

УДК 519.1

МОДЕЛІ ПРОСТОРОВО-РОЗПОДІЛЕНИХ МАРКІВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ У СЛАБОСТРУКТУРОВАНИХ ЗАДАЧАХ УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

О. В. Шарко¹, Н. Петрушенко², Б. В. Дурняк², С. А. Бабічев³

¹Херсонська державна морська академія,
пр. Ушакова, 20, Херсон, 73009, Україна

²Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

³Херсонський державний університет,
вул. Університетська, 27, Херсон, 73000, Україна

Виробнича діяльність здійснюється не лише в умовах ризику, а й в умовах невизначеності факторів зовнішнього середовища, які характеризуються складністю прогнозування. Наведено результати вивчення процесів функціонування організаційно-технічних об'єктів в умовах невизначеності зв'язків та відносин. Цільове призначення ланцюгів Маркова полягає у пошуку такого поєднання характеристик та параметрів моделі, яке б дозволяло забезпечити вдосконалення механізмів ідентифікації та адекватного прийняття рішень. Оскільки процеси трансформаційних перетворень не мають безперервної тимчасової позначки, як час може бути застосована послідовність станів підприємств. Побудовано імітаційну модель адаптивності до впливу зовнішнього середовища з ієрархією інтервалів дискретизації, в якій метод побудови ланцюгів Маркова розширений на клас слабоструктурованих задач управління складними організаційно-технічними системами шляхом агрегації накопичених подій з дискретними станами та дискретним часом. Розроблено концептуальну модель системи управління ресурсами підприємств, спрямовану на вдосконалення механізмів діагностики та прийняття рішень на основі використання інструментальних засобів ланцюгів Маркова. Розроблена інформаційна технологія, що дозволяє шляхом оперативного формування та оцінювання альтернатив підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності забезпечувати функціональну стійкість розподілених організаційних об'єктів технічного призначення.

Ключові слова: ланцюги Маркова, управління, слабоструктуровані задачі, організаційно-технічні об'єкти, ризики, невизначеність, просторово-розподілені процеси.

Постановка проблеми. Ефективність прийнятих рішень безпосередньо залежить від того, наскільки обґрунтовані цілі та як вони вирішуються у динаміці

зміни подій, пов'язаних з їх структуруванням та поділом функцій. Неструктуровані завдання мають лише якісний опис, структуровані характеризуються наявністю кількісних залежностей, слабоструктуровані займають проміжне положення, у якому домінують маловідомі та невизначені сторони.

Одним із напрямків успішного функціонування організаційно-технічних об'єктів, що працюють в умовах динамічних змін зовнішнього середовища, є їх готовність до трансформаційних перетворень. Задача управління таким чином належить до слабоструктурованих. Слабоструктуровані задачі прогнозування, управління, планування та діагностики мають такі характерні особливості: неповне або нечітке уявлення предметної галузі, неповне або нечітке уявлення про зовнішні умови функціонування, про обсяг та кількість конкуруючих альтернативних рішень, різномірних критеріїв. Здатність до здійснення таких перетворень проявляється у можливості отримувати певні зміни у механізмі функціонування задля забезпечення їх стійкості та спрямованості.

Розвиток будь-якої складної системи відбувається у деякому аттракторі, тобто у будь-якій обмеженій сфері тяжіння одного зі стабільних станів системи. Прояв законів самоорганізації може бути передбачений, якщо відомі основні властивості складної системи – такі, як нелінійність, наявність ступенів свободи, ступінь відкритості системи щодо зовнішніх впливів.

Нині будь-яка діяльність організаційно-технічних об'єктів здійснюється не лише в умовах ризику, а й умовах невизначеності, яка обумовлюється глобалізацією процесів, ускладненням взаємодій між суб'єктами і впливом довкілля тощо. Вибір домінування альтернатив стає прерогативою інтуїції.

Існує кілька способів зниження ризику, пов'язаних з ймовірністю їх виникнення: диверсифікація, тобто вибір комбінації з кількох рішень з компенсацією неефективних рішень, використання інших рішень; отримання додаткової інформації; страхування шляхом розподілу ризику між учасниками.

Оскільки ефективність рішення залежить не тільки від самого рішення, а й від стану зовнішніх умов, то під час прийняття рішень необхідно враховувати, які варіанти зовнішніх умов найімовірніші. Як правило, розрахувати ймовірність впливу зовнішніх умов неможливо, тому використовують або ретроспективні дані, або судження експертів.

Управління в умовах невизначеності факторів впливу зовнішнього середовища у своїй основі базується на створенні системно пов'язаних методик дослідження поточного та прогнозованого стану виробництва завдяки синтезуванню інформації, отриманої за допомогою не тільки синергетичного підходу, але й математичних, у тому числі ймовірнісних, методів. Процес управління в умовах невизначеності факторів зовнішнього середовища містить елементи випадковості, пов'язаної з тим, що прогнозний стан виробництва визначається через вихідний розподіл ймовірностей можливих станів організаційно-технічних об'єктів при реалізації змін у їх функціонуванні.

Існує ряд методів прийняття рішень в умовах ризику та невизначеності: експертні, засновані на висновках про вирішення конкретного аналогічного завдання

у минулому; ігрові, пов'язані з оцінкою можливості наслідків впливу зовнішніх умов; статистичні, пов'язані з можливістю багаторазових повторень у минулому; аналітичні, засновані на побудові по можливості досить повної математичної моделі; методи, засновані на побудові дерева рішень шляхом виявлення можливих діапазонів втрат та ймовірності їх виникнення; імітаційні методи найскладніших завдань, де рішення приймається за результатами моделювання процесів їх реалізації.

Для ефективного управління організаційно-технічними об'єктами в умовах динамічних змін зовнішнього середовища необхідно використовувати якісно-кількісний аналіз складних багатофакторних ситуацій, що інтерпретуються як слабоструктуровані системи, які характеризуються відсутністю кількісної інформації про зміни, що в них відбуваються. Крім цього, специфіка управління організаційно-технічними об'єктами, що функціонують в умовах динамічних змін зовнішнього середовища, кожна з яких є унікальною, наприклад, кризи, зміни політичної влади, пандемії тощо, повністю виключає можливість використання аналогій та наявного досвіду. Перспективним напрямом дослідження випадкових процесів, котрим характерна відсутність пам'яті, є Марківські процеси.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Задача кількісної оцінки трансформаційних перетворень з урахуванням організації та регулювання слабоструктурованих процесів з допомогою ланцюгів Маркова завжди актуальна.

У [1] розглянуто питання конструювання стохастичних моделей організаційно-технічних систем на основі Марківських випадкових процесів з дискретними станами та дискретним часом. У [2] розглянуто питання моделювання стійкості функціонування організаційно-технічних систем за допомогою ланцюгів Маркова. В [3] Марківська модель використовується для обчислення ймовірностей переходів між станами пацієнтів як набір з відхиленнями в анатомії лімфатичної дренажної системи, демонструється спроможність кількісної оцінки ризику захворювань. У [4] розглянуто основні принципи гомогенної мережі Маркова з фіксованою кількістю станів та розривним періодом. Дискретно-часові ланцюги Маркова використані в [5] для моделювання впливу пандемії COVID-19 з метою зменшення економічної рецесії. У [6] розглянуто завдання тестування Марківської послідовності асимптотичного розподілу перехідних ймовірностей, в [7] описуються результати моделювання методу Монте-Карло на основі ланцюгів Маркова при створенні записів, що належать одному об'єкту, отриманих з даних, що належать різним джерелам. Інформаційно-ентропійна модель основи прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності представлена в [8]. Використання моделі ланцюгів Маркова для оцінки траєкторії успішності студентів-медиків представлено в [9], в [10] – для короткострокового прогнозування вітроенергетики та вироблення енергії пасатом у різних просторових та тимчасових масштабах, у [11] – для сегментації медичних зображень.

Як впливає з наведеного огляду, практичні застосування ланцюгів Маркова численні та різноманітні. Окремі фрагменти представленого досвіду використані під час розробки методології реальних досліджень.

Мета статті – розробка моделей просторово-розподілених Марківських процесів слабоструктурованих завдань управління організаційно-технічних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як матеріал досліджень можуть виступати параметри моделювання просторово-розподілених випадкових процесів, а як використовувані методи – ланцюги Маркова та їх властивості. Марківська властивість виключає можливість повторної реалізації, тобто маємо стаціонарність та ергодичність просторового процесу. Вважатимемо просторовий процес стаціонарним, тобто його закон розподілу інваріантний щодо зсуву, ізотропним, тобто закон розподілу інваріантний щодо повороту, та ергодичним. Отже, середня за всіма можливими реалізаціями дорівнює одному середньому окремої безмежної в просторі реалізацій або середньому на досліджуваній області.

В силу обмеженості обсягу даних важко отримувати надійні статистичні висновки про закон розподілу точкового процесу, тому пропонується ввести в розгляд поведінку досліджуваного процесу описом його властивостей у термінах часу та простору, просторових ймовірнісних закономірностях стохастичних процесів.

Ланцюг Маркова – це спосіб моделювання випадкових подій, що є дискретною послідовністю фаз, кожна з яких розташована в дискретних просторах станів. Зміни стану виробничої системи в ланцюгах Маркова є переходами, а відповідні ймовірності, пов'язані зі змінами станів, ймовірностями переходів.

Методологія побудови моделей просторово-розподілених Марківських процесів у слабоструктурованих задачах управління складними організаційно-технічними системами. Головна ідея ланцюга Маркова полягає в тому, що існує лише один поточний стан і відповідно один перехід в наступний стан. Вибір першого кроку до зміни поточної ситуації управління пов'язаний з кількісною оцінкою та коригуванням одного з визначальних факторів, що призводить до зміщення точки відліку процесу трансформацій управління. Після виконання операцій, пов'язаних з коригуванням наступного фактора, точка відліку знову зміститься у бік скорочення процесу інноваційних трансформацій тощо. Отже, процес зміни положення точки відліку має випадковий характер, що характеризується довільним вибором коригуючого фактора з дискретними тимчасовими характеристиками тривалості першого і наступного кроків та рахунковою множиною станів. Такий процес буде Марківським, тому що наступні стани точки відліку процесу не залежать від попередніх станів. Основна Марківська властивість полягає в тому, що в будь-який момент часу умовний розподіл майбутніх станів із заданими поточним та минулими станами залежить тільки від поточного стану, але не від минулих станів. Таким чином, ланцюг Маркова – це послідовність випадкових подій з кінцевим числом переходів, що реалізується на практиці з дискретним часом і дискретним простором станів.

Кожну подію можна розглядати як точку у просторі. Просторово-точковий процес X у просторі S – це випадкова рахункова підмножина подій, у якій кількість подій та їх місцезнаходження випадковим чином залежать від властивостей процесу.

Точковий образ x – це реалізація точкового процесу, тобто набір подій $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, зафіксованих у досліджуваній області S . Якщо область S обмежена, а реалізація процесу X – кінцева, будемо вважати весь точковий процес кінцевим.

Якщо вважати, що є інформація, яка належить до кожної події, то такий набір подій буде описуватися Марківським точковим чином, що подається у вигляді набору векторів $x_i = \{(X_i, Y_i, t)\}$, які визначають місцезнаходження $x_i = (X_i, Y_i)$ в області спостереження та мітку події t , яка може бути як ординарною, так і скалярною.

Імовірна поведінка просторового точкового процесу описується множиною багатовимірних функцій розподілу наборів випадкових величин $\{N_x(B_1) \dots N_x(B_k)\}$, де $N_x(B)$ – число подій, що породжуються процесом X у локалізації B , яка належить області S , а $B_1 \dots B_k$ – просторова конфігурація.

Повна відсутність просторової структури буде просторовою випадковістю. У теорії часових рядів та теорії обробки сигналів для однорідного незалежного процесу вважається, що ймовірність появи події в будь-якій локалізації області S однакова, а події виникають незалежно одна від одної без взаємодій. Прикладом такої моделі є однорідний Пуассонівський процес.

Відхилення від просторової випадковості може проявлятися у вигляді різних агрегацій, тобто накопичень подій. Агрегації будуть виявлятися в тих галузях простору станів, де інтенсивність процесу буде вищою, що спостерігається, наприклад, під впливом зовнішніх факторів.

Марківські точкові процеси або процеси Гіббса моделюють взаємодії та розміщення подій більш складної, ніж точкової поведінки. У загальному випадку процеси Гіббса в обмеженій ділянці S визначаються через функцію щільності $f(x)$:

$$f(x) = \frac{1}{c} e^{-U(x)}, \quad (1)$$

де $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – будь-яка конфігурація n точок в області S ; U – енергія системи, яка може бути виражена через потенціал просторового розміщення подій x ; c – нормалізуюча константа.

Основним інструментом під час роботи з процесами Гіббса є умовна інтенсивність $\lambda(U, x)$:

$$\lambda(U, x) = \frac{f(x \cup \{u\})}{f(x)}. \quad (2)$$

Для Пуассонівського процесу умовна інтенсивність дорівнює $\lambda(U, x) = \lambda(U)$, тобто вона не залежить від конфігурації.

Вихідний розподіл ймовірностей будь-якого стохастичного процесу:

$$P(x_0 = S) = q_0(S) \forall_{S \in E}, \quad (3)$$

де $\forall$ – квантор загальності; S – дискретні стани; q_0 – розподіл ймовірностей у момент часу $t = 0$.

Множина E є кінцевою кількістю можливих станів:

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}. \quad (4)$$

Область значень випадкової величини $\{x_n\}$ є простором станів, а величина n – номером кроку. Імовірність переходу з одного стану в інший подається у вигляді квадратних матриць:

$$P_{ij}(n) = P(x_{n+1} = j, x_n = i). \quad (5)$$

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} s_1 & s_2 & \dots & s_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (6)$$

Елементи p_{ij} позначають можливість переходу зі стану s_i в наступний.

Матриця перехідних ймовірностей відображає ймовірність того, що стан на момент часу $n+1$ є наступним для інших станів:

$$P(x_{n+1} = s_{n+1} | x_n = s_n) = P(s_n, s_{n+1}) \forall (s_{n+1}, s_n) \leftarrow \quad (7)$$

Ланцюг Маркова буде однорідним, якщо матриця перехідних ймовірностей не залежатиме від номера кроку, тобто:

$$P_{ij}(n) = P_{ij}. \quad (8)$$

Для переходу з початкового стану на наступний необхідно визначити ймовірність цього переходу за n кроків.

Відповідно до рівняння Колмогорова-Чепмена матриця перехідних ймовірностей за n кроків в однорідному ланцюзі Маркова є n -м ступенем матриці перехідних ймовірностей за один крок:

$$P(x_n = s_n | x_0 = s_0) = P^n. \quad (9)$$

Моделі просторово-розподілених Марківських процесів. Стосовно моделей просторово-розподілених Марківських процесів слабоструктурованих завдань управління організаційно-технічними системами призначення ланцюгів Маркова полягає у пошуку такого поєднання характеристик та параметрів моделі, яке б дозволяло забезпечити вдосконалення механізмів ідентифікації та прийняття рішень у візуалізованій формі.

Якщо перехід системи з одного стану в інший відбувається у заздалегідь фіксовані моменти часу при накопиченні відповідного обсягу ресурсів, то маємо Марківський процес з дискретним часом. Якщо перехід можливий у будь-який випадковий час, маємо Марківський процес з безперервним часом.

Якщо множина станів, у яких може бути процес, є рахунковою, тобто ймовірні стани можуть бути пронумеровані, відповідний процес буде дискретним випадковим процесом і число можливих станів буде кінцевим. Для такого процесу характерний стрибкоподібний перехід із одного стану в інший.

Якщо множина станів не може бути пронумерованою, маємо випадковий процес з безперервними станами, для якого характерний плавний перехід із одного стану до іншого. Він задається у вигляді безперервної функції часу.

Настання подій B_i переводить організаційно-технічні об'єкти в один із дискретних станів $S_1, S_2, \dots, S_m$. Потрапляння у будь-який стан сприймається як випадкова подія з дискретним часом.

Кожному поєднанню параметрів приписується певна ймовірність, яка записується у вигляді рядка матриці станів. При цьому сума ймовірностей у рядках матриці дорівнює одиниці. Перебираються усі можливі стани параметрів процесів. Ці ітерації проводять для різних станів зі своїми параметрами та ймовірностями. При цьому забезпечується можливість конструювання стохастичних моделей виробничих систем на основі Марківських випадкових процесів із дискретними станами та дискретним часом. Оскільки процеси трансформаційних перетворень не мають безперервної тимчасової позначки, як час може бути застосована послідовність станів підприємств.

Розподіл ймовірностей при ідентифікації стану організаційно-технічних об'єктів не залежить від часу, а лише від переходів від поточного стану до відповідних ітерацій управління.

Розвиваючи запропоновану методологічну послідовність процесу переходу від початкового стану, створюють необхідну базу управління.

Формалізація дій з оцінки ступеня готовності організаційно-технічних систем до керуючих дій допомагає визначати напрямки розвитку організаційно-технічних об'єктів під час впливу нестабільних впливів факторів зовнішнього середовища [12].

Стан процесу можна інтерпретувати у вигляді орієнтованого графа. Кожен зв'язок має свою ймовірність. Перехід з одного вузла до іншого може пройти через будь-який випадковий проміжок часу. Як аргумент, від якого залежить процес, пропонується розглядати не час t , а номер ітерації, тобто кроку $1, 2, \dots, n$. Випадковий процес в даному випадку характеризуватиметься послідовністю станів.

Якщо відомий вихідний розподіл ймовірностей та матриця перехідних ймовірностей, то повна ймовірна динаміка процесу визначена і її можна обчислити циклічно.

Як практичний приклад побудови оргграфа ланцюга Маркова обрані стани, що відображають управління ресурсами організаційно-технічних систем в умовах невизначеності, пріоритетність розташування параметрів у яких характеризується найбільш значущими характеристиками: фінанси, обладнання, компетентність персоналу, методологія обробки результатів досліджень. Як ребра оргграфа вибрано переходи між цими станами.

Ваги дуг, виражені через емпірично визначені ймовірності, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Поточний стан організаційно-технічної системи

Пріоритетність використання	Параметри	Ваги дуг	Вершини графів
1	Фінансування	0,2	v_1
2	Обладнання	0,6	v_2
3	Компетентність	0,1	v_3
4	Методологія	0,1	v_4

Обравши як основний параметр управління складними організаційно-технічними системами наявність фінансування, наступні стани можна подати у вигляді матриці розміром 4×4 . Значення ймовірностей параметрів оцінки ступеня готовності до управління ресурсами організаційно-технічних систем на різних етапах застосування подані в таблиці 2.

Таблиця 2

Умовні ймовірності процесу управління ресурсами

Поточний стан \ Наступний стан	Фінансування	Обладнання	Компетентність	Методологія
Фінансування	0,2	0,6	0,1	0,1
Обладнання	0,1	0,6	0,1	0,2
Компетентність	0,1	0,7	0,1	0,1
Методологія	0,2	0,1	0,6	0,1

Марківський ланцюг у будь-який момент часу можна характеризувати вектором-рядком C_i матриці перехідних ймовірностей P .

Якщо помножити вектор-рядок, що описує розподіл ймовірностей на початковому вихідному стані, на матрицю перехідних ймовірностей, отримаємо розподіл ймовірностей на наступному стані.

Візуалізація параметра управління складними організаційно-технічними системами за допомогою ланцюгів Маркова в кінцевому просторі станів готовності до управління ресурсами (табл.1) подана на рис. 1.

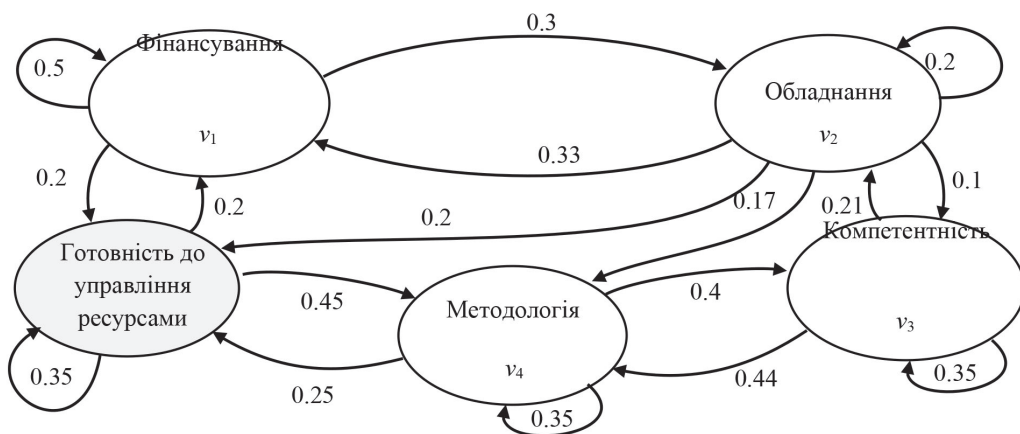


Рис. 1. Візуалізація параметра управління складними організаційно-технічними системами за допомогою ланцюгів Маркова в кінцевому просторі станів готовності до управління ресурсами

Інтегральна оцінка ступеня готовності організаційно-технічних систем до управління ресурсами являє собою поєднання окремих показників у єдиний узагальнений параметр, який характеризує напрямки досягнення максимального прибутку. Так, у прикладі з чотирма вхідними змінними v_i (табл. 1) пріоритетність першого і послідовність наступних кроків може бути змінена. За позицією фінансування v_1 може бути компетентність персоналу v_2 , яка потребує підвищення кваліфікації через курси, семінари, тренінги тощо. Придбання обладнання v_3 – операція, що не вимагає часових витрат, у матриці перехідних ймовірностей, згідно з ранжуванням пріоритетів, може розташовуватися після компетентності персоналу v_2 (рис. 2).

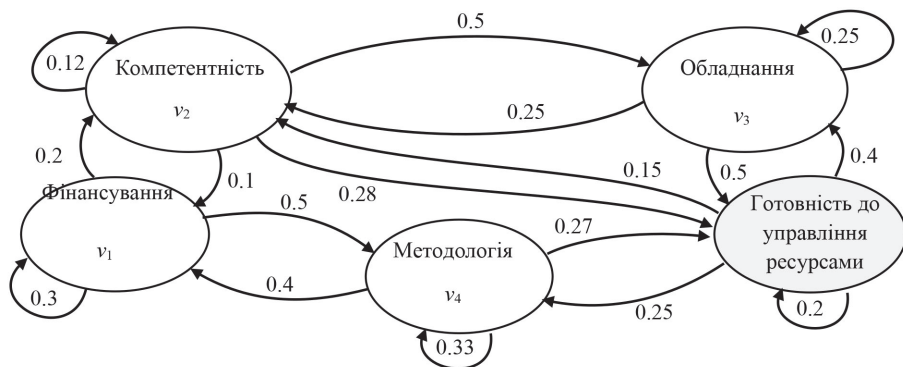


Рис. 2. Комбінаторика побудови ланцюгів Маркова для оцінки ступеня готовності організаційно-технічних систем до управління ресурсами з головною вхідною змінною – компетентність

Інші варіанти побудови ланцюгів Маркова, що реалізують інформаційні ситуації зі зміною пріоритетності складових готовності підприємств до управління ресурсами організаційно-технічних систем наведені на рисунках 3 та 4.

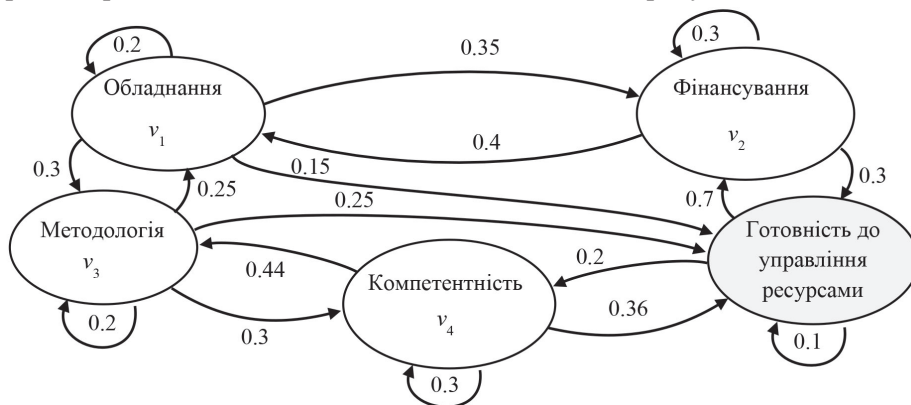


Рис. 3. Комбінаторика побудови ланцюгів Маркова для оцінки ступеня готовності організаційно-технічних систем до управління ресурсами з головною вхідною змінною – обладнання

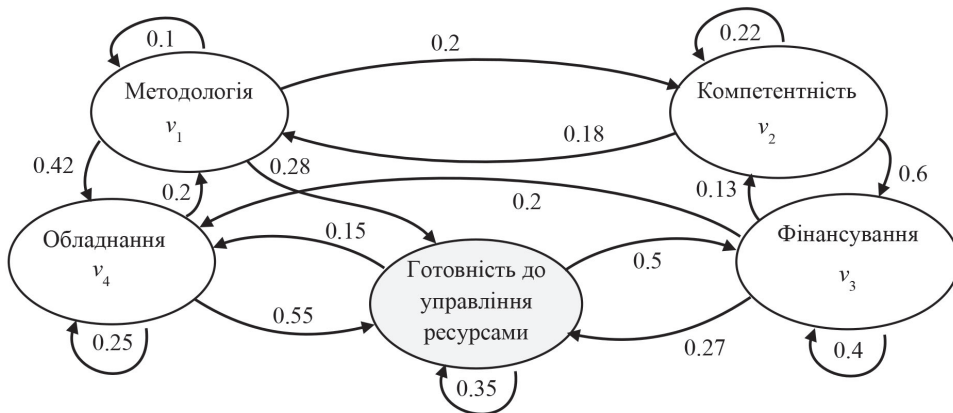


Рис. 4. Комбінаторика побудови ланцюгів Маркова для оцінки ступеня готовності організаційно-технічних систем до управління ресурсами з головною вхідною змінною – методологія

Позначимо ймовірності цих подій:

$$\begin{aligned} P_1(1) &= P(S_1^{(1)}) & P_2(1) &= P(S_2^{(1)}) & P_n(1) &= P(S_n^{(1)}) \\ P_1(2) &= P(S_1^{(2)}) & P_2(2) &= P(S_2^{(2)}) & P_1(2) &= P(S_n^{(2)}) \\ &\dots & & \dots & & \dots \\ P_1(k) &= P(S_1^{(k)}) & P_2(k) &= P(S_2^{(k)}) & P_n(k) &= P(S_n^{(k)}) \end{aligned} \quad (10)$$

Для кожного номера кроку виконується умова:

$$P_1(k) + P_2(k) + \dots + P_n(k) = 1. \quad (11)$$

За результатами обчислень отримуємо:

$$P(1) > P(2) > P(3) > P(4). \quad (12)$$

Перевагою системи оцінки ступеня готовності організаційно-технічних об'єктів до керуючих дій за допомогою ланцюгів Маркова є можливість налаштування системи на будь-яку інформаційну ситуацію.

Висновки. Наведено результати вивчення процесів функціонування організаційно-технічних об'єктів в умовах невизначеності зв'язків та відносин. Розроблено концептуальну модель системи управління організаційно-технічними системами, спрямовану на вдосконалення механізмів діагностики та прийняття рішень на основі використання інструментальних засобів ланцюгів Маркова. Для її практичної реалізації створено імітаційну модель у вигляді орієнтованого графа, в якому вершини є станом процесу, а ребра – переходами між ними. Відмінна риса моделі полягає в тому, що як аргумент, від якого залежить процес функціонування організаційно-технічних систем в умовах динамічних змін, розглядається не час, а послідовність станів та номер кроку з ієрархією інтервалів дискретизації. Гнучкість такої моделі забезпечується адаптивністю до впливів довкілля з можливістю її налаштування на кожну інформаційну ситуацію.

Розроблено інформаційну технологію, яка дозволяє шляхом оперативного формування та оцінювання альтернатив підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності забезпечувати функціональну стійкість розподілених організаційних

об'єктів технічного призначення й, на відміну від існуючих, відрізняється тим, що дозволяє моделювати та регулювати процес прийняття релевантних рішень у реальному часі, що дає можливість контролювати та регулювати вплив показників зовнішнього середовища та підвищувати ефективність процесу прийняття рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шмидт А. В., Чурюкин В. А. Марковские модели экономических систем. Bulletin of the South Ural State University. 2015. Т. 9. № 3. С. 100–105.
2. Чернев В. Б., Чурюкин В. А., Шмидт А. В. Моделирование экономической устойчивости предприятия с помощью цепей Маркова с доходом. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. 2006. № 4. С. 297–300.
3. Ludwig R., Pouymayou B., Balermipas P. et al. A hidden Markov model for lymphatic tumor progression in the head and neck, 2011. *Sci Rep* 11, 12261. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91544-1>.
4. Панарина Д. В. Устройство разрывных цепей Маркова в экономике. *Вестник Тюменского государственного нефтегазового университета*. 2015. № 11–2 (64). С. 79–82.
5. Obhiambo J., Weke P., Ngare P. Modeling Kenyan Economic Impact of Corona Virus in Kenya Using Discrete Time Markov Chains. *Journal of Finance and Economics*. 2020. V. 8. No 2. Pp. 80–85.
6. Khmaladze E. V. Testing hypothesis on transition distributions of a Markov sequence. *Journal of Statistical Planning and Inference*. 2021. V. 215. Pp. 72–84.
7. Haque S., Mengersen K., Stern S. Assessing the accuracy of record linkages with Markov chain based Monte Carlo simulation approach. *J Big Data* 8, 8, 2021. doi: <https://doi.org/10.1186/s40537-020-00394-7>.
8. Sharko M., Gusarina N., Petrushenko N. Information-entropy model of making management decisions in the economic development of the enterprises. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Pp. 304–314. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1>.
9. Wang L., Laird-Fick H. S., Parker C. J. et al. Using Markov chain model to evaluate medical students' trajectory on progress tests and predict USMLE step 1 scores---a retrospective cohort study in one medical school, 2001. *BMC Med Educ* 21, 200. doi: <https://doi.org/10.1186/s12909-021-02633-8>.
10. Zhao Y. et al. Spatio-temporal Markov chain model for very-short-term wind power forecasting. *The Journal of Engineering*. 2019. № 18. Pp. 5018–5022.
11. Huang Q. et al. A Chan-Vese model based on the Markov chain for unsupervised medical image segmentation. *Tsinghua Science and Technology*. 2021. V. 26. № 6. Pp. 833–844.
12. Sharko M., Shpak N., Gonchar O., Vorobyova K., Lepokhina O., Burenko J. Methodological Basis of Causal Forecasting of the Economic Systems Development Management Processes Under the Uncertainty Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020. Pp. 423–437. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3>.

REFERENCES

1. Shmidt, A.V., & Churjukin, V. A. (2015). Markovskie modeli jekonomicheskikh sistem Bulletin of the South Ural State University, T. 9, 3, 100–105 (in Russian).

2. Chernev, V. B., Churjukin, V. A., & Shmidt, A. V. (2006). Modelirovanie jekonomicheskoy ustojchivost' predpriyatiya s pomoshh'yu cepej Markova s dohodom. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 4, 297–300 (in Russian).
3. Ludwig, R., Pouymayou, B., & Balermipas, P. et al. (2011). A hidden Markov model for lymphatic tumor progression in the head and neck, *Sci Rep* 11, 12261. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91544-1> (in English).
4. Panarina, D. V. (2015). Ustrojstvo razryvnyh cepej Markova v jekonomike. *Vesnik Tjumenskogo gosudarstvennogo neftegazovogo universiteta*, 11-2 (64) 79–82 (in Russian).
5. Obhiambo, J., Weke, P., & Ngare, P. (2020). Modeling Kenyan Economic Impact of Corona Virus in Kenya Using Dicreate Time Markov Chains. *Journal of Finance and Economics*, 8, 2, 80–85 (in English).
6. Khmaladze, E. V. (2021). Testing hypothesis on transition distributions of a Markov sequence. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 215, 72–84 (in English).
7. Haque, S., Mengersen, K., & Stern, S. (2021). Assessing the accuracy of record linkages with Markov chain based Monte Carlo simulation approach. *J Big Data* 8, 8. doi: <https://doi.org/10.1186/s40537-020-00394-7> (in English).
8. Sharko, M., Gusarina, N., & Petrushenko, N. (2019). Information-entropy model of making management decisions in the economic development of the enterprises. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 304–314. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1> (in English).
9. Wang, L., Laird-Fick, H. S., & Parker, C. J. et al. Using Markov chain model to evaluate medical students' trajectory on progress tests and predict USMLE step 1 scores---a retrospective cohort study in one medical school, 2001. *BMC Med Educ* 21, 200. doi: <https://doi.org/10.1186/s12909-021-02633-8> (in English).
10. Zhao, Y. et al. (2019). Spatio-temporal Markov chain model for very-short-term wind power forecasting. *The Journal of Engineering*, 18, 5018–5022 (in English).
11. Huang, Q. et al. (2021). A chan-vese model based on the Markov chain for unsupervised medical image segmentation. *Tsinghua Science and Technology*, 26, 6, 833–844 (in English).
12. Sharko, M., Shpak, N., Gonchar, O., Vorobyova, K., Lepokhina, O., & Burenko, J. (2020). Methodological Basis of Causal Forecasting of the Economic Systems Development Management Processes Under the Uncertainty Advances in Intelligent Systems and Computing 423–437. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3> (in English).

doi: 10.32403/0554-4866-2021-2-82-128-140

MODELS OF SPATIALLY DISTRIBUTED MARKOV'S PROCESSES IN WEAKLY STRUCTURED TASKS OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS MANAGEMENT

O. Sharko¹, N. Petrushenko², B. Durnyak², S. Babichev³

¹*Kherson State Maritime Academy,
20, Ushakova ave., Kherson, 73009, Ukraine*

²*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
natalia.velikaya@gmail.com, durnyak@uad.lviv.ua*

³*Kherson State University,
27, University St., Kherson, 73000, Ukraine
sbabichev@ksu.ks.ua*

Any activity of organizational and technical facilities is carried out not only in conditions of risk, but also in conditions of uncertainty, which is due to the globalization of processes, the complexity of interactions between actors and the impact of the environment. The effectiveness of decisions directly depends on how well-founded goals are and how they are solved in the dynamics of changes in events related to their structuring and division of functions. The results of studying the processes of functioning of organizational and technical objects in the conditions of uncertainty of connections and relations are presented. The purpose of Markov chains is to find a combination of characteristics and parameters of the model, which would improve the mechanisms of identification and decision-making in a visualized form. It is determined that since the processes of transformations do not have a continuous time stamp, the sequence of states of enterprises can be used as time. A simulation model of adaptability to environmental influences with a hierarchy of sampling intervals is constructed, in which the method of constructing Markov chains is extended to the class of poorly structured control problems of complex organizational and technical systems by aggregation of accumulated events with discrete states and discrete time. The information technology that allows for the rapid formation and evaluation of alternatives to support decision-making in conditions of uncertainty to ensure the functional stability of distributed organizational facilities for technical purposes is developed. The advantage of the system for assessing the degree of readiness of organizational and technical facilities for management actions with the help of Markov chains is the ability to configure the system for any information situation. As a practical example of constructing a digraph of the Markov chain, states are selected that reflect the management of organizational and technical systems in conditions of uncertainty, the priority of the location of parameters characterized by the most important characteristics: finance, equipment, staff competence, research methodology.

Keywords: *Markov chains, management, poorly structured tasks, organizational and technical objects, risks, uncertainty, spatially distributed processes.*

Стаття надійшла до редакції 14.09.2021.

Received 14.09.2021.