,546	0,664

Також встановлено (див. рис. 4.12), що за збільшення планової тривалості t_{36}^P ТП межі розкиду ймовірнісної величини t_{36}^{Π} зростатимуть.

Зокрема, застосування методів математичної статистики для опрацювання відповідних множин даних t_{36}^n , дали змогу встановити те, що їх емпіричні розподіли узгоджуються із теоретичним законом розподілу Вейбулла (див. табл. 4.2).

Головні статистичні характеристики цих розподілів наведено в дод. В., табл. В.8-В.11.

Таким чином, врахування впливу агрометеорологічної складової на формування природно зумовлених термінів виконання ТП ЗЦБ відіграє важливу роль в оціненні своєчасності їх виконання та оціненні вірогідності технологічних втрат врожаю коренеплодів, а відтак дає змогу об'єктивно обґрунтувати параметри технічного забезпечення цих ТП.

Висновки до розділу 4

1. Сукупний вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових ТП ЗЦБ характеризується стохастичністю та об'єктивно формує природно зумовлені терміни його виконання. Врахування цієї особливості дає змогу оцінити своєчасність виконання відповідного ТП за заданої площі цукрових буряків та технічного забезпечення.

2. Опрацювання результатів виробничих спостережень Вол.-Волинської метеорологічної станції за станом верхніх шарів ґрунту (0-2, 2-10 см) та часом і обсягами випадання дощу дало змогу встановити те, що природно дозволений фонд часу для ТП ЗЦБ об'єктивно скорочується за пізніх календарних термінів його виконання (див. рис. 4.1-4.2). Зокрема, застосування методів математичної статистики та критерію χ^2 Пірсона дало змогу обґрунтувати розподіл часу початку випадання дощу в розрізі календарної доби осіннього періоду, який узгоджується із чотирипараметричним законом Лапласа-Шарльє і має наступні статистичні характеристики – $\bar{M}[\tau_\delta] = 14,85$ доба, $v[\tau_\delta] = 0,404$.

3. Використання даних спостережень метеорологічної станції за досяганням врожаю цукрових буряків дало змогу обґрунтувати розподіл часу початку ($\tau_{\text{вл}}$) в'янення зовнішніх листків та розподіл середньої початкової маси ($m_{\text{пк}}$) коренеплодів цієї культури. Емпіричні розподіли цих ймовірнісних показників узгоджуються із теоретичним законом розподілу Вейбула та мають наступні статистичні характеристики: $\bar{M}[\tau_{\text{вл}}] = 238,7$ доба, $\nu[\tau_{\text{вл}}] = 0,565$ та $\bar{M}[m_{\text{пк}}] = 376,7$ г, $\nu[m_{\text{пк}}] = 0,5$.

4. Застосування методів кореляційно-регресійного аналізу для формалізації закономірностей досягання врожаю цукрових буряків дало змогу встановити: 1) закономірність зміни початкової маси ($m_{\text{пк}}$) коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків культури (див. рис. 4.6); 2) закономірність зміни максимального приросту маси ($\Delta m_{\text{к}}$) коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків (див. рис. 4.7). Встановлені коефіцієнти кореляції підтверджують наявність кореляційної залежності $m_{\text{пк}}$ та $\Delta m_{\text{к}}$ від $\tau_{\text{вл}}$ (формули 4.6 та 4.7).

5. Обґрунтовані розподіли та статистичні закономірності впливу агрометеорологічної й біологічно-предметної складових дають змогу об'єктивно відобразити ТП ЗЦБ у їх статистичній імітаційній моделі. Розроблення цієї моделі та виконання комп'ютерних експериментів дає змогу отримати функціональні показники ефективності відповідних ТП, а відтак узгодити час їх початку та виробничу площу цукрових буряків із параметрами технічного забезпечення.

РОЗДІЛ 5

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1. Результати перевірки статистичної імітаційної моделі на адекватність

Відповідно до методології моделювання [2;85;107], перед початком комп'ютерних експериментів необхідно перевірити розроблену статистичну імітаційну модель ТП ЗЦБ на адекватність реальним ТП. Для цього використано відому методику перевірки адекватності імітаційної моделі та, зокрема, непараметричний критерій Манна-Уїтні [84]. Цей критерій призначений для перевірки гіпотези H_0 про те, що функції розподілів M і F двох генеральних сукупностей є однаковими $H_0: M = F$. Гіпотеза перевіряється за даними двох незалежних вибірок (x_1, x_2, \dots, x_n) і (y_1, y_2, \dots, y_n) із обсягами n_1 і n_2 , які одержані із цих сукупностей. В основу критерію покладено статистику U , яка є числом інверсій, що відображають дійсний порядок елементів вибірки x_1, x_2, \dots, x_n відносно вибірки (y_1, y_2, \dots, y_n) , за умови використання елементів кожної вибірки у порядку зростання, або спадання.

Для перевірки гіпотези H_0 статистика U порівнюється із критичним значенням U_{n_1, n_2} , яке знаходиться за критерієм Манна-Уїтні. Якщо $U > U_{n_1, n_2}$ то гіпотеза відхиляється. Коли модель виявляється неадекватною реальним ТП, то необхідно: 1) коректувати алгоритм та статистичну імітаційну модель; 2) вносити зміни у математичну модель та код комп'ютерної програми; 3) повторно моделювати виконання ТП ЗЦБ і за отриманими результатами здійснити перевірку моделі на адекватність згідно із вищеописаною методикою.

Отже, перевірку адекватності моделі здійснено на підставі такого функціонального показника ТП ЗЦБ як питомі обсяги (Q_T) технологічних

втрата врожаю коренеплодів цукрових буряків. Для цього використано офіційні звітні дані ТОВ «П'ятидні» Вол.-Волинського району Волинської області щодо усередненого значення – Q_T для двох років (2016-2017 рр.) виконання ТП ЗЦБ в реальних умовах. Згідно із методикою перевірки адекватності моделі [84], нами виконано 25 ітерацій статистичної імітаційної моделі й отримано «модельоване» значення Q_T для ТП ЗЦБ, що виконувався бурякозбиральним комбайном – СКС-624 «Палессе BS624-1» на площі культури – 100 га (табл. 5.1).

Наведемо приклад застосування критерію Манна-Уїтні для перевірки гіпотези щодо однакових розподілів вибірок даних виробничих і комп'ютерних експериментів. Кількість даних у вибірках: $n_1 = 2$ та $n_2 = 25$.

Таблиця 5.1

Початкові дані для застосування критерію Манна-Уїтні

Вибірка 1, $n_1 = 2$ (результати виробничих спостережень, 2016 та 2017 рр.)		Вибірка 2, $n_2 = 25$ (результати комп'ютерних експериментів – 25 ітерацій моделі)	
Питомі обсяги технологічних втрат Q_T , ц/га	$r(x_i)$	Питомі обсяги технологічних втрат Q_T , ц/га	$r(y_i)$
1	2	3	4
12,79	10	0,65	1
74,25	22	2,54	2
-	-	2,68	3
-	-	2,79	4
-	-	3,12	5
-	-	5,90	6
-	-	6,94	7
-	-	8,74	8
-	-	10,78	9
-	-	15,23	11
-	-	15,57	12
-	-	16,28	13
-	-	26,60	14
-	-	34,78	15
-	-	37,02	16
-	-	37,78	17

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4
-	-	39,90	18
-	-	47,31	19
-	-	53,32	20
-	-	71,67	21
-	-	74,51	23
-	-	76,90	24
-	-	84,41	25
-	-	110,44	26
-	-	125,36	27
Всього	32	-	346

Відповідно до методики [84], отримаємо:

$$r(x_i) = 10 + 22 = 32;$$

$$r(y_i) = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 11 + 12 + 13 + 14 + 15 + 16 + 17 + 18 + 19 + 20 + 21 + 23 + 24 + 25 + 26 + 27 = 346.$$

На цій підставі розраховується значення статистики U :

$$U_1 = 2 \cdot 25 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (2 + 1) - 32 = 21;$$

$$U_2 = 2 \cdot 25 + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot (25 + 1) - 346 = 29;$$

$$U_{max} = \max(U_1, U_2) = 29.$$

За рівня значущості 0,05 для $n_1 = 2$ і $n_2 = 25$ знаходимо критичне значення – $U = 44$ [84]. Відповідно до отриманих значень $U_{max} < U = 29 < 44$ слід вважати, що функція розподілу вибірок n_1 і n_2 є однаковою. Тому гіпотеза стосовно адекватності розробленої статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ підтверджена.

5.2. Результати моделювання та визначення впливу часу початку технологічного процесу збирання цукрових буряків на його функціональні показники

Використання розробленої статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ здійснювалося на підставі відповідної програми експериментів. За її допомогою отримано множину функціональних показників ефективності цих ТП. Багаторазова реалізація (ітерація) моделі та опрацювання результатів комп'ютерних експериментів дали змогу побудувати закономірності зміни функціональних показників ТП ЗЦБ, що є підставою для узгодження часу їх початку, виробничої площі культури та параметрів технічного забезпечення.

Для встановлення впливу часу початку $\tau_{пз}$ ТП ЗЦБ на відповідні функціональні показники ефективності імітаційне моделювання виконано для різних варіантів часу початку цих ТП (від 260 до 300 доби, тобто 18 вересня – 28 жовтня), виробничої площі цукрових буряків (в межах 60-300 га із кроком приросту 20 га) та технічного забезпечення (див. дод. Е).

Опрацювання результатів моделювання ТП ЗЦБ (для $Np=50$ ітерацій моделі) дало змогу встановити вплив $\tau_{пз}$ на закономірності зміни наступних показників: 1) питомих обсягів біологічних втрат (Q_6) коренеплодів цукрових буряків (рис. 5.1); 2) питомих обсягів технологічних втрат (Q_T) (рис. 5.2); 3) ймовірності виникнення біологічних ($p[Q_6]$) та технологічних ($p[Q_T]$) втрат (рис. 5.3); 4) обсягів незібраних площ (S^H) (рис. 5.4).

Зазначимо, що для наглядності представлено закономірності, які отримано за використання бурякозбирального комбайна – СКС-624 «Палессе BS624-1» [56] і тракторного причепа-перевантажувача – ХТЗ-243К.20+Hawe Ruw 2500T (див. дод. Е) на площі – $S = 120$ га. Обґрунтування цих нелінійних залежностей (табл. 5.2) здійснено за методами кореляційно-регресійного аналізу та на підставі кореляційного відношення (n).

Аналіз залежностей Q_6 (рис. 5.1) та Q_T (рис. 5.2) від $\tau_{пз}$ переконує в тому, що вибір раціонального часу початку $\tau_{пз}$ ТП ЗЦБ не дасть змоги

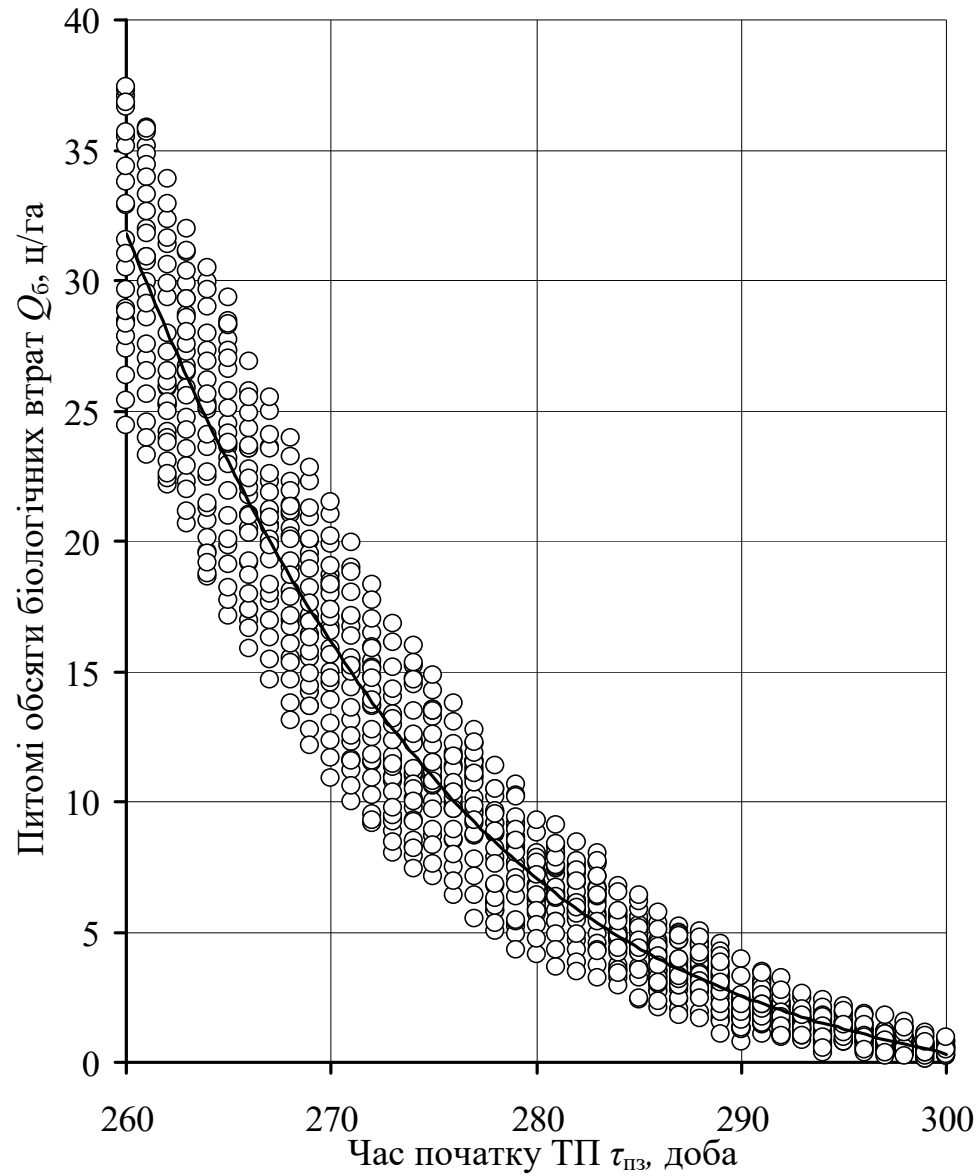


Рис. 5.1. Залежність питомих обсягів біологічних втрат цукрових буряків від часу початку ТП ЗЦБ

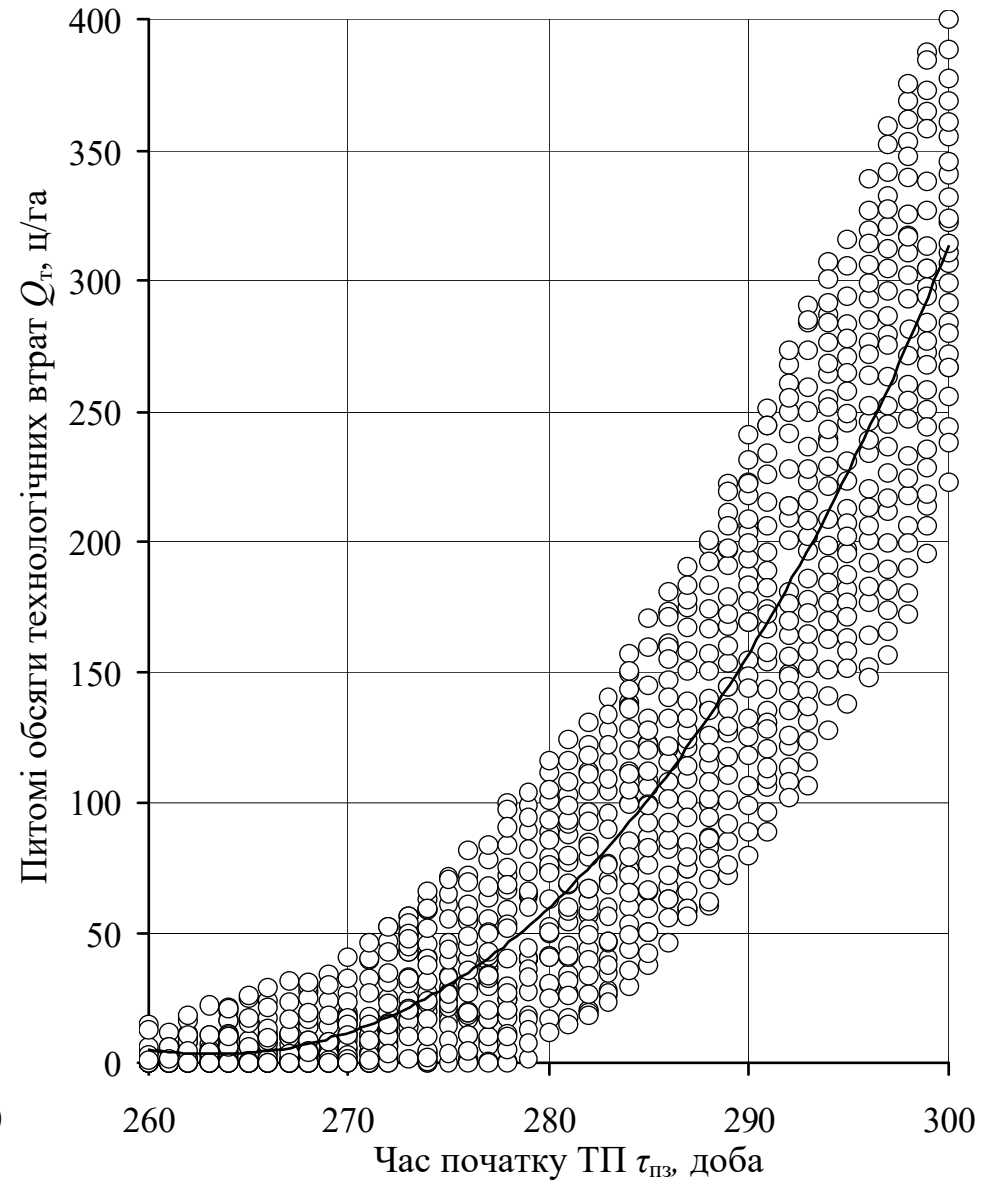


Рис. 5.2. Залежність питомих обсягів технологічних втрат цукрових буряків від часу початку ТП ЗЦБ

одночасно звести ці втрати до абсолютного мінімуму. Для будь-якого $\tau_{\text{пз}}$ в ТП ЗЦБ виникатимуть втрати із відповідною ймовірністю (рис. 5.3), що є підставою використання вартісного критерію для обґрунтування параметрів технічного забезпечення. Це також є підтвердженням актуальності науково-практичного завдання такого узгодження $\tau_{\text{пз}}$ та виробничої площі S цукрових буряків із параметрами технічного забезпечення за якого питомі сукупні витрати коштів ТП будуть мінімальними.

Таблиця 5.2

Рівняння залежностей функціональних показників ТП ЗЦБ

(СКС-624 «Палессе BS624-1»+ ХТЗ-243К.20+Hawe Ruw 2500Т,

виробнича площа – $S=120$ га)

Функціональний показник	Рівняння залежності	Кореляц. віднош-ня, n
Питомі обсяги біологічних втрат, ц/га	$Q_{\text{б}} = -3,1393 \cdot 10^{-4} \cdot \tau_{\text{пз}}^3 + 0,2862 \cdot \tau_{\text{пз}}^2 - 87,106 \cdot \tau_{\text{пз}} + 8850,1$	0,948
Питомі обсяги технологічних втрат, ц/га	$Q_{\text{т}} = 8,826 \cdot 10^{-4} \cdot \tau_{\text{пз}}^3 - 0,4756 \cdot \tau_{\text{пз}}^2 + 66,256 \cdot \tau_{\text{пз}} - 580,87$	0,872
Обсяги незібраних площ цукрових буряків, га	$S^{\text{н}} = 0,06332 \cdot \tau_{\text{пз}}^2 - 33,418 \cdot \tau_{\text{пз}} + 4410$	0,871

Отримані значення $Q_{\text{т}}$ та обсягів незібраних площ ($S^{\text{н}}$) (рис. 5.4) відображають нелінійний їх приріст за пізнього часу початку $\tau_{\text{пз}}$ ТП ЗЦБ. Відповідно до цього, початок ТП у більш пізні терміни зумовлює збирання врожаю коренеплодів цукрових буряків із порівняно більшою їх масою, однак характеризується високою вірогідністю виникнення технологічних втрат. Ця вірогідність спричинена скороченням природно дозволеного фонду часу на виконання ТП, а також впливом агрометеорологічної складової.

Для оцінення стохастичності функціональних показників ТП ЗЦБ, а саме $Q_{\text{б}}$, $Q_{\text{т}}$ та $S^{\text{н}}$, за результатами статистичного імітаційного моделювання ($Np=100$ ітерацій моделі) сформовано вибірки емпіричних значень.

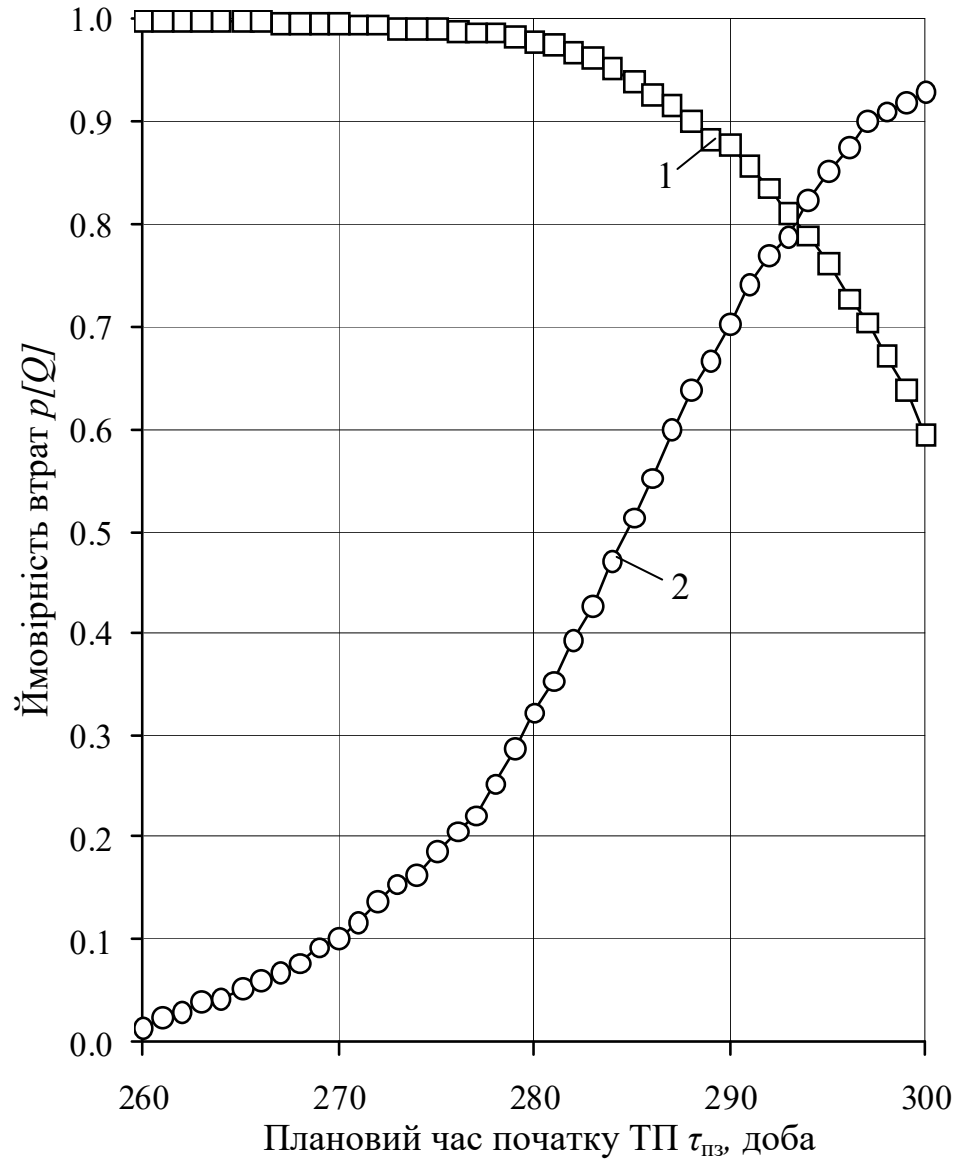


Рис. 5.3. Залежність ймовірності біологічних (1) та технологічних втрат (2) цукрових буряків від часу початку ТП ЗЦБ

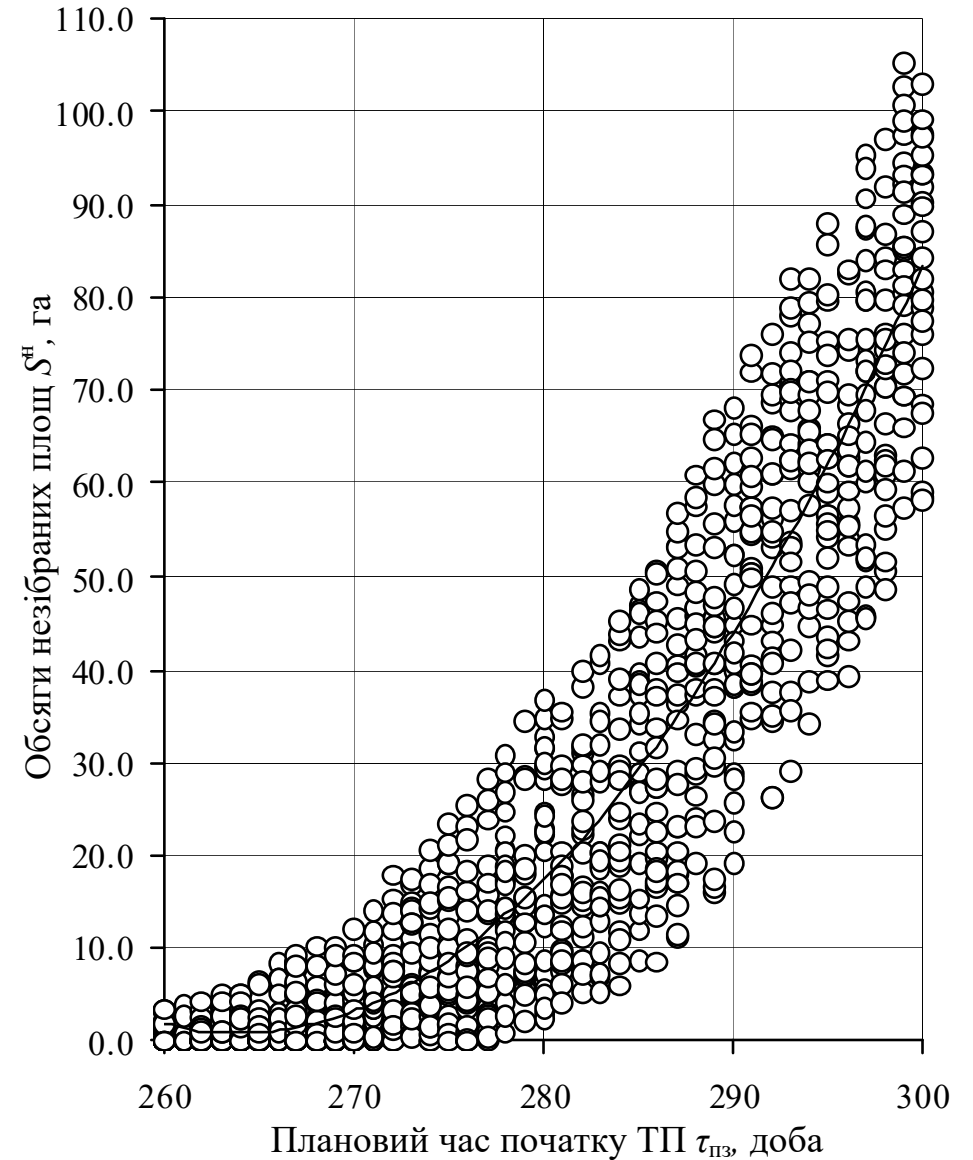


Рис. 5.4. Залежність обсягів незібраних площ цукрових буряків від часу початку ТП ЗЦБ

Тоді, на підставі методів математичної статистики та критерію χ^2 Пірсона встановлено їх статистичні характеристики та обґрунтовано диференціальні функції розподілу (табл. 5.3 та рис.5.5-рис.5.7). Зокрема встановлено, що для виробничої площі цукрових буряків – $S = 120$ га та часу початку ТП – $\tau_{\text{ПЗ}}^{\text{П}} = 287$ доба (15 жовтня) емпіричний розподіл Q_6 узгоджується із чотирипараметричним теоретичним розподілом Лапласа-Шарльє, а емпіричні розподіли Q_T та S^{H} із теоретичним розподілом Вейбулла.

Таблиця 5.3

Диференціальні функції розподілу та оцінки статистичних характеристик функціональних показників ТП ЗЦБ

(СКС-624 «Палессе BS624-1»+ ХТЗ-243К.20+Hawe Ruw 2500T, $S = 120$ га, $\tau_{\text{ПЗ}}^{\text{П}} = 287$ доба)

Функціональний показник	Диференціальна функція розподілу	Оцінки статистичних хар-к	
		$\bar{M}[x]$	$\nu[x]$
Питомі обсяги біологічних (Q_6) втрат, ц/га (Лапласа-Шарльє)	$f(Q_6) = 0,477 \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \{1 - 0,076 \cdot t \cdot (t^2 - 3) - 0,0098 \cdot [t \cdot (t^2 - 2) - 3(t^2 - 1)]\};$ $t = \frac{Q_6 - 3,425}{0,836}$	3,425	0,400
Питомі обсяги технологічних (Q_T) втрат, ц/га (Вейбулла)	$f(Q_m) = 0,017 \cdot \left(\frac{Q_m - 44,1}{94,204}\right)^{0,583} \cdot \exp\left[-\left(\frac{Q_m - 44,1}{94,204}\right)^{1,583}\right]$	128,609	0,642
Обсяги незібраних площ (S^{H}), га (Вейбулла)	$f(S^{\text{H}}) = 0,066 \cdot \left(\frac{S^{\text{H}} - 11,9}{23,761}\right)^{0,565} \cdot \exp\left[-\left(\frac{S^{\text{H}} - 11,9}{23,761}\right)^{1,565}\right]$	33,25	0,649

Головні статистичні характеристики розподілів Q_6 , Q_T та S^{H} , їх довірчі інтервали, а також розрахункові значення критерію χ^2 Пірсона наведено в дод. Д., табл. Д.1-Д.3.

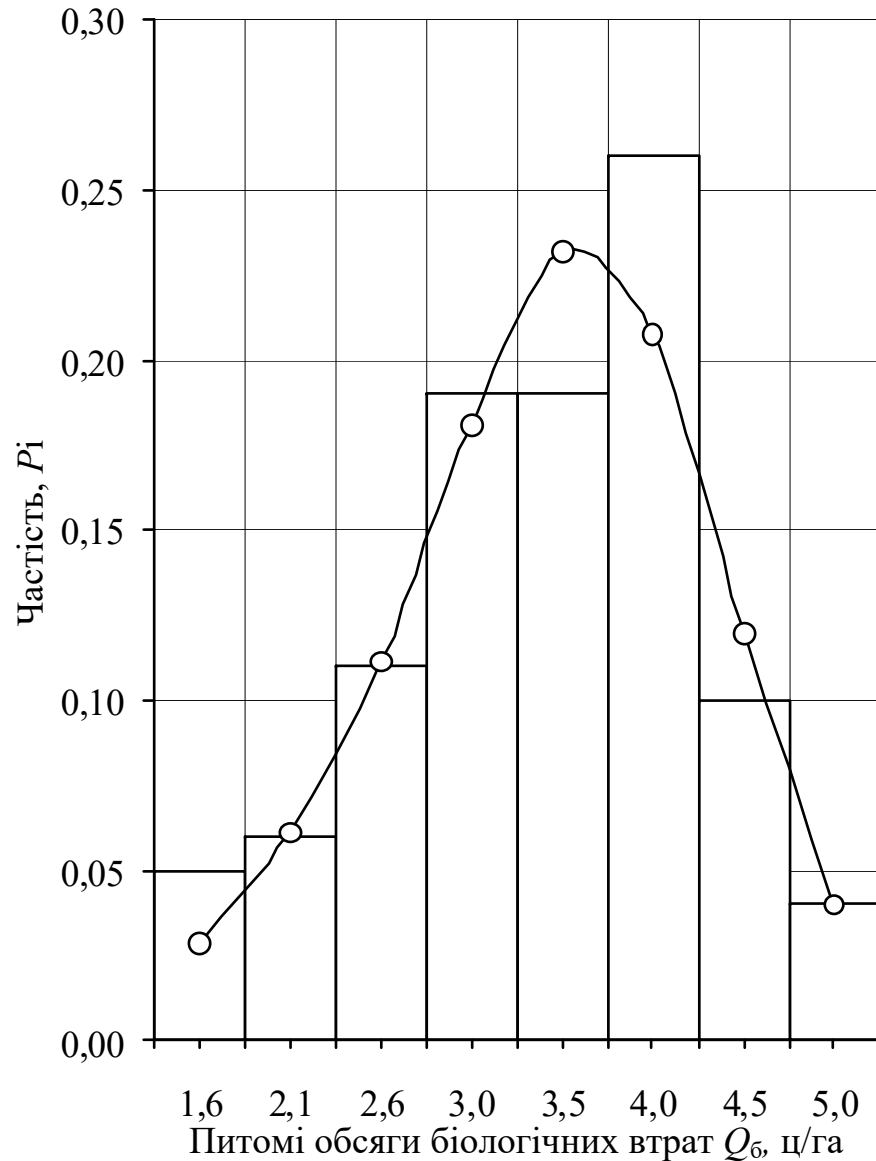


Рис. 5.5. Розподіл питомих обсягів біологічних втрат цукрових буряків за виробничої площі $S=120$ га та часу початку ТП ЗЦБ $\tau_{ПЗ}^n=287$ доба

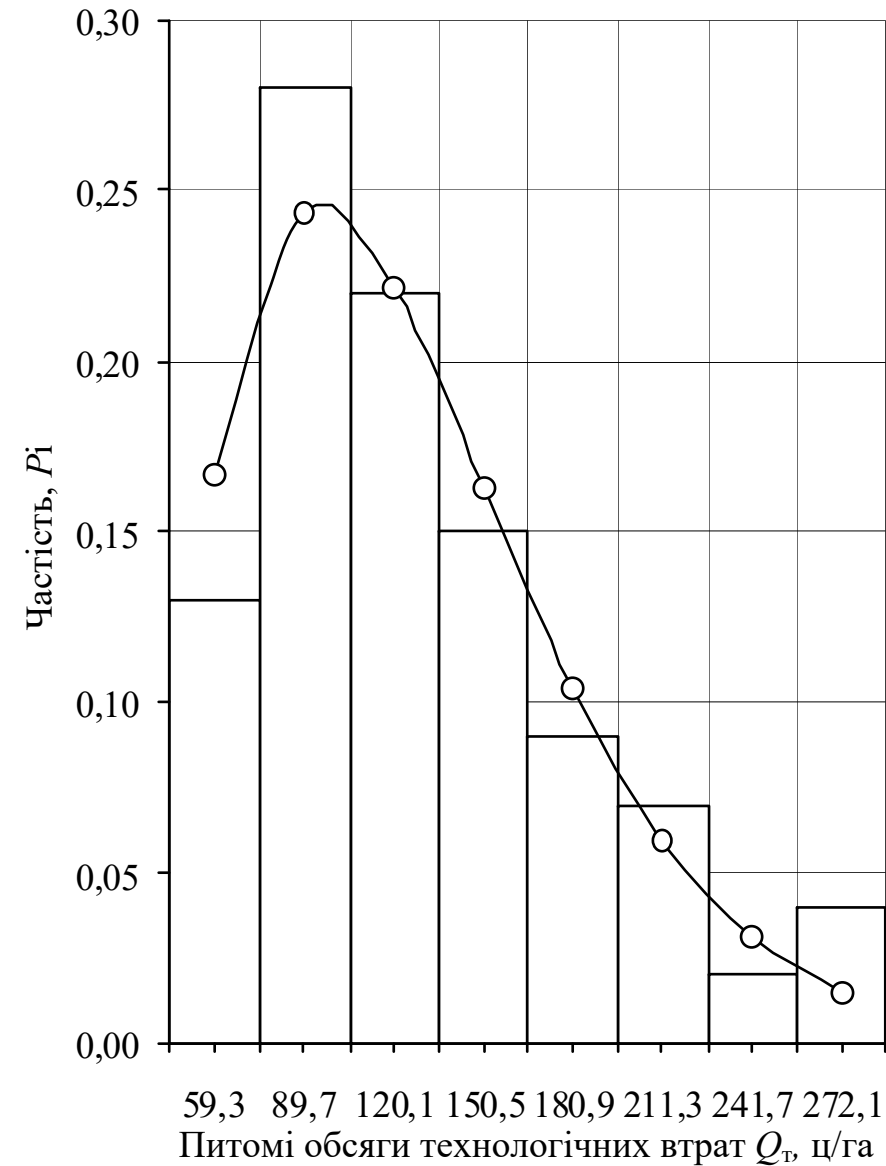


Рис. 5.6. Розподіл питомих обсягів технологічних втрат цукрових буряків за виробничої площі $S=120$ га та часу початку ТП ЗЦБ $\tau_{ПЗ}^n=287$ доба

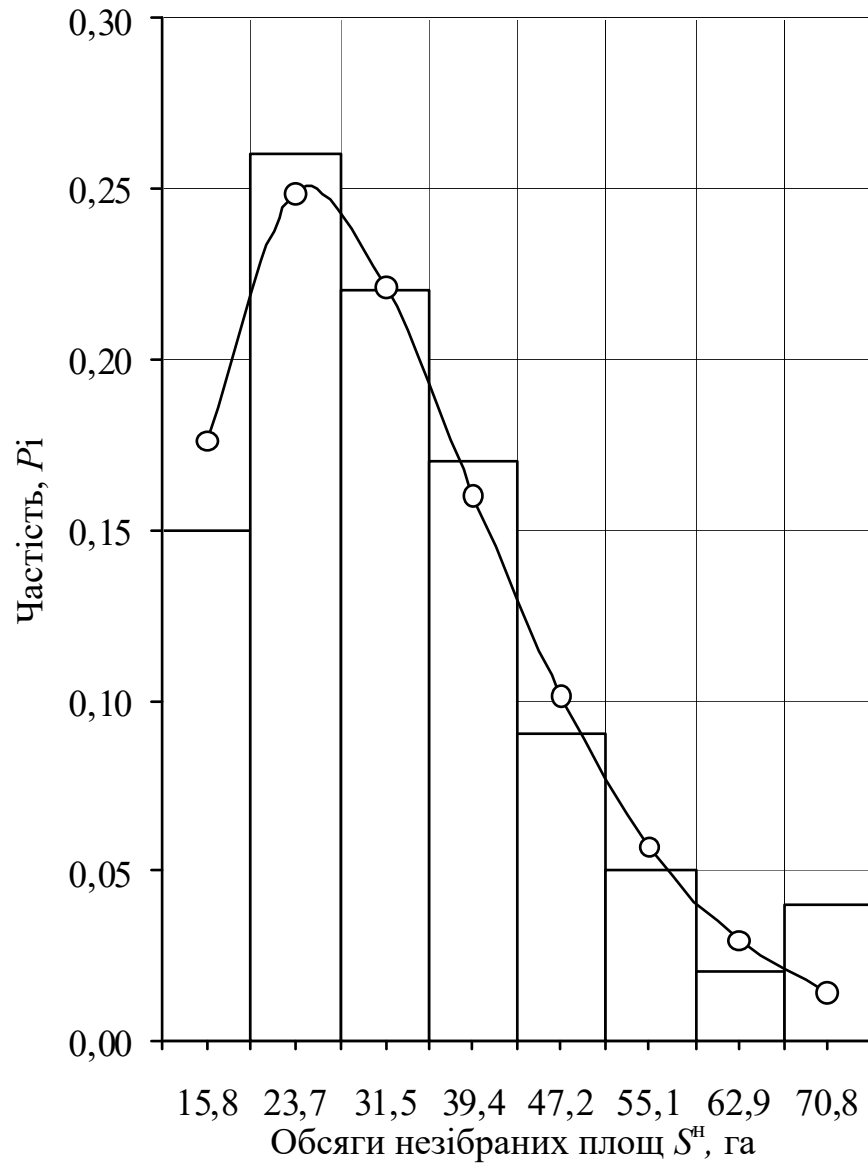


Рис. 5.7. Розподіл обсягів незібраних площ цукрових буряків за виробничої площі $S=120$ га та часу початку ТП ЗЦБ $\tau_{пз}^n=287$ доба

Таким чином, виконання комп'ютерних експериментів із статистичною імітаційною моделлю ТП ЗЦБ та математичне опрацювання їх результатів дає змогу встановити статистичні закономірності зміни функціональних показників ефективності цих ТП. На цій підставі, виникає можливість здійснити їх вартісне оцінення, а відтак узгодити час початку та виробничу площу культури із параметрами технічного забезпечення ТП ЗЦБ.

5.3. Результати моделювання та визначення впливу обсягів виробничої площі цукрових буряків на функціональні показники технологічного процесу їх збирання

Відповідно до висунутої гіпотези (див. п. 2.5), узгодження часу початку ($\tau_{пз}$) ТП ЗЦБ та виробничої площі (S) цукрових буряків із параметрами технічного забезпечення дає змогу досягнути мінімальні питомі супупні витрати коштів на виконання цих ТП. Встановлення цих витрат коштів здійснюється на підставі функціональних показників ТП ЗЦБ, що отримано завдяки комп'ютерним експериментам із розробленою статистичною імітаційною моделлю (див. п. 3.4 та дод. Б).

Зокрема, в основу розробленої моделі покладено системно-подієве відображення щоденних етапів виконання ТП ЗЦБ (див. п. 2.3), що дало змогу врахувати: 1) стохастичний вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на календарні терміни збирання врожаю коренеплодів та природно дозволений фонд часу для цих ТП; 2) щоденний приріст маси коренеплодів, а також вплив цього показника на добову продуктивність бурякозбиральних комбайнів; 3) вплив виробничої площі культури та продуктивності комбайна на тривалість відповідних ТП, а відтак і на функціональні показники їх ефективності.

Власне, застосування системно-подієвого підходу до відображення ТП ЗЦБ в імітаційній моделі дає змогу відтворити об'єктивні процеси досягання цукрових буряків, впливу агрометеорологічних умов та різних "результат" збирання їх врожаю за різних календарних термінів початку $\tau_{пз}$ відповідних ТП. Разом з цим, зміна виробничої площі S цукрових буряків для відповідного технічного забезпечення зумовлює зміну тривалості виконання $t_{зб}$ ТП ЗЦБ, а відтак призводить до різних обсягів біологічних Q_6 та технологічних $Q_т$ втрат (рис. 5.8 та рис. 5.9).

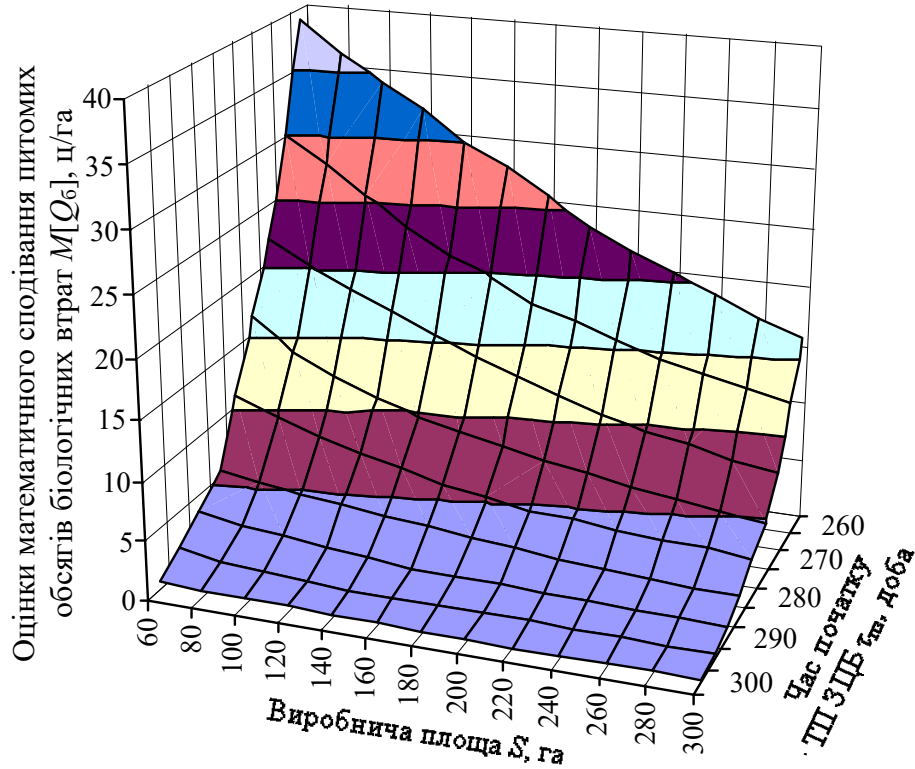


Рис. 5.8. Залежність оцінок математичного сподівання питомих обсягів біологічних втрат ($\bar{M}[Q_6]$) від часу початку ($\tau_{пз}$) ТП ЗЦБ та виробничої площі (S) цукрових буряків (СКС-624 «Палессе BS624-1»+ +ХТЗ-243К.20+Hawe Ruw 2500Т)

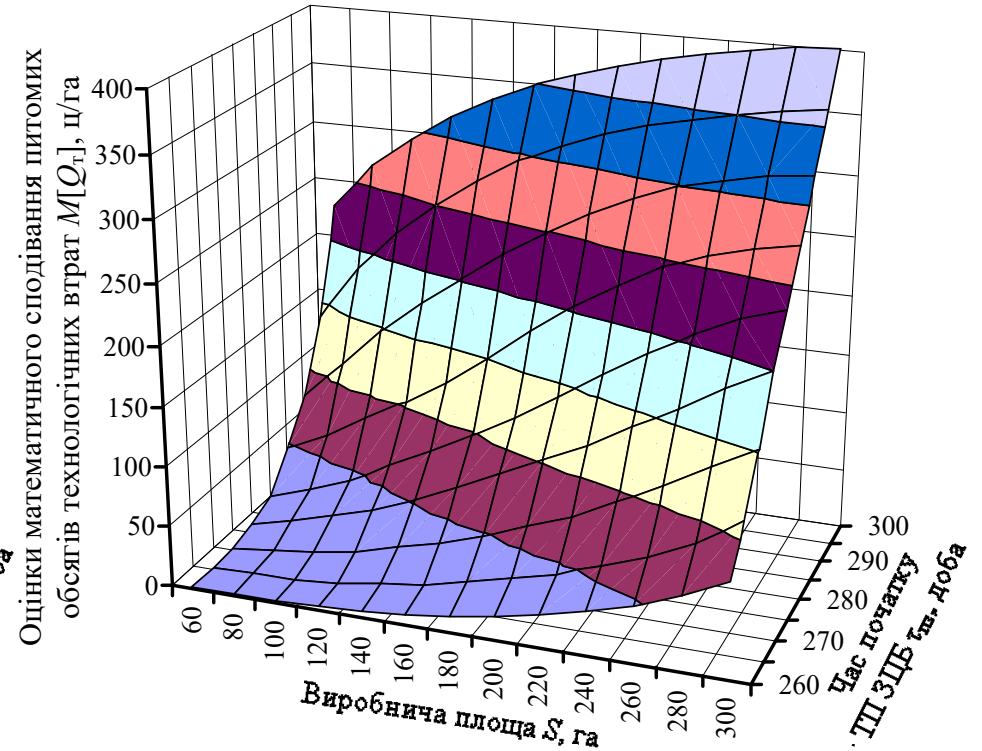


Рис. 5.9. Залежність оцінок математичного сподівання питомих обсягів технологічних втрат ($\bar{M}[Q_T]$) від часу початку ($\tau_{пз}$) ТП ЗЦБ та виробничої площі (S) цукрових буряків (СКС-624 «Палессе BS624-1»+ +ХТЗ-243К.20+Hawe Ruw 2500Т)

Таку послідовність статистичного імітаційного моделювання ТП ЗЦБ реалізовано в наперед розробленій програмі комп'ютерних експериментів для встановлення зв'язку між $\tau_{\text{пз}}$, S та параметрами технічного забезпечення. Першочергово, для заданого $\tau_{\text{пз}}$ та S виконували Np ітерацій моделі. Далі зміщували $\tau_{\text{пз}}$ на 1-у добу і повторювали моделювання. Приріст $\tau_{\text{пз}}$ виконували для календарних меж від 260 (18 вересня) до 300 (28 жовтня) доби і кроком в 1-у добу. Наступним кроком було збільшення площі S від 60 до 300 га із приростом у 20 га. Тоді, попередні етапи повторювали знову. Отримані результати фіксували у відповідних масивах даних.

Потреба Np -ї кратності ітерацій (реалізацій) статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ зумовлена врахуванням ймовірнісного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на терміни виконання ТП та, зокрема, їх своєчасність. Відповідно до цього, отримані результати стосовно кожного із функціональних показників ТП ЗЦБ представлено у вигляді множини даних. Наступне опрацювання цих даних за методами математичної статистики дало змогу встановити оцінки їх математичного сподівання, а відтак побудувати закономірність їх зміни для заданого бурякозбирального комбайна – СКС-624 «Палессе BS624-1» та тракторного причепа-перевантажувача – ХТЗ-243К.20 + НАВЕ RUW 2500Т, а також різних значень $\tau_{\text{пз}}$ й S .

Аналіз отриманих залежностей $\bar{M} [Q_T]$ та $\bar{M} [S^{\text{н}}]$ від $\tau_{\text{пз}}$ і S (див. рис. 5.9 та рис. 5.10) унаочнює різку тенденцію їх зростання за умови пізнього часу початку ТП ЗЦБ та значних обсягів виробничої площі цукрових буряків. В свою чергу, пізній час початку ТП ЗЦБ та порівняно більша виробнича площа цукрових буряків зумовлюють мінімальні оцінки математичного сподівання питомих обсягів біологічних втрат $\bar{M} [Q_6]$ (див. рис. 5.8).

Останні системно зумовлені тенденції пояснюються тим, що за порівняно пізнього $\tau_{\text{пз}}$ ТП збираються коренеплоди приріст яких досягнув свого максимуму. Окрім того, відхилення поточної урожайності $U_{\text{п}}$ коренеплодів від її

максимального значення, в розірізі того чи іншого збирального сезону, буде досить незначним, що і призводить до зниження показників $\bar{M} [Q_6]$ для пізнього $\tau_{пз}$ ТП ЗЦБ та порівняно більшої виробничої площі S цукрових буряків.

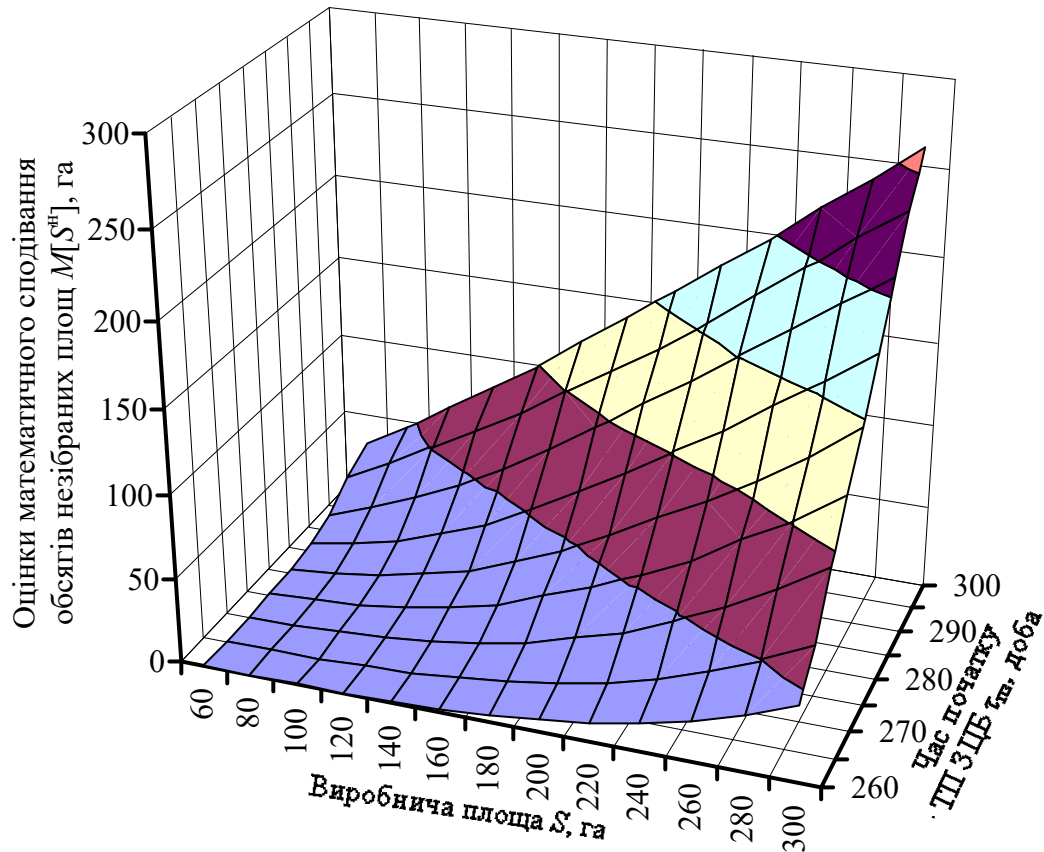


Рис. 5.10. Залежність оцінок математичного сподівання обсягів незібраних площ ($M[S^H]$) від часу початку ($\tau_{пз}$) ТП ЗЦБ та виробничої площі (S) цукрових буряків (СКС-624 «Палессе BS624-1»+ ХТЗ-243К.20+Наве Ruw 2500Т)

Таким чином, використовуючи встановлені закономірності функціональних показників виникає можливість ватрісно оцінити питомі сукупні витрати коштів (B , грн/га) у ТП ЗЦБ (формула (2.26), див. п. 2.5), а відтак представити їх у вигляді залежності від $\tau_{пз}$ й S . Це дає змогу відшукати таке поєднання $\tau_{пз}$ ТП ЗЦБ, S та параметрів технічного забезпечення за якого B сягатимуть свого мінімального значення.

5.4. Результати обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічного процесу збирання цукрових буряків та оцінення економічного ефекту

Відповідно до мети дисертаційної роботи підвищення ефективності ТП ЗЦБ досягається завдяки обґрунтуванню параметрів технічного забезпечення. Концепція ж обґрунтування параметрів цього технічного забезпечення зводиться до їх узгодження із часом початку ТП та виробничою площею культури за врахування стохастичного впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових. Завдяки зазначеному узгодженню встановлюється такий час початку збирання та обсяг виробничої площі цукрових буряків за яких використання технічного забезпечення із відповідними параметрами даватиме змогу досягнути мінімальні питомі сукупні витрати коштів в ТП ЗЦБ.

Отже, критерієм узгодженості вищезазначених складових є питомі сукупні витрати коштів. Для їх вартісного оцінювання встановлюються закономірності зміни функціональних показників ТП ЗЦБ за різного часу початку збирання, обсягів виробничої площі культури та, власне, технічного забезпечення. Ці закономірності отримано на підставі відповідних початкових даних (див. п. 3.4) та комп'ютерних експериментів із розробленою статистичною імітаційною моделлю ТП ЗЦБ. Такий методологічний підхід дає змогу визначити раціональні межі часу початку $\tau_{пз}$ ТП та площі S культури для того чи іншого бурякозбирального комбайна. А також, вирішення зворотної задачі – яке технічне забезпечення (із якими параметрами) найефективніше використовувати для заданих значень $\tau_{пз}$ і S , а відтак обґрунтувати параметри цього технічного забезпечення ТП ЗЦБ для відповідного СГП.

Комп'ютерні експерименти виконано для різних варіантів технічного забезпечення ТП ЗЦБ (див. дод. Е). Однак, аналіз результатів моделювання у

більш розгорнутій формі представлено для бурякозбирального комбайна – СКС-624 «Палессе BS624-1», який обслуговується тракторним причепом-перевантажувачем ХТЗ-243К.20+НАВЕ RUW 2500Т.

Отже, встановлення функціональних показників ТП ЗЦБ (див. п. 5.3) та використання відомих методик їх вартісного оцінювання [71;91] дало змогу визначити питомі сукупні витрати B (див. п. 2.5 та дод. Є), а відтак виконати оптимізаційні розрахунки, встановити раціональні значення $\tau_{пз}$ й S , а також обґрунтувати параметри технічного забезпечення ТП ЗЦБ. Оптимізаційні розрахунки виконувалися на підставі чисельного методу, яким передбачалося для кожного значення аргумента (виробничої площі цукрових буряків – S , га) розрахунок питомих експлуатаційних витрат ($B_{тн}$, грн./га) та питомих технологічних витрат ($B_{тл}$, грн./га) ТП ЗЦБ (рис. 5.11).

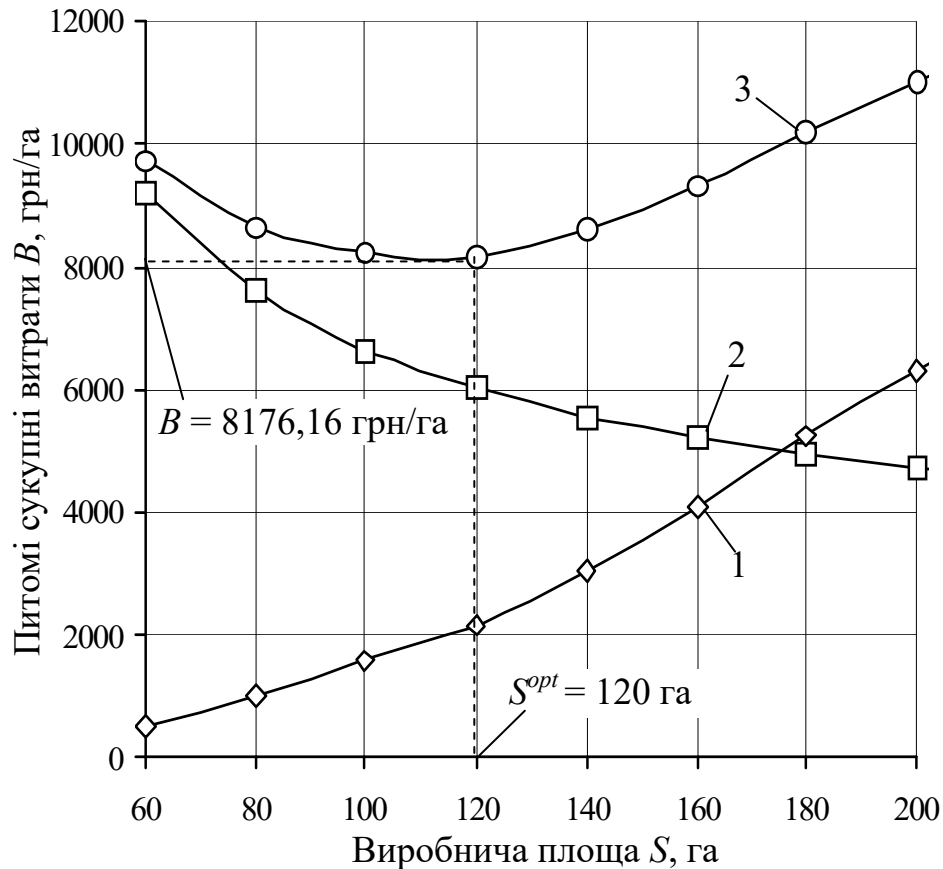


Рис. 5.11. Обґрунтування оптимальної виробничої площі цукрових буряків для комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1» ($\tau_{пз}=275$ доба): 1 – питомі технологічні втрати врожаю; 2 – питомі експлуатаційні витрати; 3 – питомі сукупні витрати

Оптимальну виробничу площу для відповідного технічного забезпечення ТП визначено графоаналітичним методом: 1) графічно відображали залежності питомих експлуатаційних витрат $B_{\text{тн}}$, питомих технологічних втрат $B_{\text{тл}}$ та питомих сукупних витрат B коштів; 2) визначали площі за яких досягаються мінімальні значення функції питомих сукупних витрат B^{min} ; 3) визначали оптимальне значення (S^{opt}) виробничої площі культури для відповідного часу початку $\tau_{\text{пз}}$ ТП та технічного забезпечення.

Аналізуючи результати оптимізаційних розрахунків приходимо до висновку, що оптимальна виробнича площа S^{opt} , яку слід планувати для бурякозбирального комбайна, буде зменшуватися за умови пізнього часу початку $\tau_{\text{пз}}$ ТП ЗЦБ (рис. 5.12).

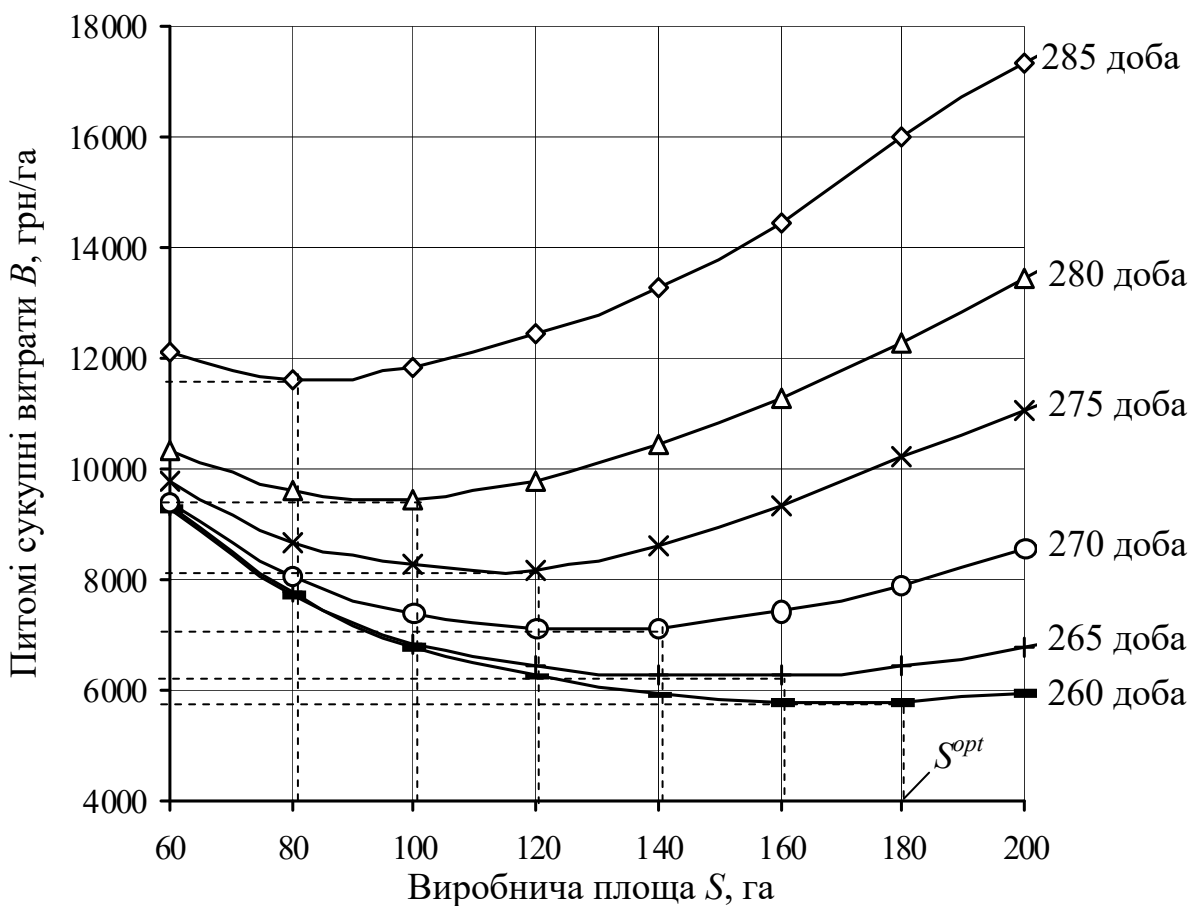


Рис. 5.12. Залежність питомих сукупних витрат від виробничої площі цукрових буряків за різного часу початку ТП ЗЦБ (СКС-624 «Палессе BS624-1» та ХТЗ-243К.20+НАВЕ RUW 2500Т)

Отримані результати підтверджують висунуту гіпотезу та констатують практичну можливість такого узгодження часу початку $\tau_{пз}$ ТП ЗЦБ, виробничої площі цукрових буряків S та параметрів технічного забезпечення за якого забезпечується екстремум функції ефективності та, зокрема, досягаються мінімальні питомі сукупні витрати коштів (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Результати обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ

Технічне забезпечення ТП	Час початку ТП ЗЦБ $\tau_{пз}$, доба	Оптимальна виробнича площа S^{opt} , га	Питомі сукупні витрати коштів B , грн/га
СКС-624 «Палессе BS624-1» (потужність двигуна – $N_{дв}=290$ кВт; місткість бункера – $V_6 = 24$ м ³) + ХТЗ-243К.20+ +Hawe Ruw 2500T (місткість бункера – $V_6 = 27$ м ³)	18 вересня (260 доба)	180	5795,33
	23 вересня (265 доба)	160	6244,38
	28 вересня (270 доба)	140	7109,38
	3 жовтня (275 доба)	120	8176,16
	8 жовтня (280 доба)	100	9442,59
	13 жовтня (285 доба)	80	11570,53

Представлення результатів статистичного імітаційного моделювання та оптимізаційних розрахунків у вигляді поверхні відгуку питомих сукупних витрат коштів (B , грн/га) за різного $\tau_{пз}$ та S (рис. 5.13) дає змогу наочно відобразити закономірність зміни S^{opt} для відповідного технічного забезпечення ТП ЗЦБ (рис. 5.14).

Узагальнюючи отримані результати приходимо до висновку, що вибір того чи іншого варіанту узгодження $\tau_{пз}$, S та параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ необхідно розглядати в контексті технологічної системи окремого СГП. Зокрема, за ранніх термінів $\tau_{пз}$ ТП ЗЦБ об'єктивно виникає більший природно

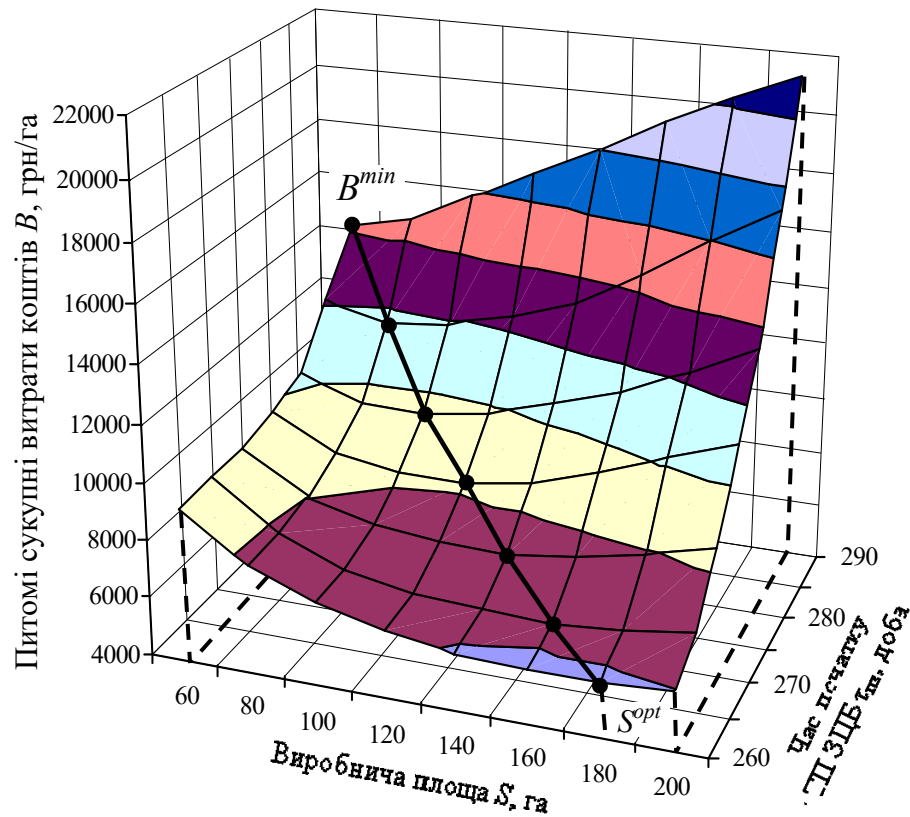


Рис. 5.13. Поверхня відгуку між питомими сукупними витратами (B), часом початку збирання ($\tau_{пз}$) та виробничою площею (S) цукрових буряків (СКС-624 «Палессе BS624-1» та ХТЗ-243К.20+НАВЕ RUW 2500Т)

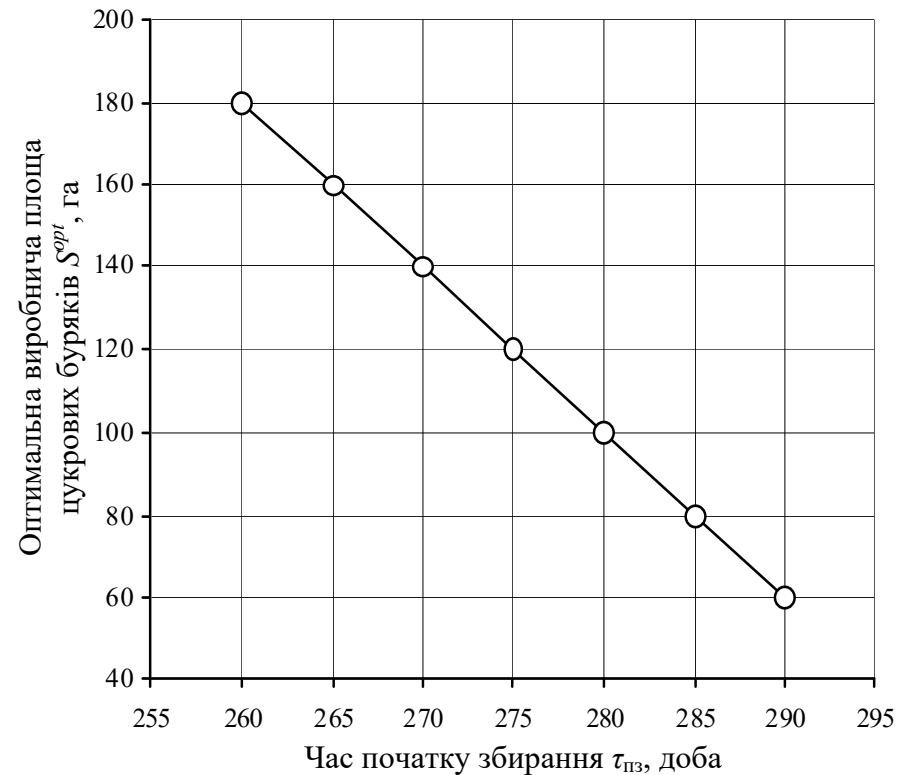


Рис. 5.14. Зв'язок між оптимальною виробничою площею цукрових буряків та часом початку ТП ЗЦБ за використання технічного оснащення – СКС-624 «Палессе BS624-1» та ХТЗ-243К.20+НАВЕ RUW 2500Т

дозволений фонд часу для їх виконання, і тоді, необхідно планувати порівняно більшу виробничу площу S^{opt} цукрових буряків для відповідного технічного забезпечення. Це призводить до більшого сезонного завантаження останнього та до нижчих питомих сукупних витрат коштів ТП. І навпаки, за пізнього $\tau_{пз}$ бурякозбиральні комбайни доцільніше використовувати на меншій виробничій площі, що призведе до меншого їх сезонного напрацювання однак вищих питомих сукупних витрат.

Виконання аналогічних етапів моделювання ТП ЗЦБ й розрахунків для бурякозбиральних комбайнів різної потужності ($N_{дв} = 275; 290; 308$ та 444 кВт) та відповідних перевантажувачів коренеплодів дало змогу оптимізувати виробничу площу S^{opt} цукрових буряків (рис. 5.15, а), а також встановити її залежність від часу початку $\tau_{пз}$ цих ТП та потужності $N_{дв}$ бурякозбиральних комбайнів (рис. 5.15, б).

Отже, такі системні особливості обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ зумовлюють потребу "індивідуального" підходу до оцінення економічного ефекту для того чи іншого СГП. Зокрема, впровадження результатів досліджень у практику ТОВ «П'ятидні» (с. П'ятидні, Вол.-Волинського району Волинської області) (див. дод. 3) переконує у можливості досягнення значного економічного ефекту від узгодження $\tau_{пз}$, S із параметрами технічного забезпечення ТП ЗЦБ.

Відомо [37], що порівняльну економічну оцінку ефективності технологічних систем слід виконувати за відповідною методикою та показниками. До основних показників порівняльної економічної оцінки відносять: річний економічний ефект з урахуванням кількості та якості продукції, вивільнення трудових ресурсів, покращення умов праці, а також прибуток.

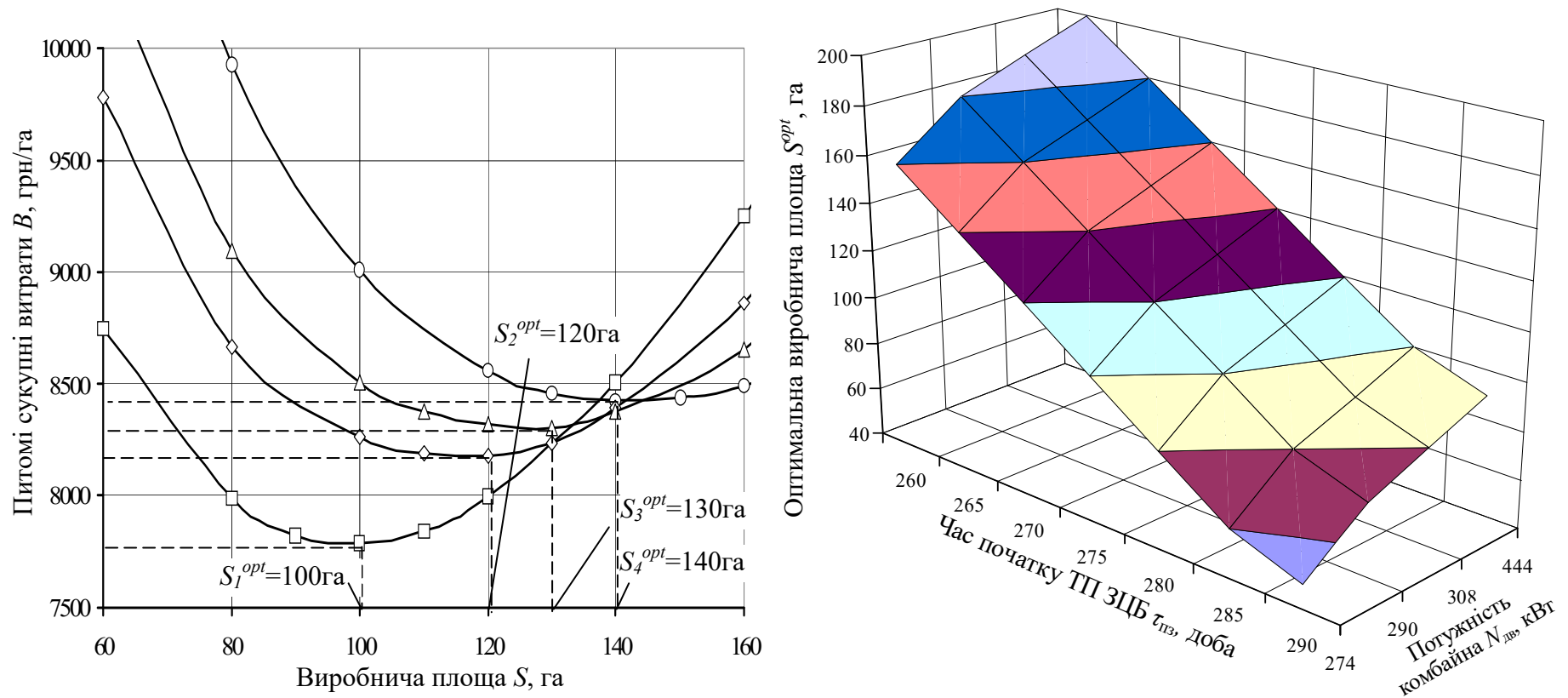


Рис. 5.15. Залежність питомих сукупних витрат від виробничої площі цукрових буряків за різного технічного забезпечення ТП ЗЦБ ($\tau_{пз}=275$ доба) (а) та оптимальної виробничої площі (S^{opt}) цукрових буряків від часу початку ($\tau_{пз}$) збирання та потужності ($N_{дв}$) бурякозбиральних комбайнів (б): 1 – Franz Kleine SF-10-2 (275 кВт), ХТЗ-242К.20+Franz Kleine LS 16; 2 – СКС-624 «Палессе BS624-1» (290 кВт), ХТЗ-243К.20+Hawe Ruw 2500Т; 3 – Holmer Terra-Dos Т2 (308 кВт), ХТЗ-243К.20+Hawe Ruw 2500Т; 4 – Ropa Euro-Tiger V8-3 (444 кВт), Claas Axion 930+ТПЗ-49 Атлант+ПЗС-40

Відповідно до завдань дисертаційної роботи та прийнятого критерію обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ, річний економічний ефект (E_p) визначено виходячи із загальноприйнятої методології [37]:

$$E_p = Пв_6 - Пв_n + E, \quad (5.1)$$

де $Пв_6$, $Пв_n$ – відповідно приведені витрати на виконання річного обсягу робіт за базового та нового варіантів узгодження складових ТП, грн; E – економічний ефект від зміни кількості отриманої продукції за річного обсягу робіт, грн.

Для визначення приведених витрат ($Пв$) використовують формулу [37]:

$$Пв = B_{тн} + K \cdot k_E, \quad (5.2)$$

де $B_{тн}$ – прямі питомі експлуатаційні витрати на виконання ТП, грн/га; K – питомі капіталовкладення в технічне забезпечення на одиницю напрацювання, грн/га; k_E – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень.

Питомі експлуатаційні витрати на виконання ТП [37;71]:

$$B_{тн} = Z + \Gamma + P + A + \Phi, \quad (5.3)$$

де Z – витрати на оплату праці персоналу (комбайнера), грн/га; Γ – витрати на ПММ, грн/га; P – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт, грн/га; A – амортизаційні відрахування на реновацію, грн/га; Φ – витрати на основні та допоміжні матеріали, грн/га.

Оскільки ми оцінюємо економічний ефект для одного варіанту технічного забезпечення ТП ЗЦБ то питомі капіталовкладення не враховуватимемо.

Аналіз формул (5.1-5.3) переконує в тому, що в нашому випадку економічний ефект доцільно оцінювати на підставі порівняння питомих сукупних витрат коштів (B , грн/га), що отримано за двох варіантів узгодження $\tau_{пз}$, S із технічним забезпеченням ТП ЗЦБ. Тоді, формулу визначення річного економічного ефекту (E_p) запишемо:

$$E_p = (P_{вб} - P_{вн}) \cdot S. \quad (5.4)$$

Отже, керуючись інформацією ТОВ «П'ятидні» щодо практичного підходу у виборі часу початку ТП ЗЦБ та обсягів виробничої площі цукрових буряків, яку щорічно планується збирати комбайном СКС-624 «Палессе BS624-1» нами сформовано базовий варіант для порівняння – $\tau_{пз} = 280$ доба та $S = 100$ га. Виконавши статистичне імітаційне моделювання відповідних ТП для ідентичного технічного забезпечення, різного часу початку ($\tau_{пз} = 275-280$ доби) збирання коренеплодів та їх виробничої площі ($S = 60-160$ га) встановлено (рис. 5.16), що для розглянутого СГП існує таке узгодження вищезазначених складових за яких досягатимуться мінімальні питомі сукупні витрати коштів, а відтак збільшуватиметься прибуток підприємства (див. дод. Є).

Аналіз отриманих закономірностей B (рис. 5.16), а також закономірностей зміни ймовірності технологічних втрат ($p[Q_T]$) (рис. 5.17) переконує у тому, що для ТОВ «П'ятидні» більш доцільно використовувати бурякозбиральний комбайн СКС-624 «Палессе BS624-1» за наступних умов – $\tau_{пз} = 275$ доба та $S = 120$ га (альтернативний варіант). У цьому разі, ймовірність $p[Q_T]$ знижуватиметься із 0,242 до 0,214, а питомі сукупні витрати коштів з 9442,59 до 8176,16 грн/га (рис. 5.16). Окрім того, зміщення $\tau_{пз}$ у більш ранні терміни дає змогу починати ТП ЗЦБ в період, що передує часу (τ_n^k) припинення активного приросту маси коренеплодів цукрових буряків – 278 доба [116], а відтак зібрати більший обсяг площ із врожаєм цукрових буряків.

Отже, порівняння B для базового та альтернативного варіантів узгодження складових ТП ЗЦБ, переконує у забезпеченні значного економічного ефекту E_p за рахунок економії на сукупних витратах коштів для виробничої площі 120 га, який становить:

$$E_p = (9442,59 - 8176,16) \cdot 120 = 151\,971,7 \text{ грн.}$$

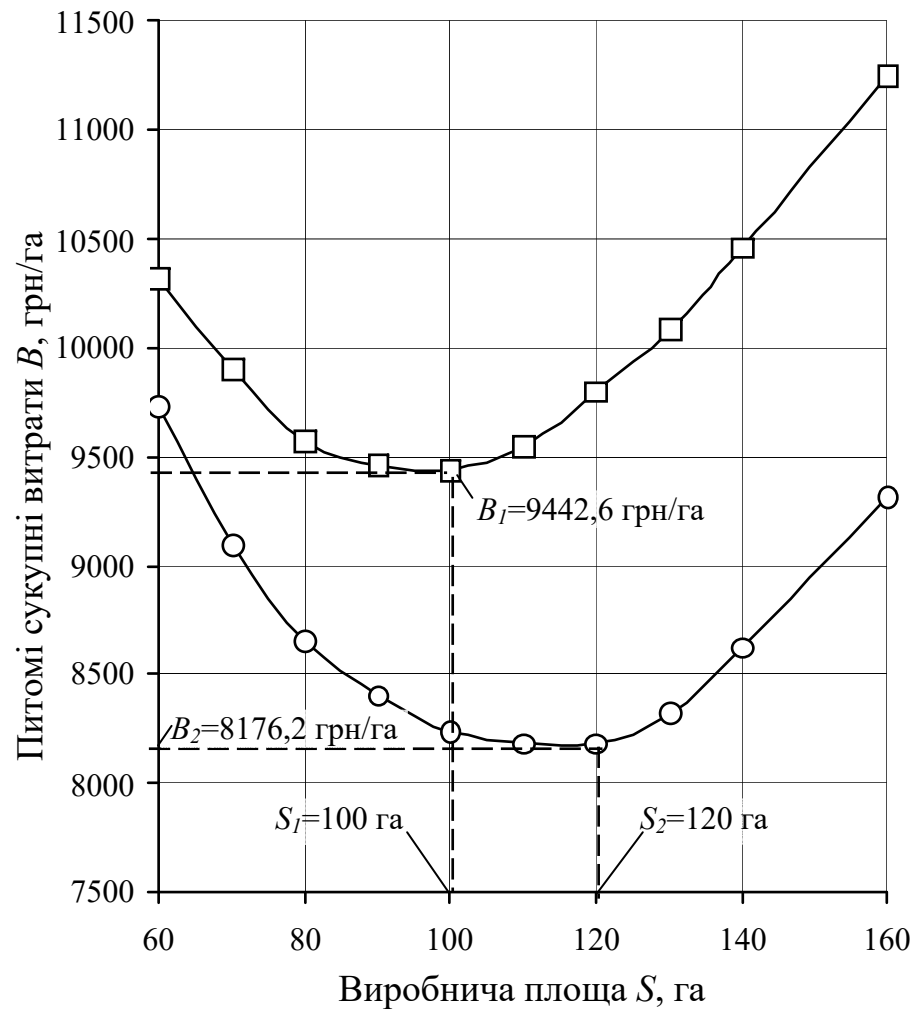


Рис. 5.16. Залежність питомих сукупних витрат підприємства від площі цукрових буряків для заданого технічного оснащення (СКС-624 «Палессе BS624-1») та різних термінів початку ТП ЗЦБ: 1 – 275 (3 жовтня); 2 – 280 (8 жовтня)

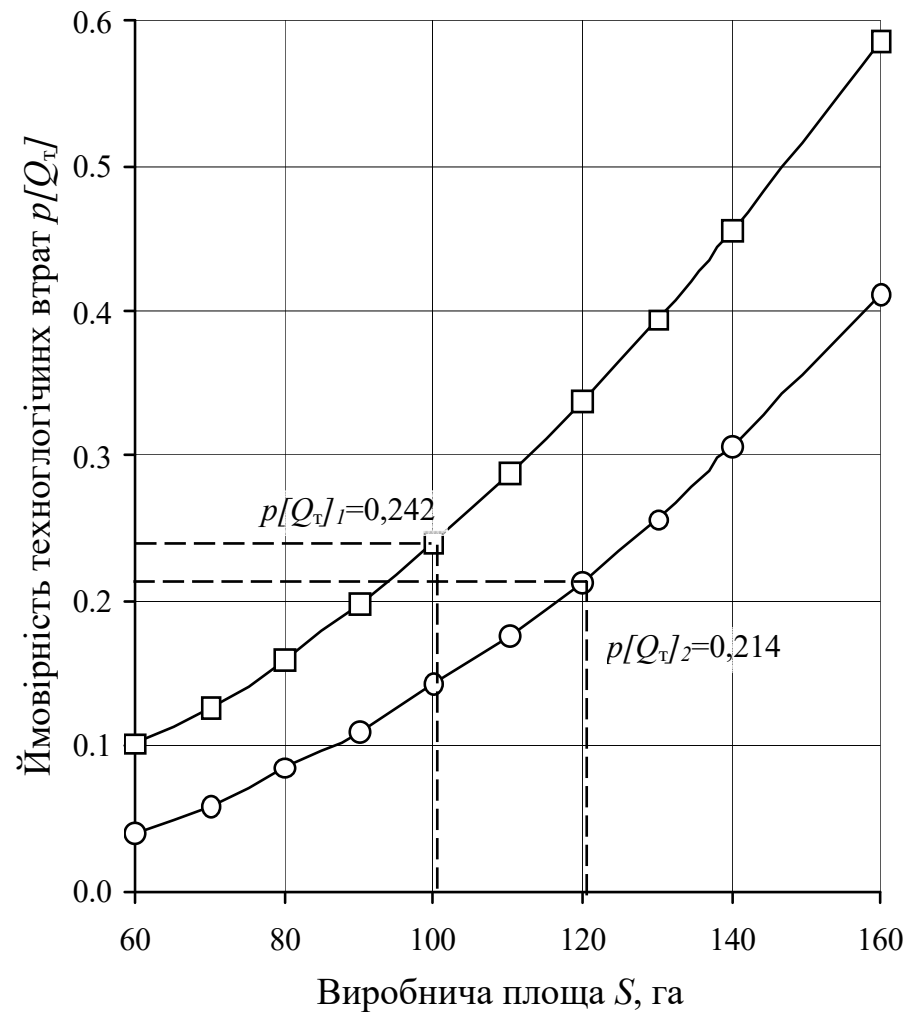


Рис. 5.17. Залежність ймовірності технологічних втрат від площі цукрових буряків для заданого технічного оснащення ТП ЗЦБ (СКС-624 «Палессе BS624-1») та різних термінів їх початку: 1 – 275 (3 жовтня); 2 – 280 (8 жовтня)

Отже, застосування розроблених науково-методичних положень та моделей узгодження $\tau_{\text{пз}}$ й S із параметрами технічного забезпечення ТП ЗЦБ дає змогу підвищити ефективність цього ТП завдяки формуванню їх технічного забезпечення із раціональними параметрами.

Висновки до розділу 5

1. Результати застосування непараметричного критерію Манна-Уїтні для перевірки адекватності статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ дали змогу підтвердити її відповідність реальному технологічному процесу та констатувати достовірність отриманих результатів комп'ютерних експериментів.

2. Виконання комп'ютерних експериментів із статистичною імітаційною моделлю ТП ЗЦБ (із застосуванням комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1») дало змогу встановити залежність функціональних показників Q_6 , Q_T та S^H (рис. 5.1-5.4) від $\tau_{\text{пз}}$. Ці залежності переконують в тому, що вибір раціонального часу початку $\tau_{\text{пз}}$ ТП не дасть змоги одночасно звести Q_6 , Q_T та S^H до абсолютного мінімуму. Тому, за будь-якого $\tau_{\text{пз}}$ виникатимуть втрати в ТП ЗЦБ із відповідною ймовірністю (рис. 5.3), що є підставою використання вартісного критерію для обґрунтування параметрів технічного забезпечення цього ТП.

3. Застосування методів математичної статистики для опрацювання результатів визначення флуктуації функціональних показників ТП ЗЦБ, що отримані на підставі багаторазової реалізації (ітерації) статистичної імітаційної моделі, дало змогу обґрунтувати теоретичні розподіли цих випадкових величини. Зокрема, на підставі критерію χ^2 Пірсона встановлено, що для виробничої площі цукрових буряків – $S = 120$ га та планового часу початку цих ТП – $\tau_{\text{пз}}^H = 287$ доба (15 жовтня) емпіричний розподіл Q_6 узгоджується із чотирипараметричним теоретичним розподілом Лапласа-Шарльє, а емпіричні розподіли Q_T та S^H із теоретичним розподілом Вейбулла відповідно. Їх

статистичні характеристики наступні: математичне сподівання – $\bar{M} [Q_6] = 3,425$ ц/га, $\bar{M} [Q_T] = 128,609$ ц/га, $\bar{M} [S^H] = 33,25$ га; коефіцієнт варіації – $v[Q_6] = 0,4$, $v[Q_T] = 0,642$, $v[S^H] = 0,649$ відповідно.

4. Виконання комп'ютерних експериментів для різного часу початку ТП ЗЦБ ($\tau_{пз} = 260-300$ доба, тобто 18 вересня - 28 жовтня), виробничої площі ($S = 60-300$ га) та технічного забезпечення (бурякозбирального комбайна – СКС-624 «Палессе BS624-1» і тракторного причепа-перевантажувача – ХТЗ-243К.20 + Наве Ruw 2500Т) дало змогу встановити залежності оцінок математичного сподівання функціональних показників $\bar{M} [Q_6]$ (рис. 5.8), $\bar{M} [Q_T]$ (рис. 5.9) та $\bar{M} [S^H]$ (рис. 5.10) від зазначених показників і представити їх у вигляді поверхні відгуку. Аналіз цих залежностей унаочнює різку тенденцію зростання $\bar{M} [Q_T]$ та $\bar{M} [S^H]$ за умови пізнього часу початку ТП ЗЦБ та значної виробничої площі цукрових буряків. Водночас, пізній час початку ТП ЗЦБ та порівняно більша виробнича площа цукрових буряків зумовлюють мінімальні значення $\bar{M} [Q_6]$ (рис. 5.8).

5. Застосування розроблених методик та моделей, а також поєднання результатів виробничих і комп'ютерних експериментів дало змогу обґрунтувати параметри технічного забезпечення ТП ЗЦБ на підставі узгодження із часом початку цих ТП та виробничою площею цукрових буряків (рис. 5.11, рис. 5.12 та табл. 5.4). Зокрема встановлено, що зміщення часу початку $\tau_{пз}$ ТП у відносно пізні календарні терміни (з 260 до 285 доби, тобто з 18 вересня до 13 жовтня) зумовлює потребу зменшення оптимальної виробничої площі S^{opt} (з 180 до 80 га) цукрових буряків для заданого технічного забезпечення – СКС-624 «Палессе BS624-1» та ХТЗ-243К.20+Наве Ruw 2500Т, а відтак збільшує питомі сукупні витрати коштів з 5795,33 до 11570,53 грн/га.

6. Впровадження результатів досліджень у практику ТОВ «П'ятидні» Вол.-Волинського району Волинської області дає змогу отримати річний економічний ефект в обсязі 151 971,7 грн.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-технічного завдання з обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ завдяки їх узгодженню з часом початку збирання та виробничою площею цукрових буряків. Це здійснено за критерієм мінімальних питомих сукупних витрат коштів та завдяки застосуванню методу статистичного імітаційного моделювання, що дало змогу врахувати сукупний вплив параметрів технічного забезпечення, часу початку збирання врожаю, виробничої площі культури, стохастичності агрометеорологічних умов осіннього періоду та закономірностей досягання цукрових буряків на функціональні показники ефективності ТП.

1. Аналіз чинних методів, моделей і методик обґрунтування параметрів технічного забезпечення збиральних комплексів машин свідчить про те, що вони є недосконалими. Зокрема, ними не враховується сукупний вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на часові обмеження ТП ЗЦБ, а також вплив узгодженості часу початку цього ТП, виробничої площі культури та параметрів технічного забезпечення на функціональні показники ефективності.

2. Розкриття впливу агрометеорологічних умов та закономірностей досягання врожаю цукрових буряків на часові обмеження ТП ЗЦБ дало змогу виокремити базові (об'єктивно зумовлені) та наслідкові події, відображення яких слід покласти в основу методики моделювання ТП. Застосування методики системно-подієвого відображення термінів функціонування бурякозбиральних комбайнів у статистичній імітаційній моделі ТП дає змогу врахувати ймовірнісний вплив агрометеорологічної й біологічно-предметної складових на добові обсяги робіт та своєчасність збирання врожаю, а відтак і на функціональні показники ефективності ТП ЗЦБ.

3. В основу методики обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ покладено гіпотезу про можливість такого узгодження часу їх початку та виробничої площі цукрових буряків із заданим технічним забезпеченням, за якого досягатимуться мінімальні питомі сукупні витрати коштів. Зокрема, показано, що для оцінення своєчасності збирання врожаю коренеплодів цукрових буряків доцільно використовувати технологічний критерій – мінімальні обсяги біологічних і технологічних втрат врожаю.

4. Опрацювання результатів виробничих спостережень дало змогу обґрунтувати статистичні закономірності впливу агрометеорологічної складової на фонд часу збирання врожаю коренеплодів (рис. 4.1-4.3) та біологічно-предметної складової на поточні умови виконання цього процесу (рис. 4.4-4.7). Встановлено, що середня початкова маса ($m_{\text{пк}}$) коренеплодів цукрових буряків (сорту Ялтушковський однонасінний) на момент в'янення зовнішніх листків (в умовах Володимир-Волинського району Волинської області) узгоджується з теоретичним розподілом Вейбулла і має такі статистичні характеристики: математичне сподівання – $\bar{M}[m_{\text{пк}}] = 376,696$ г; коефіцієнт варіації – $\nu[m_{\text{пк}}] = 0,50$. Подальший приріст маси коренеплодів коливається в межах 50–250 г та залежить від часу початку в'янення зовнішніх листків рослини. Застосування встановлених закономірностей у статистичній імітаційній моделі дає змогу врахувати стохастичність природно зумовлених термінів виконання ТП ЗЦБ, а відтак оцінити їх вплив на обсяги біологічних і технологічних втрат урожаю коренеплодів.

5. Статистичне імітаційне моделювання ТП ЗЦБ, що виконується за перевалочною технологією, із застосуванням бурякозбирального комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1» та тракторного причепа-перевантажувача ХТЗ-243К.20+Наве Ruw 2500Т, дозволило встановити закономірності зміни функціональних показників (Q_6 , Q_T та $S^{\text{н}}$, рис. 5.1-5.4, табл. 5.2), а також довести те, що вибір раціонального часу початку цього ТП не дасть змоги одночасно

мінімізувати біологічні та технологічні втрати. Це є підставою використання вартісного критерію для обґрунтування параметрів відповідного технічного забезпечення.

6. На підставі опрацювання результатів комп'ютерних експериментів зі статистичною імітаційною моделлю ТП ЗЦБ встановлено статистичні характеристики функціональних показників та обґрунтовано їх теоретичні розподіли. Зокрема, на підставі критерію χ^2 Пірсона встановлено, що для виробничої площі цукрових буряків $S = 120$ га та планового часу початку ТП – $\tau_{\text{пз}}^{\text{п}} = 287$ доба (15 жовтня) емпіричний розподіл біологічних втрат Q_6 узгоджується з чотирипараметричним теоретичним розподілом Лапласа-Шарльє, а емпіричні розподіли технологічних втрат Q_T та обсягів незібраних площ $S^{\text{н}}$ – із теоретичним розподілом Вейбулла. Їх статистичні характеристики такі: математичне сподівання – $\bar{M}[Q_6] = 3,42$ ц/га; $\bar{M}[Q_T] = 128,61$ ц/га; $\bar{M}[S^{\text{н}}] = 33,25$ га; коефіцієнт варіації – $v[Q_6] = 0,4$; $v[Q_T] = 0,642$; $v[S^{\text{н}}] = 0,649$ відповідно.

7. Застосування розробленої методики моделювання та вдосконаленої статистичної імітаційної моделі ТП ЗЦБ дало змогу обґрунтувати параметри технічного забезпечення (за перевалочною технологією) на підставі їх узгодження з часом початку збирання та виробничою площею цукрових буряків (рис. 5.11-5.14 та табл. 5.4). Зокрема встановлено, що зміщення часу початку ТП ЗЦБ, який виконують комбайном СКС-624 «Палессе BS624-1», у пізні календарні терміни (з 18 вересня до 13 жовтня) зумовлює потребу зменшення оптимальної виробничої площі з 180 до 80 га, а отже, збільшує питомі сукупні витрати коштів у ТП з 5795,33 до 11570,53 грн/га.

8. Використання у ТП ЗЦБ комбайнів із більшою потужністю ($N_{\text{дв}} = 275$; 290; 308 та 444 кВт) зумовлює зростання оптимальної виробничої площі (рис. 5.15, а) цукрових буряків (для $\tau_{\text{пз}}^{\text{п}} = 275$ доба (3 жовтня) – $S^{\text{opt}} = 100$; 120;

130 та 140 га відповідно), а також зростання питомих сукупних витрат ($B = 7786,6; 8176,2; 8305,5$ та $8423,7$ грн/га). Зміщення часу початку $\tau_{пз}^n$ ТП з 260 (18 вересня) до 285 доби (13 жовтня) зумовлює потребу зменшення оптимальної виробничої площі цукрових буряків на 68,8–55,0 % для комбайнів відповідної потужності (рис. 5.15, б).

9. За різного часу початку ТП ЗЦБ та виробничої площі культури змінюється доцільність використання того чи іншого бурякозбирального комбайна. Зокрема, для часу початку ТП $\tau_{пз}^n = 275$ доба (3 жовтня) використання комбайнів відповідної потужності буде раціональним за таких меж виробничої площі цукрових буряків: 1) Franz Kleine SF-10-2 (275 кВт), ХТЗ-242К.20+Franz Kleine LS 16 – 80–130 га; 2) СКС-624 «Палессе BS624-1» (290 кВт), ХТЗ-243К.20+Hawe Ruw 2500T – 130–140 га; 3) Holmer Terra-Dos T2 (308 кВт), ХТЗ-243К.20+Hawe Ruw 2500T – 130–140 га; 4) Ropa Euro-Tiger V8-3 (444 кВт), Claas Axion 930+ТПЗ-49 Атлант+ПЗС-40 – 140–170 га.

10. Обґрунтування параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ, які узгоджені з часом початку збирання та виробничою площею цукрових буряків у СГП, дає змогу знизити обсяги сукупних витрат коштів у цих ТП на 13,4 %. Результати досліджень впроваджено у практику ТОВ «П'ятидні» Володимир-Волинського району Волинської області. Очікуваний річний економічний ефект (для виробничої площі 120 га та бурякозбирального комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1») становить 151 971,7 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абросимов А. Г. Повышение эффективности технологического процесса выкопки корнеплодов сахарной свеклы при повышенной влажности почвы путем совершенствования вибрационного копателя: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Мичуринск, 2011. 18 с.
2. Альянах И. Н. Моделирование вычислительных систем. Ленинград: Машиностроение, 1988. 222 с.
3. Балашов А. В., Гуцин Д. А. Взаимосвязь параметров и режимов работы свеклоуборочных комбайнов с критериями эффективности и качества работ. *Сборник научных трудов ГНУ ВИИТиН*. Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2009. Вып. 16. С. 12–18.
4. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи застосування адаптивного викопувального робочого органу коренезбиральної машини. *Науковий вісник НАУ*. 2004. Вип. 73, ч. 1. С. 249–255.
5. Березовецький С. А. Обґрунтування параметрів технічного оснащення технологічних систем збирання озимого ріпаку: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Львів, 2017. 21 с.
6. Бомба М. Я., Томашівський З. М. Наукові і практичні основи обробітку ґрунту: навч. посіб. Івано-Франківськ: Галичина, 1993. 148 с.
7. Бондар С. М., Мельник І. І., Гречкосій В. Д. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навч. посіб. Ніжин: АСПЕКТ Поліграф., 2005. 192 с.
8. Бочаров П. П., Печинкин А. В. Теория массового обслуживания. Москва : Изд-во РУДН, 1995. 529 с.
9. Булгаков В. М., Головач І. В. Використання вібраційних робочих органів при викопуванні корнеплодів цукрових буряків. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 2. С. 40–45.

10. Булгаков В. М. Теорія бурякозбиральних машин: монографія. Київ: Вид-во НАУ, 2005. 245 с.
11. Буряк цукровий. *Аграрний сектор України*. URL: <http://agroua.net/plant/catalog/cg-7/c-22/info/cag-40/>
12. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. Москва: Наука, 1978. 351 с.
13. Василенко П. М. К методике стохастического моделирования функционирования машинных агрегатов. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1991. № 2. С. 144–146.
14. Взаємозв'язки між головними складовими проектів техніко-технологічного забезпечення систем збирання цукрових буряків / Луб П. М., Пукас В. Л., Шарибура А. О., Спічак В. С. *Управління проектами: стан та перспективи*: матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конф. Миколаїв: НУК, 2017. С. 66.
15. Войтюк П., Кремсал В. Вплив основної обробки ґрунту на врожайність цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2010. № 1. С. 8–11.
16. Войтюк П., Погорілий В. Комбайни для цукрових буряків. *Farmer*. 2008. № 9. С. 54–57.
17. Волков И. К., Загоруйко Е. А. Исследование операций: учеб. для вузов. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 435 с. URL: <http://library.bmstu.ru/BooksSearcher.aspx?author=%c2%ee%eb%ea%ee%e2+%c8.+%ca>.
18. Вплив рівня техніко-технологічного забезпечення на ефективність виробництва цукрових буряків / М. І. Грицишин, М. Г. Цибуля, Н. М. Коньок, Г. М. Бражевська. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 9. С. 37–40.
19. Вплив узгодженості складових технологічної системи на ефективність збирання врожаю культур / П. М. Луб, В. Л. Пукас, А. О. Шарибура, В. С. Спічак. *Технічний прогрес у сільськогосподарському*

виробництві: матеріали XXVII Міжнар. наук.-техн. конф. Глеваха: ННЦ ІМЕСГ, 2019. С. 83–84.

20. Вуколов Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и дополн. Москва: ФОРУМ, 2008. 464 с.

21. Гевко Р. Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Київ, 1999. 35 с.

22. Глушков В. М., Иванов В. В., Яненко В. М. Моделирование развивающихся систем. Москва: Наука, 1983. 337 с.

23. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. Изд. 6-е, стер. Москва: Высш. шк., 1998. 479 с.

24. Гречкосій В. Д. Сучасні технології і техніка для збирання цукрових буряків. *Аграрний сектор України*. URL: http://agroua.net/news/news_47907.html.

25. Гречкосій В. Д., Гаркуша Ю. М. Комплексна механізація вирощування та збирання цукрових буряків. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2010. Вип. 145. С. 281–290.

26. Грингоф И. И., Попова В. В., Страшный В. Н. Агрометеорология. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1987. 310 с.

27. Диденко Н. К., Гречкосей В. Д., Мельник И. И. Обоснование состава комплексов машин для растениеводства. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1980. № 9. С. 4–5.

28. Динаміка формування листкового апарату, маси коренеплодів та накопичення цукру різних біологічних форм буряків цукрових / Л. М. Карпук, О. В. Крикунова, М. М. Кикало, В. В. Поліщук. *Агробіологія*: зб. наук. праць. Біла Церква, 2015. Вип. 1. С. 59–62.

29. Днесь В. І. Обґрунтування параметрів зернозбирально-транспортних комплексів для сільськогосподарських товаровиробників: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2015. 20 с.
30. Долінський В. Європейські стандарти вирощування цукрового буряку: за і проти. URL: <http://agravery.com/uk/posts/author/show?slug=evropejski-standarti-virosuvanna-cukrovogo-buraku-za-i-proti>.
31. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., дополн. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
32. Дружинин В. В., Контров Д. С. Системотехника. Москва: Радио и связь, 1985. 200 с.
33. ДСТУ 2153:2006 Буряки цукрові. Терміни та визначення понять. [Чинний від 2007-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 61 с.
34. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2010-12-09]. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 39 с.
35. ДСТУ 2960-94. Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Держстандарт України, 1996. 48 с.
36. ДСТУ 4327:2004. Коренеплоди цукрових буряків для промислового переробляння: [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 181 с. (Національні стандарти України).
37. ДСТУ 4397:2005 Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування [Чинний від 2006-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2006. 19 с.
38. ДСТУ 4778:2007. Буряки цукрові. Методи визначення якості коренеплодів. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 18 с.

39. ДСТУ 4982:2008. Буряки цукрові. Методи визначання густоти стояння рослин та врожайності. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 11 с.
40. ДСТУ 4983:2008. Буряки цукрові. Експрес-методи визначання технологічних показників якості коренеплодів. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 11 с.
41. ДСТУ 7062:2009. Буряки цукрові. Збирання. Показники якості та методи їх визначання. [Чинний від 2011-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 12 с.
42. Дуганець В. І., Пукас В. Л., Луб П. М. Агрометеорологічно зумовлений фонд часу на виконання технологічних процесів збирання цукрових буряків. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8, т. 1. С. 15–23.
43. Дуганець В. І., Пукас В. Л., Луб П. М. Обґрунтування сезонного навантаження бурякозбирального комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1» за різного часу початку збиральних робіт. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. 9 (108). С. 200–209.
44. Дудник І. М. Вступ до загальної теорії систем: навч. посіб. Полтава, 2010. 129 с.
45. Завалишин Ф. С., Мацнев М. Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. Москва: Колос, 1982. 226 с.
46. Залевский А. В. Определение потребности сельского хозяйства в технике методом нормативов. Москва: Колос, 1971. 160 с.
47. Зангиев А. А. Обоснование оптимальных параметров взаимосвязанных агрегатов при поточной организации полевых работ. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1985. № 4. С. 28–30.

48. Івасюк І. П. Обґрунтування параметрів технологічної системи обробітку ґрунту та сівби озимих культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2013. 19 с.
49. Ідентифікація процесу розробки адаптованої коренезбиральної машини / В. О. Дубровін, Г. А. Голуб, Н. А. Дубчак, В. В. Теслюк. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2013. Вип. 185(2). С. 11–30.
50. Интенсивная технология выращивания сахарной свеклы: / под. ред. В. А. Петрова; пер. с нем. А. Т. Докторова. Москва: Агропромиздат, 1987. 319 с.
51. Іоніцой Ю. С. Формування продуктивності цукрових буряків в кінці періоду вегетації. *Цукрові буряки*. 2013. № 5. С. 10–11.
52. Карабиньош С., Новицький А., Сиволапов А. Бурякозбиральні машини та їх характеристики. *Пропозиція*. 2008. № 10. С. 96–102.
53. Карабиньош С., Новицький А. Підготовка бурякозбиральної техніки до польових робіт. *Пропозиція*. 2006. № 10. С. 110–118.
54. Киртбая Ю. К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка. Москва: Колос, 1982. 320 с.
55. Кілісенко Т. А. До оцінки ефективності управління витратами на підприємствах бурякоцукрової галузі. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 3. С. 81–83.
56. Комбайн свеклоуборочный самоходный СКС-624-01 «Палессе BS624». *ОАО «ГОМСІЛЬМАШ»* URL: <https://www.gomselmash.by/produksiya/sveklouborochnaya-tekhnika/sks-624-01-palesse-bs624.html>.
57. Комплексна механізація буряківництва: навч. посіб. / В. Д. Гречкосій та ін.; Національний університет біоресурсів і природокористування України. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2013. 358 с.
58. Коренев Г. В., Тарасенко А. П. Прогрессивные способы уборки и борьба с потерями урожая. Москва: Колос, 1987. 240 с.

59. Корженко А. М. Визначення дихання цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2010. № 6. С. 11–13.
60. Король О. Солодкі сподівання: чи стане 2017 рік зірковим для цукрового буряка. *Agravery – Аграрне інформаційне агентство*. URL: <http://agravery.com/uk/posts/show/solodki-spodivanna-ci-stane-2017-rik-zirkovim-dla-cukrovogo-buraka>.
61. Костючко С. С. Оптимізація елементів технології вирощування цукрових буряків в умовах Західного Лісостепу: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.09. Львів, 2016. 20 с.
62. Кравчук В., Шустік Л. Про нові підходи в технічному забезпеченні вирощування цукрових буряків. *Техніка і технології АПК*. 2012. № 4. С. 4–8.
63. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. 3-е изд., перераб. и дополн. Москва: 2010. 551с.
64. Кригуль Р. Є. Ідентифікація конфігурації парку автомобілів у проектах створення транспортної інфраструктури бурякоприймальних пунктів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, 2010. 22 с.
65. Кушнарёва М. Н. Выбор рациональных технических средств механизации уборки сахарной свеклы. *Экономика и организация производства в агропромышленном комплексе. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ*. 2010. № 6. С.56–58.
66. Лазарев И. А. Композиционное проектирование сложных агрегативных систем. Москва: Радио и связь, 1986. 312 с.
67. Липкович Э. И., Сергеева Л. П. Моделирование системы уборочно-транспортного и заготовительного процесса в агропромышленном объединении. *Системный анализ в разработке механизированных сельскохозяйственных технологий*. зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1984. С. 95–111.
68. Лифшиц А. Л., Мальц Э. А. Статистическое моделирование систем массового обслуживания. Москва: Сов. радио, 1978. 248 с.

69. Луб П. М. Обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин сільськогосподарського підприємства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Львів, 2006. 23 с.

70. Мазуренко А. М. Механіко-технологічне обґрунтування збирання цукрових буряків з укладанням коренеплодів у потужний валок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2012. 40 с.

71. Марченко В. Методика визначення показників економічної ефективності використання комплексів машин та машинно-тракторного парку. *Механізація сільськогосподарського виробництва*: зб. наук. праць НАУ. 2003. Т. 14. С. 189–194.

72. Марчин М. І. Методи управління витратами у цукровій галузі. *Економіка та держава*. 2012. № 3. С. 52–55.

73. Маслак О., Ільченко О. Економіка цукрових буряків в Україні. *Пропозиція*. URL: <http://propozitsiya.com/ua/ekonomika-cukrovih-buryakiv-v-ukrayini>.

74. Метод визначення часу запуску портфелів проектів збирання цукрових буряків / О. В. Сидорчук, П. М. Луб, Л. Л. Сидорчук, В. Л. Пукас. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2017. № 3(1225). С. 59–64. doi: 10.20998/2413-3000.2017.1225.10.

75. Метод врахування об'єктивних причин стохастичності термінів бурякозбиральних робіт / О. В. Сидорчук, П. М. Луб, В. С. Спічак, В. Л. Пукас. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2015. Вип. 226. С. 109–115.

76. Метод обґрунтування параметрів збирально-транспортних комплексів / О. В. Сидорчук та ін. *Механізація та електрифікація сільськогосподарського виробництва*. 2015. № 1. С. 10–15.

господарства: загальнодерж. зб. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2015. Вип. № 1 (100). С. 224–235.

77. Методичні положення та норми продуктивності і витрати палива на збиранні сільськогосподарських культур / І. М. Демчак та ін. Київ: НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2014. 272 с.

78. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11: Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Ч. 1.: Основные агрометеорологические наблюдения. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. 320 с.

79. Основы имитационного и статистического моделирования Ю. С. Харин и др. Минск: Дизайн Про, 1997. 288 с.

80. Пасечная Л. Д. Методические основы определения технического оснащения уборочных работ: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Краснодар, 1988. 19 с.

81. Пасечная Л. Д. О математическом моделировании технологических комплексов машин с учетом переменных условий внешней среды. *Инженерно-техническое обеспечение сельскохозяйственного производства*. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1983. С. 120–129.

82. Пастухов В. І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.05.11. Харків, 2004. 38 с.

83. Погорельый Л. В., Татьянко Н. В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. Киев: Феникс, 2004. 232 с.

84. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики. Москва: Финансы и статистика, 1982. 344 с.

85. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества. Москва: Машиностроение, 1988. 368 с.

86. Пономарев В. Б., Лошкарев А. Б. Математическая обработка результатов инженерного эксперимента: учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2015. 101 с.

87. ГОСТ 11.007-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. Москва: Изд-во стандартов, 1981. 20 с.

88. ГОСТ 11.007-75. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла. Москва: Изд-во стандартов, 1980. 30 с.

89. ГОСТ 11.006-75. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Москва: Изд-во стандартов, 1981. 32 с.

90. Про державне регулювання виробництва цукру та цукрових буряків у період з 1 вересня 2017 р. до 1 вересня 2018 р.: Постанова Кабінету Міністрів України від 18 січня 2017 р. № 22. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/249676289>.

91. Про затвердження Методики обчислення вартості машино-дня та збитків від простою машин: Постанова Кабінету Міністрів України від 12 липня 2004 р. № 885. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/>.

92. Пукас В. Л. Обґрунтування вимог до методу визначення часу запуску портфелів проектів збирання цукрових буряків. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 2016. Вип. 4 (103). С. 57–65.

93. Пятовская Л. К. Методические указания по составлению прогноза оптимальных сроков начала полевых работ и сева основных сельскохозяйственных культур в Белоруссии. Минск: УГМС БССР, 1977. 46 с.

94. Результати статистичного імітаційного моделювання та визначення впливу часу початку технологічних процесів збирання цукрових буряків на своєчасність їх виконання. В. І. Дуганець, В. Л. Пукас, П. М. Луб, В. І. Днесь.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2018. Вип. 8(107). С. 209–218.

95. Рибаченк О. М. Інноваційні підходи щодо розвитку цукробурякової галузі. *Економіка АПК*. 2012. № 1. С. 103–108.

96. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / В. В. Лихочвор, В. Ф. Петриченко, П. В. Івашук, О. В. Корнійчук; за ред. В. В. Лихочвора, В. Ф. Петриченка. 3-тє вид., виправл., доповн. Львів: НВФ "Українські технології", 2010. 1088 с.

97. Роїк М., Мазуренко А. Зберемо врожай цукрових буряків вітчизняною технікою. *Укragропортал*. 2001. URL: <http://www.ukragroportal.com>.

98. Рудинець М. В. Управління роботами в інтегрованих проектах з технологічним ризиком (стосовно виробництва, заготівлі та переробки молока): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, 2010. 18 с.

99. Руководство по агрометеорологическим прогнозам / под. ред. Е. С. Улановой, В. А. Моисейчик, А. Н. Полевого. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. Т. 1. 309 с.

100. Рунчев М. С., Липкович Э. И., Жуков В. Я. Организация уборочных работ специализированными комплексами. Москва: Колос, 1980. 223 с.

101. Савин И. Г. Оптимальная продолжительность работы МТА в МТС. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2000. № 12. С. 10–12.

102. Саклаков В. Д., Сергеев М. П. Техничко-економическое обоснование выбора средств механизации. Москва: Колос, 1973. 200 с.

103. Сахарная свекла. Интенсивная технология / отв. за вып. В. А. Петров. Москва: Агропромиздат, 1988. 96 с.

104. Сенчук С. Р. Організаційно-технологічні принципи створення ресурсоощадної системи ремонту дизельних двигунів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 08.06.01. Львів, 1998. 18 с.

105. Сидорина Т. Самоучитель Microsoft Visual Studio C++ и MFC. Санкт-Петербург; Москва, 2009. 848 с.

106. Сидорчук Л. Л. Ідентифікація конфігурації парку комбайнів у проєктах систем централізованого збирання ранніх зернових культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22. Львів, 2008. 18 с.

107. Сидорчук О. В., Сенчук С. Р. Інженерний менеджмент: системотехніка виробництва: навч. посіб. Львів: Львів. ДАУ, 2006. 127 с.

108. Сидорчук О. В., Луб П. М., Пукас В. Л. Обґрунтування тривалості життєвого циклу збирально-рільничих проєктів. *Управління проєктами у розвитку суспільства* : тези доп. XII Міжнар. конф. Київ : КНУБА, 2015. С. 246–248.

109. Сидорчук О. В., Сидорчук О. О. Проєктно-системний підхід до управління технічним оновленням технічного потенціалу агропромислового виробництва. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб., Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2011. Вип. 95. С. 384–392.

110. Сидорчук О. В., Гадзало Я. М. Системні засади дослідження машин. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2013. Вип. 98, т. 2. С. 344–353.

111. Сидорчук О. В. Трансфер інноваційних розробок у сільськогосподарське виробництво. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2014. Вип. 99, т. 1. С. 365–375.

112. Синельников А. А. Повышение эксплуатационной надежности и экономичности свеклоуборочного комбайна Holmer в условиях сельского

товаропродуцителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. Мичуринск, 2014. 20 с.

113. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / В. В. Адамчук та ін. Київ: Аграрна наука, 2012. 416 с.

114. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / Д. Г. Войтюк та ін.; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.

115. Согласование параметров проектов технологических систем / А. Сидорчук, И. Тригуба, В. Пукас, В. Спичак. *MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin; Rzeszow. 2015. Vol. 17, № 3. P. 39–45.

116. Спичак В. С. Управління виробничо-технологічним ризиком у проєктах збирання цукрових буряків: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, 2010. 23 с.

117. Статистика сільського господарства та навколишнього середовища. *Державний комітет статистики України*: URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

118. Статистичне імітаційне моделювання технологічних процесів збирання коренеплодів цукрових буряків / П. М. Луб, А. О. Шарibuра, В. Л. Пукас, В. С. Спичак. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*: матеріали XX Міжнар. наук.-практ. форуму. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2019. С. 332–336.

119. Статистичні закономірності формування початкових біологічно-предметних умов для виконання технологічних процесів збирання цукрових буряків. В. І. Дуганець, В. Л. Пукас, П. М. Луб, А. О. Шарibuра. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2018. № 22. С. 107–112.

120. Статистичні моделі агрометеорологічних умов у проектах збирання сільськогосподарських культур / О. В. Сидорчук, П. М. Луб, В. І. Дуганець, В. Л. Пукас. *Управління проектами: стан та перспективи: матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф. Миколаїв: НУК, 2016. С. 137–138.*

121. Структурний аналіз проектів технологічних систем збирання врожаю. О. В. Сидорчук, В. Л. Пукас, П. М. Луб, А. О. Шарибура. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2018. № 2(1278). С. 10–15. doi: 10.20998/2413-3000.2018.1278.2.*

122. Табашников А. Т. Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур. Москва: Агропромиздат, 1985. 159 с.

123. Тараскин А. Ф. Статистическое моделирование и метод Монте-Карло: учеб. пособие. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 1997. 62 с.

124. Технологічна якість цукрових буряків та підвищення ефективності виробництва цукру / В. М. Мількевич та ін. Київ: Укр. фітосоц. центр, 2000. 131 с.

125. Типові норми продуктивності і витрат палива на збиранні сільськогосподарських культур / В. В. Вітвіцький та ін. Київ: НДІ „Украгропромпродуктивність”, 2005. 544 с.

126. Тырнов Ю. А. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов на возделывании и уборке сахарной свеклы. Воронеж, 1999. 209 с.

127. Тригуба А. М. Параметри транспортно-заготівельної інфраструктури молокопереробного підприємства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, 2004. 16 с.

128. Уемов А. И. Системный подход и общая теория систем. Москва: Мысль, 1978. 272 с.

129. Узагальнена методика узгодження часу початку збирання цукрових буряків та їх виробничої площі із параметрами бурякозбиральних комбайнів / П. М. Луб, А. О. Шарибура, В. Л. Пукас, В. С. Спічак. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. форуму. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2018. С. 142–144.

130. Узгодження конфігурацій інтегрованих проектів аграрного виробництва / А. М. Тригуба, О. В. Шелега, В. Л. Пукас, В. М. Михалюк. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: *Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2015. № 2(1111). С. 135–140.

131. Українська інтенсивна технологія виробництва цукрових буряків / під ред. О. М. Ткаченка, М. В. Роїка; УААН, Ін-т цукрових буряків. Київ: Академпрес, 1998. 189 с.

132. Укрцукор. *Національна асоціація цукровиків України*. URL: <http://www.ukrsugar.com/uk>.

133. Уланова Е. С., Забелин В. Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 146 с.

134. Управління врожайністю цукрових буряків / І. Ф. Карпенко та ін.; за ред. І. Ф. Карпенка. Київ: Урожай, 1991. 192 с.

135. Управління проектами збирально-транспортних технологічних систем / Луб П., Сидорчук Л., Спічак В., Пукас В. *Перспективи ефективних управлінських рішень в бізнесі та проектах*: матеріали II Міжнар. наук.-практич. конф. Одеса: Фенікс, 2016. С. 126–128.

136. Управління проектами технологічних систем вирощування сільськогосподарських культур / П. М. Луб, А. О. Шарибура, І. Л. Тригуба, В. Л. Пукас. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. Серія:

Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2016. № 2(1174). С. 81–85. doi: [10.20998/2413-3000.2016.1174.18](https://doi.org/10.20998/2413-3000.2016.1174.18)

137. Федосеев А. П. Агротехника и погода. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 240 с.

138. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа / пер. с нем. В. М. Ивановой. *Финансы и статистика*. 1983. С. 203–209.

139. Филюк Г., Ситенко Д. Причины кризового стану підприємств цукрової галузі України та шляхи їх розв'язання. *Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Економіка*. 2014. № 5(158). С. 6–11.

140. Фінн Е. А., Варшавський М. Л., Черватюк І. Є. Комплектування машинно-тракторного парку колгоспів і радгоспів. Київ: Урожай, 1989. 176 с.

141. Фришев С. Г., Купрейчук І. І. Екологічні та економічні проблеми збирально-транспортних процесів для коренеплодів цукрових буряків. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2017. Вип. 262. С.87–102.

142. Фришев С. Г. Обґрунтування параметрів збирально-транспортного комплексу для цукрових буряків. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2014. Вип. 196(2). С. 285–292.

143. Харченко С. В. Влияние некорневых подкормок микроэлементами на урожай и качество корнеплодов сахарной свеклы в условиях Лесостепи ЦЧЗ: автореф. дис. ... канд. с-х. наук: 06.01.04. Воронеж, 2010. 18 с.

144. Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. Москва: Статистика, 1980. 94 с.

145. Хвощева Б. В., Суханова Р. С. Потери при уборке и хранении сахарной свеклы пути их сокращения. Москва: ВНИИТЭИ агропром, 1987. 55 с.

146. Хелемендик М. М., Лоскутов Я. Я. Збирання цукрових буряків без втрат. Львів: Каменярь, 1984. 47 с.

147. Хелемендик М. М., Петренко С. В., Дмитрук В. П. Цукрові буряки на заході України. Луцьк: Надстир'я, 2001. 200 с.

148. Ціп Є. І. Сезонна програма комбайна і ризик у процесі централізованого збирання ранніх зернових: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, 2002. 18 с.

149. Цукрова карта: основні тренди ринку у світі та у окремих країнах. *Agravery – аграрне інформаційне агентство*: URL: <http://agravery.com/uk/posts/show/cukrova-karta-osnovni-trendi-rinku-u-sviti-ta-u-okremih-krainah>

150. Чубко О. Цукрові буряки по осені рахують. *Агросектор*. 2007. № 7-8 (21-22). С. 26–28.

151. Шамсутдінова А. В. Особливості формування врожаю і якості коренеплодів буряків цукрових залежно від застосування мікродобрив у Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.09. Київ, 2017. 20 с.

152. Шарипов А. К. Опыт возрождения свеклосахарного производства в Казахстане и России. *Актуальные вопросы экономических наук*: материалы II Междунар. науч. конф. Уфа: Лето, 2013. С. 36–40.

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

154. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. Москва: Мир, 1978. 418 с.

155. Шолудько П. В. Системно-подієві засади планування проектів захисту рослин обприскуванням: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, 2011. 20 с.

156. Шпар Д., Дрегер Д., Захаренко А. Сахарная свекла. Москва: ИД ООО DLV «Агродело», 2006. 315 с.

157. Bertalanffy L. General system theory. Foundations, development, applications. New York: 12th paperback printing, 2013. 296 p.

158. Harrington D. H., Dubman R. Equilibrium displacement mathematical programming model methodology and a model of the U.S. *Agricultural Sector*. Technical Bulletin. Washington: DC, USDA-ERS, 2008. No. 1918. P. 56–64.
159. Heidari G., Sohrabi Y., Esmailpoor B. Influence of harvesting time on yield and yield components of sugar beet. *Agri. Soc. Sci.* 2008. , Vol. 4, No. 2. P. 69–73.
160. Impact of coupled EU support for sugar beet growing: More production, lower prices / A. B. Smit, R. A. Jongeneel, H. Prins, J. H. Jager en W. H. G. J. Hennen. *Wageningen Economic Research: More sugar beets and lower sugar beet price*. Report. Wageningen, 2017. No. 114. 62 p.
161. Long-term storage of sugar beet in North-West Europe / T. Huijbregts, G. Legrand, C. Hoffman, R. Olsson. *COBRI Report*. 2013. №1. P. 50.
162. Lub P., Sharybura A., Pukas V. Modelling of the technological systems projects of harvesting agricultural crops. *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. Lviv, Ukraine, 2019. P. 19–22.
163. Nolte S., Buysse J., Huylenbrouck G. Modelling the effects of an abolition of the EU sugar quota on internal prices, production and imports. *European Review of Agricultural Economics*. 2012. 39 (1). P. 75–94.
164. Powers L., Snell M. Microsoft Visual Studio 2005 Unleashed. *Sams*. 2012. 888 p.
165. Rubinstein R. Y., Kroese D. P. Simulation and the Monte Carlo method. 2-nd edition. Wiley, 2007. 345 p.
166. Schildt H. C#: The Complete Reference. Osborne: The McGraw-Hill Companies, 2003. 752 p.

ДОДАТКИ

Додаток А.

Блок-схема алгоритму статистичної імітаційної моделі механізованих технологічних процесів збирання цукрових буряків

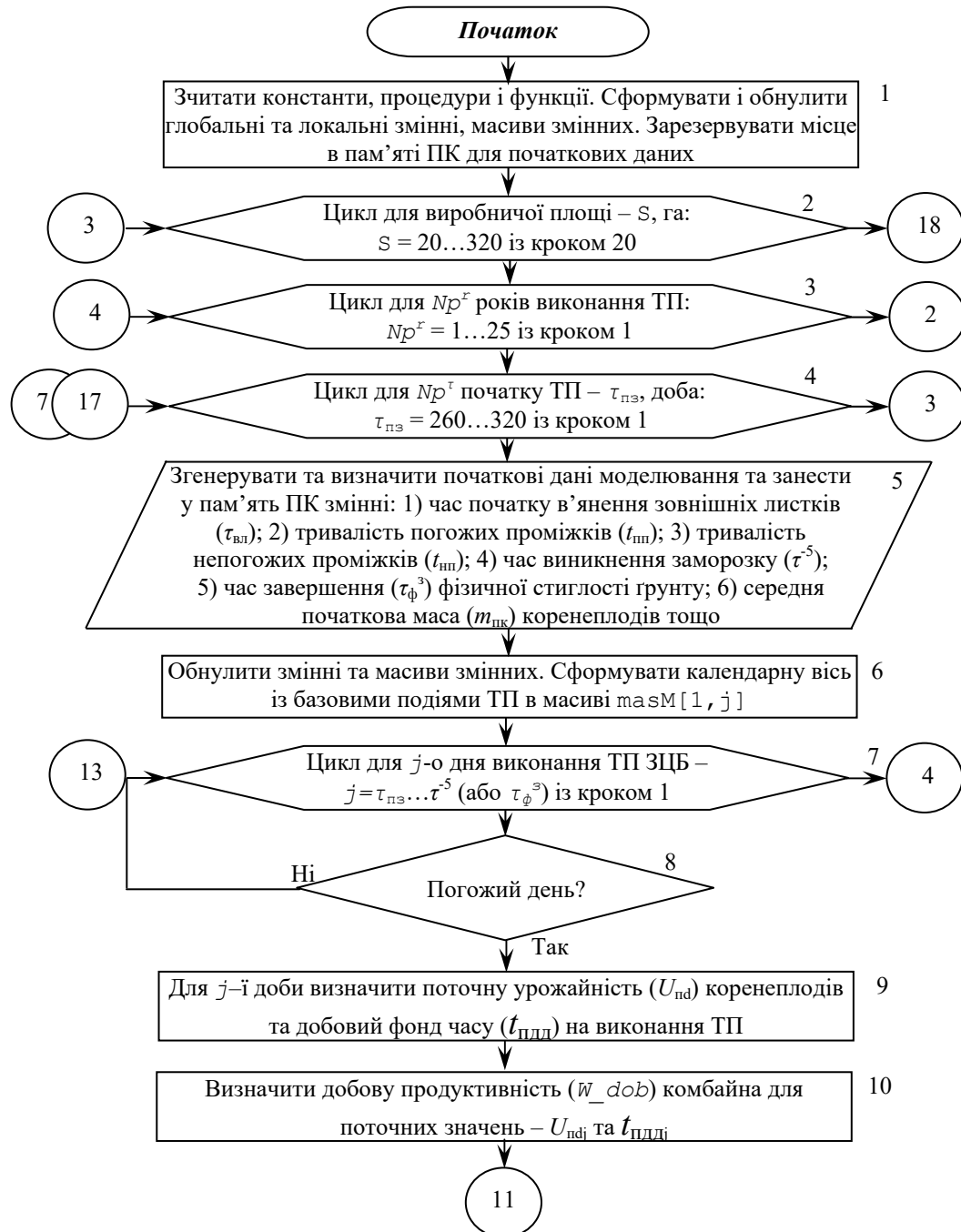


Рис. А.1. Блок-схема алгоритму статистичної імітаційної моделі механізованих технологічних процесів збирання цукрових буряків.

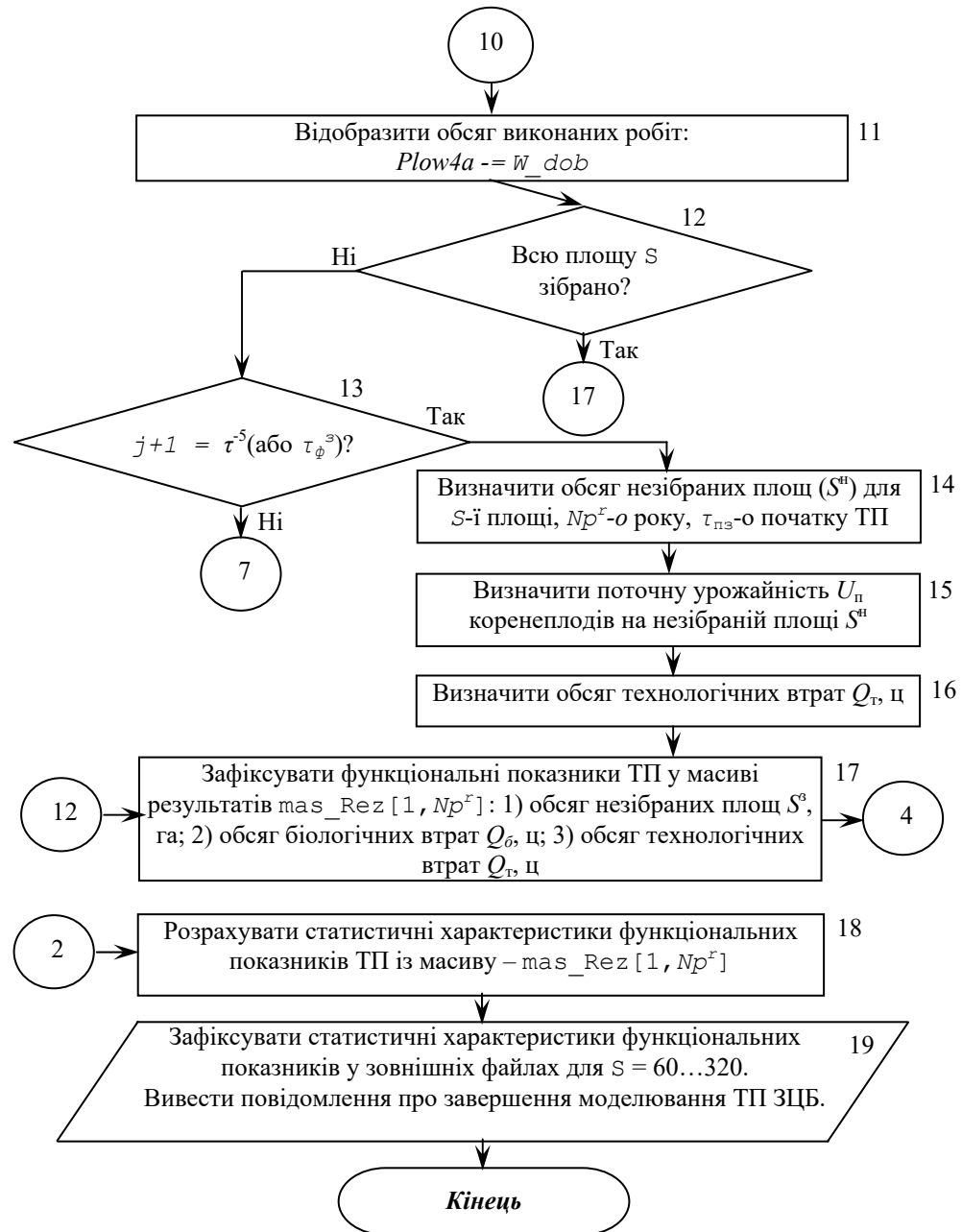


Рис. А.1 Блок-схема алгоритму статистичної імітаційної моделі механізованих технологічних процесів збирання цукрових буряків (продовження).

Додаток Б.

**Фрагмент коду комп'ютерної програми статистичної імітаційної моделі
технологічних процесів збирання цукрових буряків**

(програме середовище – C#, оболонка – *Microsoft Visual Studio 2005*)

```

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

namespace PDF_for_SB
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        Random rd = new Random();
        public int Start_pl = 120, start_Day = 260, end_Day = 350, i = 0, realiz = 10;
        StreamWriter rez_J, rez_4, rez_2, rez_Validation;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

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

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

```

```

}

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

double bio_Vtr(int Doba, int end_FSG, double t_gr, double sum_t_pov, double
Masa_k)
{
    double t_pov = 0, bio_masa = 0;
    {
        for (int ii = Doba; ii < end_Day; ii++)
        {
            if (ii >= end_FSG | t_gr <= -5)//визначити недобір біологічного
            врожаю
            {
                double Masa_kor = 0;
                Masa_kor = Masa_k + (-0.0002 * Math.Pow(sum_t_pov, 2) + 0.588 *
sum_t_pov - 0.5122); // визначили масу кореня від приросту Sum_T_pov
                bio_masa = Start_pl * ((Masa_kor * 90000) / 100000);

                break; // завершення роботи якщо поч.зимми або заморозок
            }
            t_pov = ((0.0000084 * Math.Pow(ii, 3) - 0.007139 * Math.Pow(ii, 2) +
1.838 * ii - 130.43)
                + norm(0.356, 3.885, -17.3, 11.5));
            t_gr = (-0.0056 * Math.Pow(t_pov, 2) + 0.9306 * t_pov - 3.5335);
            if (t_pov > 6) sum_t_pov += (t_pov - 6);// обмеження за низькими
температурами в Sum_T_pov
        }
    }
}

```

```

        return bio_masa;
    }

//МОДЕЛЬ
void model()
{
    rez_J = new StreamWriter("rez_J.txt");
    rez_4 = new StreamWriter("rez_4.txt");
    rez_2 = new StreamWriter("rez_2.txt");
    rez_Validation = new StreamWriter("rez_Validation.txt");

    int[] GoodDay = new int[30];
    int[] MalDay = new int[30];
    int[] Pogoda = new int[150];

    try
    {
        for (int i = start_Day; i < end_Day; i++) // для кожного початкового дня
        {
            pogoda.Value = 0;
            double Jmov_Vtr = 0, Jmov_Vtr_bio = 0, Matsp_VZ = 0, Matsp_ZP = 0,
            Matsp_ZV = 0, Matsp_VB = 0;

            for (int pogG = 0; pogG < realiz; pogG++) // 25 масивів погожих днів
            {
                for (int G = 0; G < GoodDay.Length; G++)
                {
                    GoodDay[G] = (int)veyb(5.665, 1.148, 1, 1, 21);
                }
                for (int pogM = 0; pogM < realiz; pogM++) // 25 масивів
                непогожих днів
                {
                    for (int M = 0; M < MalDay.Length; M++)
                    {
                        MalDay[M] = (int)veyb(2.531, 1.080, 1, 1, 14); // !!!
                    }
                }
                Pogoda = FormPogodu(GoodDay, MalDay, Pogoda.Length);
                double Sum_Val_Zbir = 0, SumZ_P1 = 0, Sum_Z_Val = 0,
                Sum_Vtr_bio = 0;

                int end_FSG=0;//визначення часу поч. ТП ЗЦБ

                for (int j = 0; j < realiz; j++) // 25 варіантів end_FSG
                {
                    end_FSG = (int)norm(319.452, 16.416, 281, 356);

                    for (int zamor = 0; zamor < realiz; zamor++) // 25
                    варіантів еф. температур, приросту кореня, заморозку
                    {
                        int Doba = 210, //start_Day-1,початок приросту ЦБ
                        p = 0, Den_Zamorozy_5 = 0;
                        double Plow4a = Start_pl, W_god = 0, k_zm = 1.5,
                        T_grynty = 0, T_povitrja = 0, Sum_T_pov = 0,
                        Val_Zbir = 0, Z_P1 = 0, Z_Val = 0, Vtr_bio =
                    0,

```

```

Sx_Sun = 0, Zx_Sun = 0, Tr_Sun = 0,
Masa_k = veyb(153.34, 1.681, 74, 74, 426);

do
{
    T_povitrja = ((0.0000084 * Math.Pow(Doba, 3) -
0.007139 * Math.Pow(Doba, 2) + 1.838 * Doba - 130.43)
+ norm(0.356, 3.885, -17.3,
11.5));
    T_grynty = (-0.0056 * Math.Pow(T_povitrja, 2) +
0.9306 * T_povitrja - 3.5335);

    if (T_povitrja > 6) Sum_T_pov += (T_povitrja -
6); // обмеження низьких температур в Sum_T_pov
    double Masa_kor = 0;
    Masa_kor = Masa_k + (-0.0002 *
Math.Pow(Sum_T_pov, 2) + 0.588 * Sum_T_pov - 0.5122); // визначили масу кореня від
приросту Sum_T_pov

    //+Тривалість Добового фонду часу на ТП
    Sx_Sun = -0.000021 * Math.Pow(Doba, 2) + 0.0457
* Doba - 4.46; //6.725 - 2.295 * Math.Sin(((Doba - 81) / 365) * 2 * Math.PI);
    Zx_Sun = 0.000099 * Math.Pow(Doba, 2) - 0.0929 *
Doba + 35.998; //Math.Sin(((Doba - 81) / 365) * 2 * Math.PI) * 3.33 + 18.88;

    //-Тривалість Добового фонду часу на ТП

    if (Doba >= end_FSG | T_grynty <= -5) //чи немає
завершення ФСГ, або заморозку
    {
        Z_P1 = Plow4a; // незібрана площа
        Z_Val = (Plow4a * ((Masa_kor * 90000) /
100000)); // Втрачений Валовий врожай

        if (T_grynty <= -5) Den_Zamorozy_5 = Doba;

        break; // завершення роботи якщо поч.зими,
    або заморозок
    }

    Tr_Sun = (Sx_Sun < 8) ? Zx_Sun - 8 : Zx_Sun -
Sx_Sun;

    if (Pogoda[p + 1] == 0) //якщо завтра непогож.
тоді визначити Tr_Sun із випаданням дощу посеред дня
    {
        double rnd = rd.NextDouble(); //час випадання
        дощу
        double Dosh4 = 682.05 * Math.Pow(rnd, 6) -
2028.7 * Math.Pow(rnd, 5) + 2245.6 * Math.Pow(rnd, 4) - 1100.4 * Math.Pow(rnd, 3) +
192.19 * Math.Pow(rnd, 2) + 31.86 * rnd + 1.7662;
        if (Dosh4 > ((Sx_Sun < 8) ? 8 : Sx_Sun) &
Dosh4 < Zx_Sun) Tr_Sun = Dosh4 - ((Sx_Sun < 8) ? 8 : Sx_Sun); //якщо дощ до Sx_Sun чи
після Zx_Sun то ігнор.

        if (Tr_Sun < 1) Tr_Sun = 0; //роботи
невиконуються коли фонд часу <1год.

        if (Pogoda[p] > 0 & Doba >= i) // щоденне
збирання
    {

```

```

W_god = 1.67; //врахувати вплив Masa_kor на W_god
if (((Masa_kor * 90000) / 100000) < 200)
if (((Masa_kor * 90000) / 100000) > 600)
{
W_god = 0.71;
}
else W_god = 0.0000024 * Math.Pow(((Masa_kor
* 90000) / 100000), 2) - 0.0043 * ((Masa_kor * 90000) / 100000) + 2.4371;

if (Plow4a < (W_god * Tr_Sun))
{
Val_Zbir += (Plow4a * ((Masa_kor *
90000) / 100000));

Plow4a = 0;
}
else
{
Plow4a -= (W_god * Tr_Sun);
Val_Zbir += ((W_god * Tr_Sun) *
((Masa_kor * 90000) / 100000));
}
}

if (Doba >= i) p++; // підрахунок діб для
Pogoda[p], ще відображає тривалість роботи техніки на полі
Doba++;
if (Plow4a <= 0) break; // завершення роботи
якщо поле зібране
} while (true);

Sum_Val_Zbir += Val_Zbir; // валовий збір, ц
SumZ_Pl += Z_Pl; // втрачена площа, га
Sum_Z_Val += Z_Val; // валова втата, ц
Vtr_bio = bio_Vtr(Doba, end_FSG, T_grynty,
Sum_T_pov, Masa_k)- Val_Zbir - Z_Val;
Sum_Vtr_bio += Vtr_bio; // біологічні втрати ЦБ, ц

rez_4.WriteLine("{0,-5}{1,-18}{2,-18}{3,-18}{4,-
18}", i, Math.Round(Val_Zbir, 3), Math.Round(Z_Pl, 3), Math.Round(Z_Val, 3),
Math.Round(Vtr_bio, 3));

if (Z_Pl > 0) Jmov_Vtr++;
if (Vtr_bio > 0) Jmov_Vtr_bio++;
}
}

Sum_Val_Zbir = Math.Round((Sum_Val_Zbir / Math.Pow(realiz,
2)), 3);

SumZ_Pl = Math.Round((SumZ_Pl / Math.Pow(realiz, 2)), 3);
Sum_Z_Val = Math.Round((Sum_Z_Val / Math.Pow(realiz, 2)),
3);

Sum_Vtr_bio = Math.Round((Sum_Vtr_bio / Math.Pow(realiz,
2)), 3);

rez_2.WriteLine("{0,-7}{1,-10}{2,-10}{3,-10}{4,-15}", i,
Sum_Val_Zbir, SumZ_Pl, Sum_Z_Val, Sum_Vtr_bio);

Matsp_VZ += Sum_Val_Zbir; // матем. сподівання

```

```

        Matsp_ZP += SumZ_P1;
        Matsp_ZV += Sum_Z_Val;
        Matsp_VB += Sum_Vtr_bio;
    }
    pogoda.PerformStep();
}
Jmov_Vtr = Math.Round((Jmov_Vtr / Math.Pow(realiz, 4)), 3);
Jmov_Vtr_bio = Math.Round((Jmov_Vtr_bio / Math.Pow(realiz, 4)), 3);

    Matsp_VZ = Matsp_VZ / Math.Pow(realiz, 2); Matsp_VZ =
Math.Round(Matsp_VZ, 3); //матем.спод. валового збору, ц
    Matsp_ZP = Matsp_ZP / Math.Pow(realiz, 2); Matsp_ZP =
Math.Round(Matsp_ZP, 3); //матем.спод. втраченої площі, га
    Matsp_ZV = Matsp_ZV / Math.Pow(realiz, 2); Matsp_ZV =
Math.Round(Matsp_ZV, 3); //матем.спод. валової втрати, ц
    Matsp_VB = Matsp_VB / Math.Pow(realiz, 2); Matsp_VB =
Math.Round(Matsp_VB, 3); //матем.спод. біологічні втрати, ц

    rez_J.WriteLine("{0,-7}{1,-7}{2,-7}{3,-15}{4,-15}{5,-15}{6,-15}", i,
Jmov_Vtr, Jmov_Vtr_bio, Matsp_VZ, Matsp_ZP, Matsp_ZV, Matsp_VB);

        PDF.PerformStep();
    }
}
finally
{
    rez_J.Close();
    rez_2.Close();
    rez_4.Close();
    rez_Validation.Close();
}

//masaKor = veyb(156.044, 1.622, 74, 74, 426);
MessageBox.Show("Моделювання завершено!", "PDF_for_SB",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.None);
}
private void Start_clik_Click(object sender, EventArgs e)
{
    pogoda.Maximum = (int) Math.Pow(realiz, 2);
    pogoda.Value = 0;
    pogoda.Step=1;
    PDF.Maximum=end_Day-start_Day;
    PDF.Value=0;
    PDF.Step=1;
    model();
}
}
}
}

```

Додаток В.

Результати математичного опрацювання даних виробничих спостережень

Таблиця В.1

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу часу початку випадання дощу в розрізі календарних діб осіннього періоду для умов Вол.-Волинського району Волинської області (Лапласа-Шарльє)

№	Униз	Уверх	U_i	$M(i)$	P_i	$U_i \cdot P_i$	$(U_i - U_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	1,0	3,9	2,4	6	0,037	0,091	5,740	0,0066	0,0336
2	3,9	6,8	5,3	12	0,075	0,396	6,777	0,0170	0,0558
3	6,8	9,6	8,2	13	0,081	0,661	3,582	0,0342	0,0826
4	9,6	12,5	11,1	20	0,124	1,374	1,780	0,0540	0,1204
5	12,5	15,4	13,9	28	0,174	2,424	0,144	0,0670	0,1663
6	15,4	18,3	16,8	28	0,174	2,924	0,671	0,0653	0,1917
7	18,3	21,1	19,7	33	0,205	4,035	4,800	0,0499	0,1675
8	21,1	24,0	22,6	21	0,130	2,943	7,762	0,0300	0,1050
				161	1	14,848	31,258		0,9229

Закон розподілу - *Лапласа-Шарльє*

Математичне сподівання	U_c	14,848	Число ступенів вільності	r	3
Дисперсія	D	31,258	Рівень значущості	α	0,100
Середн.-квадр. відхилення	σ	5,591	Хі-квадрат розрахункове	X^2	3,764
Коефіцієнт варіації	v	0,404	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	6,251
Асиметрія	A_s	-0,537	Ексцес	E_s	-0,633

Таблиця В.2

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків для умов Вол.-Волинського району Волинської області (Вейбулла)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	221.0	227.0	224	4	0.093	20.837	19.968	0.019	0.113
2	227.0	233.0	230	11	0.256	58.837	19.146	0.038	0.227
3	233.0	239.0	236	9	0.209	49.395	1.471	0.040	0.240
4	239.0	245.0	242	9	0.209	50.651	2.347	0.032	0.190
5	245.0	251.0	248	4	0.093	23.070	8.130	0.021	0.123
6	251.0	257.0	254	3	0.070	17.721	16.436	0.011	0.067
7	257.0	263.0	260	3	0.070	18.140	31.798	0.005	0.031
				43	1	238.651	99.297		0.991

Закон розподілу - *Вейбулла*

Математичне сподівання	M	238.651	Число ступенів вільності	r	3
Дисперсія	D	99.297	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	9.965	Хі-квадрат розрахункове	X^2	2.897
Коефіцієнт варіації	v	0.565	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	6.251
Параметр мірила	a	19.860	Коефіцієнт	Kb	0.889
Параметр форми	b	1.821	Коефіцієнт	Cb	0.502
			Коефіцієнт	b/a	0.092

Таблиця В.3

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу середньої початкової маси коренеплодів цукрових буряків на момент в'янення зовнішніх листків в умовах Вол.-Волинського району Волинської області (Вейбулла)

№	Униз	Уверх	U_i	$M(i)$	P_i	$U_i \cdot P_i$	$(U_i - U_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	165.7	230.9	198	3	0.079	15.655	2512.708	0.001	0.064
2	230.9	296.1	263	6	0.158	41.602	2023.919	0.003	0.185
3	296.1	361.3	329	9	0.237	77.842	546.402	0.004	0.241
4	361.3	426.4	394	8	0.211	82.916	61.950	0.003	0.219
5	426.4	491.6	459	7	0.184	84.559	1248.920	0.002	0.153
6	491.6	556.8	524	2	0.053	27.591	1145.463	0.001	0.085
7	556.8	622.0	589	3	0.079	46.532	3572.060	0.001	0.038
				38	1	376.696	11111.422		0.986

Закон розподілу - *Вейбулла*

Математичне сподівання	M	376.696	Число ступенів вільності	r	3
Дисперсія	D	11111.422	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	105.411	Хі-квадрат розрахункове	X^2	2.682
Коефіцієнт варіації	v	0.500	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	6.251
Параметр мірила	a	238.213	Коефіцієнт	Kb	0.886
Параметр форми	b	2.097	Коефіцієнт	Cb	0.443
			Коефіцієнт	b/a	0.009

Таблиця В.4

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ за планової тривалості їх виконання – 5 діб (нормальний закон)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	270.0	275.9	273	11	0.014	3.707	9.060	0.00155	0.00916
2	275.9	281.8	279	32	0.040	11.016	15.690	0.00574	0.03385
3	281.8	287.7	285	79	0.098	27.772	19.195	0.01514	0.08933
4	287.7	293.6	291	112	0.138	40.189	9.137	0.02852	0.16825
5	293.6	299.5	297	177	0.219	64.802	1.086	0.03834	0.22620
6	299.5	305.4	302	192	0.237	71.692	3.195	0.03679	0.21707
7	305.4	311.3	308	121	0.149	46.062	13.684	0.02520	0.14869
8	311.3	317.2	314	66	0.081	25.606	19.503	0.01232	0.07270
9	317.2	323.1	320	16	0.020	6.324	9.022	0.00430	0.02537
10	323.1	329.0	326	4	0.005	1.610	3.673	0.00107	0.00632
				810	1	298.779	103.244		0.99694

Закон розподілу - *Нормальний*

Математичне сподівання	M	298.779	Число ступенів вільності	r	7
Дисперсія	D	103.244	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	10.161	Хі-квадрат розрахункове	X^2	11.226
Коефіцієнт варіації	v	0.353	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	12.017

Таблиця В.5

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ за планової тривалості їх виконання – 10 діб (нормальний закон)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	254.0	260.6	257	2	0.002	0.635	2.846	0.00028	0.00182
2	260.6	267.2	264	12	0.015	3.910	11.085	0.00153	0.01013
3	267.2	273.8	271	35	0.043	11.688	18.611	0.00591	0.03899
4	273.8	280.4	277	84	0.104	28.736	20.774	0.01571	0.10368
5	280.4	287.0	284	138	0.170	48.334	9.720	0.02886	0.19048
6	287.0	293.6	290	182	0.225	65.228	0.204	0.03663	0.24174
7	293.6	300.2	297	188	0.232	68.910	7.400	0.03211	0.21196
8	300.2	306.8	304	115	0.142	43.090	21.294	0.01945	0.12838
9	306.8	313.4	310	48	0.059	18.376	21.049	0.00814	0.05372
10	313.4	320.0	317	6	0.007	2.346	4.797	0.00235	0.01553
				810	1	291.253	117.779		0.99643

Закон розподілу - *Нормальний*

Математичне сподівання	M	291.253	Число ступенів вільності	r	7
Дисперсія	D	117.779	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	10.853	Хі-квадрат розрахункове	X^2	11.628
Коефіцієнт варіації	v	0.291	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	12.017

Таблиця В.6

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ за планової тривалості їх виконання – 15 діб (нормальний закон)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	245.0	251.7	248	3	0.004	0.921	4.575	0.00026	0.00175
2	251.7	258.4	255	9	0.011	2.837	8.988	0.00143	0.00956
3	258.4	265.1	262	38	0.047	12.295	22.166	0.00544	0.03643
4	265.1	271.8	268	69	0.085	22.896	19.250	0.01450	0.09712
5	271.8	278.5	275	136	0.168	46.255	11.646	0.02703	0.18108
6	278.5	285.2	282	186	0.230	64.801	0.606	0.03524	0.23612
7	285.2	291.9	289	175	0.216	62.418	5.575	0.03214	0.21534
8	291.9	298.6	295	129	0.159	47.079	22.115	0.02050	0.13734
9	298.6	305.3	302	54	0.067	20.155	22.788	0.00914	0.06126
10	305.3	312.0	309	10	0.012	3.815	7.835	0.00285	0.01911
				809	1	283.473	125.543		0.99513

Закон розподілу - *Нормальний*

Математичне сподівання	M	283.473	Число ступенів вільності	r	7
Дисперсія	D	125.543	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	11.205	Хі-квадрат розрахункове	X^2	11.676
Коефіцієнт варіації	v	0.291	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	12.017

Таблиця В.7

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно зумовленого часу початку ТП ЗЦБ за планової тривалості їх виконання – 20 діб (нормальний закон)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	237.0	244.0	241	3	0.004	0.891	4.586	0.00030	0.00208
2	244.0	251.0	248	11	0.014	3.361	10.792	0.00164	0.01148
3	251.0	258.0	255	38	0.047	11.940	21.065	0.00621	0.04347
4	258.0	265.0	262	95	0.117	30.670	23.616	0.01613	0.11288
5	265.0	272.0	269	144	0.178	47.733	9.191	0.02870	0.20091
6	272.0	279.0	276	186	0.230	63.263	0.008	0.03502	0.24516
7	279.0	286.0	283	183	0.226	63.824	10.477	0.02930	0.20508
8	286.0	293.0	290	112	0.138	40.030	26.370	0.01680	0.11760
9	293.0	300.0	297	30	0.037	10.981	16.039	0.00660	0.04623
10	300.0	307.0	304	8	0.010	2.998	7.638	0.00178	0.01246
				810	1	275.690	129.784		0.99735

Закон розподілу - *Нормальний*

Математичне сподівання	M	275.690	Число ступенів вільності	r	7
Дисперсія	D	129.784	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	11.392	Хі-квадрат розрахункове	X^2	11.232
Коефіцієнт варіації	v	0.294	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	12.017

Таблиця В.8

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно зумовленої тривалості виконання ТП ЗЦБ за її планового значення – 5 діб (Вейбулла)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	5.0	6.3	6	386	0.477	2.692	1.023	0.34444	0.44777
2	6.3	7.6	7	189	0.233	1.622	0.006	0.20235	0.26306
3	7.6	8.9	8	109	0.135	1.110	0.173	0.10937	0.14218
4	8.9	10.2	10	67	0.083	0.790	0.490	0.05704	0.07416
5	10.2	11.5	11	27	0.033	0.362	0.465	0.02909	0.03782
6	11.5	12.8	12	12	0.015	0.180	0.376	0.01459	0.01897
7	12.8	14.1	13	10	0.012	0.166	0.495	0.00723	0.00939
8	14.1	15.4	15	5	0.006	0.091	0.360	0.00354	0.00460
9	15.4	16.7	16	3	0.004	0.059	0.296	0.00172	0.00223
10	16.7	18.0	17	2	0.002	0.043	0.259	0.00083	0.00108
				810	1	7.115	3.943		1.00125

Закон розподілу - *Вейбулла*

Математичне сподівання	M	7.115	Число ступенів вільності	r	6
Дисперсія	D	3.943	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	1.986	Хі-квадрат розрахункове	X^2	9.950
Коефіцієнт варіації	v	0.939	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	10.645
Параметр мірила	a	2.169	Коефіцієнт	Kb	0.975
Параметр форми	b	1.079	Коефіцієнт	Cb	0.916
			Коефіцієнт	b/a	0.498

Таблиця В.9

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно зумовленої тривалості виконання ТП ЗЦБ за її планового значення – *10 діб (Вейбулла)*

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	10.0	12.3	11	322	0.398	4.432	3.857	0.16993	0.39085
2	12.3	14.6	13	211	0.260	3.504	0.173	0.11818	0.27180
3	14.6	16.9	16	124	0.153	2.411	0.338	0.07049	0.16213
4	16.9	19.2	18	66	0.081	1.471	1.167	0.03937	0.09055
5	19.2	21.5	20	36	0.044	0.904	1.646	0.02108	0.04849
6	21.5	23.8	23	23	0.028	0.643	1.996	0.01094	0.02517
7	23.8	26.1	25	18	0.022	0.554	2.537	0.00554	0.01274
8	26.1	28.4	27	8	0.010	0.269	1.665	0.00275	0.00632
9	28.4	30.7	30	1	0.001	0.036	0.288	0.00134	0.00308
10	30.7	33.0	32	1	0.001	0.039	0.382	0.00064	0.00148
				810	1	14.265	14.050		1.01261

Закон розподілу - *Вейбулла*

Математичне сподівання	M	14.265	Число ступенів вільності	r	6
Дисперсія	D	14.050	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	3.748	Хі-квадрат розрахункове	X^2	10.483
Коефіцієнт варіації	v	0.879	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	10.645
Параметр мірила	a	4.472	Коефіцієнт	Kb	0.954
Параметр форми	b	1.154	Коефіцієнт	Cb	0.838
			Коефіцієнт	b/a	0.258

Таблиця В.10

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно зумовленої тривалості виконання ТП ЗЦБ за її планового значення – 15 діб (Вейбулла)

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	15.0	17.7	16	164	0.202	3.310	6.259	0.08038	0.21702
2	17.7	20.4	19	204	0.252	4.798	2.060	0.09597	0.25913
3	20.4	23.1	22	176	0.217	4.726	0.006	0.07793	0.21041
4	23.1	25.8	24	102	0.126	3.079	0.812	0.05352	0.14451
5	25.8	28.5	27	82	0.101	2.749	2.780	0.03287	0.08875
6	28.5	31.2	30	45	0.056	1.658	3.502	0.01851	0.04998
7	31.2	33.9	33	15	0.019	0.603	2.096	0.00970	0.02618
8	33.9	36.6	35	14	0.017	0.609	3.076	0.00477	0.01288
9	36.6	39.3	38	7	0.009	0.328	2.223	0.00222	0.00599
10	39.3	42.0	41	1	0.001	0.050	0.434	0.00098	0.00265
				810	1	21.910	23.248		1.01749

Закон розподілу - *Вейбулла*

Математичне сподівання	M	21.910	Число ступенів вільності	r	6
Дисперсія	D	23.248	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	4.822	Хі-квадрат розрахункове	X^2	9.596
Коефіцієнт варіації	v	0.698	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	10.645
Параметр мірила	a	7.624	Коефіцієнт	Kb	0.907
Параметр форми	b	1.451	Коефіцієнт	Cb	0.632
			Коефіцієнт	b/a	0.190

Таблиця В.11

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу природно зумовленої тривалості виконання ТП ЗЦБ за її планового значення – 20 діб

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	21.0	24.4	23	152	0.188	4.265	8.806	0.06040	0.20535
2	24.4	27.8	26	201	0.248	6.485	2.951	0.07875	0.26775
3	27.8	31.2	30	204	0.252	7.439	0.001	0.06525	0.22186
4	31.2	34.6	33	110	0.136	4.473	1.529	0.04417	0.15017
5	34.6	38.0	36	71	0.088	3.186	4.003	0.02603	0.08850
6	38.0	41.4	40	40	0.049	1.963	5.098	0.01375	0.04674
7	41.4	44.8	43	16	0.020	0.852	3.633	0.00662	0.02249
8	44.8	48.2	47	11	0.014	0.632	3.908	0.00293	0.00997
9	48.2	51.6	50	3	0.004	0.185	1.536	0.00121	0.00410
10	51.6	55.0	53	1	0.001	0.066	0.697	0.00046	0.00158
				809	1	29.546	32.163		1.01852

Закон розподілу - *Вейбулла*

Математичне сподівання	M	29.546	Число ступенів вільності	r	6
Дисперсія	D	32.163	Рівень значимості	α	0.100
Серед.-квадр. відхилення	σ	5.671	Хі-квадрат розрахункове	X^2	8.317
Коефіцієнт варіації	v	0.664	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	10.645
Параметр мірила	a	9.492	Коефіцієнт	Kb	0.901
Параметр форми	b	1.528	Коефіцієнт	Cb	0.598
			Коефіцієнт	b/a	0.161

Додаток Д.

Математичне опрацювання результатів комп'ютерних експериментів із статистичною імітаційною моделлю ТП ЗЦБ

Таблиця Д.1

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу обсягів біологічних втрат цукрових буряків за виробничої площі $S=120$ га та часу початку ТП ЗЦБ – $\tau_{пз}^n=287$ доба

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	1,3	1,8	2	5	0,050	0,079	0,170	0,03921	0,02916
2	1,8	2,3	2	6	0,060	0,124	0,111	0,12257	0,06142
3	2,3	2,8	3	11	0,110	0,281	0,084	0,27181	0,11168
4	2,8	3,3	3	19	0,190	0,578	0,028	0,42764	0,18072
5	3,3	3,8	4	19	0,190	0,670	0,002	0,47732	0,23180
6	3,8	4,3	4	26	0,260	1,044	0,090	0,37798	0,20766
7	4,3	4,7	5	10	0,100	0,450	0,116	0,21235	0,11962
8	4,7	5,2	5	4	0,040	0,200	0,098	0,08463	0,04036
				100	1	3,425	0,699		0,98241

Закон розподілу - *Лапласа-Шарльє*

Математичне сподівання	M	3,425	Число ступенів вільності	r	3
Дисперсія	D	0,699	Рівень значимості	α	0,100
Серед.-квадр. відхилення	σ	0,836	Хі-квадрат розрахункове	X^2	3,937
Коефіцієнт варіації	v	0,400	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	6,251
Асиметрія	A_s	-0,457	Експес	E_s	-0,235

Таблиця Д.2

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу обсягів технологічних втрат цукрових буряків за виробничої площі $S=120$ га та часу початку ТП ЗЦБ – $\tau_{пз}^n=287$ доба

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	44,1	74,5	59	13	0,130	7,709	624,529	0,00549	0,16678
2	74,5	104,9	90	28	0,280	25,115	423,953	0,00802	0,24371
3	104,9	135,3	120	22	0,220	26,421	15,940	0,00728	0,22121
4	135,3	165,7	150	15	0,150	22,574	71,861	0,00537	0,16314
5	165,7	196,1	181	9	0,090	16,281	246,059	0,00344	0,10444
6	196,1	226,5	211	7	0,070	14,791	478,603	0,00197	0,05978
7	226,5	256,9	242	2	0,020	4,834	255,773	0,00102	0,03110
8	256,9	287,3	272	4	0,040	10,884	823,538	0,00049	0,01487
				100	1	128,609	2940,255		1,00503

Закон розподілу - **Вейбулла**

Математичне сподівання	M	128,609	Число ступенів вільності	r	4
Дисперсія	D	2940,255	Рівень значимості	α	0,100
Серед.-квадр. відхилення	σ	54,224	Хі-квадрат розрахункове	X^2	6,477
Коефіцієнт варіації	v	0,642	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	7,779
Параметр мірила	a	94,204	Коефіцієнт	Kb	0,897
Параметр форми	b	1,583	Коефіцієнт	Cb	0,576
			Коефіцієнт	b/a	0,017

Таблиця Д.3

Визначення статистичних характеристик та обґрунтування закону розподілу обсягів незібраних площ цукрових буряків за виробничої площі $S=120$ га та часу початку ТП ЗЦБ – $\tau_{\text{пз}}^{\text{п}}=287$ доба

№	Униз	Уверх	Y_i	$M(i)$	P_i	$Y_i \cdot P_i$	$(Y_i - Y_c)^2 \cdot P_i$	$f(y)$	Теоретична частість
1	11,9	19,8	16	15	0,150	2,375	45,501	0,02242	0,17588
2	19,8	27,6	24	26	0,260	6,157	23,819	0,03174	0,24904
3	27,6	35,4	32	22	0,220	6,935	0,655	0,02818	0,22112
4	35,4	43,3	39	17	0,170	6,693	6,366	0,02040	0,16004
5	43,3	51,1	47	9	0,090	4,249	17,551	0,01285	0,10079
6	51,1	59,0	55	5	0,050	2,753	23,784	0,00725	0,05686
7	59,0	66,8	63	2	0,020	1,258	17,589	0,00372	0,02921
8	66,8	74,7	71	4	0,040	2,830	56,253	0,00176	0,01381
				100	1	33,250	191,519		1,00674

Закон розподілу - **Вейбулла**

Математичне сподівання	M	33,250	Число ступенів вільності	r	4
Дисперсія	D	191,519	Рівень значимості	α	0,100
Серед.-квадр. відхилення	σ	13,839	Хі-квадрат розрахункове	X^2	5,945
Коефіцієнт варіації	v	0,649	Хі-квадрат табличне	$(X^*)^2$	7,779
Параметр мірила	a	23,761	Коефіцієнт	Kb	0,898
Параметр форми	b	1,565	Коефіцієнт	Cb	0,582
			Коефіцієнт	b/a	0,066

Додаток Е.

**Характеристики бурякозбиральних комбайнів та початкові дані для
вартісного оцінення питомих сукупних витрат коштів ТП ЗЦБ**

Таблиця Е.1

Технічні характеристики бурякозбиральних комбайнів

Марка комбайна	Ширина міжрядь, см	К-ть рядків, шт	Потужність двигуна, кВт./к.с.	Середня питома витрата палива, кг/га	Місткість бункера, м ³	Висота вивантаження, м	Маса, кг
Franz Kleine SF-10-2 [77]	45, 50	6	275/374	34	15	2-4,2	16220
СКС-624 «Палессе BS624-1» [56]	45, 50	6	290/395	31	24	1,7-4	25000
Holmer Terra-Dos T2 [77]	45, 50	6	308/420	41	24	0-3,8	19000
Ropa Euro-Tiger V8-3 [77]	45, 50	6	444/604	45	40	0-3,8	29000

Таблиця Е.2

**Технічні характеристики тракторних причепів-перевантажувачів для
цукрових буряків**

Марка причепа- перевантажувача	Агрегується із трактором, кВт./к.с.	Марка трактора	Місткість бункера, м ³	Максимальна швидкість переїздів, км/год	Висота вивантаження, м	Швидкість вивантаження, т/хв
Franz Kleine LS 16	120/165	ХТЗ-242К.20	24	до 20	4	16
Hawe Ruw 2500T	184/250	ХТЗ-243К.20	27	до 20	2,6-3,5	13-18
ТПЗ-49 АТЛАНТ + ПЗС- 40	184-287/ 250-390	Claas Axion 930	49	до 20	4,5	18

Початкові дані для вартісного оцінення питомих сукупних витрат коштів у

ТП ЗЦБ

Назва показника	Комбайн			
	Franz Kleine SF- 10-2	СКС-624 «Палессе BS624-1»	Holmer Terra-Dos T2	Ropa Euro-Tiger V8-3
Вартість комбайна (B) (станом на січень 2018 р.), грн	3070000	3847225	4190000	5080000
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань (a) на реновацію	0,10	0,10	0,10	0,10
Коефіцієнт відрахувань (p) на ТО і поточний ремонт	0,12	0,12	0,12	0,12
Годинна оплата праці ($З$) комбайнера, грн/год	40	40	40	40
Нормативне річне напрацювання (T_n), год	160	180	200	220
Середня годинна продуктивність комбайна ($W_{год}$), га/год	1,02	1,22	1,23	1,5
Витрата ПММ (C_n), кг/га	34	31	41	45
Вартість пального ($Ц_n$), грн/кг (станом на січень 2018 р.), грн./кг	22	22	22	22
Ринкова вартість врожаю (станом на вересень 2018 р.), грн./ц	61,699	61,699	61,699	61,699

Додаток Є. Результати оцінення економічної ефективності узгодження складових ТП ЗЦБ

Відповідно до описаної в п. 5.4 методики нами виконано розрахунок показників економічної ефективності за різних варіантів узгодження $\tau_{пз}$, S та заданого технічного забезпечення відповідних ТП, який сформовано із бурякозбирального комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1». Як уже зазначалося, терміни початку ТП ЗЦБ розглядалися в межах 260...300 доби. Виробнича площа цукрових буряків, на якій необхідно зібрати вирощений врожай, становила – $S = 60-300$ га із кроком приросту – 20 га.

Наведемо розрахунок цих показників із використанням відповідних початкових даних (табл. Є.1).

Таблиця Є.1 – Початкові дані оцінки ефективності узгодження складових ТП ЗЦБ (для комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1»)

Назва показника	Одиниця виміру	Значення
Вартість комбайна (B)	грн	3847225,48
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань (a) на реновацію	-	0,10
Коефіцієнт відрахувань (p) на ТО і поточний ремонт	-	0,12
Годинна оплата праці ($З$) оператора (комбайнера)	грн/год	40
Нормативне річне напрацювання (T_n)	год	180
Годинна продуктивність комбайна ($W_{год}$)	га/год	1,22
Витрата ПММ (C_n)	кг/га	30,8
Вартість пального (C_p)	грн/кг	22

Кількісне оцінення питомих експлуатаційних витрат ($B_{тн}$) у відповідних ТП виконано для прикладу плану робіт ТОВ «П'ятидні» (с. П'ятидні, Вол.-Волинський р-н, Волинська обл.) – $\tau_{пз} = 280$ доба (8 жовтня) та $S = 100$ га (базовий варіант). Для визначення $B_{тн}$ використано формулу 5.3 (див. п. 5.4) та початкові дані наведені у табл. Є.1. Зокрема, першочергово визначено витрати на оплату праці персоналу із загальновідомої формули [71]:

$$З = 40 / 1,22 = 32,8 \text{ грн/га.}$$

Витрати на паливо-мастильні матеріали:

$$Г = 30,8 \cdot 22,0 = 667,6 \text{ грн/га.}$$

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт:

$$P = (3847225,48 \cdot 0,12) / (1,22 \cdot 180) = 2102,8 \text{ грн/га.}$$

Амортизаційні відрахування на реновацію:

$$A = (3847225,48 \cdot 0,1) / (100) = 3847,2 \text{ грн/га.}$$

Питоми експлуатаційні витрати ТП ЗЦБ:

$$B_{тн} = 32,8 + 667,6 + 2102,8 + 3847,2 = 6659,9 \text{ грн/га.}$$

Виконання аналогічних розрахунків для відповідних значень S дало змогу встановити закономірність зміни питомих експлуатаційних витрат ($B_{тн}$) ТП ЗЦБ (рис. Є.1).

Відповідно до встановлених оцінок математичного сподівання питомих обсягів технологічних втрат ($\bar{M} [Q_T]$) цукрових буряків (див. рис. 5.9) здійснено їх вартісну оцінку ($B_{тл}$) (табл. Є.2). Зокрема, для базового варіанту – $\tau_{пз} = 280$ доба, $S = 100$ га та мінімальної закупівельної ціни коренеплодів цукрових буряків (Постанова КМУ від 18.01.2017р. № 23 «Про державне регулювання виробництва цукру та цукрових буряків у період з 1 вересня 2017 р. до 1 вересня 2018 року» [90]) – $C = 616,99$ грн/т значення $B_{тл}$ знайдемо:

$$B_{тл} = 45,1 \cdot 61,7 = 2782,7 \text{ грн/га.}$$

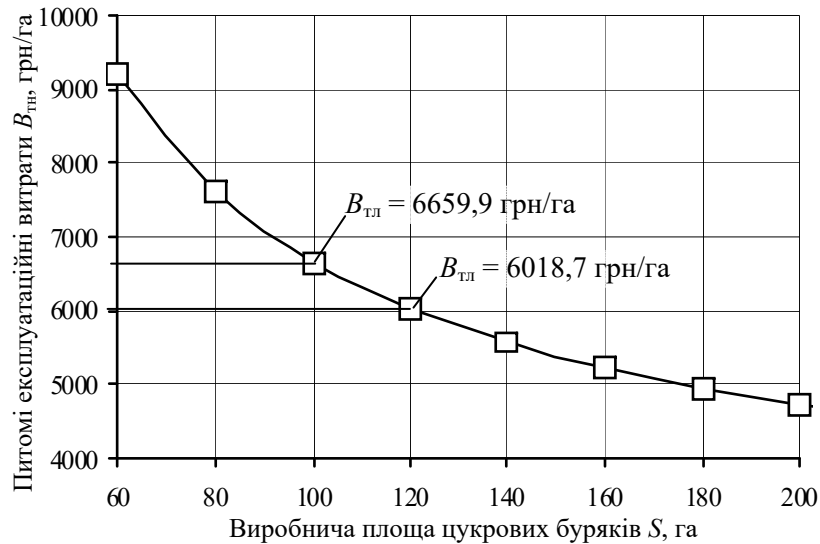


Рис. Є.1. Залежність питомих експлуатаційних витрат на виконання ТП ЗЦБ (СКС-624 «Палессе BS624-1») від виробничої площі цукрових буряків

Таблиця Є.2. Вартісні оцінки питомих обсягів технологічних втрат ТП ЗЦБ, грн/га

S, га	Час початку ТП ЗЦБ								
	260	265	270	275	280	285	290	295	300
60	59.1	128.1	163.4	507.3	1093.7	2899.9	4936.0	8594.2	14067.6
80	66.5	146.8	401.1	1027.5	1826.3	3948.8	7033.8	11476.2	16412.2
100	135.7	188.2	709.6	1579.5	2782.7	5182.8	9131.6	13635.7	18078.1
120	246.4	408.5	1098.1	2157.4	3776.0	6392.1	10859.2	15425.0	19497.2
140	365.5	684.4	1548.7	3060.3	4899.0	7698.3	12451.1	16967.5	20607.8
160	580.0	1027.2	2190.4	4096.9	6038.9	9255.0	13999.7	18201.5	21533.3
180	845.3	1481.9	2912.2	5256.8	7342.3	11038.1	15326.3	19188.7	22273.7
200	1221.7	1999.1	3791.9	6293.4	8684.4	12586.8	16547.9	20052.5	22915.5
220	1641.2	2714.8	4609.0	7404.0	10118.8	13944.2	17634.7	20669.5	23446.0
240	2157.2	3535.4	5799.8	8640.5	11476.2	15116.5	18485.3	21163.1	23910.5
260	2934.2	4319.0	6876.1	9872.0	12771.9	15918.6	18944.5	21595.0	24266.6
280	3782.2	5380.2	8193.8	11167.7	13820.8	16541.3	19420.9	22042.9	24599.8
300	4811.4	6787.0	9378.4	12340.0	14499.5	16967.5	19682.3	22335.4	24821.9

Користуючись залежністю $B_{гпн}$ від S (див. рис. Є.1) та даними табл. Є.1, виникає можливість встановити такий варіант узгодження $\tau_{пз}$, S та параметрів технічного забезпечення ТП ЗЦБ за якого досягатиметься більший річний економічний ефект (E_p).

Відповідно до плану механізованих робіт ТОВ «П'ятидні» (базовий варіант – $\tau_{пз} = 280$ доба, $S = 100$ га) питомі сукупні витрати коштів знайдемо:

$$B = 2782,7 + 6659,9 = 9442,6 \text{ грн.}$$

Аналогічні розрахунки виконано для інших варіантів $\tau_{пз}$ та S (табл. Є.3).

Таблиця Є.3. Питомі сукупні витрати ТП ЗЦБ, грн/га

S, га	Час початку ТП ЗЦБ								
	260	265	270	275	280	285	290	295	300
60	9283.8	9352.8	9388.1	9732.1	10318.4	12124.6	14160.7	17818.9	23292.3
80	7688.3	7768.6	8022.8	8649.3	9448.0	11570.5	14655.5	19097.9	24033.9
100	6795.7	6848.1	7369.5	8239.4	9442.6	11842.7	15791.5	20295.6	24738.0
120	6265.1	6427.2	7116.8	8176.2	9794.8	12410.8	16877.9	21443.7	25515.9
140	5926.2	6245.1	7109.4	8621.0	10459.7	13259.0	18011.8	22528.2	26168.5
160	5797.2	6244.4	7407.6	9314.1	11256.1	14472.2	19216.9	23418.7	26750.5
180	5795.3	6432.0	7862.3	10206.9	12292.3	15988.2	20276.3	24138.7	27223.7
200	5958.0	6735.4	8528.2	11029.7	13420.7	17323.1	21284.2	24788.8	27651.8
220	6202.7	7276.2	9170.4	11965.4	14680.2	18505.6	22196.1	25230.9	28007.4
240	6573.0	7951.1	10215.5	13056.2	15891.9	19532.2	22901.0	25578.8	28326.2
260	7226.6	8611.4	11168.5	14164.4	17064.3	20211.0	23236.9	25887.4	28559.0
280	7968.9	9566.9	12380.5	15354.4	18007.5	20728.1	23607.6	26229.6	28786.5
300	8906.5	10882.1	13473.5	16435.1	18594.6	21062.6	23777.4	26430.5	28917.0

Аналіз отриманих значень B (табл. Є.3) та встановлених на підставі статистичного імітаційного моделювання ТП ЗЦБ закономірностей зміни ймовірності технологічних втрат ($p[Q_T]$) (див. рис. 5.17) переконує у тому, що для ТОВ «П'ятидні», який використовує бурякозбиральний комбайн СКС-624 «Палессе BS624-1» більш доцільно буде його використовувати за умови $\tau_{пз} = 275$ доба та $S = 120$ га.

У цьому разі, ймовірність $p[Q_T]$ знижуватиметься із 0,242 до 0,214 (див. рис. 5.17), а питомі сукупні витрати з 9442,59 до 8176,16 грн/га (див. рис. 5.16). Окрім того, зміщення $\tau_{пз}$ у більш ранні терміни дає змогу починати ТП ЗЦБ в період, що відповідає часу припинення активного приросту маси коренеплодів цукрових буряків – 278 доба [116], а відтак зібрати більший обсяг площ із врожаєм цукрових буряків.

Результати визначення E_p для розглянутих варіантів узгодження $\tau_{пз}$, S (базовий варіант: $\tau_{пз} = 280$ доба і $S = 100$ га; альтернативний варіант: $\tau_{пз} = 275$ доба і $S = 120$ га) та

технічного забезпечення ТП ЗЦБ сформованого із бурякозбирального комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1», дають підстави оцінити річну економію на сукупних витратах відповідного ТП в обсязі:

$$E_p = (9442,59 - 8176,16) \cdot 120 = 151\,971,7 \text{ грн.}$$

Отже, застосування розроблених науково-методичних положень та моделей узгодження $\tau_{пз}$ й S із параметрами технічного забезпечення ТП ЗЦБ дає змогу підвищити ефективність цих ТП завдяки формуванню їх технічного забезпечення із раціональними параметрами.

Додаток Ж.

Список публікацій здобувача за темою дисертації.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у міжнародних наукових виданнях і тих, що входять до міжнародних наукометричних баз (МНБ):

1. Согласование параметров проектов технологических систем / А. Сидорчук, И. Тригуба, В. Пукас, В. Спичак. *MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin; Rzeszow. 2015. Vol. 17, № 3. P. 39-45.

2. Lub P., Sharybura A., Pukas V. Modelling of the technological systems projects of harvesting agricultural crops. *2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. Lviv, Ukraine, 2019. P. 19-22.

Статті у наукових фахових виданнях України:

3. Дуганець В. І., Пукас В. Л., Луб П. М. Агрометеорологічно зумовлений фонд часу на виконання технологічних процесів збирання цукрових буряків. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8, т. 1. С. 15–23.

4. Дуганець В. І., Пукас В. Л., Луб П. М. Обґрунтування сезонного навантаження бурякозбирального комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1» за різного часу початку збиральних робіт. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. 9 (108). С. 200–209.

5. Метод визначення часу запуску портфелів проектів збирання цукрових буряків / О. В. Сидорчук, П. М. Луб, Л. Л. Сидорчук, В. Л. Пукас. *Вісник національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2017. № 3(1225). С. 59–64. doi: 10.20998/2413-3000.2017.1225.10.

6. Метод врахування об'єктивних причин стохастичності термінів бурякозбиральних робіт / Сидорчук О. В., Луб П. М., Спичак В. С., Пукас В. Л. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 226. С. 109–115.

7. Пукас В. Л. Обґрунтування вимог до методу визначення часу запуску портфелів проектів збирання цукрових буряків. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 2016. Вип. 4 (103). С. 57–65.

8. Результати статистичного імітаційного моделювання та визначення впливу часу початку технологічних процесів збирання цукрових буряків на своєчасність їх виконання. Дуганець В. І., Пукас В. Л., Луб П. М., Днесь В. І.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2018. Вип. 8(107). С. 209–218.

9. Статистичні закономірності формування початкових біологічно-предметних умов для виконання технологічних процесів збирання цукрових буряків. Дуганець В. І., Пукас В. Л., Луб П. М., Шарibuра А. О. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2018. № 22. С. 107–112.

10. Структурний аналіз проектів технологічних систем збирання врожаю. Сидорчук О. В., Пукас В. Л., Луб П. М., Шарibuра А. О. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2018. № 2(1278). С. 10–15. doi: 10.20998/2413-3000.2018.1278.2

11. Узгодження конфігурацій інтегрованих проектів аграрного виробництва / А. М. Тригуба, О. В. Шелега, В. Л. Пукас, В. М. Михалюк. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2015. № 2(1111). С. 135–140.

12. Управління проектами технологічних систем вирощування сільськогосподарських культур / Луб П. М., Шарibuра А. О., Тригуба І. Л., Пукас В. Л. *Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2016. № 2(1174). С. 81–85. doi: 10.20998/2413-3000.2016.1174.18

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Взаємозв'язки між головними складовими проектів техніко-технологічного забезпечення систем збирання цукрових буряків / Луб П. М., Пукас В. Л., Шарibuра А. О., Спічак В. С. *Управління проектами: стан та перспективи*: матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конф. Миколаїв: НУК, 2017. С. 66.

14. Вплив узгодженості складових технологічної системи на ефективність збирання врожаю культур / Луб П. М., Пукас В. Л., Шарibuра А. О., Спічак В. С. *Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві*: матеріали XXVII міжнар. наук.-техн. конф. Глеваха: ННЦ ІМЕСГ, 2019. С. 83–84.

15. Сидорчук О. В., Луб П. М., Пукас В. Л. Обґрунтування тривалості життєвого циклу збирально-рільничих проектів. *Управління проектами у розвитку суспільства* : тези доп. XII Міжнар. конф. Київ : КНУБА, 2015. С. 246–248.

16. Статистичне імітаційне моделювання технологічних процесів збирання коренеплодів цукрових буряків / Луб П. М., Шарibuра А. О., Пукас В. Л., Спічак В. С. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*: матеріали XX Міжнар. наук.-практ. форуму. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2019. С. 332-336.

17. Статистичні моделі агрометеорологічних умов у проектах збирання сільськогосподарських культур / Сидорчук О. В., Луб П. М., Дуганець В. І., Пукас В. Л. *Управління проектами: стан та перспективи*: матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф. Миколаїв: НУК, 2016. С. 137–138.

18. Узагальнена методика узгодження часу початку збирання цукрових буряків та їх виробничої площі із параметрами бурякозбиральних комбайнів / Луб П. М., Шарибура А. О., Пукас В. Л., Спічак В. С. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій*: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. форуму. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2018. С. 142–144.

19. Управління проектами збирально-транспортних технологічних систем / Луб П., Сидорчук Л., Спічак В., Пукас В. *Перспективи ефективних управлінських рішень в бізнесі та проектах*: матеріали II Міжнар. наук.-практич. конф. Одеса: Фенікс, 2016. С. 126–128.

**Додаток 3.
Акти впровадження**

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Перший проректор Подільського
державного аграрно-технічного
університету, к.с-т.н., доцент

ФАВРИЛЯНЧИК Р.Ю.
“ 28 ” _____ 2017 р.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Голова правління ПАТ
„Красилівський цукровий завод”

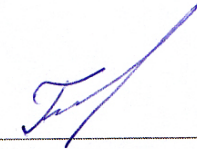
ПАТ
„КРАСИЛІВСЬКИЙ
ЦУКРОВИЙ ЗАВОД”
ТИМЧУК Л.М.
“ 20 ” _____ 2017 р.

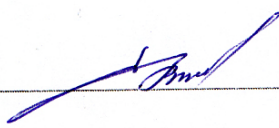
АКТ
про впровадження НДР у виробництво

Ми, що підписалися нижче, начальник виробництва Гончарук П.М., головний механік Косінський О.В. з однієї сторони, а також керівник НДР д.пед.н., професор кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів Подільського державного аграрно-технічного університету Дуганець В.І. та виконавець НДР здобувач Пукас В.Л. з другої сторони, склали цей акт про впровадження результатів закінченої науково-дослідної роботи на тему: “Обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічних процесів збирання цукрових буряків” у виробництво.

В результаті виконання НДР автором розроблено концептуальну модель технологічних систем збирання цукрових буряків, метод визначення параметрів технічного забезпечення та часу початку технологічних процесів, а також створено комп’ютерну програму статистичної імітаційної моделі цих технологічних процесів для узгодження параметрів їх технічного забезпечення, часу початку виконання робіт, а також виробничих площ культури.

У практику ПАТ „Красилівський цукровий завод” Красилівського району Хмельницької області впроваджено: методику визначення раціональних параметрів технічного забезпечення технологічних процесів збирання цукрових буряків за заданої виробничої площі культури та часу початку робіт; технічне забезпечення цих механізованих технологічних процесів з раціонально обґрунтованими параметрами.

Гончарук П.М. 

В.І. Дуганець 

Косінський О.В. 

В.Л. Пукас 

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор Подільського
державного аграрно-технічного
університету, к.с-г.н., доцент

 ГАВРИЛЯНЧИК Р.Ю.
 “ 24 ” 2017 р.
 

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Генеральний директор ТОВ
«Серединецьке»

 С.С.Шук
 “ 18 ” 2017 р.
 

АКТ

про впровадження НДР у виробництво

Ми, що підписалися нижче, головний агроном Болюх С.Д., головний інженер Окаянюк В.А. з однієї сторони, а також керівник НДР д.пед.н., професор кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів Подільського державного аграрно-технічного університету Дуганець В.І. та виконавець НДР здобувач Пукас В.Л. з другої сторони, склали цей акт про впровадження результатів закінченої науково-дослідної роботи на тему: “Обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічних процесів збирання цукрових буряків” у виробництво.

В результаті виконання НДР автором розроблено концептуальну модель технологічних систем збирання цукрових буряків, метод визначення параметрів технічного забезпечення та часу початку технологічних процесів, а також створено комп'ютерну програму статистичної імітаційної моделі цих технологічних процесів для узгодження параметрів їх технічного забезпечення, часу початку виконання робіт, а також виробничих площ культури.

У практику ТОВ «Серединецьке» Шепетівського району Хмельницької області впроваджено: методику визначення раціональних параметрів технічного забезпечення технологічних процесів збирання цукрових буряків за заданої виробничої площі культури та часу початку робіт; технічне забезпечення цих механізованих технологічних процесів з раціонально обґрунтованими параметрами.

Болюх С.Д. В.І. Дуганець Окаянюк В.А. В.Л. Пукас 

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор Подільського
державного аграрно-технічного
університету, к.с.-р.н., доцент



ГАВРИЛЯНЧИК Р.Ю.

2017 р.

АКТ

про впровадження у навчальний процес результатів дисертаційного дослідження Пукаса Віталія Леонідовича на тему: «Обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічних процесів збирання цукрових буряків» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Складено комісію у складі:

Голова – декан інженерно-технічного факультету, к.т.н., доцент
Панцир Ю.І.;

Члени комісії:

1. Завідувач кафедри машиновикористання в агропромисловому комплексі, к.т.н., доцент Ткач О.В.;

2. К.т.н., доцент кафедри машиновикористання в агропромисловому комплексі Борис М.М.;

3. К.т.н., доцент кафедри сільськогосподарських машин і механізованих технологій Бурдега В.Ю.

Комісія засвідчує, що результати дисертаційного дослідження Пукаса В.Л. на тему: «Обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічних процесів збирання цукрових буряків» впроваджені у робочу програму дисципліни «Експлуатація машин і обладнання» та використовуються у лекційних та практичних заняттях з теми: «Експлуатація машин при збиранні коренебульбоплодів» для студентів напряму підготовки «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва».

Голова комісії – к.т.н., доцент

Члени комісії:

К.т.н., доцент

К.т.н., доцент

К.т.н., доцент

Панцир Ю.І.

Ткач О.В.

Борис М.М.

Бурдега В.Ю.

« _____ » _____ 2017 р.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Директор ТОВ «П’ятидні»

В.Г. Діброва

201_р.

АКТ

про впровадження НДР у виробництво

Ми, що підписалися нижче, головний інженер Ліщук В.П. з однієї сторони, а також керівники НДР завідувач кафедри Інформаційних систем та технологій Львівського національного аграрного університету д.т.н., в.о. проф. Тригуба А.М., к.т.н., доцент Луб П.М., к.т.н. Спічак В.С. Володимир-Волинського агротехнічного коледжу та виконавець НДР д.п.н., к.т.н., професор Дуганець В.І., здобувач Пукас В.Л. Подільського державного аграрно-технічного університету, з другої сторони, склали цей акт про впровадження результатів закінченої науково-дослідної роботи “Обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічного процесу збирання цукрових буряків”.

В результаті НДР виконано: 1) розроблено методику узгодження часу початку технологічного процесу збирання цукрових буряків, виробничої площі культури та параметрів технічного забезпечення; 2) розроблено статистичну імітаційну модель технологічного процесу збирання цукрових буряків для встановлення залежності функціональних показників ефективності цього технологічного процесу від термінів початку збирання, виробничої площі культури та параметрів технічного забезпечення за врахування ймовірнісного впливу агрометеорологічних умов та темпів приросту коренеплодів цукрових буряків.

У практику ТОВ «П’ятидні» Володимир-Волинського району Волинської області впроваджено: 1) методику узгодження часу початку технологічного процесу збирання цукрових буряків, виробничої площі культури та параметрів технічного забезпечення; 2) раціональні межі виробничої площі культури за яких доцільно використовувати бурякозбиральні комбайни відповідної потужності; 3) раціональні параметри технічного забезпечення цього технологічного процесу.

В.П. Ліщук

А.М. Тригуба

П.М. Луб

В.С. Спічак

В.І. Дуганець

В.Л. Пукас

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Заступник директора з виробництва
ТзОВ «Агро ЛВ Лімітед»

“ _____ ” №1
“ _____ ” № 34943719
_____ О.С. Кравчук
_____ 201_ р.



АКТ

про впровадження НДР у виробництво

Ми, що підписалися нижче, керівник блоку «Вирів» Сенчина Ю.Я. з однієї сторони, а також керівники НДР завідувач кафедри Інформаційних систем та технологій Львівського національного аграрного університету д.т.н., в.о. проф. Тригуба А.М., доцент к.т.н. Луб П.М., в.о. доцента кафедри машинобудування Березовецький С.А. та виконавець НДР здобувач Пукас В.Л. Подільського державного аграрно-технічного університету, з другої сторони, склали цей акт про впровадження результатів закінченої науково-дослідної роботи “Обґрунтування параметрів технічного забезпечення технологічного процесу збирання цукрових буряків”.

В результаті НДР виконано: 1) розроблено методику та модель визначення сукупного впливу часу початку збирання врожаю цукрових буряків, їх виробничої площі та параметрів технічного забезпечення відповідного технологічного процесу на своєчасність комбайнового збирання коренеплодів; 2) розроблено комп’ютерну програму та статистичну імітаційну модель технологічного процесу збирання цукрових буряків для встановлення його функціональних показників ефективності за різних термінів початку збирання, виробничої площі культури та технічного забезпечення.

У практику ТзОВ «Агро ЛВ Лімітед» с. Вирів, Кам’янка-Бузького району Львівської області впроваджено: 1) методику визначення раціональних параметрів технічного забезпечення технологічних процесів збирання цукрових буряків за різного часу початку збирання та виробничої площі культури; 2) раціональні параметри технічного забезпечення цього технологічного процесу.

Ю.Я. Сенчина

А.М. Тригуба

П.М. Луб

С.А. Березовецький

В.Л. Пукас