

Вільдяєва Л.М., Блиндарук А.О.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ЦЕНТРУ ТЯЖІННЯ СУДНА ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ТА В УМОВАХ МОРЕПЛАВАННЯ З УРАХУВАННЯМ КОЕФІЦІЄНТІВ АПРОКСИМАЦІЇ КРИВИХ

В статті розглядається задача автоматизації визначення центру тяжіння судна в умовах навантаження та мореплавання з урахуванням коефіцієнтів апроксимації кривих, які входять до розрахунку метацентричної висоти судна.

Ключові слова: центр тяжіння судна, математична модель, апроксимація, чисельні методи.

Vil'dyaeva L., Blindaruk A.

AUTOMATED CALCULATION OF CENTRE OF GRAVITY OF SHIP AT LOADING AND IN THE CONDITIONS OF SEAGOING TAKING INTO ACCOUNT THE COEFFICIENTS OF APPROXIMATION OF CURVES

In the article the task of automation of calculation of centre of gravity of ship is examined at loading and in the conditions of seagoing taking into account the coefficients of approximation of curves which enter for the calculation of metacentric height of ship.

Keywords: centre of gravity of ship, mathematical models, approximation, numerical methods.

УДК 005.6, 004.8, 004.6, 519.7, 681.3

Ткаченко О.І., Ткаченко О.А., Ткаченко К.О.

**МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ
НА ОСНОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ**

В статті розглянуто питання моделювання складної економічної системи, якою є система підготовки фахівців. Запропоновано для використання модель, якою є мережа Петрі. Формалізований опис моделі дозволяє визначити стан системи, проаналізувати та спрогнозувати дії щодо її розвитку та вдосконалення, здійснити підтримку прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: моделювання складних систем, система підготовки фахівців, мережа Петрі, управлінське рішення щодо розвитку та вдосконалення системи підготовки фахівців, стан системи, параметри моделі.

Постановка проблеми. З метою розвитку та вдосконалення системи підготовки фахівців (СПФ) на сьогоднішній день в ній активно використовується механізм прийняття управлінських рішень на основі попереднього аналізу та прогнозування відповідних дій. Але, більшість поглядів на вказану проблему пов'язана із практикою управлінської діяльності на підприємствах СПФ. Автори пропонують звести проблему прийняття управлінських рішень щодо розвитку і вдосконаленню СПФ до проблеми визначення шляхів (маршрутів) у

відповідних моделях СПФ. За основну модель СПФ пропонується мережа Петрі (МП) [7, 8], що враховує як стани системи, так і процеси, що відбуваються в системі.

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій. Вивченням та теоретичним обґрунтуванням процесів моделювання складних систем (СС), класифікацією моделей, їх формалізованим описом та практичним застосуванням при аналізі та прогнозуванні поведінки СС займалися такі вчені: К. Петрі, Дж. Питерсон, О.Л. Перевозчикова, Є.Л.Ющенко, Д.А. Поспелов, Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевський, Ф.С. Робертс.

Серед сучасних науковців, які займаються проблемами моделювання СС, доцільно відзначити таких зарубіжних та вітчизняних вчених: В. С. Анищенко, В. І Арнольд, Б.П. Безручко, Д.А. Смирнов, П.С. Краснощюков, А.А. Петров, А.Д. Мишкіс, І.Г. Поспелов, А.А. Шананін, Д.А. Зайцев, В.Б. Мараховський, Л.Я. Розенблум, А.В. Яковлев [1-9].

Незважаючи на великий інтерес вчених до визначеної тематики, питання моделювання СС економічного спрямування ще мало розроблені.

Метою даної статті є розробка моделі розвитку та вдосконалення СПФ, яка є основою методики прийняття рішень щодо компонентного складу системи (виду та кількості підприємств, що надають відповідні освітні послуги), обсягів та спеціалізацій майбутніх фахівців, питань кадрового забезпечення процесів підготовки фахівців (потенціалу науково-педагогічного персоналу) та створює підґрунтя для побудови концепції управління розвитком СПФ з формуванням спектру дій щодо недопущення її кризового стану.

Викладення основного матеріалу. МП як компонент багаторівневої ситуаційно-продукційної моделі [6, 10, 11] є зручним та ефективним засобом дослідження СС, зокрема, економічних. Існує декілька формалізмів, зокрема, схеми паралельних програм Карпа-Мілнера, А-програми Котова-Наріньяни, оператори Хоара [4, 6-8, 9]. МП можуть бути застосовані, зокрема, при імітаційному моделюванні СС.

МП – інструмент дослідження процесів моделювання та аналізу СС, до яких, зокрема, можна віднести СПФ. Теорія МП включає формальну теорію, що займається розробкою основних засобів, методів і понять, необхідних для застосування мереж, та прикладну теорію, яка зв'язана із застосуванням МП у моделюванні СС, аналізі систем, їх структур та результатів моделювання. Маніпулюючи моделлю СС, можна отримати нові знання про систему, уникаючи небезпеки значних витрат.

МП – трійка $N=(P,T,F)$, де P – множина елементів, що називаються позиціями (місцями, змістовними вершинами) ($P \neq \emptyset$), T – множина елементів, що називаються переходами (портами); ($P \neq \emptyset, T \neq \emptyset$), $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ – множина дуг (відношення інцидентності) така, що $\text{dom}(F) \cup \text{ran}(F) = P \cup T$, де $\text{dom}(F) = \{y \in P \cup T \mid \exists x \in P \cup T, (x,y) \in F\}$, $\text{ran}(F) = \{y \in P \cup T \mid \exists x \in P \cup T, (x,y) \in F\}$, тобто будь-який елемент мережі інцидентний хоча б одному елементу іншого типу. Елементи множини $P \cup T$ – вузли мережі. Множиною входів (виходів) елемента $x \in P \cup T$ ($y \in P \cup T$) називається множина $x = \{x \mid \exists y, (x,y) \in F\}$ ($y = \{y \mid \exists x, (x,y) \in F\}$).

Моделювання СПФ за допомогою МП здійснюється на рівні подій. Визначається, які дії відбуваються в системі, які ситуації (стани) обумовили виконання цих дій і в які ситуації (стани) перейде система після виконання відповідної дії. Виконання моделі описує функціонування СПФ. Аналіз результатів виконання передбачає повідомлення про ситуації, в яких перебувала/не перебувала СПФ, які ситуації для СПФ є недосяжними і неможливими. Всі ситуації, згідно яких здійснюється моделювання СПФ, можна поділити на штатні та нештатні. Штатні ситуації можна поділити на загальнозначимі, загальні та специфічні.

Аналіз функціонування складної економічної системи (СЕС), якою, зокрема, є СПФ, за допомогою МП надає кількісні та якісні характеристики станів системи. Тип характеристик залежить від типу МП (звичайна чи «кольорова»). МП використовуються при проектуванні та аналізі функціонування СПФ. Якщо в проекті знайдено недоліки, то проект може модифікуватися шляхом модифікації МП, яка може модифікуватися декілька разів до отримання моделі, адекватної СПФ.

Моделювання СПФ здійснюється на основі використання поняття ситуаційно-продукційної моделі системи [6, 10]. Компоненти СПФ та їхні дії (продукції) виступають як

події. Прикладами подій можуть бути, зокрема: прийняття рішення щодо обраного фаху, прийняття рішення щодо навчального курсу (курсу підготовки), визначення маршруту (шляху) на МП, згідно якого відбувається підготовка, обчислення значень критеріїв, що визначають ситуацію, прийняття рішення щодо вибору підприємства СПФ.

Кожна подія в СПФ може відбутися один раз, багато разів чи не відбутися жодного разу. Це означає, що подія заблокована і не буде реалізована до виконання відповідних умов.

Сукупність дій, що виникають як реалізація подій при функціонуванні СПФ, утворює процес (множину процесів), який породжується системою. Для того, щоб подія відбулася, необхідна поява ситуації, при якій ця подія може бути реалізована. Ситуація – сукупність умов виникнення події. Подія реалізується, якщо виконані умови її реалізації. Умова може бути не виконана (її ємність дорівнює нулю), виконана (її ємність дорівнює одиниці), виконана з n -кратним запасом (її ємність дорівнює n , де n – натуральне).

Позиції МП для СПФ інтерпретуються як умови (ситуації) проектування, планування, організації, управління моніторингу та функціонування процесів підготовки/перепідготовки фахівців, а переходи відповідають подіям, що відбуваються в системі (наприклад, прийняття і реалізація відповідного управлінського рішення).

Шлях – послідовність вузлів x_1, \dots, x_k мережі N таких, що $(x_1, x_2), \dots, (x_{k-1}, x_k) \in F$. Шлях x_1, \dots, x_k веде з вузла x_1 у вузол x_k . Шлях з вузла x у вузол y є циклом, якщо жоден з вузлів не з'являється в ньому більше одного разу, $(x, y) \in F$ і початок співпадає з кінцем.

МП належить до класу мережевих моделей, хоча і є особливим класом цих моделей. Мережеві моделі СС задаються у вигляді: $r = \langle X, X, R \rangle$, $R \subseteq X \times X$, $f = \langle R, Y, F \rangle$, $f: R \rightarrow Y$, $X = \{x_1, \dots, x_k\}$, $Y \subseteq \mathbb{R}^1 = [0, \infty)$. Всі моделі СС можна поділити на динамічні та статичні. *Статична модель* описує зв'язок між компонентами СС в умовах рівноваги та/або відсутності зміни стану. *Динамічною* є модель, в якій розкриваються причинно-наслідкові зв'язки (реалізується принцип причинності), що визначають динамічний процес переходу системи з одного стану в інший. МП СПФ є класом причинно-наслідкових динамічних моделей паралельних дій, що відбуваються в системі.

Принцип причинності передбачає виконання таких умов: *впорядкованість причинно-наслідкових зв'язків у часі* (стан і вихідна ситуація (вихід) системи в будь-який момент часу не залежить від ситуацій, що можуть виникнути на вході системи пізніше); *однозначність* причинно-наслідкових зв'язків (стан і вихідна ситуація (вихід) системи в будь-який момент часу в майбутньому може бути визначена однозначно, якщо точно відомі дані про систему, що характеризують її та вплив на неї середовища в часі.

Динамічна система (ДС) $\langle X, Y, U, \Xi, T, \varphi, \psi \rangle$ задається множинами: X, Y, U, Ξ, T і відображеннями: φ, ψ . При цьому X – множина станів ДС, Y – множина виходів ДС, U – множина керуючих впливів, Ξ – множина факторів впливу, T – множина моментів часу, $V = U \times \Xi$ – множина вхідних факторів впливів. Перехідне і вихідне відображення задаються функціями φ і ψ . $\varphi: X \times V \times T \rightarrow X$ – перехідне відображення, $\psi: X \times V \times T \rightarrow X$ – вихідне відображення. СПФ є ДС.

Основні класи задач управління СПФ: задачі аналізу, задачі проектування/планування, задачі організації, задачі спостереження (моніторингу), задачі управління.

Маркирована ординарна МП $C = \langle P, T, R_1, R_2, \overline{m_0} \rangle$, де $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – кінечна множина позицій, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ – кінечна множина переходів, R_1 і R_2 – бінарні відношення, задані на множинах P і T : $R_1 \subseteq P \times T$ і $R_2 \subseteq T \times P$, $\overline{m_0}$ – вектор початкового маркування. $\overline{m_0} = \|m_0(p_1); m_0(p_2); \dots; m_0(p_n)\|$, $\overline{m_0}: P \rightarrow N = \{0, 1, 2, \dots\}$. Між відношеннями R_1 і R_2 та представленням МП існують взаємнооднозначні відповідності, які можна відобразити за допомогою вхідної та вихідної функцій інцидентності f_{R_1} і f_{R_2} : $f_{R_1}: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$, $f_{R_2}: T \times P \rightarrow \{0, 1\}$. Знаходження маркера у відповідній позиції МП інтерпретується так:

$m(p_1)$ – вирішення задачі/проблеми знаходиться в стані очікування, $m(p_2)$ – компонент обробки інформації в СС знаходиться в стані очікування, $m(p_3)$ – задача/проблема вирішується (відповідний компонент виконується), $m(p_4)$ – задача/проблема вирішена і очікує виведення, t_1 – початок виконання задачі/проблеми, t_2 – кінець виконання задачі/проблеми [7, 8].

Маркирована МП загального вигляду $C = \langle P, T, \tilde{R}_1, \tilde{R}_2, \overline{m_0} \rangle$, де P – кінечна множина позицій, T – кінечна множина переходів \tilde{R}_1 і \tilde{R}_2 – бінарні відношення, задані на T і P .

Функціонування МП СПФ базується на процесі зміни її маркування (перехід з одного стану системи в інший). У випадку запуску відповідних переходів правило функціонування МП задається за допомогою правил: дозволу переходів, зміни станів маркування при запуску (здійсненні) переходу. Перехід t_j дозволено, якщо кожній його вхідній дузі p_i може бути поставлено у відповідність хоча б один маркер у позиції, з якої ця дуга виходить. При здійсненні переходу t_j з кожної його вхідної позиції p_i повинна бути видалена кількість маркерів, що дорівнює кратності ребер, які з'єднують позицію p_{ij} і перехід t_j , і в кожну його вихідну позицію p_k повинно додатково розміщено до вже існуючих маркерів кількість маркерів, яка дорівнює кратності ребер, що з'єднують перехід t_j з позицією p_k .

Аналіз СПФ на основі моделі, до складу якої входять МП окремих процесів чи компонентів системи, базується на деревах досяжності для відповідних МП. *Тупикові вершини* – вершини, з яких неможна здійснювати переходи. *Дублюючі вершини* – вершини, в яких повторюється маркування. *Маршрут (ор-маршрут)* – послідовність дуг. *Шлях* – ор-маршрут, в якому відсутні дуги, що повторюються та збіг початкової і кінцевої вершин.

Показники кількісної оцінки моделі СПФ: зв'язності; досяжності; надлишковості; компактності. Показник зв'язності $\gamma_{зв}$ для орієнтованого n -вершинного графа

$$\gamma_{зв} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(c)}. \text{ Показник зв'язності для неорієнтованого графа: } \gamma_{зв} = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(c)}.$$

Показник надлишковості $\alpha = \gamma_{зв} - 1$. Показник досяжності моделі СПФ $\delta_d = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(d)}$.

Показник компактності моделі СПФ $\kappa = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(p)}$. $a_{ij}^{(c)}, a_{ij}^d, a_{ij}^p$ – елементи відповідних

матриць суміжності, досяжності та відстаней M_c, M_d, M_p . Знаючи показники оцінки структури СПФ, можна при проектуванні чи експлуатації говорити, зокрема, про такі властивості СПФ:

- якщо система має високу ступінь зв'язності, велику надлишковість і рівномірні розподілення зв'язків, то їй притамана висока надійність;
- якщо система має мінімальний показник компактності, то це обумовлює високу швидкодію системи.

Основними етапами побудови багаторівневої моделі СПФ, зокрема, є: опис функціонування системи в цілому; визначення елементів системи (підсистем, окремих компонентів тощо) з описом їх функціонування, характеристик, початкових умов, взаємодії між собою; визначення зовнішніх факторів впливу на СПФ та їх характеристик; вибір показників ефективності СПФ; побудова формальної та комп'ютерної моделей СПФ.

Вимоги до моделі визначаються її призначенням. Модель повинна бути: достовірною; адекватною; цілеспрямованою; простою і зрозумілою користувачеві; повною (достатньою з точки зору можливостей вирішення поставленого завдання); надійною; такою, що припускає модифікацію. Рівень точності моделі повинен забезпечувати достовірне порівняльне оцінювання і ранжування по рівню якості альтернативних варіантів управлінських рішень щодо розвитку і вдосконаленню СПФ.

Для адекватного відображення зв'язку між входом і виходом системи в пропонуемій моделі використовуються поняття «стан» та «ситуація». Стан $z(t_i)$ є сукупністю властивостей

(станів, ситуацій) СПФ, знання яких в момент часу t_i , дозволяє визначити її поведінку (дії) в моменти часу $t > t_i$). Тоді рівняння «вхід-вихід» – стан, що перетворює вхідні інформаційні потоки у вихідні з врахуванням стану, в якому знаходиться СПФ, приймає вигляд: $Y_T = A(T, z(t_i), X_T)$, де X_T, Y_T – вхідний і вихідний процеси на інтервалі часу T , A – оператор виходів. Вихідний процес СПФ (отримання освітніх послуг, формування у майбутніх фахівців відповідного рівня професійних і базових знань тощо) повністю визначається вхідним процесом і початковим станом і не залежить від того, як система була переведена в цей стан.

Для повного опису процесу функціонування СПФ необхідно задати умови визначення стану системи. Для цього вводиться поняття рівняння стану: $z(t) = B(\phi t, z(t_i), X_{\phi t})$, де $B(*)$ – оператор переходу, що встановлює однозначну залежність $z(t)$ від пари $(z(t_i), X_{\phi t})$, що задана на інтервалі τt .

Модель функціонування СПФ повинна забезпечувати прогнозування функціонування (зокрема, розвитку та вдосконалення) на всьому інтервалі функціонування T (множини часу) по заданому вектору початкового стану, вектору вхідного процесу X . Для розв'язання цієї задачі достатньо задати множини допустимих значень вхідних X і вихідних Y процесів, а також множини можливих станів системи Z і оператори виходу A і переходу B .

Множини і оператори, що складають загальносистемну модель СПФ, можуть мати різні властивості, сукупність яких дозволяє конкретизувати характер функціонування системи: безперервність; лінійність; стаціонарність; стохастичність (ймовірність).

Наділяючи CC різними властивостями, загальносистемна модель конкретизується до системної моделі. Системними властивостями, зокрема є:

1) Якщо CC функціонує в безперервному часі і при цьому оператори A і B безперервні, то система називається безперервною. СПФ можна назвати умовно безперервною.

2) Враховуючи реакції на зовнішній вплив, структурні елементи CC поділяють на лінійні (реакція в них на спільний вплив 2-х будь-яких зовнішніх збурень дорівнює сумі реакцій на кожен з цих впливів, прикладених до системи нарізно) і нелінійні. СПФ містить як лінійні, так і нелінійні структурні елементи.

3) Стаціонарна CC при фіксованому початковому стані $Z(t_0)$ однаково реагує тільки на ті вхідні дії, що є еквівалентними і відрізняються тільки зсувом по часу, тому накладення інтервалу (t_0, t) на осі часу не впливає на функціонування системи. Модель для таких систем не містить в явному вигляді інтервал часу T .

4) Якщо в моделі M оператори A і B кожній парі (вхід, стан) ставлять у відповідність єдині значення Y і Z , то система, що описується цією моделлю, називається детермінованою. Для стохастичної (ймовірнісної) системи – Y і Z , випадкові величини, що задані законами розподілення.

Конструктивні моделі (КМ) CC менш загальні і дозволяють виконувати конкретні обчислення та виробляти конкретні рішення. КМ є алгоритмами, використовуючи які можна визначити значення одних змінних, що характеризують дану систему, за значеннями інших змінних. КМ закономірно виростає з більш загальної системної моделі шляхом конкретизації її властивостей. КМ СПФ дозволяє виявляти маршрути проходження інформаційних та управлінських процесів при досягненні поставлених локальних і глобальних цілей в умовах штатних і нештатних ситуацій.

Основні етапи побудови моделі СПФ: «загальносистемна модель \rightarrow системна модель \rightarrow КМ \rightarrow машинна (комп'ютерна) модель».

Модельовання процесів функціонування СПФ повинно починатися з опису всіх компонент загальносистемної моделі, визначення їхнього змісту і областей змін. Необхідно визначити: інтервал часу, на якому відбувається функціонування СПФ; вхідні і вихідні впливи та області їх можливих змін; множини характеристик стану системи і область їх можливих змін.

При побудові моделей CC застосовуються такі підходи: безперервно-детермінований (диференціальні рівняння); дискретно-детермінований (кінцеві автомати); дискретно-

стохастичний (ймовірнісні автомати); безперервно-стохастичний (системи МО); узагальнений /універсальний (агрегатні системи).

Динамика СПФ як окремого класу СЕС описується рівнянням: $\frac{dE}{dt} = E_E - E_G - E_K$,

де $E_E = k_{EE}(e^{\delta_1 - \delta_1} - 1) \cdot E$ – зусилля кадрів щодо розвитку СПФ (обмеження на СПФ, що накладаються соціально-кадровими факторами впливу). $E_G = k_{EG}(e^{-\eta G + \eta_1}) \cdot G$ – обмеження на СПФ, що накладаються фінансовими факторами впливу. $E_K = k_{EK}(\rho - \rho_2) \cdot (K + D) \cdot E$ – обмеження на СПФ (при $\rho > \rho_2$), що накладаються соціальними факторами впливу, і деяка підтримка на початку розвитку СПФ (при $\rho < \rho_2$). Динамика соціальних аспектів СПФ описується рівнянням: $\frac{dK}{dt} = K_G - K_K - K_D$, де K_G – контроль (на рівні нормативно-правового моніторингу) за функціонуванням СПФ. $K_K = k_{KK}(e^{-\gamma K + \gamma_1}) \cdot E \cdot \rho$ – втрати при діях, спрямованих на підтримку традиції, легітимізації встановленого нормативного порядку (при достатньо високому рівні K витрати незначні). $K_D = k_{KD} \cdot D^2$ – нормативний порядок потребує порівняння зі зразками, притаманними відповідним соціокультурним верствам населення. Для моделей СС (в тому числі й СЕС) притаманна наявність універсальності, коли принципово різні реальні явища можуть описуватися однією й тією ж моделлю.

При моделюванні СПФ використовувалися класи прямих і зворотніх задач. *Пряма задача*: структура моделі та всі її параметри є відомими, головним є проведення дослідження моделі для отримання нового знання про систему (окремий її елемент, компонент, об'єкт, суб'єкт тощо). *Зворотня задача*: відома множина можливих моделей, треба вибрати конкретну модель на основі додаткової інформації про СПФ, якою є додаткові емпіричні дані, що можуть бути отримані завдяки використанню методів математичної статистики.

Процес проектування і визначення характеристик моделі СПФ проводився в термінах теорії МП. У цьому випадку завдання полягає в перетворенні представлення МП в реальну інформаційну систему (ІС). Перевагою МП є формалізований опис моделі, що дозволяє проводити її аналіз за допомогою відповідної ІС, реалізованої на ПК.

Розробка ІС моделювання СПФ на базі МП передбачає наявність відповідного інформаційного середовища, в якому зберігаються великі масиви даних щодо структури МП; завдяки наявності відповідної бази моделей можливість здійснювати моделювання динаміки МП за допомогою механізму транзакцій, забезпечуючи високу надійність ІС.

Моделювання процесів в СПФ ґрунтується на використанні теорії МП для відображення та алгоритмізації комплексів взаємопов'язаних дій, основною метою яких є розвиток і вдосконалення СПФ. При моделюванні процесів в СПФ відбувається графічне, наочне і системне відображення та оптимізація послідовності та взаємозалежності дій по забезпеченню своєчасного і планомірного досягнення кінцевих цілей, що поставлені перед СПФ (в залежності від рівня, на якому приймається управлінське рішення).

Для відображення і алгоритмізації дій (чи ситуацій) можна використовувати різні моделі, в тому числі й економіко-математичні моделі (наприклад, мережні моделі, мережеві графіки). За допомогою мережної моделі можна системно представляти весь хід робіт або оперативних заходів, управляти процесом їх здійснення, а також маневрувати ресурсами для досягнення мети моделювання СПФ за допомогою МП – прийняття управлінських рішень щодо оптимізації процесів розвитку і вдосконалення СПФ.

Переваги МП дозволяють моделювати ПП різних типів з урахуванням можливих конфліктів між ними; надають можливість наочності та автоматизованого аналізу; дозволяють переходити від одного рівня деталізації опису СС до іншого (за рахунок розкриття/закриття переходів).

У результаті розвитку апарата МП було розроблено ряд розширень, зокрема, Е-мережі («оціночні» мережі), в яких: є кілька типів вершин-позицій та вершин-переходів; фішки (мітки) можуть забезпечуватися набором атрибутів; з кожним переходом може бути

пов'язана ненульова затримка і функція перетворення атрибутів фішок; з будь-якою позицією пов'язано не більше однієї вхідної (вихідної) дуги. Будь-який перехід може бути описаний у такий спосіб: $\mathbf{d}_j = (\mathbf{S}, \mathbf{t}(\mathbf{d}_j), \mathbf{p}(\mathbf{d}_j))$, де \mathbf{S} – тип переходу, $\mathbf{t}(\mathbf{d}_j)$ – функція затримки, відображає тривалість спрацьовування переходу, $\mathbf{p}(\mathbf{d}_j)$ – функція перетворення атрибутів міток. В Е-мережах мітки інтерпретуються як транзакти, що переміщуються по мережі, а вершини-переходи трактуються як функціонали (пристрої), що виконують обробку транзактив. В Е-мережі жодна вершина-позиція не може містити більше однієї мітки (тобто, будь-яка Е-мережа спочатку є безпечною).

Базові переходи в Е-мережах: *T-перехід* («виконання», «простий перехід») спрацьовує при наявності мітки у вхідній позиції та відсутності її у вихідній позиції і дозволяє відобразити в моделі зайнятість деякого компонента системи протягом певного часу; *F-перехід* («розгалуження») спрацьовує при тих же умовах, що й *T-перехід* і відображає розгалуження потоку інформації (транзактив) у СПФ; *J-перехід* («об'єднання») спрацьовує при наявності міток в обох вхідних позиціях і відсутності мітки у вихідній позиції, моделює об'єднання потоків або наявність декількох умов, що визначають деяку подію; *X-перехід* («перемикач») містить додаткову керуючу («роздільну») позицію, змінює напрямок потоку інформації (транзактив); *Y-перехід* («вибір», «пріоритетний вибір») також містить роздільну позицію і відображає пріоритетність одних потоків інформації (транзактив) в порівнянні з іншими, при цьому роздільна процедура може бути визначена як операція порівняння фіксованих пріоритетів міток і як функція від атрибутів міток (наприклад, чим менше час обслуговування, тим вище пріоритет) [9].

В Е-мережі всі переходи забезпечують виконання властивості безпеки, тобто у вихідних позиціях (які, в свою чергу, можуть бути вхідними для наступного переходу) ніколи не може бути більше однієї мітки. В Е-мережах є поняття макропереходу і макропозиції, які відображають в моделі процеси накопичення транзактив, що обслуговуються, в тих чи інших компонентах системи, а також розширюють можливості Е-мереж. Макропозиція-черга – лінійна композиція *T-переходів*; сумарна кількість вихідних вершин-позицій визначає «ємність» черги. Макропозиція-генератор дозволяє представляти в мережі джерело міток (транзактив). В Е-мережі можна «накопичувати» мітки завдяки макропозиції-поглинання (акумулятор).

Моделювання процесів підготовки/перепідготовки фахівців за допомогою вкладених МП. Вкладені МП – розширення стандартного формалізму МП, яке є корисним при моделюванні навчального процесу. Вкладені МП є інструментом представлення систем зі складною ієрархічною і мультиагентною структурою. У вкладених МП фішки, що представляють локальні ресурси в позиціях системної мережі, самі можуть бути складними об'єктами з мережевою структурою і моделюватися МП нижнього рівня.

Вкладені МП можуть бути використані при моделюванні процесу підготовки/перепідготовки фахівців, який може проводитися групою майбутніх фахівців як традиційно, так і інтерактивно з використанням відповідних інформаційних систем та технологій (зокрема, так званої Е-освіти). Процес підготовки/перепідготовки фахівців моделюється за допомогою дворівневої моделі навчання, що складається з топ-моделі та моделей майбутніх фахівців, які дозволяють індивідуалізувати процес підготовки/перепідготовки (навчання) для кожного майбутнього фахівця.

Інтерактивна, в значній мірі самостійна підготовка фахівця з використанням сучасних інформаційних технологій є одним з важливих напрямів вдосконалення СПФ. Швидкий розвиток телекомунікацій, мережі Інтернет є потужним стимулом розвитку Е-освіти.

Функціонування мереж, що входять до вкладених МП, значною мірою збігається з функціонуванням традиційних МП. У вкладених МП є такі кроки спрацьовування: системно-автономний (відповідає спрацьовуванню непомічених переходів в мережі); сателітно-автономний (відповідає спрацьовуванню непомічених переходів в системній мережі-фішці EN_i); горизонтальної синхронізації, при якому одночасно спрацьовують переходи в мережах-фішках EN_i , помічених однаковими мітками; вертикальної синхронізації, при якому

одночасно спрацьовують переходи в тор-мережі SN і мережах-фішках EN_i , що мають однакові мітки. Передбачається, що у всіх мережах, що беруть участь у роботі, переходи є активними.

Проілюструємо можливості вкладених МП при моделювання процесу підготовки фахівців з підсистемами (компонентами та структурними елементами) різного рівня ієрархії.

Розглянемо модель процесу інтерактивної підготовки фахівців (навчання). У цій моделі кожен майбутній фахівець моделюється однієї фішкою, яка відповідає цілому числу. При цьому інформація про історію проходження курсу конкретним майбутнім фахівцем (студентом, курсантом, учнем тощо) втрачається після того, як процес навчання завершено. В моделі відсутня можливість диференційованого оцінювання успішності навчання; не передбачена можливість невдалого завершення курсу, оскільки кількість спроб вивчення матеріалу і тестування не обмежена; відсутня можливість моделювання взаємодії майбутніх фахівців. Рівні вкладеної МП для опису процесів безпосередньо підготовки фахівця:

- Налаштування на індивідуалізацію.
- Навчання.
- Тестування.
- Оцінювання.
- Прийняття рішення.

Функціональність СПФ можна підвищити, якщо моделювати поведінку кожного учня окремою МП. При цьому вийде вкладена МП, яка складається з тор-мережі SN і набору мереж-фішок EN_s , ($s = 1, 2, \dots$).

Наявність вертикальної синхронізації означає, що однойменні переходи можуть спрацювати лише одночасно. Це означає синхронізацію наступних дій: прихід майбутнього фахівця в систему, створення в тор-мережі SN мережі-фішки EN_s у вигляді фішки s (в мережі-фішці змінна s відноситься до конкретного майбутнього фахівця); вибір навчального модуля та початок процесу навчання; завершення процесу навчання і вибір тестів; завершення процесу тестування і перехід до оцінювання; прийняття рішення за результатами тестування.

Використання вкладених МП розширює можливість моделювання СПФ, зокрема її навчальних ІС, і дозволяє проводити раніше недоступні дослідження.

Висновок. Для розвитку і вдосконалення СПФ в Україні необхідно приймати управлінські рішення на різних рівнях ієрархії, прогнозувати та вчасно визначати критичні стани системи. З цією метою була розроблена модель СПФ на базі МП з урахуванням ситуаційності прийняття управлінських рішень.

Запропонована модель дозволяє прогнозувати майбутні обсяги освітніх послуг, фахівців, кількості підприємств СПФ різного рівня та спеціалізації, тобто тенденції розвитку та вдосконалення СПФ; визначати на основі моделей майбутніх фахівців та моделей навчання найбільш оптимальні параметри інформаційного потоку процесу підготовки.

Запропонована модель в силу її динамічності враховує можливість появи нового виду підприємств СПФ, нових курсів чи вимог з боку відповідних ринків праці та освітніх послуг, адекватно реагує на локальні і глобальні фактори впливу на систему.

При таких ситуаціях модель змінює свою форму і надає можливість враховувати нові дані для більш точного прогнозування розвитку і вдосконалення СПФ.

Використання запропонованої МП розширює можливість моделювання СПФ, зокрема її навчальних ІС, дозволяє проводити раніше недоступні дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей // М.: КомКнига, 2007. – 192 с.
2. Петров А. А., Поспелов И. Г., Шананин А. А. Опыт математического моделирования экономики // М.: Энергоатомиздат, 1996. – 544 с.
3. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры // М.: Физматлит, 2001. – 374 с.

4. Советов Б. Я., Яковлев С. А., Моделирование систем // М.: Высшая школа., 2001. – 343 с.
5. Введение в математическое моделирование/Учебное пособие. Под ред. П. В. Трусова // М.: Логос, 2004. – 294 с.
6. Поспелов Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика // М.:Наука, 1999. – 288с.
7. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем // М: Мир, 1984. – 264с.
8. Зайцев Д. А. Универсальная сеть Петри / Кибернетика и системный анализ. – № 4. –2012. – С. 24-39.
9. Мараховский В. Б., Розенблюм Л. Я., Яковлев А. В. Моделирование параллельных процессов. Сети Петри //СПб: Проф. литература, IT-Подготовка, 2014. – 400 с.
10. Ковбатьюк М. В., Ткаченко О.І., Міщенко В. В. Продукційно-ситуаційна модель розвитку транспортної галузі / Водний транспорт. – 2010. – Вип.11. – С.28-38.
11. Ткаченко О. И. Использование сетей Петри для ситуационного диалога в маршрутных системах ПРОЦЕСС // Средства представления знаний в информационных технологиях: Сб.научн.тр. – Киев: ИК АНУ, 1992. – С.33-38.

Ткаченко О.І., Ткаченко О.А., Ткаченко К.О.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

В статье рассмотрены вопросы моделирования сложной экономической системы, которой является система подготовки специалистов. Предложено для использования модель, которой является сеть Петри. Формализованное описание модели позволяет определить состояние системы, проанализировать и спрогнозировать действия по ее развитию и совершенствованию, оказать поддержку принятия управленческих решений.

Ключевые слова: моделирования сложных систем, система подготовки специалистов, сеть Петри, управленческое решение по развитию и совершенствованию системы подготовки специалистов, состояние системы, параметры модели.

Tkachenko O.A., Tkachenko O.I., Tkachenko K.

MODELING OF SYSTEM OF TRAINING OF SPECIALISTS BASED ON PETRI NETS

The paper deals with the modeling of complex economic system, which is a system of training of specialists. It is proposed to use the model, which is a Petri net. A formal description of the model to determine the state of the system, to analyze and predict the actions to develop and improve the system of training, to support management decision-making.

Keywords: modeling of complex systems, system training, Petri nets, management solutions for the development and improvement of training, system state, parameters of the model.

УДК 004.031.2/.4/.42;004.384; 004.78;004.451.7;004.832.28; 005

Денєжко С.А.

МОДЕЛЬ ПОДІЄ-КЕРОВАНОЇ АРХІТЕКТУРИ ОБРОБКИ ПОДІЙ

У даній роботі представлена функціональна модель подіє-керованої архітектури (ПКА) обробки подій в програмі PNEditor, яка використовує мову мереж Петрі для опису моделей і має можливість швидкого конструювання алгоритмів імітації систем з великою кількістю подій. Концептуальна модель демонструє процес підготовки та обробки подій, які генеруються виробниками подій для використання споживачами подій. Формальні об'єкти