

DOI <https://doi.org/10.30929/2307-9770.2022.10.04.03>
UDC 612.825.8:613.685

Models of the process of training the operator of the automated technological process control system

Fesenko N., Shevchenko I.*

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

Received: 20.09.2022

Accepted: 01.11.2022

Abstract. The work is devoted to the problem of considering the human factor in the management circuit. Namely, the formation of the human operator of the automated technological process management system skills necessary to regulate regular and non-regular situations that arise during the operation of the system. When developing an automated system, it is necessary to organize human interaction with the control system in such a way as to use the positive properties of these two components of the integrated system in the most effective way. To implement the learning process, simulators are used, which allows you to determine a clear practical orientation of the learning process, individualize the educational trajectory of the student, adjust the content of the course, develop skills necessary for work, which increases the effectiveness of learning and motivation of students. A conceptual model of the training system is proposed, which allows to find out the set of necessary characteristics, properties and peculiarities of the functioning of the object of research and development. The principle of operation of the model is as follows: the operator observes several graphs on the monitor, each of which reflects the current state of one of the technological processes, while the effects and reactions in regular and non-regular situations are recorded. A model description of the composition and structure of the training system has been developed, which allows considering all the necessary aspects of the training process and the relationship between individual training procedures and criteria for evaluating the quality of training. The criterion for the quality of operator training has been improved due to a balanced combination of the quality criterion for recognizing situations and the quality criterion for recognizing sequences of events, which makes it possible to form adequate assessments of the success of an operator observing several continuous processes. A program embedded in Microsoft Excel was developed, which simulates controlled processes, allows the operator to react to events and evaluates the success of his activities. The obtained results predictably increase the success rate of training the operator of the automated technological process control system. Quantitative assessment of success growth is possible with further experimental studies involving the number of participants, which will ensure the reliability of experiments.

Key words: operator, simulator, conceptual model, criterion of training quality.

Моделі процесу навчання оператора автоматизованої системи управління технологічним процесом

Фесенко Н. А., Шевченко І. В.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна

Анотація. Робота присвячена проблемі врахування людського фактору в контурі управління. А саме формуванню у людини-оператора автоматизованої системи управління технологічним процесом навичок необхідних для упорядкування штатних і нештатних ситуацій, що виникають протягом експлуатації системи. При розробці автоматизованої системи необхідно так організувати взаємодію людини з системою керування, щоб максимально ефективним чином використовувати позитивні властивості цих двох компонентів цілісної системи. Для реалізації процесу навчання використовуються тренажери, що дозволяє визначити чітку практико-орієнтованість навчального процесу, індивідуалізувати освітню траєкторію учня, коригувати зміст курсу, розвивати необхідні у роботі навички, що підвищує ефективність навчання та мотивацію учнів. Запропоновано концептуальну модель системи навчання, яка дозволяє з'ясувати сукупність необхідних характеристик, властивостей та особливостей функціонування об'єкта дослідження та розробки. Принцип дії моделі такий:

*
Corresponding Author: Shevchenko Igor Vasilyevich. E-mail: ius.shevchenko@gmail.com
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600.

Відповідальний автор: Шевченко Ігор Васильович. E-mail: ius.shevchenko@gmail.com
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.

оператор спостерігає на моніторі декілька графіків, кожен за яких відображає поточний стан одного з технологічних процесів, при цьому фіксуються впливи та реакції при штатних та позаштатних ситуаціях. Розроблено модельний опис складу і структури системи навчання якій дозволяє врахувати усі необхідні аспекти процесу навчання та відносини між окремими процедурами навчання і критеріями оцінювання якості навчання. Удосконалено критерій якості навчання оператора за рахунок збалансованого поєднання критерію якості розпізнавання ситуацій та критерію якості розпізнавання послідовностей подій, що дозволяє формувати адекватні оцінки успішності оператора що спостерігає декілька безперервних процесів. Розроблено програму, вбудовану у Microsoft Excel, яка імітує керувані процеси, дозволяє оператору реагувати на події та оцінює успішність його діяльності. Отримані результати прогнозовано дозволяють підвищити успішність навчання оператора автоматизованої системи управління технологічним процесом. Кількісна оцінка зростання успішності можлива при подальших експериментальних дослідженнях із залученням кількості учасників, що дозволить забезпечити достовірність дослідів.

Ключові слова: оператор, тренажер, концептуальна модель, критерій якості навчання.

I Вступ

Важливим фактором ефективного функціонування автоматизованої системи є належне урахування людського фактору, тобто операційних можливостей працюючих в складі таких систем людей. Саме участь людини в контурі управління дозволяє надати системам такі властивості, як здатність ефективно діяти в непередбачених ситуаціях, достатня надійність роботи в різних режимах, високий рівень адаптації до змін у навколишньому середовищі.

Але багато проблем виникає з того, що людина-оператор не завжди справляється з тими ситуаціями, які виникають під час функціонування автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУ ТП). Отже, при розробці автоматизованої системи необхідно так організувати взаємодію людини з системою керування, щоб максимально ефективним чином використовувати позитивні властивості цих двох компонентів цілісної системи. У цьому плані слід виділити теорію ергатичних систем, або систем людина-машина [1], що використовує знання про моделі осмисленої поведінки людини в якості основи побудови людино-машинних комплексів, яка, між іншим, обґрунтовує принципи розробки засобів управління об'єктами і процесами різної природи в досить складних ситуаціях – при недостатності інформації, в умовах жорсткого дефіциту часу, протидії і т. ін. На тлі цих міркувань зрозуміло, що набування оператором певних навичок та знань, є актуальною проблемою.

Тренажер – пристрій для навчання людини й вироблення у неї певних навичок. Тренажери з'явилися коли виникла необхідність масової підготовки фахівців для роботи або на однотипному устаткуванні, або зі схожими робочими діями. Але тільки в останній чверті минулого століття, з разуче швидкою комп'ютеризацією світового співтовариства, із створенням складної техніки, експлуатація якої зв'язана з ризиком для життя не тільки однієї людини, але і людства в цілому, виникла ціла індустрія – тренажерні технології.

На відміну від інших методів навчання використання навчальних тренажерів дозволяє визначити чітку практико-орієнтованість навчального процесу, індивідуалізувати освітню траєкторію учня, коригувати зміст курсу, розвивати необхідні у роботі навички, що підвищує ефективність навчання та мотивацію учнів [2]. Саме тому найбільш ефективним засобом, що дозволяє формувати професійні вміння операторів АСУ ТП, можна вважати комп'ютерний тренажер. Сучасний тренажер – це комплекс, система моделювання і симуляції, комп'ютерні і фізичні моделі, спеціальні методики, створювані у тому, щоб підготувати особистість до прийняття якісних і швидких рішень [3] [4]. Проблемою розробки тренажерів займалися багато дослідників [5], [6], [7], [8]. Причинами для вирішення використовувати тренажери можуть стати відразу кілька факторів, серед яких можна виділити, наприклад, високу вартість реального обладнання або його експлуатації, тривалість підготовки обладнання або складність його введення в експлуатацію, а також небезпека робіт, що проводяться [9, 10].

Іншою стороною проблеми є моделювання самого учня та процесу навчання. Створено безліч моделей процесу навчання, моделей людини-оператора та учня, які відповідають різним вимогам щодо певної предметної області [7 – 10]. Але ми не знайшли моделей, які б повністю відповідали умовам багатопотокового спостереження декілька процесів неперервного характеру, як це зазвичай буває в АСУ ТП.

Отже, метою роботи є створення комплексу моделей процесу навчання операторів АСУ ТП що відтворюють реальні умови праці оператора та критеріїв, які допомагають адекватно оцінити якість навчання.

Для досягнення цієї мети поставлені та розв'язані наступні задачі: розробка концептуальної моделі системи навчання, включаючи теоретико-множинний опис складу і структури системи навчання; розробка критеріїв якості навчання включаючи критерії розпізнавання ситуацій та послідовностей подій; розробка інструментальних засобів навчання, включаючи механізм створення сценаріїв навчання, інформаційне забезпечення та певні частини програмного забезпечення.

II Матеріал і методи дослідження

По перше, необхідно сформувати концептуальну модель системи навчання. Під концептуальною моделлю об'єкта розуміється опис сукупності характеристик, властивостей та особливостей об'єкта, припущення щодо ступеня їхнього впливу на результати функціонування об'єкта. Усю сукупність відомостей щодо концептуальної моделі об'єкта умовно можна поділити на наступні складові:

1. Проблемна область, яка семантично формулює завдання дослідження даного об'єкта. Виявляється також можливість конфліктних ситуацій у структурі об'єкта чи його функціонуванні, коли окремі фактори або протилежно впливають на досягнення загальних цілей об'єкта, або вимагають для свого вирішення тих самих, до того ж обмежених, ресурсів.

2. Об'єктна (предметна) область полягає в опису та аналізі складу досліджуваної системи, взаємодії елементів системи між собою та з зовнішнім середовищем.

Схема концептуальної моделі системи навчання показана на рис. 1. Оператор (об'єкт навчання) спостерігає на моніторі декілька графіків, кожен за яких відображає поточний стан одного з технологічних процесів. Кожен графік має декілька варіантів. Кожен варіант може відображати штатну ситуацію або критичну ситуацію у даному процесі. Графіки періодично змінюються з певним часовим інтервалом, відображаючи послідовність змін у процесі. Ці зміни зафіксовані у сценарії сеансу навчання.

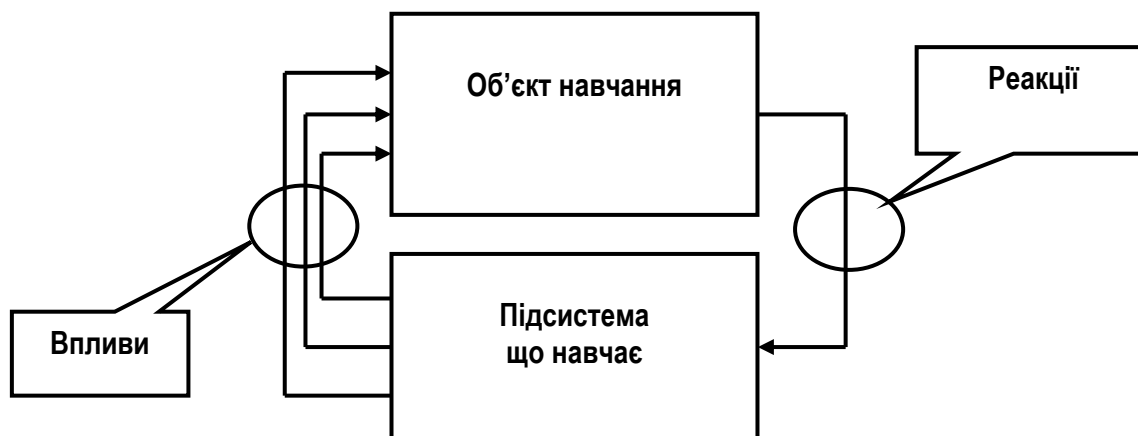


Рис. 1. Схема концептуальної моделі системи навчання

Якщо оператор виявляє графік, який визначає критичну ситуацію, він має зафіксувати цей випадок та зреагувати належним чином, обираючи один з варіантів на клавіатурі тренажера.

У процесі демонстрації графіків можна регулювати час показу кожного графіку, кількість графіків, довжину сеансу, зміст графіків і т. ін.

Оператор повинен не тільки фіксувати критичні стани, але і відстежувати зміну станів і належним чином реагувати через клавіатуру. Це дає можливість програмувати послідовності подій та відстежувати правильність ланок дій оператора.

Модель оператора включає статистичну ідентифікацію успішності розпізнавання за двома класами ситуацій (штатна–критична), з помилками першого та другого роду, розрахунок умовних втрат помилок та динаміку успішності від тренінгу до тренінгу. У залежності від режиму демонстрації та успішності

розпізнавання (загальна довжина сеансу, кількість вікон з графіками, частота помилок у кожному вікні, правильність послідовностей дій) розраховується поточна оцінка успішності навчання.

Формально концептуальна модель об'єкта навчання визначається виразом:

$$MO = \{X(V(t)), S, Y(G(t)), T\}, \quad (1)$$

де $X=\{x_{ij}\}$ – потік подій, що відбуваються у імітованому зовнішньому середовищі оператора, тобто потік інформації від системи навчання; $S=\{s\}$ – нескінченна множина станів об'єкту навчання; $Y=\{y_j\}$ – множина дій об'єкту навчання; $T=\{t\}$ – моменти часу t , які приймають цілі значення. У кожний момент часу t задано розподіл $V(t)$, який відображає сукупність ймовірностей появи тих чи інших подій у потоку подій X . Відповідно, реагуючи на потік подій від системи навчання, об'єкт навчання реалізує потік дій Y , які є реакціями на події під час сеансу навчання. Цей потік подій має свій розподіл $G(t)$. Ступінь адекватності цих реакцій залежить від рівня засвоєння навчального матеріалу, тобто від ступеню навченості. Цей ступінь оцінюється станом об'єкту S . Величина S , як міра успішності навчання, обчислюється за результатами проходження тренінгів після обробки даних у системі навчання.

Концептуальна модель підсистеми що навчає визначається виразом:

$$MS=\{X(V), Y(G(t)), S, U, T\}, \quad (2)$$

де $X(V(t))$ – генерований потік подій, якій характеризується розподілом $V(t)$; $Y(G(t))$ – отриманий від об'єкту навчання потік реакцій з розподілом $G(t)$. U – сценарій реалізації потоку подій X . Сценарій передбачає зміну зображень графіків, які характеризують режими технологічних процесів. $T=\{t\}$ – моменти часу t , які приймають цілі значення. Має відбуватися обчислення стану об'єкту S шляхом порівняння розподілів потоків X і Y .

Формальний опис складу і структури системи навчання.

Запишемо теоретико-множинний опис складу і структури системи навчання у вигляді:

$$ES = \langle A, P, Q, R0, R1, R2, R3, DB, AB \rangle, \quad (3)$$

де A – множина аспектів навчання оператора; P – множина сценаріїв процедури навчання; Q – множина критеріїв оцінювання якості навчання; $R0 \subseteq P \times Q$ – відображення множини сценаріїв на множину критеріїв; $R1 \subseteq A \times Q$ – відображення множини аспектів навчання на множину критеріїв; $R2 \subseteq A \times A$ – інформаційні відношення між аспектами навчання; $R3 \subseteq A \times A$ – функціональні відношення між аспектами навчання; DB – база даних підсистеми навчання та оцінювання; AB – база алгоритмів підсистеми навчання та оцінювання.

Критерій якості розпізнавання ситуацій.

Говорячи про статистичні методи розпізнавання, ми припускаємо встановлення зв'язку між віднесенням об'єкта до того чи іншого класу (образу) та ймовірністю помилки при вирішенні цього завдання. У ряді випадків це зводиться до визначення апостеріорної ймовірності приналежності об'єкта образу за умови, що ознаки цього об'єкта набули певного значення. Визначимо критерій якості розпізнавання ситуацій, маючи на увазі, що таких ситуацій дві – штатна та критична.

Отже потрібно розділити об'єкти на два класи Ω_1 та Ω_2 за однією ознакою x [13]. Описи класів відомі, а саме:

- є умовні щільності розподілу ймовірностей значень ознаки об'єктів класів Ω_1 і Ω_2 , тобто функції $f_1(x)$ і $f_2(x)$;
- є апіорні ймовірності появи об'єктів $P(\Omega_1)$ та $P(\Omega_2)$;
- є матриця вартості рішень при класифікації (платіжна матриця) виду,

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де c_{11} і c_{22} – втрати при правильних розв'язаннях; c_{12} і c_{21} – втрати при помилковій класифікації (відповідно, коли об'єкт класу I помилково віднесений до класу II і навпаки).

Умовна ймовірність помилки першого роду визначається виразом,

$$Q_1 = \int_{x_0}^{\infty} f_1(x) dx, \quad (5)$$

а умовна ймовірність помилки другого роду –

$$Q_2 = \int_{-\infty}^{x_0} f_2(x) dx. \quad (6)$$

Якщо система розпізнавання функціонує деякий час, багаторазово приймаючи рішення про належність об'єктів до того чи іншого класу, можна оцінити середні втрати при класифікації так [14]:

$$R = P(\Omega_1) \cdot c_{11}(1 - Q_1) + P(\Omega_1) \cdot c_{12}Q_1 + P(\Omega_2) \cdot c_{22}(1 - Q_2) + P(\Omega_2) \cdot c_{21}Q_2 \quad (7)$$

Підставляючи вирази (5.1) і (5.2) в (5.3), отримуємо:

$$R = P(\Omega_1) \left[c_{11} \int_{-\infty}^{x_0} f_1(x) dx + c_{12} \int_{x_0}^{\infty} f_1(x) dx \right] + \quad (8)$$

$$+ P(\Omega_2) \left[c_{22} \int_{x_0}^{\infty} f_2(x) dx + c_{21} \int_{-\infty}^{x_0} f_2(x) dx \right]$$

Щоб мінімізувати середні втрати R , візьмемо похідну R по x і прирівняємо до нуля, поклавши $x=x_0$:

$$\left. \frac{dR}{dx} \right|_{x=x_0} = P(\Omega_1)[c_{11}f_1(x_0) + c_{12}f_1(x_0)] + P(\Omega_2)[c_{22}f_2(x_0) + c_{21}f_2(x_0)],$$

звідки

$$\frac{f_2(x_0)}{f_1(x_0)} = \frac{P(\Omega_1)(c_{12} - c_{11})}{P(\Omega_2)(c_{21} - c_{22})} = \lambda_0. \quad (9)$$

Відношення

$$f_2(x)/f_1(x) = \lambda(x),$$

називають коефіцієнтом правдоподібності або ставленням правдоподібності, а за формулою,

$$\lambda_0 = P(\Omega_1)(c_{12} - c_{11}) / P(\Omega_2)(c_{21} - c_{22}),$$

визначають граничне (критичне) значення коефіцієнта правдоподібності, що забезпечує мінімальні втрати при класифікації.

Далі припустимо, що аналізатор оператора приймає значення параметра x_i і переводить це значення у результат y_i (реакцію оператора на значення x_i).

У цьому випадку умовна ймовірність того, що параметр x_i знаходиться в нормі (індекс 1) може бути визначена за формулою [16]:

$$p_{in}(x_{1i}/y_i) = \frac{p_{in}(y_i/x_{1i})p_i(x_{1i})}{p_{in}(y_i)}, \quad (10)$$

де $p_{in}(y_i/x_{1i})$ – умовна ймовірність прийняття рішення y_i при надходженні події x_{1i} ; $p_i(x_{1i})$ – ймовірність появи x_{1i} ; $p_{in}(y_i)$ – ймовірність появи y_i .

З урахуванням закону розподілу $f_n(y_i/x_{1i})$:

$$p_{in}(x_{1i}/y_i) = \frac{p_{in}(x_{1i})f_n(y_i/x_{1i})}{p_{in}(y_i)} \quad (11)$$

Умовна ймовірність того, що параметр відхилився від норми (індекс 0):

$$p_{in}(x_{0i}/y_i) = \frac{p_{in}(y_i/x_{0i})p_i(x_{0i})}{p_{in}(y_i)} \quad (12)$$

де $p_{in}(y_i/x_{0i})$ – умовна ймовірність прийняття рішення y_i при надходженні події x_{0i} ; $p_{in}(x_{0i})$ – ймовірність появи x_{0i} .

З урахуванням закону розподілу $f_n(y_i/x_{0i})$:

$$p_{in}(x_{0i}/y_i) = \frac{p_{in}(x_{0i})f_n(y_i/x_{0i})}{p_{in}(y_i)} \quad (13)$$

Положимо, що оператор приймає рішення, використовуючи функцію і відношення правдоподібності відповідно:

$$\frac{p_{in}(x_{1i}/y_i)}{p_{in}(x_{0i}/y_i)} = \frac{p_{in}(x_{1i})f_n(y_i/x_{1i})}{p_{in}(x_{0i})f_n(y_i/x_{0i})} \quad (14)$$

$$\lambda_n = \frac{f_n(y_i/x_{1i})}{f_n(y_i/x_{0i})}$$

При $p_{in}(x_{1i}/y_i) > p_{in}(x_{0i}/y_i)$ приймається рішення 1, при $p_{in}(x_{1i}/y_i) < p_{in}(x_{0i}/y_i)$ приймається рішення 0.

Врахуємо також, що у даному випадку, коли рішення має дві альтернативи,

$$p_{in}(x_{0i}) = p_{in}(x_{1i}) = 0,5. \quad (5)$$

Ймовірність помилки першого роду запишемо як $p_{nni} = p_{ni}(y_i \supset V_0/x_{1i})$.

Відповідно, ймовірність помилки другого роду $p_{nни} = p_{ni}(y_i \supset V_1/x_{0i})$.

В ідеалі система має мінімізувати сумарну похибку

$$p_{nni} + p_{nни} \rightarrow \min. \quad (15)$$

У результаті оператор переводить об'єкт з невизначеного стану, що характеризується ймовірністю $p_{in}(x_{1i}/y_i)=0,5$ в більш визначений, що характеризується ймовірністю

$$p'_{in} = \frac{p_{in}\bar{p}_{nni}}{p_{in}\bar{p}_{nni} + \bar{p}_{in}\bar{p}_{nни}} \quad (16)$$

отримуючи при тому певну кількість інформації $I = H_{i0n} - H_{in}$, де

$$H_{i0n} = -p_{ni} \log_2 p_{ni} - \bar{p}_{ni} \log_2 \bar{p}_{ni} \quad (17)$$

$$H_{in} = -p'_{ni} \log_2 p'_{ni} - \bar{p}'_{ni} \log_2 \bar{p}'_{ni} \quad (18)$$

відповідно, ентропія стану об'єкту до і після прийняття рішення.

Отже, якщо вважати втрати від помилок постійною величиною (в умовах навчання), то за критерій успішності розпізнавання поодиноких ситуацій (певних графіків перебігу процесів, що контролюються)

можна узяти величину відношення правдоподібності, що обчислена на основі апостеріорних ймовірностей, отриманих за результатами сеансу тренінгу (або тестування) оператора.

Отже, визначимо оцінку якості розпізнавання одиночних подій як

$$F_1 = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (19)$$

де λ_i – оцінка правдоподібності за одним сеансом по i -му образу ситуації.

Критерій якості розпізнавання послідовностей подій.

Нехай $x(t) = \{x_1, \dots, x_m\}$ – часовий ряд подій. Визначаючи множину послідовностей подій E на певних інтервалах $[t-m+1, t]$ часового ряду подій, і фіксуючи початок та закінчення інтервалу на часовій шкалі, отримуємо впорядковану у часі послідовність подій, яку треба розпізнавати оператору:

$$e^z(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n\}, \quad (20)$$

де n – ширина вікна спостереження.

Зрозуміло, що для кожного елемента множини запрограмованих послідовностей $e(t) \in E$ існує власний закон впорядкування подій $z(t)$. Якщо розглядати сукупність впорядкованих символів, яка відображає послідовність певних подій, а нашою метою є розпізнавання послідовностей, доцільно скористатися апаратом розпізнавання образів.

Створимо простір ознак, розмірність якого буде дорівнювати ширині n вікна спостереження тенденцій. Кожне лінгвістичне значення $x(t)$ буде зіставлене з однією віссю координат простору ознак. Якщо буде визначено множину еталонних послідовностей P , задачу розпізнавання тенденції можна вирішити за допомогою класичного підходу а саме однією з метрик Хеммінга [11]:

$$L(X_i, P_j) = \sum_{k=1}^n |x_{ik} - p_{jk}|. \quad (21)$$

Для розпізнавання потрібна процедура порівняння двох ланок – ланки P_j , що зафіксована у сценарії навчального сеансу, та ланки X_i , що отримана від оператора що навчається. Обидві ланки є точками у вказаному вище просторі ознак. За формулою (21) отримуємо відстань між точками і далі ступінь успішності відтворення ланки S_j обчислюємо за формулою

$$F_2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [1 - L(X_i, P_j)], \quad (22)$$

де N – кількість послідовностей у сценарії, $j=1 \dots N$.

Отже, максимальне значення ступеню навченості щодо аналізу послідовностей дорівнює 1.

Комплексна оцінка якості навчання по одному сеансу тренінгу обчислюється за формулою:

$$S = \alpha F_1 + (1 - \alpha) F_2. \quad (23)$$

Для оцінки динаміки навчання, тобто здатності до навчання, пропонується розраховувати середній приріст величини S за n сеансів навчання-тестування

$$DS = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \Delta S_i. \quad (5)$$

Таким чином, розроблено комплексний критерій якості розпізнавання ситуацій та послідовностей подій, що дозволяє формувати локальні оцінки успішності оператора щодо даних аспектів навчання.

III Результати

З метою випробування запропонованих моделей розроблено програму, вбудовану у середовище Microsoft Excel. Вона містить в собі такі основні функціональні блоки: блок авторизації, блок індикаторних пристроїв, блок імітаційної моделі технологічного процесу чи рухомого об'єкта та блок формування початкових умов та зовнішніх впливів.

Структура модуля завдань складається з програми відстеження графіків змін у часі в залежності від встановлених умов. В програмі реалізовані можливості реєстрації, авторизації, вибору кількості графіків, вибору обмежень у часі, відстеження правильності дій оператора та відстеження успішності впродовж навчального курсу. Загальний алгоритм програми включає такі етапи:

1. Учасник курсу проходить реєстрацію та авторизацію. Програма створює/відкриває для кожного учасника його особистий аркуш з даними авторизації та захищеними правами. Цей аркуш доповнюється показником успішності кожен раз, коли учасник курсу проходить завдання.
 2. Після успішної авторизації, програма, в залежності від прав, надає доступ до баз даних. В базу даних занесені дані для побудови графіків штатних та критичних ситуацій. Адміністратор вибирає сценарій, за котрим будуть відображатися графіки на екрані. Він також має змогу доповнювати вже існуючі бази даних новими даними та формулами розрахунків графіків, а також створювати власні сценарії.
 3. За вибраним адміністратором сценарієм на екрані відображаються безперервні графіки даних, які змінюються у часі.
 4. В залежності від того, показана на графіку штатна, або критична ситуація, оператор має змогу просто спостерігати, або вплинути на дані, натискаючи клавіші на клавіатурі за відведений період часу. Програма відстежує дії користувача та звіряє з правильними відповідями, після чого нараховує бали.
 5. Комп'ютер опрацьовує отриману інформацію, виставляє оцінку за 10-бальною шкалою та зберігає результат користувача в поточному курсі.
 6. Адміністратор відслідковує успішність будь-якого учасника курсу, оператор – лише свою.
- Розглянемо блок імітаційної моделі технологічного процесу чи рухомого об'єкта екранна форма якого показана на рис. 2.

Канал керування:

Крен:

- підсилювана ланка
- ЗДУ 1-го порядку
- ЗДУ 2-го порядку

Ефективність керування $K =$

Рівняння каналу має вигляд:

$$y(t) = b_0 f(t)$$

Коефіцієнти рівняння: $a_0 =$ $a_1 =$ $a_2 =$ $b_0 =$ $b_1 =$

Никання:

- підсилювана ланка
- ЗДУ 1-го порядку
- ЗДУ 2-го порядку

Коефіцієнт посилення: $K =$

Рівняння каналу має вигляд:

$$a_1 \frac{d}{dt} y(t) + a_1 y(t) = b_0 f(t)$$

Коефіцієнти рівняння: $a_0 =$ $a_1 =$ $a_2 =$ $b_0 =$ $b_1 =$

Тангаж:

- підсилювана ланка
- ЗДУ 1-го порядку
- ЗДУ 2-го порядку

Коефіцієнт посилення: $K =$

Рівняння каналу має вигляд:

$$a_2 \frac{d^2}{dt^2} y(t) + a_1 \frac{d}{dt} y(t) + a_1 y(t) = b_1 \frac{df(t)}{dt} + b_0 f(t)$$

Коефіцієнти рівняння: $a_0 =$ $a_1 =$ $a_2 =$ $b_0 =$ $b_1 =$

Рис. 2. Форма створення імітаційної моделі

В даному блоці задається підсилювальна ланка або диференціальне рівняння першого чи другого порядку. Вибір рівняння відбувається шляхом вибору пункту по кожній з трьох осей на сторінці «Модель об'єкта управління». Також є можливість встановити для кожної осі ефективність управління, увівши до відповідного поля редагування значення – ціле число.

У даному блоці використовуються наступні процедури: відображення рівняння вибраної моделі управління для осі крену; відображення рівняння вибраної моделі управління для осі тангажу; відображення рівняння вибраної моделі управління для осі килання; запис введених коефіцієнтів до тимчасового файлу.

IV Обговорення

Як наведено на рис. 3, на екрані, після початку виконання тесту, з'являється декілька графіків, за якими повинен стежити оператор. Як тільки якийсь з графіків вибивається з норми, оператор натискає на кнопку номера графіку над ним та за допомогою стрілок клавіатури (вгору/вниз) повертає його до нормального стану. Програма зчитує інформацію з клавіатури, співвідносить з затраченим часом та виставляє оцінку.

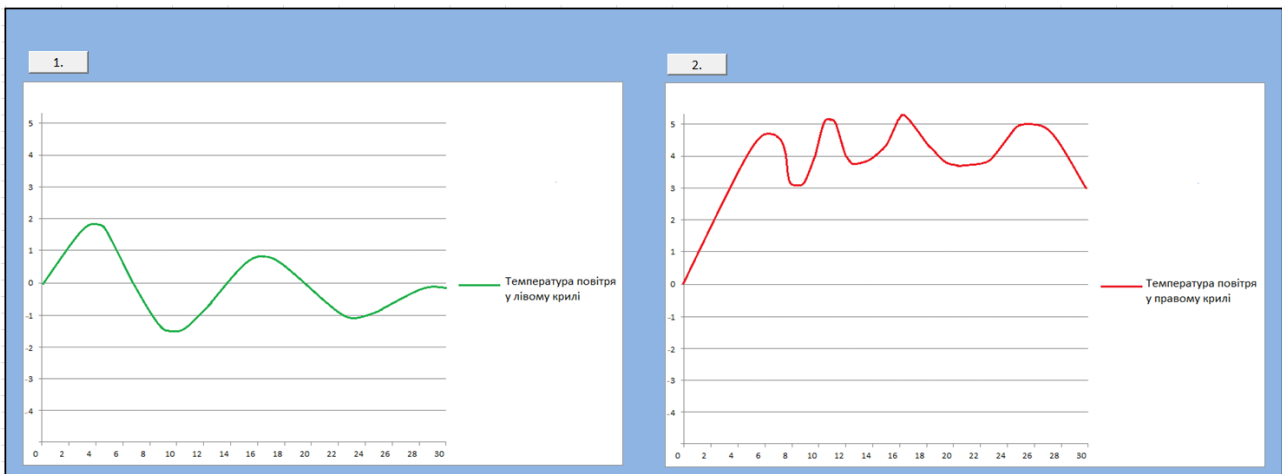


Рис. 3. Демонстрація графіків регульованих процесів

V Висновки

1. Розроблено концептуальну модель системи навчання, яка дозволяє з'ясувати сукупність необхідних характеристик, властивостей та особливостей функціонування об'єкта дослідження та розробки.

2. Удосконалено формальний модельний опис складу і структури системи навчання за рахунок додавання відображення множини сценаріїв навчання на множину критеріїв та відображення множини аспектів навчання на множину критеріїв, що дозволяє врахувати усі необхідні аспекти процесу навчання та відносини між окремими процедурами навчання і критеріями оцінювання якості навчання.

3. Удосконалено критерій якості навчання оператора за рахунок збалансованого поєднання критерію якості розпізнавання ситуацій та критерію якості розпізнавання послідовностей подій, що дозволяє формувати адекватні оцінки успішності оператора що спостерігає декілька безперервних процесів.

4. Розроблено програму, вбудовану у Microsoft Excel, яка імітує керовані процеси, дозволяє оператору реагувати на події та оцінює успішність його діяльності.

Бібліографічні посилання

1. Векслер В. А., Рейдель Л.Б. Інтерактивні тренажери та їх значення в навчальному процесі. NovalInfo, No. 41-1, 2016., с. 10-16.
2. Благая Л., Павлова С. Математичні моделі діяльності людини-оператора в авіаційних ергатичних системах. URL: <https://actualproblems.dp.ua/index.php/APAIT/article/view/54> (дата звернення 10.09.2022)
3. Інформація та оператор у системі управління. URL: https://pidru4niki.com/18630613/psihologiya/informatsiya_operator_sistemi_upravlinnya (дата звернення 10.09.2022)

4. Zhang B. et al. Using ergonomic digital human modeling in evaluation of workplace design and prevention of occupational hazards onboard fishing vessels. Proceedings of the 8th International conference on occupational risk prevention. 2010. С. 1–9.
5. Rouse W. B., Rouse S. H. Analysis and classification of human error. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2009. SMC-13, pp. 539-549.
6. Kirwan B. A human factors and reliability programme for the design of a large nuclearchemical plant. Human Factors Annual Conference, Denver, Colorado, October, 2005. pp. 1009-1013.
7. Whalley S. P. Minimising the cause of human error. In 10th Advances in Reliability Technology Symposium. G.P. Libberton (Ed.). London: Elsevier, 1988.
8. Любчак В. А., Щеголькова В. А., Рудень Р. Н. Модель учня в комп'ютерних навчальних системах. Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. 2010. №11(57). С. 35-42.
9. Коляда М. Г. Види моделей учнів в автоматизованих навчаючих системах. Штучний інтелект. 2008. № 2. С. 28-33.
10. Балл Г. О., Бастун М. В., Гордієнко В. І., Красильникова Г. В., Красильников С. Р. Психологія праці та професійної підготовки особистості: навч. посіб. Хмельницький: ТУП, 2011. 330 с.
11. Cacciabue P. C., Decortis F., Drozdowicz B., Masson M., Nordvik J. P. COSIMO: a cognitive simulation model of human decisionmaking and behaviour in accident management of complex plants. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1992, 22 (5), 1058-1074.
12. Рева О. М., Дмитрієв С. О., Селезньов Г. М. Чинники прийняття рішень авіадиспетчером у процесі керування повітряним рухом //Вісник НАУ.2009. №1. С.13-19.
13. Shahab M. A., Iqbal M. U., Srinivasan B., Srinivasan R. HMM-based models of control room operator's cognition during process abnormalities. 2. Application to operator training. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2022, vol. 76, p. 104749. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104749>
14. Shnayder D. A., Kalinina E. A. Automated System-Adviser Based on a Model for Control of the Technological Process of Concentrate Production. Global Smart Industry Conference (GloSIC), 2020. <https://doi.org/10.1109/glosic50886.2020.9267859>
15. Dorozhko I. V., Gorokhov G. M., Kirillov I. A. Methodological approach to the development of a decision support system for the operator of an automated process control system based on dynamic Bayesian networks. Trudy MAI, 2022, iss. 125. <https://doi.org/10.34759/trd-2022-125-23>
16. Zou Z. Y., Liu G. P. Design of a new IPC-mode chemical process operator-training simulator. European Control Conference (ECC), 2003. <https://doi.org/10.23919/ecc.2003.7085160>
17. Storchak V. Principles of construction of automated control system operator training perspective simulator systems. Advanced Information Systems, 2018, vol. 2, iss. 4, pp. 31-36. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.05>
18. Hyllseth M., Cameron D. Operator training and operator support using multiphase pipeline models and dynamic process simulation: Sub-sea production and on-shore processing. Computer Aided Chemical Engineering, 2003, pp. 425-430. [https://doi.org/10.1016/s1570-7946\(03\)80152-9](https://doi.org/10.1016/s1570-7946(03)80152-9)
19. Lindberg C.-Fr., Dahlquist E., Ekwall H. A pulp and paper simulator for operator training and process optimization. European Control Conference (ECC), 1999. <https://doi.org/10.23919/ecc.1999.7099472>
20. Wirstad J. Development of Operator Training as an Integrated Part of the Specification, Design and Implementation of a Process Control System. IFAC Proceedings Volumes, 1983, vol. 16(6), pp. 47-55. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)64344-1](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)64344-1)

References

1. Veksler, V. A., Reidel, L. B. (2016). Interactive simulators and their importance in the educational process. NovalInfo, 41-1, 10-16. [in Ukrainian]
2. Blahaya, L., Pavlova, S. Mathematical models of human operator activity in aviation energy systems. URL: <https://actualproblems.dp.ua/index.php/APAIT/article/view/54> (access date 09/10/2022) [in Ukrainian]
3. Information and the operator in the management system. URL: https://pidru4niki.com/18630613/psihologiya/informatsiya_operator_sistemi_upravlinnya (access date 10.09.2022) [in Ukrainian]
4. Zhang, B. et al. (2010). Using ergonomic digital human modeling in evaluation of workplace design and prevention of occupational hazards onboard fishing vessels. Proceedings of the 8th International conference on occupational risk prevention, 1–9.
5. Rouse, W. B., Rouse, S. H. (2009). Analysis and classification of human error. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13, 539-549.
6. Kirwan, B. (2005). A human factors and reliability programme for the design of a large nuclearchemical plant. Human Factors Annual Conference, Denver, Colorado, October, 1009-1013.
7. Whalley, S. P. (1988). Minimising the cause of human error. In 10th Advances in Reliability Technology Symposium. G.P. Libberton (Ed.). London: Elsevier.
8. Lyubchak, V. A., Shchegolkova, V. A., Ruden, R. N. (2010). Student model in computer educational systems. Bulletin of Sumy State University. Series Technical sciences, 11(57), 35-42. [in Ukrainian]
9. Kolyada, M. G. (2008). Types of student models in automated learning systems. Artificial Intelligence, 2, 28-33. [in Ukrainian]
10. Ball, G. O., Bastun, M. V., Gordienko, V. I., Krasilnikova, G. V., Krasilnikov, S. R. (2011). Psychology of work and professional training of the individual: training. manual Khmelnytskyi: TUP, 330 p. [in Ukrainian]
11. Cacciabue, P. C., Decortis, F., Drozdowicz, B., Masson, M., Nordvik, J. P. (1992). COSIMO: a cognitive simulation model of human decisionmaking and behaviour in accident management of complex plants. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 22 (5), 1058-1074.

12. Reva, O. M., Dmitriev, S. O., Seleznyov, G. M. (2009). Decision-making factors of an air traffic controller in the process of air traffic control // Bulletin of NAU.. No. 1. P.13-19. [in Ukrainian]
13. Shahab, M. A., Iqbal, M. U., Srinivasan, B., Srinivasan, R. (2022). HMM-based models of control room operator's cognition during process abnormalities. 2. Application to operator training. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 76, 104749. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104749>
14. Shnyder, D. A., Kalinina, E. A. (2020). Automated System-Adviser Based on a Model for Control of the Technological Process of Concentrate Production. Global Smart Industry Conference (GloSIC). <https://doi.org/10.1109/glosic50886.2020.9267859>
15. Dorozhko, I. V., Gorokhov, G. M., Kirillov, I. A. (2022). Methodological approach to the development of a decision support system for the operator of an automated process control system based on dynamic Bayesian networks. Trudy MAI, 125. <https://doi.org/10.34759/trd-2022-125-23>
16. Zou, Z. Y., Liu, G. P. (2003). Design of a new IPC-mode chemical process operator-training simulator. European Control Conference (ECC). <https://doi.org/10.23919/ecc.2003.7085160>
17. Storchak, V. (2018). Principles of construction of automated control system operator training perspective simulator systems. Advanced Information Systems, 2(4), 31-36. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.05>
18. Hyllseth, M., Cameron, D. (2003). Operator training and operator support using multiphase pipeline models and dynamic process simulation: Sub-sea production and on-shore processing. Computer Aided Chemical Engineering, 425-430. [https://doi.org/10.1016/s1570-7946\(03\)80152-9](https://doi.org/10.1016/s1570-7946(03)80152-9)
19. Lindberg, C.-Fr., Dahlquist, E., Ekwall, H. (1999). A pulp and paper simulator for operator training and process optimization. European Control Conference (ECC). <https://doi.org/10.23919/ecc.1999.7099472>
20. Wirstad, J. (1983). Development of Operator Training as an Integrated Part of the Specification, Design and Implementation of a Process Control System. IFAC Proceedings Volumes, 16(6), 47-55. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)64344-1](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)64344-1)



Фесенко Наталія Анатоліївна.

Магістрантка кафедри автоматизації та інформаційних систем,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.

Fesenko Nataliia Anatoliivna.

Student of Master Degree of Automation and Information Systems Department,
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600.

ORCID: 0000-0003-4119-5353



Шевченко Ігор Васильович.

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та інформаційних систем,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.
Тел. +38(05366) 3-01-57. E-mail: ius.shevchenko@gmail.com

Shevchenko Igor Vasyliovych.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Automation and Information Systems
Department,
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600.
Tel. +38(05366) 3-01-57. E-mail: ius.shevchenko@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3009-8611>

Scopus ID: 57202998388

Citation (APA):

Fesenko N., Shevchenko I. (2022). Models of the process of training the operator of the automated technological process control system. Engineering and Educational Technologies, 10 (4), 35–45. doi: <https://doi.org/10.30929/2307-9770.2022.10.04.03>

Цитування (ДСТУ 8302:2015):

Фесенко Н. А., Шевченко І. В. Моделі процесу навчання оператора автоматизованої системи управління технологічним процесом / Інженерні та освітні технології. 2022. Т. 10. № 4. С. 35–45. doi: <https://doi.org/10.30929/2307-9770.2022.10.04.03>

Обсяг статті: сторінок – 11 ; умовних друк. аркушів – 1,593.