

Моделювання впливу навчання операторів на ефективність багатостадійних технологічних процесів

Відображено загальну задачу про врахування індивідуальних характеристик навчання операторів на ефективність багатостадійних технологічних процесів (БСТП) з людино-машинним управлінням. Побудовано три моделі для врахування впливу навчання операторів на загальну тривалість БСТП. Наведена теорема, яка вирішує узагальнену задачу оптимізації. Розроблено методи для ідентифікації індивідуальних характеристик навчання операторів.

багатостадійний технологічний процес, модель оператора, навчання операторів, задача ідентифікації, вплив операторів

Багатостадійні технологічні процеси широко застосовуються в умовах сучасної України. Прикладами їх є процеси хімічного та нафтохімічного синтезу, атомна енергетика, літако- та автомобілебудування тощо. Розробка універсальних моделей, які виявляють спільне для широкого кола таких процесів, є важливою науковою та прикладною задачею, рішення якої дозволить сформувати системи автоматизованого управління та підтримки прийняття рішень нового покоління.

Багатостадійний технологічний процес (БСТП) – це сукупність однакових (в тому чи іншому смислі) зв'язаних між собою окремих стадій, які пов'язані між собою

© А.А. Шиян, С.В. Сорокун, 2010

спільною ціллю функціонування. Окремі стадії, як правило, потребують здійснення управління оператором. В свою чергу, діяльність операторів потрібно узгоджувати – координувати. Таким чином, отримуємо БСТП з людино-машинним управлінням (ЛМУ).

Вперше БСТП досліджувалися у фундаментальних роботах [1, 2], де були поставлені та вирішені задачі моделювання та оптимізації для широкого кола окремих процесів.

Роль оператора в сучасних БСТП з ЛМУ є вирішальною, так як саме він здійснює первинний контроль за окремими стадіями та стискання інформації до рівня, який потрібен координатору для управління «в цілому».

Моделі оператора розвивалися переважно в рамках автоматизованих систем управління [3].

Важливе значення відіграє навчання оператора, внаслідок якого характеристики операторів змінюються із часом (в бік тих значень, які потрібні для підвищення ефективності процесу). Моделі навчання операторів розглянуто в [4-6], де показано [5], що найбільш поширеною є експоненціальна модель. Але в роботах [4-6] основна увага зосереджена лише на самому процесі навчання, тоді як клас задач про оптимізацію виконання спільної роботи сукупністю операторів, які мають індивідуальні властивості навчання, залишився без розгляду.

Мета статті – побудова математичної моделі для опису впливу індивідуальних особливостей навчання операторів на ефективність БСТП з ЛМУ.

Метод вирішення задачі.

Розглядаючи характерні часові проміжки, можна виділити два різні класи моделей для операторів у БСТП з ЛМУ. Перший клас моделей – це є власне моделювання специфіки здійснюваного операторами управління етапами БСТП. Другий клас задач – це моделювання зміни характеристик оператора внаслідок навчання.

Ці два класи задач вирішувалися окремо. Однак можна, використовуючи відомий у синергетиці метод [7] виділення «швидких» та «повільних» перемінних, об'єднати ці задачі в єдину. Поточна робота оператора є «швидкими» перемінними, які проявляються під час виконання ними функціональних обов'язків. Зміна індивідуальних характеристик оператора внаслідок навчання є «повільною» перемінною, яку можемо вважати незмінною протягом певного періоду їх роботи в БСТП.

Таким чином, модель БСТП з ЛМУ виглядає так. Оператори, спостерігаючи «свій» етап БСТП, опрацьовують інформацію, стискаючи її у відповідності до поточного рівня навчання, який є незмінним протягом декількох циклів виконання ними роботи. опрацьовану інформацію вони передають до координатора – людини або групи людей, які опрацьовують отриману від операторів інформацію та узгоджують її із метою діяльності БСТП з ЛМУ.

Модель оператора.

Завданням оператора є управління певною окремою стадією БСТП. Для цього він спостерігає велику кількість параметрів та характеристик, агрегує інформацію та стискає її до порівняно невеликої кількості параметрів, які повідомляє координатору.

В [5] показано, що, як правило, процес стискання інформації досить непогано можна описати за допомогою експоненціальної функції, тобто

$$I(t) = I_0 \exp(-A(\tau) \cdot t), \quad (1)$$

де I_0 – початкове значення характеристики;

$A(\tau)$ – ефективність стискання інформації, яка залежить від рівня навченості оператора і яка є константою протягом часу стискання t . Звичайно, $A(\tau)$ є зростаючою функцією, тобто $A'(\tau) > 0$, що відповідає ситуації, коли із навчанням швидкість стискання інформації оператором зростає.

Нехай i нумерує стадії БСТП, а j – операторів ($i, j \in 1, \dots, n$). Тоді $A_{ij}(\tau)$ є ефективність стискання інформації j -им оператором, який працює на i -ій стадії. Початкове значення інформації I_{0i} теж буде залежати від стадії БСТП.

Подальший розгляд задачі проведемо за умови виконання такого припущення.

Припущення 1. Ефективність стискання інформації операторами не залежить від стадії БСТП, якою вони керують, тобто $\forall i: A_{ij}(\tau) = A_j(\tau)$.

Це припущення відповідає тому, що ефективність стискання інформації є якраз тією характеристикою оператора, яка відповідає його індивідуальним особливостям. До того ж, сучасні оператори працюють в умовах, коли вони виконують одну й ту ж роботу по управлінню незалежно від свого робочого місця. Фактично, вони мають справу сьогодні із характеристиками технологічного процесу, які виражаються в умовній, символічній, піктографічній чи кольоровій формі.

В якості моделі для функції навчання оператора виберемо таку

$$A_j(\tau) = a_j^\infty + (a_j^0 - a_j^\infty) \cdot e^{-k_j \cdot \tau}, \quad \tau \geq 0, \quad (2)$$

де a_j^0 – початкове значення рівня навченості j -го оператора;

a_j^∞ – найвище (асимптотичне) значення, а $k_j > 0$ характеризує швидкість навчання даного оператора.

Як показано в [4,5], така модель описує основні закономірності процесу навчання людини.

Моделі впливу навчання операторів на ефективність управління БСТП.

Координатор задає цільову функцію для БСТП з ЛМУ. Нижче розглянуто декілька найбільш часто використовуваних моделей для завдання цілей для таких систем. Ці моделі відповідають свого роду «послідовній» агрегації координатором інформації, отриманої від операторів: оператори повідомляють йому заданим чином опрацьовану інформацію, яку він узагальнює.

Модель 1. Координатор надає всім операторам однаковий час для того, щоб опрацювати отриману інформацію. В цьому випадку підвищення ефективності управління БСТП полягає в тому, що повинна мінімізуватися кількість інформації, яка повідомляється координатору від усіх операторів, тобто

$$\min \sum_{j \in P} p_j \cdot \exp(-A_j(\tau) \cdot t), \quad (3)$$

де p_i – доля інформації, яка приходить на i -ту стадію.

Мінімізація проводиться за всіма можливими перестановками операторів між стадіями БСТП.

Оскільки змінюється з часом τ , операцію оптимізації (3) потрібно час від часу повторювати. Відповідні результати будуть описані нижче.

Модель 2. Координатор надає операторам час, достатній для того, щоб стиснути відкинути певний відсоток інформації – наприклад, передати йому всього 10% від інформації, яку оператор отримує в якості характеристики тієї стадії БСТП, якою він управляє. Використовуючи співвідношення (1), неважко побачити, що ця умова може бути записана у вигляді такого співвідношення:

$$\forall j: A_j(\tau) \cdot t_j = \text{const} = c. \quad (4)$$

При цьому константа c однакова для всіх операторів.

Природною цільовою функцією оператора є мінімізація сумарного часу роботи операторів, що приводить до умови

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{A_j(\tau)} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Умова (5) по суті означає, що «операторів потрібно навчати» – що якраз і відповідає умові $A'(\tau) > 0$. тобто досягається *завжди* (і саме тому «нецікаво» з точки зору математичного моделювання).

Модель 3. Будемо тепер вимагати, щоб оператор стискав отримувани від стадії БСТП інформацію до певного *заданого координатором* рівня, однакового для всіх операторів. Ця вимога відповідає широкому класу виробничих умов, де від оператора найчастіше якраз і вимагається, щоб він сповістив координатору *загальну* інформацію про стадію БСТП (це задається, наприклад, форматом звітних документів).

В цьому випадку, як неважко бачити із (1), кожен із операторів вирішує таку задачу:

$$\forall j: A_j(\tau) \cdot t_j = c_j = \ln \left(\frac{I_0^j}{I_j} \right). \quad (6)$$

Тут величина c_j задається координатором як характеристика даної стадії (тобто даного робочого місця оператора).

Для цієї задачі цільова функція задається як мінімізація загального часу, який витрачають оператори на обробку інформації, тобто

$$\min \sum_{j \in P} c_j \cdot \frac{1}{A_j(\tau)}. \quad (7)$$

Аналіз моделей 1-3.

Як ми вже зазначали, модель 2 є тривіальною.

Моделі ж 1 та 3 приводять до тієї ж самої задачі оптимізації, яка формулюється таким чином.

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

$$I = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \quad (8)$$

для усіх можливих перестановок множників x_i при незмінному порядку множників y_i .

Методом математичної індукції легко довести, що задача (8) вирішується таким чином.

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

$$x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_n, \quad (9)$$

$$y_1 < y_2 < y_3 < \dots < y_n. \quad (10)$$

Тоді має місце така теорема.

Теорема. Для впорядкованих у відповідності до (9) та (10) множин чисел $x_i \in X$, $y_i \in Y$, $x_i, y_i \in R$, $i=1, \dots, n$ задача мінімізації величини (8) має рішення

$$I = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i. \quad (11)$$

Задача ідентифікації індивідуальних характеристик навчання оператора.

Мета ідентифікації – визначити рівень навченості операторів з метою подальшого їх впорядкування для виконання умов наведеної вище теореми.

Задача ідентифікації індивідуальних характеристик навчання оператора вирішується за допомогою організації «паралельної» обробки координатором інформації, отриманої від операторів.

Так як функція навчання кожного оператора має три параметри, то для її повної ідентифікації необхідно визначити значення $A(\tau)$ для трьох довільних значень τ_1 , τ_2 і τ_3 : це дозволить, використовуючи (2), знайти a_j^0 , a_j^∞ , і k_j .

Дуже важливою обставиною є та, що функція $A(\tau)$ допускає багатоваріантну ідентифікацію. Зокрема, значення k_j можна визначити взагалі із довільного процесу навчання, так як ним задається *темп* (швидкість) засвоєння оператором будь-яких навичок [4]. Відзначимо, що саме ця обставина покладена в основу використання рівня освіти оператора (бакалавр, магістр) в економіці [8]. Зокрема, вплив цього рівня на заробітну плату (тобто на виконання оператором покладених на нього функціональних обов'язків).

Таким чином, можна розбити задачу ідентифікації індивідуальних характеристик навчання оператора на два незалежних методи.

Перший метод – це визначення k_j . Його можна визначити, використавши набори стандартних задач чи тестів при засвоєнні оператором *загальних* знань, - тобто таких, які не включають в себе спеціальних, потрібних для даного БСТП, навичок. Неважко бачити, що, вимірюючи рівень засвоєння знань $A(\tau)$ протягом трьох різних послідовних моментів часу τ_1 , τ_2 і τ_3 , значення k_j знаходиться як рішення такого трансцендентного рівняння:

$$\frac{A_j(\tau_2) - A_j(\tau_1)}{A_j(\tau_3) - A_j(\tau_1)} = \frac{1 - \exp(-k_j(\tau_2 - \tau_1))}{1 - \exp(-k_j(\tau_3 - \tau_1))}. \quad (12)$$

В якості $A(\tau)$ може братися, наприклад, кількість балів, отриманих оператором в одному й тому ж тесті, який застосовується для визначення рівня його знань.

Другий метод – це визначення a_j^0 і a_j^∞ . Ці параметри характеризують рівень *специфічних* навичок, і тому повинні бути ідентифіковані виключно із діяльності операторів у *спеціалізованому* інтер'єрі. Причому цей інтер'єр повинен відповідати

саме тій діяльності, яку оператори здійснюють в заданому БСТП. Тут також, у загальному випадку, потрібно знати $A(\tau)$ протягом трьох різних послідовних моментів часу τ_1 , τ_2 і τ_3 : тоді задача зводиться до рішення системи трьох алгебраїчних трансцендентних рівнянь, які впливають із (2).

Однак у випадку, коли значення k_j відомо (наприклад, із застосування першого методу), задача зводиться до рішення системи двох лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} A_j(\tau_1) = a_j^\infty + (a_j^0 - a_j^\infty) \cdot e^{-k_j \cdot \tau_1} \\ A_j(\tau_2) = a_j^\infty + (a_j^0 - a_j^\infty) \cdot e^{-k_j \cdot \tau_2} \end{cases} \quad (13)$$

Як видно із (13), задача спрощується в тому сенсі, що потрібна інформація про рівень виконання оператором його *функціональних* обов'язків (*професійних* знань) всього в *два* різні моменти часу. Для цього потрібно значно менше часу, аніж для вимірювання рівня професійних знань для трьох послідовних моментів часу.

Метод вимірювання *загальних* знань оператора може бути реалізований в школі або вищому навчальному закладі, - власне, оцінки оператора протягом часу навчання можуть бути легко використані для цього.

Натомість метод вимірювання *професійних* навичок може бути використано тільки на робочому місці оператора, та ще й за використання специфічних для розглянутої БСТП способів виконання роботи. Для цього підійдуть такі методи, як «ділові ігри», тренінги із спеціальності, виконання *стандартизованих* завдань тощо.

Висновки.

1. Поставлено загальну задачу про врахування індивідуальних характеристик навчання операторів на ефективність багатостадійних технологічних процесів з людино-машинним управлінням.

2. Побудовано три моделі для врахування впливу навчання операторів на загальну тривалість БСТП. Показано, що одна модель є тривіальною, а дві зводяться до однієї моделі для перестановок операторів між стадіями БСТП. Наведена теорема, яка вирішує отриману узагальнену задачу оптимізації.

3. Розроблено методи для ідентифікації індивідуальних характеристик навчання операторів. Наведено способи реалізації таких методів.

Список літератури

1. 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.
2. Лисогор В.М. Моделі керування технологічними процесами в аварійних ситуаціях: монографія / В. М. Лисогор, Р. В. Селезньова. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1997. – 92 с.
3. Кузьмин И.В. Основы моделирования сложных систем / И. В. Кузьмин. –К: Вища школа, 1981. – 360 с.
4. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения / Д.А. Новиков. – М.: Институт проблем управления РАН, 1998. – 77 с.
5. Новиков Д.А. Модели обучения в процессе работы // Управление большими системами / Сб. тр. – Вып. 19.– М.: ИПУ РАН, 2007. – С.5–22.
6. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 2007. – 584 с.
7. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М: Мир, 1980. – 406 с.
8. Spence M. Job Market signalling // Quarterly Journal of Economics. – 1973. – Vol.87. – P.355-374.

А. Шиян, С. Сорокун

Моделирование влияния обучения операторов на эффективность многостадийных технологических процессов

Отображена общая задача о использовании индивидуальных характеристик обучения операторов на эффективность многостадийных технологических процессов (МСТП) с человеко-машинным

управлением. Построено три модели для учета влияния обучения операторов на общую длительность МСТП. Приведена теорема, которая решает общую задачу оптимизации.

A. Shiyan, S.Sorokun

Modelling of influence of training of operators on efficiency of manystages technological processes

The general problem about use of individual characteristics of training of operators on efficiency of manystages technological processes (MSTP) with man-machines management is displayed. It is constructed three models for the account of influence of training of operators on the general duration MSTP. The theorem which solves the general problem of optimisation is resulted.

Одержано 22.09.09