

УДК 631.3:528.8:681.518

# ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗА МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**ВОЛОХАМ.П.-**

*докторант Національного авіаційного університету, канд. техн. наук*

**Вступ.** Серед інших просапних польових культур буряки цукрові є «найвизбагливішими» до ґрунтово-кліматичних умов, як і до робочих органів машин, що призначаються для виконання низки складних технологічних операцій їх виробництва. Тому врожайність коренеплодів буряка цукрового (БЦ) та ефективність виробництва цукробурякової продукції визначається рівнем застосовуваних передових технологій і досконалістю технічних засобів на всіх етапах від передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння БЦ весною до отримання бурякової сировини на заводі восени.

Технологія виробництва БЦ складається з ряду операцій, які вимагають якісного їх виконання, що потребує встановлення оптимальних параметрів робочих органів (РО) машин та режимів їх роботи на основі певних досліджень і «обчислення» значень показників. При цьому моделювання технологічних процесів (ТП) і технічних засобів (ТЗ) виробництва БЦ розглядається як найбільш дешевий і доступний метод досліджень в межах наявних теперішніх можливостей.

У зв'язку з цим, розробка загальних принципів моделювання ТП з урахуванням ймовірної природи умов функціонування РО, є актуальною. Зокрема, незважаючи на ряд виконаних робіт у напрямку моделювання робочих процесів сільськогосподарських машин, задача на основі комплексного підходу до оцінки ТП підготовки ґрунту та сівби БЦ, тут вирішується вперше.

**Аналіз публікацій за темою.** ТП бурякоцукрового виробництва можна розглядати як складні системи, які характеризуються наступними ознаками [1,2]:

- велика кількість взаємопов'язаних між собою підсистем та елементів;
- наявність достатньої кількості різноманітних зв'язків та відношень;
- різноманітність цілей та вимог окремих ланок технологічного процесу;
- інваріантність структури;

- неоднорідність фізичної природи, гетерогенність.

Головною метою управління складними ТП є підвищення ефективності. Поняття ефективності як співвідношення витрат та прибутку є дуже вузьким щодо оцінки функціонування складних систем. Тому розрізняють різні види ефективності виробничих та технологічних процесів [3]. Наприклад, за функціональним впливом розглядають економічну та технологічну ефективність (витрати насіння, прямі експлуатаційні витрати і т.п.), за видами агротехнічних заходів або ТП можна виділити ефективність передпосівного обробітку ґрунту.

Найбільш загальний підхід до оцінювання ефективності передбачає виділення критеріїв оцінювання та змінних, які впливають на остаточне значення оцінки. Оцінювати загалом ефективність бурякоцукрового виробництва, лише за допомогою одного критерію, неможливо. Це обумовлено складністю виробничих процесів. Тому слід використовувати багатокритеріальний підхід. Як запропоновано [3] всі показники ефективності можна розділити на такі групи: 1) показники економічної ефективності; 2) показники техніко-технологічної ефективності; 3) показники соціального ефекту; 4) показники екологічної ефективності.

Слід відмітити, що розглянуті показники відображають різні аспекти технологічного процесу і, у загальному вигляді, залежать від певного набору технологічних змінних. Технологічні зміни потребують постійного контролю, регулювання та впливають на визначення показників ефективності.

Попри це, прийняття рішень з технології повністю ґрунтується на попередньому досвіді та експертних оцінках [4,5], а ТП розглядаються відокремлено [6], параметри РО досліджуються експериментально в умовах жорстких обмежень [6,7], моделювання здійснюється, як правило, при великій кількості припущень і спрямоване на опис фізичних процесів окремих операцій, що складають ТП [8,9].

Аналіз публікацій з питань оптимізації ТП виробництва БЦ приводить до актуальності постановки задачі комплексного розгляду складних ТП передпосівного обробітку ґрунту та сівби, ви-

рощування і збирання врожаю на основі математичних моделей.

**Постановка проблеми.** Як відомо, технологія вирощування і збирання БЦ включає цілий ряд складних ТП. Так, наприклад, підготовка ґрунту до сівби навесні включає ранньовесняне вирівнювання і розпушування зябу, яке починають, як тільки з'являється можливість виходу в поле, а передпосівний обробіток ґрунту проводиться безпосередньо перед висівом насіння і його початок визначається ступенем «стигlosti» ґрунту.

Розглянемо як приклад два основні ТП, які значною мірою визначають результати всього технологічного ланцюга вирощування БЦ, - передпосівний обробіток ґрунту і сівбу як двоєдиний технологічний процес.

Обробіток ґрунту перед посівом проводиться на глибину 2-4 см з метою знищення бур'янів і розпушування поверхневого шару для створення умов загорання насіння на необхідну глибину і отримання дружних і рівномірних сходів.

Сівба високосхожим насінням в добре оброблений ґрунт на задану глибину і рівномірно по довжині рядка в сприятливі терміни забезпечує дружні і рівні сходи. Очевидно, обидва ТП являють собою двоєдиний процес.

На основі зазначених вище особливостей сівби БЦ слід відшукати оптимальні параметри РО культиваторів та сівалок, застосування яких сприяло б отриманню рівномірно розподілених по довжині рядка, повних і дружних сходів і, як наслідок, стартового росту і розвитку рослин, а в кінцевому підсумку - підвищенню врожайності культури. Це призводить до необхідності комплексного дослідження ТП вирощування БЦ шляхом розробки та застосування відповідних моделей.

Особливості робочих процесів сільськогосподарських машин, їх ймовірно-статистична природа дозволяє рекомендувати метод статистичних випробувань в якості одного з основних методів дослідження, коли враховується сукупність випадкових і невідповідних факторів, які складно дослідити аналітичними методами. Метод статистичних випробувань відрізняється тим, що експериментальне вирішення завдання в польових або лабора-

торних умовах замінюється серією послідовно паралельних дій над випадковими числами за певною схемою, що забезпечує адекватність моделі.

Метод статистичних випробувань при необхідності забезпечує заміну методів моделювання «чорного ящика». При цьому відпадає потреба в описі комплексу характеристик вихідних ознак. Заміна аналітичних виразів деяким моделюючим алгоритмом дозволяє врахувати велике число взаємодіючих і важко контрольованих випадкових за характером змінних впливів, що визначають хід протікання робочого процесу сільськогосподарської машини.

Таким чином, в певному середовищі здійснюється моделювання експерименту. При цьому представляється можливим:

а) уникати труднощів, пов'язаних з організацією та проведенням багатofакторного натурного експерименту, скоротивши час на проведення досліджень;

б) використовувати схему активно експерименту, а також багаторазово, протягом невеликого часу, відтворювати досліди, зберігаючи постійними або варіюючи параметрами змінюваних факторів при реалізації схеми і моделі відповідно до цілей експериментального дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності та якості ТП сільськогосподарських машин методами агентного імітаційного їх моделювання.

У даній роботі розглядається технологія виробництва БЦ як єдиний об'єкт моделювання з метою дослідження взаємозв'язку окремих ТП та оцінки ефективності технології в цілому.

**Результати досліджень.** Імітаційне моделювання - це метод дослідження, при якому досліджувана система замінюється сконструйованою моделлю, яка з достатньою точністю описує реальну систему, та з якою проводяться експерименти з метою отримання інформації про цю систему. Складові частини імітаційної моделі - це структура системи, тобто сукупність описів елементів і зв'язків між ними; засоби відтворення поведінки системи; властивості середовища, в якому функціонує досліджувана система. Зазначена інформація в цілому носить логіко-математичний характер і представляється у формі сукупності алгоритмів, що описують динаміку функціонування системи.

Переваги імітаційного моделювання полягають в тому, що в його основі лежить методологія системного аналізу. Вона дозволяє здійснити дослідження проектованої або аналізованої

системи за схемою операційного дослідження, яка включає наступні взаємопов'язані етапи: змістовна постановка задачі; розробка концептуальної моделі; розробка та програмна реалізація імітаційної моделі; перевірка адекватності моделі та оцінка точності результатів моделювання; планування експериментів; прийняття рішень. Зважаючи на це, імітаційне моделювання можна використовувати як універсальний підхід для прийняття рішень в умовах невизначеності та для врахування в моделях факторів, які складно формалізуються, а також застосовувати на практиці основні принципи системного підходу при вирішенні багатьох прикладних задач, у т.ч. в галузі розробки ТП і ТЗ буряківництва.

Особливим видом імітаційного моделювання є агентне моделювання. Агент являє собою активний інформаційний об'єкт, яким може позначатись суб'єкт господарської діяльності, технологічний пристрій, організація, населений пункт і т.д. Залежно від того, який об'єкт являє собою агент, модель може відповідати високому рівню абстракції, середньому, низькому або поєднувати кілька рівнів. Таким чином, ця парадигма моделювання є найбільш універсальною.

Основною відмінністю агентного підходу є побудова моделі за принципом «знизу вгору». Залежності між агрегованими величинами не задаються виходячи з експертних знань про реальний світ, а виходять з процесу моделювання індивідуальної поведінки багатьох агентів, їх взаємодії один з одним і з об'єктами, які моделюють навколишнє середовище. Наприклад, дослідження виробництва буде відбуватися не в поняттях готової продукції, а в моделі будуть закладені можливі реакції окремого виробничого процесу і окремого виконавця на зміну умов і завдань виробництва. У агентів є можливість обмінюватися інформацією, впливаючи на поведінку один одного саме цим.

Модель може враховувати просторові характеристики, взаємне розташування агентів по відношенню один до одного та об'єктів навколишнього середовища. До переваг агентного підходу відноситься [10]:

- відсутність зумовленості в поведінці системи на глобальному рівні, що може призвести до появи нових гіпотез про її функціонування в ході симуляції моделі;

- реалізм і гнучкість в описі системи, можливість моделювати найскладніші нелінійні зворотні зв'язки, використовувати будь-який необхідний рівень деталізації і абстракції.

У агентному підході можливе вико-

ристання гетерогенних елементів моделі; з'являється можливість моделювання обміну інформацією.

До перешкод для побудови агентної моделі слід віднести, по-перше, відсутність адекватних даних. Як правило, зібрати експертну інформацію за характеристиками індивідуальних об'єктів складніше, ніж за агрегованими показниками. По-друге, необхідність визначення логіки поведінки окремого агента в термінах, придатних для машинної обробки. У процесі імітаційного моделювання можуть виникнути потреби у значних обчислювальних ресурсах для виконання програмної симуляції.

Для представлення можливих дій агента та його взаємодії із зовнішнім середовищем необхідно мати інструмент, який дозволяє у формальному вигляді описувати поведінку агента. Формальна архітектура агента задається через опис середовища, в якому функціонує агент, сприйняття агентом цього середовища та його діями [11].

Позначимо зовнішнє середовище агента за допомогою множини станів  $S$ . Можливі дії агента описуються за допомогою множини дій  $A$ . Абстрактно агент може представлятися як функція  $g_s : S \rightarrow A$ ,

тобто вибір конкретної дії, із множини можливих дій, агент здійснює на основі поточного стану зовнішнього середовища  $s_i \in S$ .

При цьому дії агента можуть впливати на середовище, але не контролювати його повністю.

Для представлення агента зручно використовувати модель сприйняття зовнішнього середовища. Для цього вводиться множина можливих сприйняття  $P$  та функція  $f : S \rightarrow P$ ,

яка описує, у який спосіб певні стани середовища сприймаються агентом. Тоді агент представляється за допомогою функції  $g_p : P \rightarrow A$ ,

тобто дія агента визначається у загальному випадку поточним сприйняттям стану зовнішнього середовища  $p_j \in P$ .

Модель агента із сприйняттям еквівалентна базовій. Проте вона дозволяє ввести наступну додаткову властивість агента: різні стани середовища можуть однаково сприйматися і навпаки - один стан може по-різному сприйматися агентом.

Іншим варіантом рішення задачі включення попередніх дій при виборі поточної дії є введення поняття стану агента. При цьому вважається, що агент має певні внутрішні структури даних, які він модифікує в залежності від

сприйняття поточного стану зовнішнього середовища, та на основі отриманих результатів обирає дію. Для формалізації цього процесу вводиться множина  $I$  внутрішніх станів агента та функція оновлення внутрішнього стану, яка відповідає за оновлення внутрішнього стану у відповідності до поточного сприйняття середовища:

$$h: I \times P \rightarrow I$$

Тоді агент описується за допомогою функції

$$g_I: I \rightarrow A$$

тобто дія обирається на основі поточного стану агента. Для коректного опису поведінки агента із станом необхідно визначити початковий стан  $i_0$ .

Агент, який обирає дію на основі поточного сприйняття, ігноруючи всю історію попередніх сприйняття, є простим рефлексним агентом. Такий тип агентів є достатньо простим. У багатьох випадках для успішного функціонування агента можуть знадобитися знання двох видів. З одного боку, це інформація про те, як середовище змінюється незалежно від агента. З іншого боку, це знання про те, як

власні дії агента впливають на середовище. Агент, який використовує такі знання про існування зовнішнього середовища, є рефлексним агентом, заснованим на моделі.

Адекватність моделі можна виявити на підставі оцінки її відповідності поставленій задачі. Це означає, що поняття адекватності моделі як абстрактної категорії, не пов'язаної з поставленим завданням, позбавлене сенсу.

**Висновок.** Головною метою моделювання технологічних процесів бурякоцукрового виробництва є підвищення їх ефективності за рахунок визначення та обґрунтування оптимальних параметрів. Дослідження технологічних процесів на основі імітаційного, зокрема агентного моделювання, як одного із його видів, дозволяє визначити технологічні змінні, їх взаємовідносини та взаємозв'язки, виділити техніко-економічні показники, оцінити вплив на прибутковість, визначити напрямки розвитку та шляхи вдосконалення техніко-технологічної бази галузі буряківництва.

#### Бібліографія:

1. Ладанюк А.П. Системний аналіз складного об'єкта в задачах діагностики та координації [Електронний ресурс] / А.П. Ладанюк, Л.О. Власенко, Н.А. Заець. - Режим доступу: [http://dsp.space.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1076/1/Sist\\_anTK.pdf](http://dsp.space.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1076/1/Sist_anTK.pdf)
2. Волоха М.П. Моделювання технологічних процесів підготовки ґрунту і насіння до сівби цукрових буряків / М.П.Волоха // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. - Кіровоград: КНТУ. 2013. Вип. 43, Ч.1. С. 246-252.
3. Волоха М.П. Принципи моделювання технологічних процесів виробництва цукрових буряків / М.П.Волоха // Проблеми екологічної біотехнології: Електронний науковий журнал Національного авіаційного університету. - К.: НАУ, 2013. - №2. - Режим доступу: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/5503/6215>
4. Волоха Н.П. Разработка и обоснование параметров вибрационных выкапывающих рабочих органов свеклоуборочных машин // Автореф. дисс. канд. техн. наук 05.20.01. К., 1987. - 20с.
5. Литтл Т., Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ. М.: Колос, 1082. - 320 с.
6. Башкирев А.П. Сравнительная оценка экспериментального и серийного выкапывающих рабочих органов // А.П. Башкирев, В.А. Семькин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №1. 2007. - С. 40-41.
7. Бондаренко Н.Ф. Имитационные модели и методы принятия решений при программировании урожая / Н.Ф. Бондаренко, Р.А. Полуэктов, В.П. Якушев // Доклады ВАСХНИЛ. 1986. - №2. С.5-7.
8. Бублик Н.И. Качество уборки в зависимости от условий и типа свеклоуборочных машин / Н.И. Бублик, Н.М. Зуев // Сахарная свекла. - №9. 1985. С.5-7.
9. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. [Текст] Вип. 18. Луцьк: ЛНТУ, 2009. 546 с.
10. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. С-Петербург: БХВ-Петербург, 2006.
11. Wooldrige M. J. Intelligent Agents // Multiagent Systems. - 2001. - P. 27-79.

#### Анотація

У статті наведено можливості комплексного дослідження технології виробництва буряків цукрових шляхом розробки та застосування імітаційних моделей. Дослідження параметрів технологічних процесів пропонується проводити за методами агентного імітаційного моделювання.

**Ключові слова:** буряки цукрові, технологічний процес, технічний засіб, робочий орган, моделювання.

#### Анотация

В статье представлены возможности комплексного изучения технологии производства сахарной свеклы путем разработки и применения имитационных моделей. Исследования параметров технологических процессов предложено проводить методами агентного имитационного моделирования.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, технологический процесс, техническое средство, рабочий орган, моделирование.

#### Annotation

The paper presents the possibility of a comprehensive study on the technology of sugar beet production through the development and implementation of simulation models. The methods of agents simulation modeling are suggested for research of parameters of the technological processes.

**Keywords:** sugar beet; technological progress; facilities; working body; modelling.

## АГРОІНФОРМАЦІЯ

### МІНАГРОПОЛІТИКИ ПІДТРИМУЄ ІНІЦІАТИВУ ЦУКРОВИКІВ ЩОДО ПІДПИСАННЯ ЕТИЧНОГО КОДЕКСУ

“Політичні ризики, ручне управління економікою, за прогнозами експертів - стабільно низькі ціни до 2020р., ріст зовнішньої конкуренції через відкриття ринків (конкуренція між тростинним і буряковим цукром), пошук і вихід на нові ринки, несприятливі економічні умови - такі виклики вітчизняній бурякоцукровій галузі сьогодні і у найближчому майбутньому були озвучені на загальних зборах учасників Національної асоціації цукровиків України, присвячені підсумкам роботи галузі у поточному сезоні цукроваріння.

Серед шляхів подолання цих викликів - саморегуляція цукрового бізнесу, рівноправність у відносинах між великими компаніями і малими та середніми підприємствами, скоординований захист внутрішнього ринку.

На зборах було презентовано Правила професійної етики у конкуренції на ринку цукру та інших продуктів бурякоцукрового виробництва, розроблені з метою недопущення у конкуренції будь-яких дій, що суперечать торговій діяльності та забезпеченню правдивого інформування про якість цукру.

Присутній на зборах директор Департаменту продовольства Міністерства аграрної політики та продовольства України Дмитро Шультейстер зазначив, що Мінагрополітики підтримує ініціативу щодо підписання виробниками цукру Правил професійної етики. Він підтвердив, що міністерство сприяє вирішенню питань щодо пошуку ринків збуту українського бурякового цукру, дерегуляції економіки й бізнесу, відміни щорічної тарифної квоти на ввезення в Україні цукру-сирцю з тростини, модернізації виробництва, виробництву біологічних видів палива.

**Довідково:** у 2014 році врожайність солодких коренів стала за останні 20 років найбільшою і склала понад 470 центнерів з гектара, виробництво цукру з 1 гектара в середньому склало 6,5 тонн, вихід цукру 14 відсотків.

У поточному маркетинговому році переробку цукрових буряків здійснювали 48 цукрових заводи, тривалість виробництва в середньому на один завод, у порівнянні з минулим сезоном, збільшилася на 20 завододіб і склала в середньому 85 завододіб.

Доля інтегрованих структур у виробництві цукру в загальнодержавному обсязі виробництва склала 77 відсотків.

За два місяці 2015 року спостерігається збільшення експорту цукру.

*Прес-служба Мінагрополітики.*