

ISSN 2306-756X



# **ЗБІРНИК наукових праць**

**Вінницького національного  
аграрного університету**

**Серія: Технічні науки**



**Випуск:**

**1(84)**

**2014**



**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ  
ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ**  
**ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**  
*Вінницького національного аграрного університету*

*Серія: Технічні науки*

**Випуск 1 (84)**

Вінниця 2014

Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки / Редколегія: Калетнік Г. М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2014. – Випуск 1 (84) – 200 с.

У збірнику висвітлено стан і перспективи розвитку технологій і обладнання переробних і харчових виробництв, особливості технологічного та конструктивного оснащення процесів переробки продукції рослинництва та тваринництва; представлені нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування та вібраційної обробки, реалізація яких дозволяє отримання якісних виробів складного профілю з високими фізико-механічними характеристиками.

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 9 від 18.04.14 р.)

Згідно до Постанови президії ВАК України від 11 вересня 1997 року дане наукове видання є таким, у якому дозволено публікувати основні результати дисертаційних робіт.

### Національна редакційна колегія:

#### Головний редактор

Калетнік Г.М. - д.е.н., к.с-г.н., ректор ВНАУ (м. Цуркан О.В. - к.т.н., доц., ВНАУ (м. Вінниця) Вінниця)

#### Заступник головного редактора

Паламарчук І.П. - д.т.н., проф., ВНАУ (м. Вінниця)

#### Члени редакційної колегії

Друкований М.Ф. - д.т.н., проф., ВНАУ (м. Вінниця)

Анісімов В.Ф. - д.т.н., проф., ВНАУ (м. Вінниця)

Іскович – Лотоцький Р.Д. - д.т.н., проф., ВНТУ (м. Вінниця)

Сивак І.О. - д.т.н., проф., ВНТУ (м. Вінниця)

Огородніков В.А. - д.т.н., проф., ВНТУ (м. Вінниця)

Булгаков В.М. – д.т.н., проф., академік НААН, НУБіПУ (м. Київ)

Бурдо О.Г. - д.т.н., проф., ОНАХТ (м. Одеса)

Лисогор В.М. - д.т.н., проф., ВНАУ (м. Вінниця)

Матвійчук В.А. - д.т.н., проф., ВНАУ (м. Вінниця)

Середа Л.П. - к.т.н., проф., ВНАУ (м. Вінниця)

Веселовська Н.Р. - д.т.н., проф., ВНАУ (м. Вінниця)

Гевко Р.Б. - д.т.н., проф., ТНЕУ (м. Тернопіль)

Нахайчук О.В. - д.т.н., проф., ВНАУ (м. Вінниця)

Бандура В.М. - к.т.н., доц., ВНАУ (м. Вінниця)

Технічний редактор – Зозуляк О.В.

Адреса редакції: 21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3, тел. 57-41-79  
e-mail: [tehnovnaun@mail.ru](mailto:tehnovnaun@mail.ru) <http://www.techjournal.vsau.org>

Свідчення про державну реєстрацію засобів масової інформації  
КВ 4571 від 19.09.2001

© Вінницький національний аграрний університет, 2014

Серія  
Технічні  
Будяк Р. В.  
ДОСЛІДЖ  
ГЛІЗ ПІС  
Деревенько  
ОПРЕДЕЛ  
.....  
Ермолін П.  
МОДЕЛК  
У ВТУЛК  
Лисогор В.  
ВИЗНАЧ  
ВІБРОАЕ  
ТЕХНІК  
Павленко  
ВАЛЕЩЕ  
Рябенська  
СУЧАС  
УКРАЇН  
Слободян  
СУЧАС  
Суглобо  
ЕКСПЕ  
ДЕФОР  
РАДУС  
Булгаков  
МАТЕ  
НОВИ  
Булгаков  
РОЗР  
Грица  
КОНС  
СЕПА  
Грица  
ТЕОР  
ПОД  
Дудін  
ПДВ  
ВАК  
Кост  
ПОВ  
ОБО  
Линь  
ДОС  
АВТ  
Пав  
МО  
КО



## ЗМІСТ

### МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА

- Будяк Р. В., Бандура В. М.*  
ДОСЛІДЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ, ХВИЛЯСТОСТІ ТА КРИВИЗНИ ОТВОРУ ПОВЕРХНІ  
ГІЛЬЗ ПІСЛЯ ПРОТЯГУВАННЯ.....5
- Деревенько И. А.*  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ СПЛОШНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
.....11
- Єрьомін П. М., Кириченко А. М., Солоня О. В.*  
МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДНОГО ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ОТВОРІВ  
У ВТУЛКАХ ІЗ СІРОГО ЧАВУНА МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....15
- Лисогор В. М., Горбатюк Р. М., Шулле Ю. А., Чубик Р. В.*  
ВИЗНАЧЕННЯ СТЕПЕНЕЙ ВІЛЬНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
ВІБРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ  
ТЕХНІКИ.....22
- Павленко В. С., Цуркан О. В., Захаревич І. М., Підлубний О. О., Близнюк М. Я.*  
ВАЛЕЦЬ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....32
- Рябенська М. О.*  
СУЧАСНИЙ СТАН ТА ДИНАМІКА ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ У ПРОМИСЛОВІСТІ  
УКРАЇНИ.....37
- Слободянюк Ю. Ю., Крот Р. В.*  
СУЧАСНИЙ СТАН ОХОРОНИ ПРАЦІ В УКРАЇНІ.....42
- Суглобов Р. В., Кухар В. В., Тузенко О. О., Бурко В. А.*  
ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ВИСОТНИХ  
ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ ОСАДЖУВАННІ ЗАГОТОВОК ВИПУКЛИМИ БОЙКАМИ РІЗНОГО  
РАДІУСУ.....47

### МАШИНОВИКОРИСТАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ ТА ТВАРИННИЦТВІ

- Булгаков В. М., Борис А. М., Калетнік Г. М., Яропуд В. М.*  
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ КОПІЮВАННЯ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ  
НОВИМ КОПІРНО-РОТОРНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ.....56
- Булгаков В. М., Борис А. М., Яропуд В. М., Кірієнко О. О.*  
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОГО ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ...71
- Грицака О. М.*  
КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ МОЛОТИЛЬНО –  
СЕПАРУВАЛЬНИХ СИСТЕМ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ.....79
- Гришун А. В., Гришун О. А., Яропуд В. М.*  
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНО – КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ПОДРІБНЮВАЧА ПРЕСОВАНИХ СТЕБЛОВИХ МАТЕРІАЛІВ.....85
- Дудін В. Ю.*  
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОТАЦІЙНОГО ПЛАСТИНЧАТОГО  
ВАКУУМНОГО НАСОСА ІНДИВІДУАЛЬНИХ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК.....93
- Костюкевич С. А.*  
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МОЛОКА ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ ДОИЛЬНО-МОЛОЧНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ АНТИАДГЕЗИВНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ.....98
- Линник Ю. О., Павленко С. І., Гришун А. В.*  
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗМІН КОЛИВАНЬ ВАКУУММЕТРИЧНОГО ТИСКУ В  
АВТОМАТИЗОВАНІЙ ДОЇЛЬНІЙ УСТАНОВЦІ.....104
- Павленко С. І., Ляшенко О. О.*  
МОДЕЛЮВАННЯ МАСОВОГО І ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ У ПРОЦЕСАХ  
КОМПОСТУВАННЯ.....109



*Рудницький Б. О., Спірін А. В., Туровська В. Б., Рудницький В. Б.*  
**АНАЛІЗ ТРАВМАТИЗМУ І ПРОФЕСІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ В ГАЛУЗІ ТВАРИННИЦТВА  
ТА ЗАХОДИ ПО ЇХ ЗАПОБІГАННЮ.....118**

### **ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

*Лисогор В. М., Штуць А. А., Бороднянець Я. Г., Колісник М. А.*  
**ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОСТАДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З  
ЛЮДИННО-МАШИНИМ УПРАВЛІННЯМ В АПК.....125**  
*Паладійчук Ю. Б., Тарасюк Ю. М., Михайловська М. А.*  
**ГВИНТОВІ ЗАВАНТАЖУВАЧІ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ.....131**

### **ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

*Алієв Е. Б., Лиходід В. В., Павленко С. І., Івлєв В. В.*  
**РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО МОДУЛЯ  
ТТМ-1П ДЛЯ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ТА ПЕРЕРОБКИ ГРУБОЇ ОВЕЧОЇ ВОВНИ В  
УТЕПЛЮВАЧ.....135**  
*Миرونенко А. П.*  
**ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ  
ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ .....142**  
*Павленко В. С., Цуркан О. В., Захаревич І. М., Підлубний О. О., Близнюк М. Я.*  
**НОВА ВІДЦЕНТРОВА ОВОЧЕРІЗКА.....153**  
*Пунько А. И., Кольга Д. Ф.*  
**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВАЛЬЦОВОЙ ДРОБИЛКИ  
ЗЕРНОФУРАЖА.....158**  
*Ратушняк Г. С., Степанковський Р. В.*  
**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЮЮЧОГО  
ПРИСТРОЮ З ЗРУЧНОБІТЧНИМИ ВИКОНАВЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В СИСТЕМАХ  
АСПРАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....162**  
*Цуркан О. В., Гурич А. Ю., Пентюк Б. М., Кузь В. О.*  
**ШЛЯХИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОВОЇ СТЕРИЛІЗАЦІЇ КОНСЕРВІВ НА  
ОСНОВІ ЙОГО АНАЛІЗУ .....170**  
*Янович В. П., Купчук І. М., Захаревич І. М.*  
**ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КІСТКОВОГО  
БОРОШНА.....177**  
*Янович В. П., Купчук І. М., Полєвода Ю. А., Михайловська М. А.*  
**РОЗРОБКА ФОТОАНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ ЕКСПРЕС-ОЦІНКИ ВИХІДНОЇ  
ОДНОРІДНОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ.....182**

### **СТВОРЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРЕСИВНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ**

*Петров О. В., Козлов Л. Г., Дусанюк Ж. П., Черниш А. В.*  
**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ У ГІДРОПРИВОДІ,  
ЧУТЛИВОМУ ДО НАВАНТАЖЕННЯ, З ДОВГИМИ РОБОЧИМИ ГІДРОЛІНІЯМИ.....187**

### **ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

*Гуцаленко О. В., Василенко Т. С.*  
**ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЮ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ  
.....193**



## ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

УДК 004.422:658.562.3:338.432

### ЗАДАЧА ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОСТАДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ЛЮДИННО-МАШИННИМ УПРАВЛІННЯМ В АПК

*Лисогор Василь Микитович д.т.н., професор*

*Штуць Андрій Анатолійович аспірант*

*Бородянець Ярослав Григорович студент*

*Колісник Микола Анатолійович студент*

*Вінницький Національний Аграрний Університет*

*Lysogor V.*

*Shtuts A.*

*Borodyanets Ja.*

*Kolesnik M.*

*Vinnitsia National Agrarian University*

*Анотація:* для широкого класу задач оптимізації багатостадійних технологічних процесів з людино-машинним управлінням доведена теорема, яка дає алгоритм знаходження рішення задачі оптимізації з урахуванням як характеристик окремих стадій технологічного процесу, так і індивідуальних характеристик операторів. Результати імітаційного моделювання свідчать, що розроблений алгоритм оптимізації дозволяє суттєво підвищити ефективність управління такими процесами.

*Ключові слова:* багатостадійний процес, людино-машинне управління, оптимізація, алгоритм, імітаційне моделювання.

#### **Вступ**

Багатостадійні технологічні процеси (БСТП) все частіше використовуються в сучасній економіці. Це приводить до необхідності розглядати БСТП з людино-машинним управлінням (ЛМУ). Разом з тим, моделювання таких систем все ще не набуло достатнього розвитку, що зумовлено передовсім відсутністю потужного апарату для моделювання одночасно особливостей як стадій технологічно-го процесу, так і діяльності операторів. Моделювання БСТП розвинуто як потужний науковий напрямок в роботах наукової школи професора В.М. Лисогора [1-3]. На сьогодні розроблено математичні моделі для опису БСТП, які дозволили отримати ряд засобів для підвищення ефективності широкого кола конкретних технологічних процесів [2, 3].

Разом з тим, і моделювання ЛМУ та оптимізації організаційних структур управління також довгий час розвивається як самостійний підхід до моделювання не розповсюджені на випадок БСТП в АПК [4, 5].

#### **Постановка задачі**

1. **Мета статті** – постановка задачі оптимізації багатостадійних технологічних процесів з людино-машинним управлінням в АПК, яка враховує одночасно як характеристики окремих стадій технологічного процесу, так і індивідуальні характеристики операторів, та розробку методу для їх вирішення. Для рішення даної задачі побудована математична



модель для опису впливу індивідуальних характеристик операторів на окремі стадії технологічного процесу, поставлена та вирішена задача по оптимізації БСТП в цілому.

## 2. Модель та постановка задачі по оптимізації БСТП з ЛМУ в АПК.

Розглянемо трирівневу модель БСТП з ЛМУ. Перший рівень складають окремі процеси та міжстадійні взаємодії, що управляються незв'язаними операторами (складають другий рівень). Автоматичне управління стадіями та міжстадійними взаємодіями не розглядаємо в рамках нашої постановки такі задачі вже добре формалізовані [1-3].

Третій рівень складає координатор («центр» за термінологією [4,5]), який і об'єднує операторів в єдине ціле, здійснюючи тим самим управління БСТП в цілому. Ціль оптимізації задає саме координатор.

Розглянемо *задачу 1* про оптимізацію часу виконання БСТП. Вона формулюється таким чином:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i \rightarrow \min. \quad (1)$$

Тут  $i=1, \dots, n$  нумерує окремі стадії, які є складовими БСТП.

Рішення задачі (1) досягається, як правило, за допомогою двох механізмів. Перший – це вдосконалення технології. Цю задачу вважаємо вже *виконаною*, так як вона залежить лише від використаної апаратури.

Далі розглянемо тільки другий спосіб оптимізації в (1) за рахунок оптимального розміщення операторів між стадіями БСТП із урахуванням їх індивідуального впливу на тривалість стадій, бо саме він залежить від індивідуальних властивостей людей. Врахування цієї особливості приведе до того, що вираз (1) повинен бути переписаний у вигляді.

$$T = \min_{j \in P} \left( \sum_{i=1}^n t_{ji} \right). \quad (2)$$

Тут мінімізація проводиться за всіма можливими перестановками операторів між стадіями БСТП. Величина  $t_{ij}$  – це час, який витрачає на виконання роботи  $j$ -тий оператор, коли він працює на  $i$ -тій стадії БСТП,  $P$  – множина операторів.

Формула (2) записана за умови, що оператори можуть переміщуватися із стадії на стадію БСТП. Вона враховує те, що різні оператори мають різний рівень навичок та досвіду, в результаті чого одну й ту ж саму стадію БСТП вони будуть виконувати різний час.

Введемо середній час виконання всіма операторами  $i$ -тої стадії БСТП

$$t_i^0 = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K t_{ij}, \quad (3)$$

де  $K$  – загальна кількість операторів.

Таким чином,  $t_{ij}$  можуть бути представлені у такому вигляді:

$$t_{ij} = t_i^0 (1 + K_{ij}) = t_i^0 + K_{ij} \cdot t_i^0. \quad (4)$$

У формулі (4) безрозмірна величина  $k_{ij}$  характеризує відносні відхилення у затратах часу  $j$ -того оператора на виконання  $i$ -тої стадії БСТП.

Таким чином, задача оптимізації (2) приймає вигляд

$$T = \min_{j \in P} \left( \sum_{i=1}^n K_{ij} \cdot t_i^0 \right). \quad (5)$$



Це припущення є цілком вірогідним, бо відомо, що висока кваліфікація якраз і полягає в тому, що оператор стає універсальним. З математичної точки зору, наше припущення просто відповідає незалежності  $k_{ij}$  від стадії БСТП.

Таким чином, за умови виконання введених припущень задача оптимізації для БСТП з ЛМУ приймає такий вигляд:

$$T = \min_{j \in P} \left( \sum_{i=1}^n K_j \cdot t_i^0 \right) \quad (6)$$

Тут оптимізація здійснюється за всіма можливими перестановками операторів між стадіями БСТП.

**Задача 2** стосується оптимізації фінансових втрат від ризиків БСТП. Вона формулюється таким чином: знаючи ризики для кожної із стадій БСТП, оптимізувати фінансові втрати від ризиків для БСТП в цілому.

Для цього вводимо величину фінансових втрат  $C_i$ , які виникають у випадку, коли  $i$ -та стадія БСТП не буде виконана. Тоді задача мінімізації фінансових втрат від ризику для БСТП з ЛМУ запишеться у вигляді

$$\sum_{i=1}^n C_i \cdot q_i \rightarrow \min \quad (7)$$

Тут  $q_i$  – ризик невиконання  $i$ -тої стадії БСТП.

Аналогічно задачі 1 ця задача може бути зведена до задачі

$$T = \min_{j \in P} \left( \sum_{i=1}^n l_j \cdot C_i^0 \right) \quad (8)$$

де  $l_j$  – відносні відхилення від усередненого ризику для  $j$ -того оператора.

**Задачаю 3** є оптимізація інтервалу варіації вихідних характеристик БСТП. В лінійному наближенні ця задача може бути записана так

$$\Delta = \min_{j \in P} \left( \sum_{i=1}^n h_j \cdot \Delta_i^0 \right) \quad (9)$$

Тут  $\Delta_i^0$  – величина інтервалу після  $i$ -го процесу, яка зумовлена чисто технологічними причинами, а  $h_j$  – відносні відхилення від усередненого значення зміни інтервалу для  $j$ -того оператора.

Таким чином, сформульовані типові задачі по оптимізації БСТП з ЛМУ в узагальнено-му вигляді.

**Задача.** Задано дві рівнопотужні множини чисел  $x_i \in X$ ,  $y_i \in Y$ ,  $x_i, y_i \in R$ ,  $i=1, \dots, n$ . Потрібно мінімізувати добуток для усіх можливих перестановок множників  $x_i$  при незмінному порядку множників  $y_i$ .

$$I = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i \quad (10)$$

### 3. Рішення задачі по оптимізації для БСТП з ЛМУ в АПК

Впорядкуємо числа  $x_i \in X$  в порядку спадання, а числа  $y_i \in Y$  – в порядку зростання. Тобто сформуємо із чисел  $x_i \in X$  та  $y_i \in Y$  такі послідовності

$$x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_n \quad (11)$$



$$y_1 < y_2 < y_3 < \dots < y_n \quad (12)$$

Тоді має місце така теорема:

Для впорядкованих у відповідності до (11) та (12) множин чисел  $x_i \in X$ ,  $y_i \in Y$ ,  $x_i, y_i \in \mathbb{R}$ ,  $i=1, \dots, n$  задача мінімізації величини (10) має рішення

$$I = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i \quad (13)$$

*Доведення.* Доведення здійснюється методом математичної індукції.

Крок 1. Нехай маємо всього по два числа  $x_1 > x_2$  та  $y_1 < y_2$ . Легко побачити, що, внаслідок зазначених нерівностей справедлива тотожність:

$$(x_1 y_1 + x_2 y_2) - (x_1 y_2 + x_2 y_1) = x_1(y_1 - y_2) + x_2(y_2 - y_1) = (y_1 - y_2)(x_1 - x_2) < 0 \quad (14)$$

Тобто, при  $n = 2$  вираз (13) дійсно дає рішення задачі мінімізації.

Припущення для кроку  $n$ . Нехай для чисел  $x_i \in X$ ,  $y_i \in Y$ ,  $x_i, y_i \in \mathbb{R}$ ,  $i=1, \dots, n$  рішення задачі мінімізації дається виразом (13).

Крок  $n+1$ . Розглянемо задачу мінімізації для чисел  $x_i \in X$ ,  $y_i \in Y$ ,  $x_i, y_i \in \mathbb{R}$ ,  $i=1, \dots, n, n+1$  за умови виконання умов кроку  $n$ . Розглянемо різницю між виразом (13) при заміні  $n \rightarrow n+1$  та ін-шим, який отримується при перестановці множників  $x_i \leftrightarrow x_{n+1}$ ,  $i=1, \dots, n$ . При цьому повинні бути виконані наступні нерівності:  $x_i > x_{n+1}$  та  $y_i < y_{n+1}$ .

Неважно побачити, що така різниця зведеться до такої нерівності:

$$(x_i y_i + x_{n+1} y_{n+1}) - (x_i y_{n+1} + x_{n+1} y_i) = x_i(y_i - y_{n+1}) + x_{n+1}(y_{n+1} - y_i) = (y_i - y_{n+1})(x_i - x_{n+1}) < 0 \quad (15)$$

внаслідок того, що всі інші доданки у відповідних формулах будуть тотожні.

*Теорема доведена.*

*Зуваження.* Оскільки для одного й того ж оператора його значення характеристик  $h_j$ ,  $l_j$  та  $k_j$  будуть займати при впорядкуванні за (11) різні позиції, то і розмішуватися ці оператори повинні при різних цілях оптимізації на різних стадіях БСТП.

*Наслідок.* Для впорядкованих у відповідності до (11) та (12) множин чисел  $x_i \in X$ ,  $y_i \in Y$ ,  $x_i, y_i \in \mathbb{R}$ ,  $i=1, \dots, n$  задача максимізації величини (10) має рішення.

$$I = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_{n-i+1} \quad (16)$$

Таким чином, доведеною теоремою задається алгоритм оптимізації для класу задач оптимізації управління операторами з боку координатора в БСТП з ЛМУ.

Вперше ідея методу для вирішення задачі оптимізації показників діяльності підприємства в цілому з урахуванням індивідуальних особливостей агентів була використана в [5] стосовно задачі оптимізації розміщення менеджерів за проектами.

Результати імітаційного моделювання представлені на рис. 1.

Сукупність показників для імітаційного моделювання представлена (в упорядкованому вигляді) в табл. 1.

Таблиця 1

Показники для проведення імітаційного моделювання

x	21	19	16	7	2
y	15	23	32	34	48



Отримано:

Оптимальне значення за (13)  $I = 1598$ .

Середнє значення  $I_{\text{ім}} = 2017$ , середньоквадратична похибка  $\Delta I_{\text{ім}} = 188$ .

$I_{\text{сер}} = n \cdot x_{\text{сер}} / u_{\text{сер}} = I_{\text{сер\_за\_операторами}} = x_{\text{сер}} \cdot \Sigma u_i = 1976$ .

Наведені результати імітаційного моделювання досить добре відтворюють ситуацію: різниця між  $I_{\text{ім}}$  та  $I_{\text{сер}}$  складає 2%.

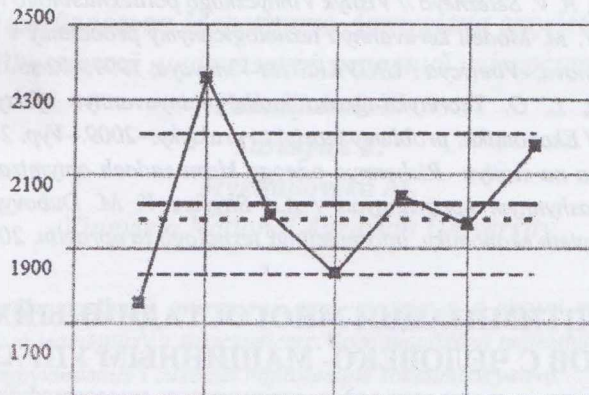


Рис. 1. Результати імітаційного моделювання

Результати імітаційного моделювання свідчать, що за використання побудованої в статті математичної моделі та розробленого на її основі алгоритму імітаційного моделювання втрати БСТП складають у середньому 21%, коливаючись у середньоквадратичному від 11% до 30% - обраховані відносно середнього значення.

#### Висновки

1. Побудована математична модель для опису впливу індивідуальних характеристик операторів на окремі стадії технологічного процесу.
2. Для класу задач оптимізації діяльності БСТП з ЛМУ з урахуванням як характеристик окремих стадій технологічного процесу, так і індивідуальних характеристик операторів, сформульована постановка задачі у загальному виді.
3. Доведена теорема, яка дає алгоритм знаходження рішення задачі оптимізації діяльності БСТП з ЛМУ з урахуванням як характеристик окремих стадій технологічного процесу, так і індивідуальних характеристик операторів.

#### Список літератури

1. Лисогор В.Н. Опыт разработки и внедрения АСУТП производства электродного кокса в аппаратах производческого действия / В.Н. Лисогор—М: ЦНИИТЭН Нефтефим, 1979—60с.
2. Зубарев, В. В. Моделирование различения стадий многостадийного технологического процесса / В. В. Зубарев, В. Н. Лысого, Р. В. Селезнева // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 1994. — №1. — С. 13-17.
3. Лисогор, В. М. Моделі керування технологічними процесами в аварійних ситуаціях: монографія / В. М. Лисогор, Р. В. Селезньова.—Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1997.—92 с.
4. Нікіфорова, Л. О. Теоретико-ігрова модель оцінювання ефективності праці менеджера / Л. О. Нікіфорова, А. А. Шиян // Економіка: проблеми теорії та практики.—2009.—Вип. 247.—С. 366-371.



5. Посилання на статтю Рішення одного класу задач оптимізації багатостадійних технологічних процесів з людиною - машинним управлінням / А.А. Шиян, В. М. Дубовий, С.В. Сорокун // Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій та управління. 2009-№3.

### References

1. Lysogor V.N. Opyt razrabotky u vnedrenyya ASUTP proyzvodstva elektrodnoho koksa v aparatax proyzvodcheskogo dejstviya / V.N. Lysogor—M: CzNYUTЭN Neftefym, 1979—60s.
2. Zubarev, V. V. Modelyrovanye razlychenyya stadij mnogostadiynogo texnologicheskogo processa / V. Zubarev, V. N. Lysogor, R. V. Selezneva // Visnyk Vinnyczkogo politexnichnogo instytutu.—1994.—№1.—S. 13-17.
3. Lysogor, V. M. Modeli keruvannya texnologichnymy procesamy v avarijnyx sytuaciyax: monografiya / V. M. Lysogor, R. V. Selezneva.—Vinnyca: UNIVERSUM-Vinnyca, 1997.—92 s.
4. Nikiforova, L. O. Teoretyko-igrova model ocinyuvannya efektyvnosti praci menedzhera / L. O. Nikiforova, A. A. Shyyan // Ekonomika: problemy teorii ta praktyky.—2009.—Vyp. 247.—S. 366-371.
5. Posylannya na stattyu Rishennya odnogo klasu zadach optymizaciyi bagatostadijnyx texnologichnyx procesiv z lyudynno - mashynnym upravlinnyam / A.A. Shyyan, V. M. Dubovyj, S.V. Sorokun // Naukovyj visnyk Kremenchuzkogo universytetu ekonomiky, informacijnyx texnologij ta upravlin. 2009-№3.

### ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОСТАДИЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ЧЕЛОВЕКО- МАШИНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В АПК

**Анотація :** для широкого класу задач оптимізації багатостадійних технологічних процесів с чело­веко-машинним управлінням до­казана теорема , которая дает алгоритм нахождения решения задачи оптимізації с учетом как характеристик отдельных стадий технологического процесса , так и индивидуальных характеристик операторов. Результаты имитационного моделирования показывают, что разработанный алгоритм оптимізації позволяет существенно повысить эффективность управления такими процессами .

**Ключевые слова:** многостадийный процесс, человеко-машинное управление , оптимізация , алгоритм , имитационное моделирование .

### OPTIMIZATION PROBLEM OF MULTI-TECHNOLOGICAL PROCESSES LYUDYNNO-MACHINE MANAGEMENT IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

**Summary:** for a large class of optimization problems with multi-stage processes of man-machine control theorem, which gives an algorithm for finding the solution to the optimization problem considering both the characteristics of the individual stages of the process, and individual characteristics, operators. The results of simulation modeling show that the algorithm optimization can significantly increase the effectiveness of management of such processes.

**Keywords:** multistage process of man-machine control, optimization, algorithm simulation.