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.
Vinnytsia 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 управління 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 оптимізаціх БСТП з ЛМУ в АПК.

Розглянемо трирівневу модель БСТП з ЛМУ. Перший рівень складають окремі процеси та міжстадійні взаємодії, що управляються невзаємодіючими операторами (і 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 часувиконання БСТП. Вона формулюється таким чином:

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

Тут $i=1,\ldots,n$ 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.

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

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, Р – 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

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

де K – загальна кількість операторів.

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

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

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

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

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 ста-діями 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

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

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.

Задачею 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 Δ_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,…, 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

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

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

Тоді має місце така **теорема:**

Для впорядкованих у відповідності до (11) та (12) множин чисел $x_i \in X$, $y_i \in Y$, $x_i, y_i \in R$, $i=1,\ldots,n$ 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:

$$(x_1y_1 + x_2y_2) - (x_1y_2 + x_2y_1) = x_1(y_1 - y_2) + x_2(y_2 - y_1) = (y_1 - y_2)(x_1 - x_2)<0 \quad (14)$$

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

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

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

Неважко побачити, що така різниця зведеться до такої нерівності:

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

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

Теорема доведена.

Зауваження. 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 розміщуватися ці оператори повинні при різних цілях оптимізації на різних стадіях БСТП.

Наслідок. Для впорядкованих у відповідності до (11) та (12) множин чисел $x_i \in X$, $y_i \in Y$, $x_i, y_i \in R$, $i=1,\ldots,n$ 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 оп-тимізації 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 $I_{ім}$*=2017*, середньоквадратична похибка $\Delta I_{ім}$ *= 188*.

Iсер = n·xсер·yсер = Iсер_за_операторами = xсер·Σyi = 1976.

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

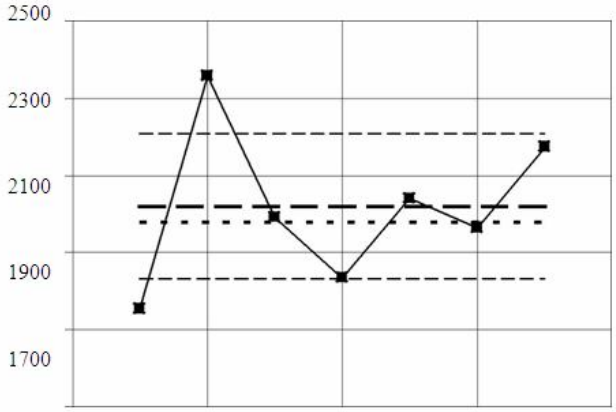

Рис. 1. Результати імітаційного моделювання

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. Опит разработки и внедрения АСУТП производства електродного кокса в апаратах производического действия / В.Н. Лисогор – М: ЦНИИТЭН Нефтефим, 1979 – 60с.

2. Зубарев, В. В. Моделирование различения стадий многостадийного технологического процесса / В. В. Зубарев, В. Н. Лысогор, 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 людинно - машинним управлінням / А.А Шиян, В. М. Дубовий, С.В. Сорокун // Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій та управлінь. 2009-№3.

References

1. Lysogor V.N. Opyt razrabotky y vnedrenyya ASUTP proyzvodstva elektrodnogo koksa v aparatax proyzvodycheskogo dejstvyya / V.N. Lysogor – M: CzNYYTЭN Neftefym, 1979 – 60s.

2. Zubarev, V. V. Modelyrovanye razlychenyya stadyj mnogostadyjnogo texnologycheskogo processa / V. 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. Seleznova. – Vinnycya : UNIVERSUM-Vinnycya, 1997. – 92 s.

4. Nikiforova, L. O. Teoretyko-igrova model ocinyuvannya efektyvnosti praci menedzhera / L. O. Nikiforova, A. A. Shyyan // Ekonomika: problemy teoriyi 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 Kremenchuczkogo universytetu ekonomiky, informacijnyx texnologij ta upravlin. 2009-№3.

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОСТАДИЙНЫЙЙХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ЧЕЛОВЕКО- МАШИННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В АПК

***Анотація** : для широкого класса задач оптимизации многостадийных технологических процессов с человеко-машинным управлением доказана теорема , которая дает алгоритм нахождения решения задачи оптимизации с учетом как характеристик отдельных стадий технологического процесса , так и индивидуальных характеристик операторов. Результаты имитационного моделирования показывают, что разработанный алгоритм оптимизации позволяет существенно повысить эффективность управления такими процессами .*

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

OPTIMIZATION PROBLEM OF MULTI−TECHNOLOGICAL PROCCESSES 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.*