

УДК 631.356.26:631.558.4

## Результати статистичного імітаційного моделювання та визначення впливу часу початку технологічних процесів збирання цукрових буряків на своєчасність їх виконання

*Дуганець В. І., к.т.н., доцент, Подільський державний аграрно-технічний університет*  
*Пукас В. Л., здобувач, Подільський державний аграрно-технічний університет*  
*Луб П. М., к.т.н., доцент, Львівський національний аграрний університет*  
*Днесь В. І., к.т.н., зав. відділу, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»*

### Анотація

**Мета.** Підвищити ефективність технологічних процесів збирання цукрових буряків, а саме знизити втрати вирощеного врожаю, завдяки обґрунтуванню часу їхнього початку.

**Методи.** У дослідженні було використано методи аналізу та синтезу, системно-чинникового та системно-подієвого підходів до дослідження технологічних процесів під час збирання цукрових буряків. Для розроблення статистичної імітаційної моделі цих технологічних процесів було використано дискретно-подієвий підхід.

**Результати.** Наведено результати статистичного імітаційного моделювання технологічних процесів збирання цукрових буряків. Установлено статистичні закономірності зміни їхніх функціональних показників ефективності за різного часу початку збирання врожаю. Використано методологію системно-чинникового та системно-подієвого підходів, методи імітаційного моделювання, комп'ютерних експериментів, ітерацій, математичної статистики та кореляційно-регресійного аналізу отриманих результатів досліджень. Акцентовано на тому, що для системно-подієвого відображення впливу агрометеорологічної та біологічно-предметної складових технологічних процесів збирання на їх своєчасність необхідно поєднувати дані виробничих спостережень та комп'ютерні експерименти з відповідною імітаційною моделлю. Некерованість та стохастичність цих складових зумовлюють потребу розгляду функціональних показників ефективності в імовірнісному виразі. Установлено, що вибір того

чи іншого часу початку технологічних процесів не дасть змоги одночасно звести біологічні та технологічні втрати врожаю коренеплодів цукрових буряків до абсолютного мінімуму. Це є підставою використання вартісного критерію для обґрунтування параметрів технічного забезпечення (бурякозбиральних комбайнів) технологічних процесів збирання цукрових буряків.

### Висновки

1. Некерованість та стохастичність подій, що впливають на перебіг технологічних процесів збирання цукрових буряків, зумовлюють доцільність розгляду функціональних показників у ймовірнісному виразі.

2. Під час моделювання технологічних процесів збирання цукрових буряків заданим бурякозбиральним комбайном (СКС-624 «Палессе BS624-1») установлено закономірності зміни обсягів питомих біологічних та технологічних втрат цукрових буряків, що є основою для обґрунтування параметрів технічного забезпечення цих процесів.

3. Установлено, що для будь-якого значення часу початку технологічних процесів збирання цукрових буряків є характерним, з певною ймовірністю, виникнення втрат (біологічних чи технологічних), що вказує на необхідність використання вартісного критерію для обґрунтування параметрів технічного забезпечення.

**Ключові слова:** цукрові буряки, процеси збирання, некеровані складові, своєчасність, моделювання, узгодження, ефективність, параметри, бурякозбиральні комбайни.

UDC 631.356.26:631.558.4

## The statistical simulation modeling results and determination of starting time influence sugar beet harvesting technological processes by timeliness of their implementation

*Duganets V. I., Cand. Eng. Sc. (Ph. D.), Associate Professor, State Agrarian and Engineering University in Podilia*  
*Pukas V. L., Applicant, State Agrarian and Engineering University in Podilia*

*Lub P. M., Cand. Eng. Sc. (Ph. D.), Associate Professor, Lviv National Agrarian University*  
*Dnes V. I., Cand. Eng. Sc. (Ph. D.), Department Head, National scientific centre "Institute of agricultural engineering and electrification"*

#### Annotation

**Purpose.** To increase the efficiency of the technological processes of sugar beet harvesting, namely, to reduce the losses of the cultivated crop, due to the substantiation of the time of their start.

**Methods.** The research used the methods of analysis and synthesis, system-factor and system-event approaches to the study of technological processes during the harvesting of sugar beets. To develop a statistical simulation model of these technological processes, a discrete-event approach used.

**Results.** The results of statistical simulation modeling of sugar beet harvesting technological processes was presented. The statistical regularities of their functional efficiency indicators at different starting times of harvesting are established. The methodology of system-factor and system-event approaches, methods of simulation modeling, computer experiments, iterations, mathematical statistics and correlation-regression analysis of the obtained research results have been used. It is emphasized that for system-event reflection of the agrometeorological and biological-substantive components influence on timeliness of harvesting processes it is necessary to combine the data of production observations and computer experiments with the corresponding simulation model. The unmanageable and stochastic of these components necessitate the consideration of functional efficiency

indicators in probabilistic terms. It has been established, that the choice of starting time of the technological processes will not allow simultaneously to reduce the biological and technological losses of sugar beet root to the absolute minimum. This is the reason for using the cost criterion to justify the parameters of the technical support (beet harvesters) of the sugar beet harvesting technological processes.

#### Conclusions

1. The inertia and stochastic nature of events affecting the flow of sugar beet harvesting processes make it expedient to consider functional indicators in probabilistic terms.

2. During the simulation of the technological processes of sugar beet harvesting by a given beet harvester (SCS-624 "Palese BS624-1"), regularities of changes in the volumes of specific biological and technological losses of sugar beets are established, which is the basis for substantiating the parameters of technical support of these processes.

3. It is established that for any value of the time of the beginning of the technological processes of sugar beet harvesting, it is typical, with a certain probability, the occurrence of losses (biological or technological), indicating the need to use a cost criterion to justify the parameters of technical support.

**Keywords:** sugar beet, harvesting processes, unmanaged components, timeliness, simulation, coordination, efficiency, parameters, beet harvesters.

УДК 631.356.26:631.558.4

### Результаты статистического имитационного моделирования и определения влияния времени начала технологических процессов уборки сахарной свеклы на своевременность их выполнения

*Дуганець В. И., к.т.н., доцент, Подольский государственный аграрно-технический университет*

*Лукас В. Л., соискатель, Подольский государственный аграрно-технический университет*

*Луб П. М., к.т.н., доцент, Львовский национальный аграрный университет*

*Днесь В. И., к.т.н., зав. отдела, Национальный научный центр «Институт механизации и электрификация сельского хозяйства»*

#### Аннотация

**Цель.** Повысить эффективность технологических процессов уборки сахарной свеклы, а именно снизить потери выращенного урожая, благодаря обоснованию времени их начала.

**Методы.** В исследовании были использованы методы анализа и синтеза, системно-факторного и системно-событийного подходов к исследованию технологических процессов при уборке сахарной свеклы. Для разработки статистической имитационной модели этих техноло-

гических процессов использован дискретно-событийный подход.

**Результаты.** Приведены результаты статистического имитационного моделирования технологических процессов уборки сахарной свеклы. Установлены статистические закономерности изменения их функциональных показателей эффективности при разном времени начала уборки урожая. Использована методология системно-факторного и системно-событийного подходов, методы имитационного моделирования, компьютерных экспериментов, итераций, математической статистики и корреляционно-регрессионного анализа результатов исследований. Акцентировано на том, что для системно-событийного отображения влияния агрометеорологической и биологически-предметной составляющих технологических процессов уборки на их своевременность необходимо сочетать данные производственных наблюдений и компьютерные эксперименты с соответствующей имитационной моделью. Неуправляемость и стохастичность этих составляющих обуславливают потребность рассмотрения функциональных показателей эффективности в вероятностном выражении. Установлено, что выбор того или иного времени начала технологических процессов не позволит одновременно свести биологические и технологические потери урожая корнеплодов сахарной свеклы к абсолютному минимуму. Это является основанием использования стоимостного критерия для обоснования параметров технического обеспечения (свеклоуборочных комбайнов) технологических процессов уборки сахарной свеклы.

#### **Выводы**

1. Неуправляемость и стохастичность событий, влияющих на ход технологических процессов уборки сахарной свеклы, обуславливают целесообразность рассмотрения функциональных показателей в вероятностном выражении.

2. При моделировании технологических процессов уборки сахарной свеклы заданным свеклоуборочным комбайном (СКС-624 «ПАЛЕС-СЕ BS624-1») установлены закономерности изменения объемов удельных биологических и технологических потерь сахарной свеклы, являющиеся основой для обоснования параметров технического обеспечения этих процессов.

3. Установлено, что для любого значения времени начала технологических процессов уборки сахарной свеклы характерно, с определенной вероятностью, возникновение потерь (биологических или технологических), что указывает на необходимость использования стоимостного критерия для обоснования параметров технического обеспечения.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, процессы уборки, неуправляемые составляющие, своевременность, моделирование, согласование, эффективность, параметры, свеклоуборочные комбайны.

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності технологічних процесів (ТП) збирання врожаю сільськогосподарських культур значною мірою залежить від узгодженості термінів їх виконання та обсягів виробничої площі культури з параметрами відповідного комплексу машин. У цьому разі збиральні процеси виконуються своєчасно та з мінімальними питомими сукупними витратами (технологічними втратами та експлуатаційними витратами) коштів. Однак, для об'єктивного узгодження цих складових технологічної системи збирання цукрових буряків (ЗЦБ) необхідно враховувати об'єктивні процеси формування агрометеорологічно та біологічно зумовлених термінів виконання ТП ЗЦБ, а також їхній ймовірнісний вплив на обсяги технологічних втрат урожаю. Відомо [2; 3; 12], що для вирішення таких завдань доцільно використовувати методи статистичного імітаційного моделювання, а відтак виконання комп'ютерних експериментів. Це дасть змогу встановити статистичні закономірності зміни функціональних показників ефективності для різних початкових умов та комплексів машин, а відтак розробити науково-обґрунтовані рекомендації сільськогосподарським підприємствам (СГП) щодо підвищення ефективності ТП ЗЦБ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** переконує в тому, що терміни виконання ТП із вирощування та збирання врожаю сільськогосподарських культур відображають детермінованими [4; 15] та статистичними [1; 9; 10; 17; 20] показниками. Як відомо [14], час початку та перебіг ТП ЗЦБ значною мірою залежать від календарних термінів досягання коренеплодів цукрових буряків, а також імовірнісного впливу агрометеорологічних умов на ці біологічні процеси. Врахування цих об'єктивних складових ТП ЗЦБ під час оцінювання ефективності відповідного технічного забезпечення дає змогу отримати вагомі аргументи для обґрунтування їхніх параметрів, а відтак забезпечити техніко-технологічний розвиток діючих СГП.

#### **Мета досліджень.**

Підвищити ефективність технологічних процесів збирання цукрових буряків, а саме знизити втрати вирощеного урожаю, завдяки обґрунтуванню часу їхнього початку.

**Методи досліджень.** У дослідженні було використано методи аналізу та синтезу,

системно-чинникового та системно-подієвого підходів до дослідження технологічних процесів під час збирання цукрових буряків. Для розроблення статистичної імітаційної моделі цих технологічних процесів було використано дискретно-подієвий підхід.

**Результати досліджень.** Особливістю ТП ЗЦБ є те, що терміни їх виконання та функціональні показники ефективності значною мірою залежать від темпів досягання коренеплодів цукрових буряків. До особливостей цих ТП також відносимо:

- дія агрометеорологічних умов (випадання дощу, температура повітря та виникнення заморозків) позначається на якісному стані цукрових буряків та ґрунті поля, що впливає на тривалість природно дозволеного фонду часу та своєчасність ТП ЗЦБ, а відтак і на технологічні втрати коренеплодів;

- приріст маси коренеплодів цукрових буряків та нагромадження цукрів у них відбувається в осінній період (до зниження температури повітря до  $+6-8^{\circ}\text{C}$  [11; 18; 19]), тому надто ранній початок ТП призводить до біологічних втрат від недобору потенційного врожаю;

- упродовж виконання ТП ЗЦБ також відбувається приріст маси коренеплодів і їхньої цукристості;

- тривалість виконання ТП ЗЦБ через дію агрометеорологічних умов (непогожих проміжків) може зростати та характеризується стохастичністю;

- пізні календарні терміни цих 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 з параметрами бурякозбиральних комбайнів дає змогу забезпечити мінімальні сукупні питомі витрати коштів.

Сукупне врахування цих особливостей досягається завдяки системно-подієвому відображенню в статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ біологічних, агрометеорологічних та фізико-механічних процесів, які поділяють на природні та штучні. Природні процеси відображають якісні зміни предметів праці (коренеплодів цукрових буряків та верхніх шарів ґрунту поля). Під штучними процесами розуміємо ТП ЗЦБ, які на рівні робочих

процесів здійснюють перетворення предметів праці з одного стану в інший: 1) підкопування верхнього шару ґрунту поля в рядках із коренеплодами; 2) вибирання коренеплодів; 3) їх очищення; 4) вивантаження.

Врахування імітаційною моделлю тих чи інших процесів, їхніх причинно-наслідкових зв'язків та системно зумовлених особливостей формування функціональних показників ефективності ТП ЗЦБ відіграє важливу роль в отриманні об'єктивних результатів комп'ютерних експериментів, а відтак в отриманні достовірних статистичних закономірностей. Представлення цих закономірностей у вартісних показниках дає змогу обґрунтувати параметри технічного забезпечення ТП ЗЦБ.

Отже, відображення ТП ЗЦБ у 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 [14]. Методологія відображення моделлю впливу цих об'єктивних (некеріваних і природно зумовлених) складових ґрунтується на загальновідомому підході генерування потоку вимог [2; 7; 21] на виконання відповідних технологічних операцій та його обслуговування заданим технічним забезпеченням (бурякозбиральними комбайнами) ТП ЗЦБ.

Такий підхід дає змогу відтворити часові характеристики 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 тощо. Це здійснюється завдяки попередньо сформованим статистичним закономірностям, а також розподілам імовірнісних показників, які відображають часові характеристики настання базових подій ТП ЗЦБ та вплив агрометеорологічної та біологічно-предметної складових на виконання цих ТП. Зазначимо, що для дослідження використано як уже відомі [14], так і встановлені нами статистичні закономірності та розподіли:

- розподіл тривалості погожих проміжків осіннього періоду (Вейбулла);

- розподіл тривалості непогожих проміжків осіннього періоду (Вейбулла);
- розподіл часу початку заморозків (Вейбулла);
- розподіл часу завершення фізичної стиглості ґрунту (Нормальний);
- закономірність зміни оцінок математичного сподівання тривалості природно дозволеного добового фонду часу на виконання ТП ЗЦБ;
- залежність тривалості природно дозволеного фонду на виконання ТП ЗЦБ від часу початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків;
- розподіл часу початку випадання дощу в розрізі календарної доби осіннього періоду;
- розподіл часу початку в'янення зовнішніх листків (біологічної стиглості) цукрових буряків (Вейбулла);
- закономірність зміни початкової маси коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків;
- закономірність зміни максимального приросту маси коренеплодів за різного часу початку в'янення зовнішніх листків цукрових буряків;
- закономірність оцінки математичного сподівання інтенсивності щодакного приросту маси коренеплодів цукрових буряків.

Використання цих статистичних закономірностей та розподілів дало змогу відобразити в моделі базові події на календарній осі часу, котрі формують часові обмеження на виконання відповідних ТП. Для того, щоб сформулювати в чисельному виразі календарну вісь, на якій зазначено ці події, виконували генерування псевдовипадкових величин у кожній з  $N_p$  ітерацій статистичної імітаційної моделі. Зокрема, для генерування моменту (часу) їх виникнення використано стандартний для програмного середовища MS Visual Studio 2010 C# [22] генератор псевдовипадкового числа від 0 до 1 та оберненої функції відповідних теоретичних розподілів. Згідно із сформованою календарною віссю часу та зафіксованими на ній базовими подіями наступною відображалася початкова маса коренеплодів та їхній приріст у розрізі осіннього періоду. Це дало змогу кількісно оцінити поточну врожайність коренеплодів цукрових буряків та виконати моделювання роботи бурякозбиральних комбайнів на площі  $S$ .

Початкові дані моделювання сформовано для потокової технології збирання коренеплодів. Вони також включали: обсяг площі цукрових буряків, на якій необхідно виконати ТП; тип та технічні характеристики бурякозбирального комбайна; кількість комбайнерів. Відображення в статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ процесу обслуговування потоку вимог на збирання врожаю відбувається з моменту настання відповідної події – часу початку ТП. Зокрема, обсяг виконаних робіт в  $j$ -ту добу відображається відніманням добової продуктивності ( $W_{доб}^j$ ) від площі поля ( $S_{j-1}^H$ ):

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

де  $S_j^H$  – площа, яка залишилася незібраною в  $j$ -ту добу, га.

Незібрана площа  $S_j^H$  залишається на наступну добу і т.д. За виникнення непогожих проміжків ТП ЗЦБ призупиняють, тоді  $S_j^H = S_{j+1}^H$ . Аналогічні кроки в імітаційній моделі виконують до моменту збирання всієї площі з коренеплодами, тобто коли  $S = 0$  га.

Визначення добової продуктивності ( $W_{доб}$ ) бурякозбирального комбайна в статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ виконували з врахуванням приросту поточної врожайності культури, типу полів [8] та природно зумовленого добового фонду часу на виконання цих ТП. Зокрема, моделювання ТП ЗЦБ виконано для одиничного комплексу машин, який сформовано з комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1». Однак слід зазначити, що в розробленій нами статистичній імітаційній моделі ТП ЗЦБ прийнято деякі обмеження та правила:

- моделювання ТП відбувається в межах чітко зафіксованих базових подій з відображенням наслідкових подій, біологічних та технологічних втрат;
- збирання коренеплодів виконують у повному обсязі;
- у разі настання події завершення фізичної стиглості ґрунту або виникнення заморозків нижче  $5^\circ\text{C}$  ТП припиняють та визначають обсяги незібраних площ.

Завдяки розробленій імітаційній моделі виконано комп'ютерні експерименти й

отримано множину функціональних показників ефективності ТП ЗЦБ:

- імовірність технологічних втрат ( $I[Q_T]$ );
- обсяг технологічних втрат ( $Q_T$ );
- імовірність біологічних втрат ( $I[Q_6]$ );
- обсяг біологічних втрат ( $Q_6$ );
- обсяг незібраних площ ( $S^H$ ).

Багаторазова реалізація (ітерація) моделі та опрацювання результатів моделювання дали змогу побудувати закономірності зміни відповідних показників, що є підставою для узгодження часу початку ТП ЗЦБ, виробничої площі культури та параметрів технічного оснащення.

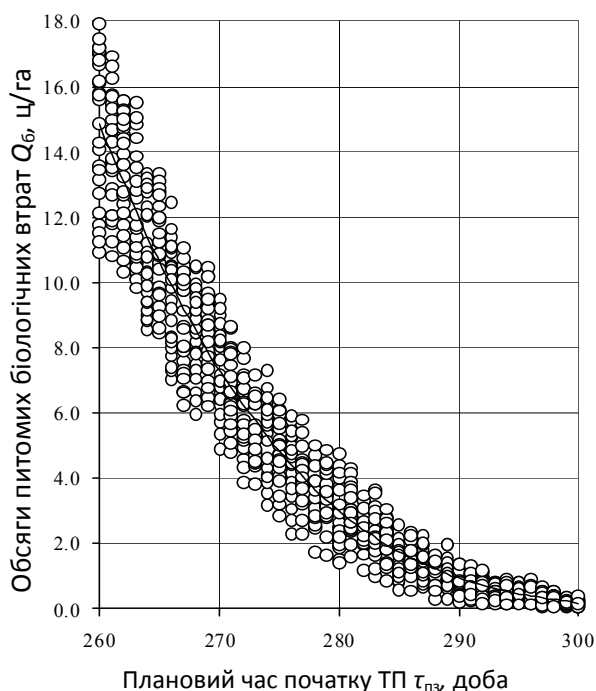
Моделювання виконували за різного часу початку ТП ЗЦБ (у межах 260...300 доби, тобто 18 вересня – 28 жовтня), виробничої площі цукрових буряків (у межах 60–300 га з кроком приросту 20 га) та заданого бурякозбирального комбайна СКС-624 «Палессе BS624-1» [5]. На цій підставі

встановлено закономірності зміни наступних функціональних показників:

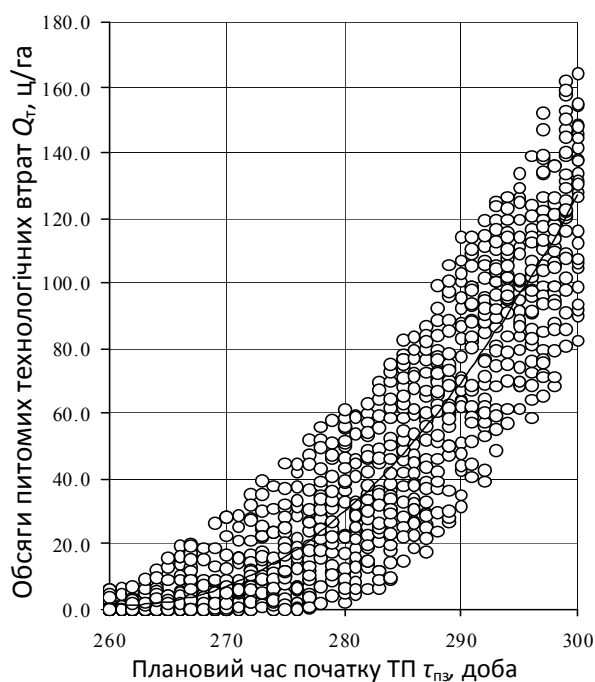
- обсягів питомих біологічних втрат ( $Q_6$ ) коренеплодів цукрових буряків (рис. 1);
- обсягів питомих технологічних втрат ( $Q_T$ ) (рис. 2);
- імовірності виникнення біологічних ( $I[Q_6]$ ) та технологічних ( $I[Q_T]$ ) втрат (рис. 3);
- обсягів незібраних площ ( $S^H$ ) (рис. 4).

Зокрема, у статті представлено закономірності зміни згаданих показників для виробничої площі  $S = 120$  га. Обґрунтування нелінійних залежностей (табл.) здійснено за методами кореляційно-регресійного аналізу із застосуванням коефіцієнта кореляційного відношення ( $r$ ).

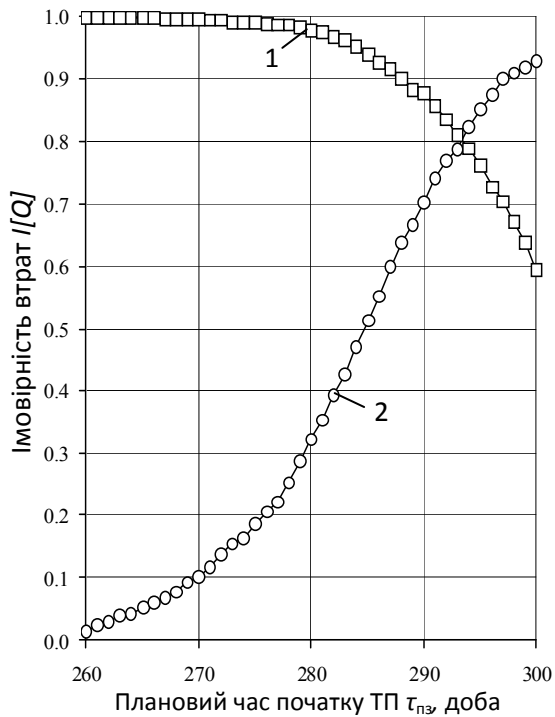
Аналіз залежностей  $Q_6$  (рис. 1) та  $Q_T$  (рис. 2) від часу початку ( $\tau_{пз}$ ) ТП ЗЦБ переконує в тому, що вибір раціонального  $\tau_{пз}$  не дасть змоги звести ці втрати до абсолютного мінімуму.



**Рис. 1.** Залежність обсягів питомих біологічних втрат цукрових буряків від часу початку ТП ЗЦБ  
**Fig. 1.** Dependence of volumes specific biological losses of sugar beet from the time of the beginning of the technological process of sugar beet harvesting

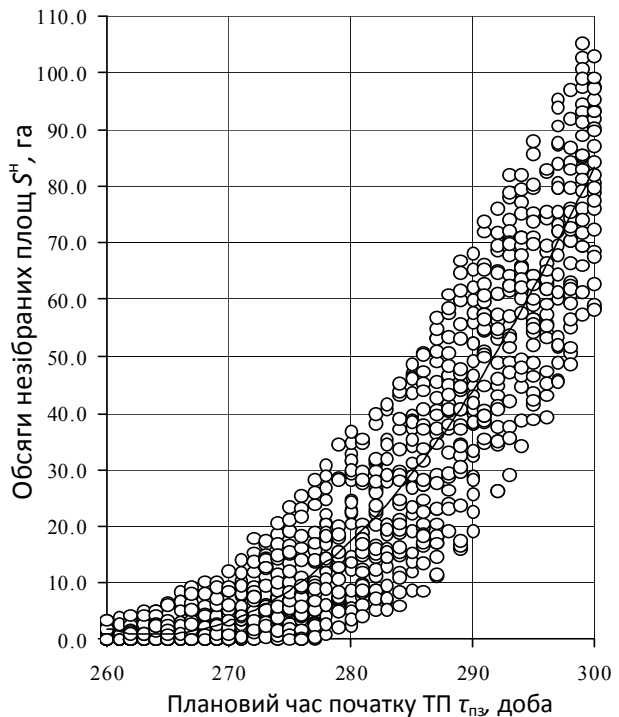


**Рис. 2.** Залежність обсягів питомих технологічних втрат цукрових буряків від часу початку ТП ЗЦБ  
**Fig. 2.** Dependence of volumes specific technological losses of sugar beet from the time of beginning of technological process of sugar beet harvesting



**Рис. 3.** Залежність імовірності біологічних (1) та технологічних втрат (2) цукрових буряків від часу початку ТП ЗЦБ

**Fig. 3.** Dependence of probability of biological (1) and technological losses (2) of sugar beet from the time by beginning of technological process of sugar beet harvesting



**Рис. 4.** Залежність обсягів незібраних площ цукрових буряків від часу початку ТП ЗЦБ

**Fig. 4.** Dependence of volumes unsorted areas of sugar beet from the time of beginning by technological process of sugar beet harvesting

Для будь-якого значення  $\tau_{пз}$  у ТП ЗЦБ виникатимуть втрати з певною ймовірністю (рис. 3), що є підставою використання вартісного критерію для обґрунтування параметрів технічного оснащення.

Це також є підтвердженням актуальності науково-практичного завдання такого узгодження  $\tau_{пз}$  та виробничої площі  $S$  цукрових буряків із параметрами технічного забезпечення, за якого питомі сукупні витрати коштів ТП будуть мінімальними.

**Таблиця. Рівняння залежностей функціональних показників ТП ЗЦБ**  
**Table. Equation dependency functional parameters by technological process of sugar beet harvesting**

Функціональні показники	Рівняння залежностей	Кореляційне відношення, $r$
Обсяги питомих біологічних втрат, ц/га	$Q_b = -0,00015919 \cdot \tau_{пз}^3 + 0,145 \cdot \tau_{пз}^2 - 44,065 \cdot \tau_{пз} + 4467,8$	0,951
Обсяги питомих технологічних втрат, ц/га	$Q_t = 0,08696 \cdot \tau_{пз}^2 - 45,572 \cdot \tau_{пз} + 5971,2$	0,851
Обсяги незібраних площ цукрових буряків, га	$S^н = 0,06332 \cdot \tau_{пз}^2 - 33,418 \cdot \tau_{пз} + 4410$	0,871

Отримані значення  $Q_t$  та обсягів незібраних площ ( $S^н$ ) (рис. 4) відображають нелінійний їхній приріст за пізнього часу

початку  $\tau_{пз}$  ТП ЗЦБ. Відповідно до цього початок ТП у більш пізні терміни зумовлює збирання врожаю коренеплодів цукрових

буряків із порівняно більшою їхньою масою, однак характеризується високою вірогідністю виникнення технологічних втрат. Ця вірогідність спричинена скороченням природно дозволеного фонду часу на виконання ТП, а також стохастичним впливом агрометеорологічної складової.

### Висновки

1. Некерованість та стохастичність подій, що впливають на перебіг технологічних процесів збирання цукрових буряків, зумовлюють доцільність розгляду функціональних показників у ймовірнісному виразі.

2. Під час моделювання технологічних процесів збирання цукрових буряків заданим бурякозбиральним комбайном (СКС-624 «Палессе BS624-1») встановлено закономірності зміни обсягів питомих біологічних та технологічних втрат цукрових буряків, що є основою для обґрунтування параметрів технічного забезпечення цих процесів.

3. Встановлено, що для будь-якого значення часу початку технологічних процесів збирання цукрових буряків є характерним, з певною ймовірністю, виникнення втрат (біологічних чи технологічних), що вказує на необхідність використання вартісного критерію для обґрунтування параметрів технічного забезпечення.

### Бібліографія

1. Березовецький С. А. Обґрунтування параметрів технічного оснащення технологічних систем збирання озимого ріпаку: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Львівський національний аграрний університет. Львів, 2017. 21 с.

2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 351 с.

3. Василенко П. М. К методике стохастического моделирования функционирования машинных агрегатов. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1991. № 2. С. 144–146.

4. Завалишин Ф. С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве. М.: Колос, 1973. 319 с.

5. Комбайн свеклоуборочный самоходный СКС-624-01 «Палессе BS624» ОАО «ГОМСЕЛЬМАШ». URL: <https://www.gomselmash.by/produktsiya/sveklouborochnaya-tekhnika/sks-624-01-palesse-bs624.html>

6. Кузьминский Р. Д., Барабаш Р. И. Результаты моделирования технологических процессов технического обслуживания тракторов ХТЗ-3522. *Сб. статей по материалам XXXIII*

*международ. заочной научно-практ. конф. «Научная дискуссия: Вопросы технических наук»*. М.: Международный центр науки и образования, 2015. № 4. С. 97–106.

7. Лифшиц А. Л., Мальц Э. А. Статистическое моделирование систем массового обслуживания. М.: Сов. радио, 1978. 248 с.

8. Методичні положення та норми продуктивності і витрати палива на збиранні сільськогосподарських культур / І. М. Демчак, В. О. Завалевська, В. С. Пивовар [та ін.]. К.: НДІ «Укragропромпродуктивність», 2014. 272 с.

9. 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.

10. Пастухов В. І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11 / Харк. нац. техн. ун-т сільського господарства ім. П. Василенка. Х., 2004. 38 с.

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

12. Сидорчук О. В., Сенчук С. Р. Інженерний менеджмент: системотехніка виробництва: навч. посіб. Львів: Львів. ДАУ, 2006. 127 с.

13. Сидорчук О. В. Трансфер інноваційних розробок у сільськогосподарське виробництво. *Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний науковий зб.* / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2014. Вип. 99. Т. 1. С. 365–375.

14. Спічак В. С. Управління виробничо-технологічним ризиком у проектах збирання цукрових буряків: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, 2010. 23 с.

15. Табашников А. Т. Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур. М.: Агропромиздат, 1985. 159 с.

16. Уланова Е. С., Забелин В. Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 146 с.

17. 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.

18. Чубко О. Цукрові буряки по осені рахують. *Агросектор*. 2007. № 7–8 (21–22). С. 26–28.

19. Шамсутдінова А. В. Особливості формування врожаю і якості коренеплідів буряків цукрових залежно від застосування мікродобрив у Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.09. Київ, 2017. 20 с.



20. Шарибур 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.

21. Rubinstein R. Y., Kroese D. P. Simulation and the Monte Carlo method: 2-nd edition. Wiley, 2007. 345 p.

22. Schildt H. C#: The Complete Reference / Herbert Schildt. Osborne: The McGraw-Hill Companies, 2003. 752 p.

### Bibliografii

1. Berezovetskyi S. A. Obruntuvannya parametriv tekhnichnogo osnashchennia tekhnolohichnykh system zbyrannia ozymoho ripaku: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.11 / Lvivskiy natsionalnyi ahraryni universytet. Lviv, 2017. 21 s.

2. Buslenko N. P. Modelyrovanye slozhnykh system. M.: Nauka, 1978. 351 s.

3. Vasylenko P. M. K metodyke stokhastycheskoho modelyrovannya funktsyonyrovannya mashynnykh ahrehatov. *Vestnyk selskokhoziaistvennoi nauky*. 1991. № 2. S. 144–146.

4. Zavalysyn F. S. Osnovy rascheta mekhanizyrovannykh protsessov v rastenyevodstve. M.: Kolos, 1973. 319 s.

5. Kombain sveklouborochnyi samokhodnyi SKS-624-01 «Palesse BS624» OAO «HOM-SILMASH». URL : <https://www.gomselmash.by/produktsiya/sveklouborochnaya-tekhnika/sks-624-01-palesse-bs624.html>

6. Kuzminskyi R. D., Barabash R. I. Rezultaty modelyrovannya tekhnolohycheskykh protsessov tekhnicheskoho obsluzhyvannya traktorov KhTZ-3522. *Sb. statei po materyalam XXXIII mezhdunar. zaochnoi nauchno-prakt. konf. «Nauchnaia diskussiya: Voprosy tekhnicheskoy nauk»*. M: Mezhdunarodnyi tsentr nauky y obrazovaniya., 2015. № 4. S. 97–106.

7. Lyfshyts A. L., Malts Ye. A. Statystycheskoe modelyrovanye system massovoho obsluzhyvaniya. M.: Sov. radyo, 1978. 248 s.

8. Metodychni polozhennia ta normy produktyvnosti i vytraty palyva na zbyranni silskohospodarskykh kultur / I. M. Demchak, V. O. Zavalivska, V. S. Pyvovar [ta in.]. K.: NDI «Ukrainpromproduktivnist», 2014. 272 s.

9. Pasechnaia L. D. O matematycheskom modelyrovanny tekhnolohycheskykh kompleksov mashyn s uchetom peremennykh uslovyi vneshnei sredy. *Ynzhenerno-tekhnicheskoe obespechenye selskokhoziaistvennogo proyzvodstva*. Zernohrad: VNYPTYMESKh, 1983. S. 120–129.

10. Pastukhov V. I. Obruntuvannya optymalnykh kompleksiv mashyn dlia mekhanizatsii polovykh robit: avtoref. dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.05.11 / *Khark. nats. tekhn. un-t sil. hosp-va im. P. Vasylenka*. Kh., 2004. 38 s.

11. Roslynyntstvo. Tekhnolohii vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur: 3-tie vyd., vypravl., dopovn. / V. V. Lykhochvor, V. F. Petrychenko, P. V. Ivashchuk, O. V. Kornichuk; za red. V. V. Lykhochvora, V. F. Petrychenka. Lviv: NFV «Ukrainski tekhnolohii», 2010. 1088 s.

12. Sydoruk O. V., Senchuk S. R. Inzhenernyi menedzhment: systemotekhnika vyrobnytstva: navch. posib. Lviv: Lviv. DAU, 2006. 127 s.

13. Sydoruk O. V. Transfer innovatsiynykh rozrobok u silskohospodarske vyrobnytstvo. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva: mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk / NNTs «IMESH»*. Hlevakha, 2014. Vyp. 99. T. 1. S. 365–375.

14. Spichak V. S. Upravlinnia vyrobnycho-tekhnolohichnym ryzykom u proektakh zbyrannia tsukrovykh buriakiv: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.22. Lviv, 2010. 23 s.

15. Tabashnykov A. T. Optymyzatsiia uborky zernovykh y kormovykh kultur. M.: Ahropromyzdat, 1985. 159 s.

16. Ulanova E. S., Zabelyn V. N. Metody korreliatsyonnoho y rehressyonnoho analiza v ahrometeorolohyy. L.: Hydrometeoizdat, 1990. 146 s.

17. Tsip Ye. I. Sezonna prohrama kombaina i ryzyk u protsesi tsentralizovanoho zbyrannia rannikh zernovykh: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.22. Lviv, 2002. 18 s.

18. Chubko O. Tsukrovi buriaky po oseni rakhuiut. *Ahrosektor*. 2007. № 7–8 (21–22). S. 26–28.

19. Shamsutdinova A. V. Osoblyvosti formuvannya vrozhaui i yakosti koreneplodiv buriakiv tsukrovykh zalezno vid zastosuvannya mikrodbryv u Lisostepu Ukrainy: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 06.01.09. Kyiv, 2017. 20 s.

20. Sharybura A. O. Upravlinnia zmistom ta chasom u proektakh z tekhnolohichnym ryzykom (stosovno zbyrannia lonu-dovhuntsia): avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.22. Lviv, 2010. 20 s.

21. Rubinstein R. Y., Kroese D. P. Simulation and the Monte Carlo method: 2-nd edition. Wiley, 2007. 345 p.

22. Schildt H. C#: The Complete Reference / Herbert Schildt. Osborne: The McGraw-Hill Companies, 2003. 752 p.

### References

1. Berezovetsky S. A. Justification of parameters of technical equipment of technological systems for harvesting winter rape: author's abstract. dis ... Candidate tech Sciences: 05.05.11 / Lviv National Agrarian University. Lviv, 2017. 21 p.

2. Buslenko N. P. Modeling of complex systems. Moscow: Science, 1978. 351 p.

3. Vasylenko P. M. On the method of stochastic modeling of the functioning of machine aggregates. *The Vestnik of Agricultural Science*. 1991. No. 2. Pp. 144–146.

4. Zavalishin F. S. Fundamentals of the calculation of mechanized processes in plant growing. Moscow: Kolos, 1973. 319 p.
5. Combine beet-picking self-propelled SCS-624-01 "Palesses BS624". OJSC "GOMSILMASH". URL <https://www.gomsilmash.by/produktsiya/sveklo-uborochnaya-tekhnika/sks-624-01-palesse-bs624.html>
6. Kuzminsky R. D., Barabash R. I. Results of simulation of technological processes of maintenance of tractors KhTZ-3522. *Sb. articles on materials of XXXIII international correspondence scientific practice. conf. "Scientific Discussion: Questions of Technical Sciences"*. M: International Center for Science and Education, 2015. No. 4. Pp. 97–106.
7. Lifshits A. L., Malts E. A. Statistical modeling of mass service systems. Moscow: Sov. Radio, 1978. 248 p.
8. Methodological provisions and norms of productivity and fuel consumption on harvesting of agricultural crops / I. M. Demchak, V. O. Zavalevskaya, V. S. Pivovar [and others]. Kyiv: Scientific Research Institute "Ukragropromproduktivnost", 2014. 272 p.
9. Pasechnaya L. D. On mathematical modeling of technological complexes of machines taking into account changing environmental conditions. *Engineering and technical support of agricultural production*. Zernograd, VNIPTIEMESK, 1983. Pp. 120–129.
10. Pastukhov V. I. The substantiation of the optimal complexes of machines for the mechanization of field work: author's abstract. dis for obtaining a doctorate degree. tech Sciences: 05.05.11 / Kharkiv nat. Tech. Un-t sat down. households named P. Vasilenko. Kharkiv, 2004. 38 p.
11. Plant growing. Technologies of cultivation of agricultural crops: 3-rd form. corrected, supplemented / V. V. Likhovvor, V. F. Petrichenko, P. V. Ivaschuk, A. V. Korniychuk; for ed. V. V. Likhovvora, V. F. Petrichenko. Lviv: NWF "Ukrainian Technologies", 2010. 1088 p.
12. Sidorchuk O. V., Sentchuk S. R. Engineering management: system engineering of production: teaching. manual. Lviv: STA, 2006. 127 p.
13. Sidorchuk O. V. Transfer of innovations in agricultural production. *Mechanization and electrification of agriculture: inter-departmental thematic scientific collection / NSC "IAEE"*. Glevakha, 2014. Issue 99. V. 1. Pp. 365–375.
14. Spicach V. S. Management of production and technological risk in sugar beet harvesting projects: author's abstract. dis ... Candidate tech Sciences: 05.13.22. Lviv, 2010. 23 p.
15. Tabashnikov A. T. Optimization of grain and fodder crop harvesting. Moscow: Agropromizdat, 1985. 159 p.
16. Ulanova E. S., Zabelin V. N. Methods of correlation and regression analysis in agrometeorology. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1990. 146 p.
17. Tsip Ye. I. Seasonal Combine Program and Risk in the Process of Centralized Harvesting of Early Cereals: author's abstract. dis ... Candidate tech Sciences: 05.13.22. Lviv, 2002. 18 p.
18. Chubko O. Sugar beets in the fall. *Agrarian sector*. 2007.No. 7-8 (21–22). Pp. 26–28.
19. Shamsutdinova A. V. Features of the formation of crop and quality of sugar beet root crops depending on the use of microfertilizers in the forest-steppe of Ukraine: author's abstract. dis ... Candidate tech Sciences: 06.01.09. Kyiv, 2017. 20 p.
20. Sharibura A. O. Management of content and time in projects with technological risk (for the collection of flax flax): author's abstract. dis ... Candidate tech Sciences: 05.13.22. Lviv, 2010. 20 p.
21. Rubinstein R. Y., Kroese D. P. Simulation and the Monte Carlo Method: 2-nd edition. Wiley, 2007. 345 p.
22. Schildt H. C #: The Complete Reference / Herbert Schildt. Osborne: The McGraw-Hill Companies, 2003, 752 p.