

## ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

**М.П. ВОЛОХА**

Національний авіаційний університет, м. Київ

*У статті розглянуто особливості моделювання технологічних процесів і технічних засобів виробництва цукрових буряків, наведено огляд літературних джерел та виділено характерні риси створених моделей. На основі проведеного аналізу запропоновано основні принципи моделювання технологічних процесів вирощування, збирання та обробки цукрових буряків.*

**Ключові слова:** моделювання, технологічний процес, цукровий буряк, коренеплід, технологічний комплекс

**Вступ.** Дослідженню питань ефективного функціонування та розвитку бурякового комплексу присвячено праці багатьох вчених. Такі автори як А.О. Василенко, Л.В. Погорілий, В.М. Булгаков, М.М. Зуєв, П.Ф. Вовк, М.В. Татьянак, Г.А. Хайліс, М.М. Хелемендик, В.Я. Мартиненко, М.О. Гандзюк, С.А. та ін. розглядають у своїх працях агрофізичні властивості посівів та механіко-технологічні властивості коренеплодів [1-4]. Багато наукових літературних джерел присвячено питанням відокремлення гички [1,2,5].

Розробці і створенню засобів механізації збирання цукрових буряків, зокрема робочих органів для викопування коренеплодів, присвячені роботи багатьох вчених, зокрема П.М. Василенка, Л.В. Погорілого, В.В. Брея, М.В. Татьянак, В.М. Булгакова, Р.Б. Гевка, І.В. Головача, В.С. Глуховського, Б.П. Шабельника, В.І. Корабельського, В.П.Юрчука та ін. [1,6,7] Аналіз відомих досліджень показує, що незважаючи на певні результати щодо розробки нових робочих органів та визначення їх оптимальних конструктивно-

кінематичних та динамічних параметрів, в багатьох випадках ці пристрої не забезпечують високу технологічну надійність незалежно від агротехнічних умов, необхідну універсальність, інтенсифікацію процесів збирання буряків та високі функціональні параметри.

Покращання технології вирощування та збирання цукрового буряку є важливою проблемою бурякоцукрової галузі. Комплексний підхід до підвищення якості процесів підготовки ґрунту, сівби, вирощування та збирання буряку повинен включати як пошук нових конструктивних рішень робочих органів, так і теоретичне обґрунтування конструктивних та технологічних параметрів. Це обумовлює розвиток сучасної теорії вирощування коренеплодів цукрового буряку з метою синтезу оптимальних технологічних параметрів машин та робочих органів для забезпечення високої якості на всіх технологічних етапах.

Таким чином, теоретичне узагальнення, моделювання та дослідження техніко-технологічних процесів цукробурякового виробництва потребує розвитку як результатів вивчення агрофізичних властивостей посівів, особливостей вирощування та збирання коренеплодів, так і загальних підходів до управління складними системами та процесами, до класу яких може бути віднесено технологічні процеси виробництва коренеплодів ЦБ.

**Метою даної роботи** є визначення принципів моделювання технологічного процесу виробництва цукрового буряку шляхом уніфікації процедур побудови моделей складних систем та розробки базових засад щодо вдосконалення методології моделювання технологічних процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно дослідити загальну схему технології виробництва ЦБ, вивчити особливості моделювання технологічних процесів, визначити мету моделювання та розглянути можливі критерії, узагальнити теоретичну базу побудови моделей складних систем та запропонувати принципи моделювання технологічних процесів виробництва цукрового буряку.

**Виклад основного матеріалу.** Виробництво цукрового буряку складається з низки технологічних процесів та операцій, головними з яких можна визначити наступні: підготовка ґрунту, сівба насіння, вирощування урожаю та збирання коренеплодів і гички. Збирання коренеплодів визнано одним з найбільш трудомістких та енергомістких технологічних процесів у виробництві цукрового буряку [1]. Від правильної та чіткої організації процесу збору врожаю, раціонального використання збиральної техніки та транспортних засобів залежить якість збирання врожаю та забезпечення цукрової промисловості висококондиційною сировиною.

Математичне моделювання базується на таких загальних принципах, як інформаційність, здійсненність, множинність, але при побудові моделей складних технологічних процесів, зокрема технологічних процесів виробництва ЦБ, необхідно враховувати деякі додаткові аспекти. Авторами запропоновано розглядати наступні принципи моделювання складних технологічних процесів.

1. Доцільність моделювання – це основоположний принцип побудови будь-яких моделей. Моделювання як процес представлення об'єкта, процесу або явища має бути цілеспрямованим, економічно обґрунтованим та отриманий результат (тобто модель) не повинен підвищувати складність.

2. Наявність достатньої інформації – це принцип інформаційної достатності, тобто для побудови моделі необхідна наявність апріорної інформації, яка дозволяє побудувати адекватну модель. Повнота та невизначеність наявної інформації обумовлюють доцільність, адекватність та ефективність моделювання.

3. Множинність моделювання – це принцип представлення реального об'єкту або процесу множиною моделей, які відображають різноманітні аспекти його функціонування. Вибір типу моделювання, деталізація опису процесу, складність моделі – все це повинно узгоджуватись з цілями та завданнями моделювання.

4. Агрегативність моделі – це принцип моделювання складних систем як сукупності більш простих складових, які об'єднані моделлю більш високого рівня - агрегатом. Ієрархічне уявлення процесу дозволяє суттєво спростити модель складного об'єкту, зосередити увагу на головних аспектах, деталізація яких розглядається на нижчому рівні абстракції.

5. Координованість – це принцип моделювання складної системи через декомпозицію та врахування взаємного впливу автономних підсистем. Будь-який технологічний процес складається з певного набору операцій, що обумовлює цілком природну декомпозицію та моделювання окремих стадій як автономних підсистем, які взаємодіють між собою. Узгодженість параметрів, інформаційних та матеріальних потоків між окремими підсистемами, а також між рівнями агрегування моделі дозволяє ефективно вирішувати складні завдання управління.

Сучасні технологічні процеси мають складну структуру, що обумовлює декомпозицію на взаємопов'язані підсистеми, крізь які проходять матеріальні та інформаційні потоки. Поліпшення техніко-економічних показників функціонування технологічного процесів можливо за умов вирішення завдань координації роботи окремих ланок технологічного процесу. Виділяють три основні варіанти постановки задачі координації технологічного процесу [11]:

- узгодження матеріальних потоків між підсистемами за умов збереження технологічних режимів суміжних підсистем;

- узгодження технологічних режимів суміжних підсистем за умов поліпшення загального показника якості функціонування технологічного процесу;

- визначення таких параметрів матеріальних потоків та технологічних режимів окремих підсистем, які забезпечать найліпші значення техніко-економічних показників функціонування технологічного процесу.

У загальному вигляді математична постановка задачі координації складного технологічного процесу формулюється наступним чином. Для кожної  $g$ -ої підсистеми складного технологічного процесу треба знайти такі

значення вектору параметрів технологічного процесу  $x_g = \{x_{gh}\}$  та вектору управляючих впливів  $u_g = \{u_{gh}\}$ , які забезпечать максимальне значення критерію ефективності функціонування  $g$ -ої підсистеми:

$$f_g(x_g, u_g, \bar{s}_g) \xrightarrow[u_g \in U]{x_g \in X} \max,$$

де  $\bar{s}_g$  – зафіксований параметр технологічного процесу, який забезпечує координацію  $g$ -ої підсистеми технологічного процесу.

Задача координації формалізується наступним чином: знайти такі значення параметрів  $s_g \in S$ , які, за умови визначених значень параметрів  $x_g$  та управляючих впливів  $u_g$  для кожної підсистеми, забезпечать максимальну ефективність технологічного процесу, тобто

$$F(s) = \sum_{g=1}^N \alpha_g f_g(\bar{x}_g, \bar{u}_g, s_g) \xrightarrow{s_g \in S} \max,$$

де  $\alpha_g$  – коефіцієнт відносної важливості  $g$ -ої підсистеми технологічного процесу,  $\bar{x}_g$  та  $\bar{u}_g$  – рішення відповідних локальних задач для кожної підсистеми,  $N$  – загальна кількість підсистем.

З метою формального уявлення та дослідження техніко-технологічної бази цукробурякового виробництва авторами пропонується розглядати технологічні процеси вирощування та обробки цукрових буряків з точки зору теорії складних систем. Технологічні процеси можна розглядати як складні системи, які характеризуються наступними ознаками [9]:

- велика кількість взаємопов'язаних між собою підсистем та елементів;
- наявність достатньої кількості різноманітних зв'язків та відношень;
- різноманіття цілей та вимог окремих ланок технологічного процесу;
- випадковий характер процесів;
- інваріантність структури;
- неоднорідність фізичної природи, гетерогенність.

Головною метою управління складними технологічними процесами є підвищення ефективності. Поняття ефективності як співвідношення витрат та

прибутку є дуже вузьким щодо розглядання функціонування складних систем. Тому будемо розрізняти наступні види ефективності виробничих та технологічних процесів [10]:

1) за рівнем організації виробництва можна виділити: ефективність економіки країни, ефективність аграрного сектору, ефективність цукробурякової галузі, ефективність виробництва ЦБ;

2) за формою ефекту ефективність може бути загальною або частковою;

3) за організаційним рівнем можна відокремити ефективність на рівні окремої бригади чи ланки, ефективність на рівні підприємства, ефективність на рівні району, області чи держави;

4) за функціональним впливом будемо розглядати економічну, технологічну, соціальну, екологічну та т.п. ефективність;

5) за видами заходів або технологічних процесів можна виділити такі види ефективності як, наприклад, ефективність передпосівної обробки ґрунту та сівби, ефективність збирання буряків .

Таким чином, проведена класифікація видів ефективності показує, що необхідні загальні принципи формування моделей оцінювання ефективності незалежно від її виду. Найбільш загальний підхід до оцінювання передбачає виділення критеріїв оцінювання та змінних, які впливають на остаточне значення оцінки.

Оцінювати ефективність виробництва ЦБ лише за допомогою одного критерію неможливо. Це обумовлено складністю виробничих процесів. Наприклад, для оцінювання технологічного процесу викопування можна виділити такі критерії як втрати маси коренеплодів, загальні ушкодження, забрудненість та ін. На значення цих критеріїв впливають різноманітні фактори, серед яких, наприклад, можна виділити, вологість ґрунту, тип ВРО, врожайність буряків, твердість ґрунту, забур'яненість посівів та ін. Тому слід використовувати багатокритеріальний підхід. Розробка моделей багатокритеріального оцінювання та прийняття рішень є предметом окремого дослідження. Розглянемо лише базові принципи формування моделей

багатокритеріального оцінювання. Автором запропоновано у якості базової моделі багатокритеріального оцінювання технологічного процесу вирощування цукрових буряків використовувати мережеву модель комплексного оцінювання. Як показано в роботі [12], модель мережевого комплексного оцінювання надає можливість отримати агреговану оцінку; врахувати різні групи показників; порівнювати альтернативні варіанти між собою та вибирати найбільш вигідний з точки зору загальної ефективності. У моделі комплексного мережевого оцінювання для згортки показників у групи можна використовувати різні види згорток та вагові коефіцієнти [13]. Причому вагові коефіцієнти визначаються у межах кожної групи окремо, що полегшує роботу експертів і робить механізм оцінки більш гнучким.

Таким чином, оцінка технологічних процесів виробництва ЦБ складається з двох видів показників: входи та агрегати. Показники "входи" характеризують певні агротехнічні умови та технологічні параметри робочих органів. Показники "агрегати" відображають певну групу характеристик технологічного процесу. Наприклад, можна розглядати групи показників за стадіями технологічного процесу, або за видами машин та робочих органів, які використовуються. Якщо показники ефективності технологічного процесу вирощування буряків неоднорідні за своєю суттю (наприклад, технічні параметри робочих органів та агротехнічні властивості ґрунту) і мають різні одиниці виміру, то неможливо скласти один агрегований показник шляхом згортання їх значень, а доцільніше сформулювати декілька рівнів агрегованих показників, які послідовно будуть згортатися в один. З іншого боку, проміжні агреговані показники дають оцінку різних аспектів технологічного процесу і можуть використовуватися в процесі оцінювання як самостійні.

Формально результати групування характеристик проекту технологічного оновлення можна зобразити у вигляді ациклічного орієнтованого графа  $G = (K, A)$  [12,13], де  $K$  – множина елементів (вершин) графа;  $A = \{a_{ij} : a_{ij} \in (0,1)\}$  – множина направлених дуг, що з'єднують елементи. Кожен елемент  $k_i \in K$  відображає певний показник (первинний або агрегований).

Кожна направлена дуга ( $a_{ij}=1$ ) означає, що елемент  $k_j$  відображає більш узагальнюючу характеристику проекту в порівнянні з елементом  $k_i$ . Отже, для всіх  $k_i, k_j \in K$ , якщо  $a_{ij}=1$ , то  $a_{ji}=0$ , тобто напрям дуги визначає напрям агрегування оцінок.

Усю множину елементів  $K$  можна розбити на дві підмножини:  $K^0$  та  $\tilde{K}$ , де  $K^0 \cup \tilde{K} = K, K^0 \cap \tilde{K} = \emptyset$ .  $K^0$  – це множина показників - входів. Показники із множини  $K^0$  безпосередньо оцінюються в процесі вибору технологій та робочих органів машин. Формально,  $K^0$  – це множина елементів, до яких не веде жодна дуга (множина показників-входів), тобто  $\forall k_i \in K, k_j \in K^0$  виконується  $a_{ij} = 0$ .

$\tilde{K}$  – це множина елементів, які виражають окремі групи показників, тобто множина  $\tilde{K}$  визначає агреговані показники (множина показників - агрегатів). Для кожного елемента  $k_j \in \tilde{K}$  існує хоча б один елемент  $k_i \in K$ , для яких виконується  $a_{ij} = 1$ , іншими словами, множина  $\tilde{K}$  об'єднує елементи, до яких обов'язково веде хоча б одна дуга.

Коли визначена структура мережі комплексного оцінювання, необхідно визначитися із функціями згортання  $F_l(\cdot)$  для всіх елементів  $k_i \in \tilde{K}$ , оскільки показників досить велика кількість і звести їх необхідно в один агрегований, то доцільно обрати відповідні функції згортки серед існуючих. Найбільш простими та поширеними є середньозважені методи [13].

Усі первинні та агреговані показники, які описують проект технологічного оновлення, мають певну одиницю виміру та діапазон можливих значень. Іншими словами, усі первинні показники визначаються у власних одиницях виміру, тобто абсолютні значення показників неможливо використовувати для подальшого агрегування. Для того щоб зіставляти та порівнювати між собою показники, які мають різні одиниці виміру, їх слід перевести до відносних за допомогою операції нормалізації.



Відповідно до рекомендацій [13] найбільш придатним є метод природної нормалізації. Для визначення відносних значень показників необхідно визначити еталонні та бракувальні значення для кожного первинного показника. Як еталонне значення показника рекомендується брати таке значення, що є найкращим у світі для даного показника на момент проведення оцінки, а як бракувальне значення – найближче, але гірше, ніж найгірше із значень показника проекту.

Таким чином, розрахунок відносних значень показників слід здійснювати за такою формулою:

$$x_i = \frac{y_i - \text{Rej}_i}{\text{Ref}_i - \text{Rej}_i},$$

де  $x_i$  – відносне значення  $i$ -го показника;

$y_i$  – абсолютне значення  $i$ -го показника;

$\text{Ref}_i$  та  $\text{Rej}_i$  – відповідно еталонне та бракувальне значення показника.

Отже, значення усіх первинних показників із абсолютних необхідно перевести у відносні. Незалежно від типу згортання, який використовується для агрегування, для визначення ступеня важливості певного показника рекомендується використовувати експертний метод, оснований на визначенні значення власних векторів матриць попарних порівнянь. Попарні порівняння здійснюються експертами для всіх показників, які належать до однієї групи показників, що агрегуються.

Моделювання процесу викопування коренеплодів ЦБ передбачає врахування різноманітних факторів – від агрофізичних властивостей ґрунту та розмірно – масових характеристик коренеплодів до техніко-технологічних параметрів ВРО. Все це обумовлює необхідність використання різноманітних класів моделей, які повинні бути об'єднані в єдиний комплекс. Повне обґрунтування технологічних режимів неможливо без застосування засобів імітаційного, зокрема комп'ютерного моделювання, вирішення задач координації та багатокритеріальної оцінки.

Узагальнюючи проведені дослідження можна зробити висновок, що головною метою моделювання технологічних процесів виробництва ЦБ є підвищення ефективності за рахунок визначення та обґрунтування параметрів технологічних процесів і технічних засобів. Дослідження технологічних процесів на основі моделювання дозволяє визначити технологічні змінні, їх взаємозв'язки та взаємовплив, виділити техніко-економічні показники, оцінити вплив на прибутковість, визначити напрямки розвитку та шляхи вдосконалення техніко-технологічної бази промисловості виробництва ЦБ. Досягнення поставленої мети та вирішення відповідних задач можливо за умов розробки методичних засад моделювання та оптимізації виробничих процесів стосовно різних умов функціонування.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином, розглянувши різноманітні аспекти щодо моделювання технологічних процесів галузі виробництва цукрових буряків, можна зробити наступні висновки:

- технологічні процеси відносяться до класу складних систем, які характеризуються наявністю великої кількості параметрів та змінних, динамікою, неповнотою інформації, складністю структури, гетерогенністю фізичної природи, взаємним впливом та наявністю зворотних зв'язків між складовими;

- моделювання складних технологічних процесів виробництва цукрового буряку повинно базуватися на певному наборі принципів, що забезпечує методичні засади побудови моделей шляхом уніфікації процедур моделювання, класифікації критеріїв оцінювання та узагальнення технологічних змінних;

- основними принципами моделювання технології вирощування і збирання цукрових буряків запропоновано визначити: а) доцільність моделювання; б) наявність достатньої інформації; в) множинність; г) агрегативність; д) координованість.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. [Текст] – Вип. 18. – Луцьк: ЛНТУ, 2009. – 546 с.
2. Булгаков В.М. Математична модель коливань робочого елемента нового відокремлювача гички цукрових буряків [Електронний ресурс] / В.М. Булгаков, А.М. Борис. – Режим доступу: [http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/nvtdau/2012\\_5/pdf12v2t5/12bvmsob.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/nvtdau/2012_5/pdf12v2t5/12bvmsob.pdf)
3. Булгаков В.М. Математичне моделювання роботи нового гичковідокремлювального робочого органу [Електронний ресурс] / В.М. Булгаков, А.М. Борис. – Режим доступу: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Vkhdtusg/2012\\_128/42\\_08.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Vkhdtusg/2012_128/42_08.pdf)
4. Власенко Л.О. Автоматизоване управління підсистемами технологічного комплексу цукрового заводу з використанням методів діагностики і прогнозування : автореф. дис ... канд. техн. наук : 05.13.07 / НУХТ. – К., 2010. – 19 с.
5. Борис М.М. Обґрунтування конструктивної схеми машини для відокремлення гички цукрових буряків [Електронний ресурс] / М.М. Борис. – Режим доступу: <http://techjournal.vsau.org/files/pdfa/403.pdf>
6. Войтюк Д.Г. Історичний нарис розвитку факультету механізації сільського господарства Національного аграрного університету, його досягнення та перспективи [Текст] / Д.Г. Войтюк // Механізація сільськогосподарського виробництва: Зб. наук. пр. Нац. аграр. ун-ту. – К., 1999. – Т. 5: Сучасні проблеми механізації сіл. госп-ва. – С. 3–7.
7. Булгаков В.М. Математичне моделювання процесу вібраційного вилучення коренеплоду з ґрунту [Текст] / В.М. Булгаков, І.В. Головач // Вісник аграрної науки. – 2007. – № 1. – С. 44-46.
8. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку [Текст] / Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, М.Я. Довжик. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 543 с.

9. Штерензон В.А. Моделирование технологических процессов / В.А. Штерензон. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та. – 2010. – 66 с.

10. Гуляева Т.И. Повышение эффективности свеклосахарного производства: монография / Т.И. Гуляева, Т.А. Власова. – Орел: Изд-во Орел ГАУ. – 2011. – 236 с.

11. Ладанюк А.П. Системний аналіз складного об'єкта в задачах діагностики та координація [Електронний ресурс] / А.П. Ладанюк, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць. – Режим доступу: [http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1076/1/Sist\\_anTK.pdf](http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1076/1/Sist_anTK.pdf)

12. Новиков Д.А. Нечеткие сетевые системы комплексного оценивания / Д.А. Новиков, А.Л. Суханов. – М.:ИУО РАО, 2001. – 16 с.

13. Vovk M. Comprehensive Assessment of Technological Renovation of Machine-Building Enterpris / M. Vovk, O. Cherednichenko // Journal EBF (Economy, Business and Financing), ISSN: 1339-3723. – 2013. – Vol. 1, issue 1. – P. 53-59.

## ***ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ***

*Н.П.ВОЛОХА*

*Национальный авиационный университет, г. Киев*

*В данной статье рассматриваются особенности моделирования технологических процессов производства сахарной свеклы, приводится обзор литературных источников и выделены характерные черты производства сахарной свеклы. На основании проведенного анализа предложены основные принципы моделирования технологических процессов производства и обработки сахарной свеклы.*

***Ключевые слова:*** *моделирование, технологический процесс, сахарная свекла, корнеплод, технологический комплекс*

# ***PRINCIPLES OF MODELING PROCESS OF PRODUCTION OF SUGAR BEET***

***MYKOLA VOLOKHA***

*National Aviation University, Kiev*

*This paper is devoted to the features modeling of technological processes of production of sugar beet, the overview of the literature is presented, and characteristic features of sugar beet production are marked out. On the basis of the carried-out analysis the basic principles of modeling technological processes of production and processing of sugar beet were offered.*

***Key words:*** *modeling, technological process, sugar beet, root crop, technological complex.*