

УДК 62.50

DOI: 10.20535/1810-0546.2016.5.67264

В.Д. Романенко, Ю.Л. Мілявський

НТУУ "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

## КОГНІТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ НЕСТІЙКИХ РЕЖИМІВ У СОЦІАЛЬНО-НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ СТУДЕНТА

**Background.** The paper considers social-educational process of high school student. It allows for cognitive map representation with unstable impulse transient process which is subject of research in given paper.

**Objective.** To build student's cognitive map and to stabilize unstable impulse process in social-educational process described by it.

**Methods.** Firstly, interrelations among main concepts of subject domain were set by experts. Cognitive map was built based on this. Then stabilization algorithm for this cognitive map's impulse process by means of direct system resources varying was developed using modal control method from automatic control theory.

**Results.** Simulation confirmed that it is possible to quickly stabilize student's impulse social-educational process based on the proposed strategy. Here vertices coordinates are set at practically satisfactory values.

**Conclusions.** Research provided in the paper allowed finding decision-making method to stabilize dynamic system which describes student's social-educational process.

**Keywords:** cognitive map; modal control; impulse process stabilization.

### Вступ

У наш час когнітивне моделювання широко застосовується для розв'язання різноманітних соціальних, політичних, економічних та інших задач, у яких необхідно враховувати складні взаємозв'язки між численними об'єктами та факторами [1–6]. В його основі лежить поняття когнітивної карти (КК), яка є орієнтованим графом, де вершини репрезентують фактори, концепти, а ребра – взаємозв'язки між ними. Особливо важливим є питання дослідження динаміки перехідного (імпульсного) процесу в системі, що представлена за допомогою КК. Для опису цієї динаміки найчастіше застосовують різницеве рівняння першого порядку в приростах змінних [1]. На його основі можна не тільки описувати та прогнозувати динаміку системи, описуваної КК, а й здійснювати керування цією системою на основі методів теорії автоматичного керування. Відповідні методи керування розроблялись авторами у [7–9]. З їх допомогою виникає можливість управляти такими системами, які раніше не підлягали управлінню, зокрема соціальними, психологічними, політичними системами.

У цій роботі розглядається приклад управління однією з таких систем, а саме соціально-навчальним процесом студента. На сьогодні невідомо жодних праць, у яких би розглядалось управління такою або подібною системою на основі методів теорії керування.

### Постановка задачі

Необхідно розглянути КК соціально-навчального процесу студента, дослідити його динаміку в нестійкому імпульсному режимі, продемонструвати можливість застосування методів модального керування для його стабілізації та проаналізувати практичну реалізацію алгоритму керування в житті студента.

### Когнітивна карта соціально-навчального процесу студента

Соціально-навчальний процес студента – це складна динамічна система, яка включає в себе багато факторів, що взаємодіють між собою та змінюються в часі. Це пов'язано з тим, що, крім навчання, студент, як правило, має родину, роботу (особливо на старших курсах), хобі тощо. У той же час часові, фізичні, матеріальні та інтелектуальні ресурси студента обмежені, і тому, наприклад, збільшення часу, що виділяється студентом на роботу, призводить до зменшення часу, що виділяється на навчання. Це своєю чергою призводить до зниження успіхів у навчанні, що згодом може призвести і до зниження успіхів у роботі і т.д. Таким чином, навіть у першому наближенні, для опису життя студента потрібно застосувати модель, яка б враховувала численні взаємозв'язки між окремими факторами як у статистиці, так і в динаміці. КК найкраще підходить на цю роль.

Запропонуємо такі вершини КК, які, на нашу думку, є найважливішими для моделювання соціально-навчального процесу студента:

- 1) час, витрачений на навчання;
- 2) успіхи в навчанні;
- 3) час, витрачений на роботу;
- 4) успіхи в роботі;
- 5) гроші, отримані за роботу;
- 6) рівень здоров'я (час та фінансування на підтримку здоров'я);
- 7) сімейне благополуччя (бюджет родини);
- 8) хобі (час та гроші на відпочинок та розваги).

У когнітивному моделюванні прийнято зводити всі координати вершин КК, що відображають фактори різної фізичної природи, до єдиної шкали. Дійсно, оскільки буде будуватись зважений орієнтований граф, експерти не зможуть коректно виставити ваги ребер між вершинами, якщо вони вимірюватимуться в різних одиницях – годинах, гривнях, балах за навчання тощо. Тому пропонується запровадити десятибальну шкалу для вимірювання усіх вершин КК, де 0 балів – відсутність певного фактора (не виділяється час на навчання, немає грошей за роботу тощо), а 10 – максимальний можливий рівень цього фактора (лише відмінні оцінки за навчання, весь денний час виділяється на роботу тощо). Очевидно, що при встановленні значення фактора на цій шкалі виникає певний суб'єктивізм, який, утім, не заважає моделювати та керувати поведінкою системи в цілому, оскільки головною метою когнітивного моделювання є не отримання точних числових значень, а виявлення тенденцій.

Експертним шляхом було виявлено такі логічні взаємозв'язки між вершинами цієї КК.

1. Зростання успіхів у навчанні та збільшення часу, витраченого на роботу та на хобі, ведуть до певного зменшення часу, витраченого на навчання; зростання сімейного благополуччя збільшує час на навчання.

2. Збільшення часу на навчання та покращення здоров'я підвищують успіхи в навчанні; збільшення часу, витраченого на роботу, знижує успіхи в навчанні; крім того, успіхи в навчанні мають тенденцію до збереження попередньої динаміки (продовжують зростати при попередньому зростанні та спадати при попередньому спаданні).

3. Збільшення часу, витраченого на навчання, та зростання сімейного благополуччя можуть скорочувати час, витрачений на роботу.

4. Збільшення часу та успіхів у навчанні, часу, витраченого на роботу, та поліпшення здоров'я підвищують успіхи в роботі; зростання часу, витраченого на хобі, знижує успіхи в роботі; крім того, успіхи в роботі мають тенденцію до збереження попередньої динаміки.

5. Підвищення успіхів у роботі веде до збільшення кількості грошей, отриманих за роботу.

6. Збільшення часу, витраченого на роботу та навчання, веде до зменшення часу, що виділяється на підтримку здоров'я; збільшення часу, що виділяється на відпочинок, може сприяти покращенню здоров'я; збільшення кількості грошей, отриманих за роботу, може приводити до покращення фінансування на підтримку здоров'я; стан здоров'я також має тенденцію до збереження попередньої динаміки.

7. Зростання суми грошей, отриманої за роботу, сприяє зростанню сімейного благополуччя, яке до того ж також має тенденцію до збереження попередньої динаміки.

8. Збільшення часу, що виділяється на навчання і роботу, веде до зменшення часу на хобі; зростання кількості грошей, отриманих за роботу, підвищує можливості виділення грошей на хобі та відпочинок.

Для моделювання було побудовано КК у вигляді зваженого графа (рис. 1), на якому ваги ребер чисельно відображають ступінь важливості цих взаємозв'язків.

Імпульсний процес у системі, що зображається цією КК, має динаміку, що описується згідно з [1] рівнянням

$$\Delta \bar{Y}(k+1) = A \Delta \bar{Y}(k) \quad (1)$$

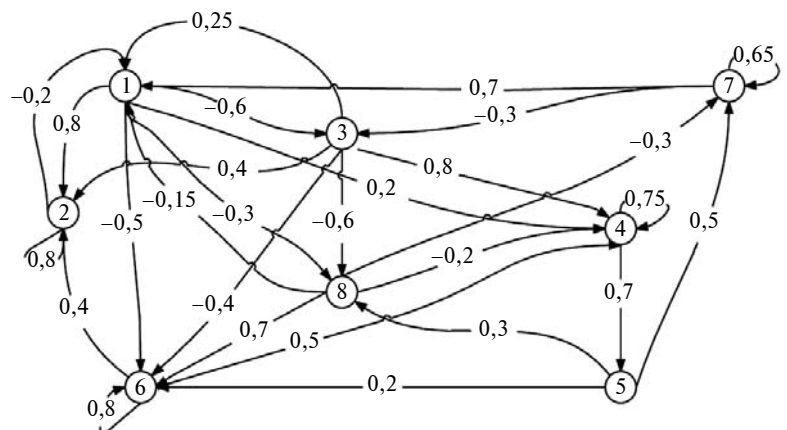


Рис. 1. КК студента

або

$$\begin{pmatrix} \Delta Y_1(k+1) \\ \Delta Y_2(k+1) \\ \Delta Y_3(k+1) \\ \Delta Y_4(k+1) \\ \Delta Y_5(k+1) \\ \Delta Y_6(k+1) \\ \Delta Y_7(k+1) \\ \Delta Y_8(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -0,2 & -0,25 & 0 \\ 0,8 & 0,8 & -0,4 & 0 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0 \\ 0,2 & 0 & 0,8 & 0,75 \\ 0 & 0 & 0 & 0,7 \\ -0,5 & 0 & -0,4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0,3 & 0 & -0,6 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0,7 & -0,15 \\ 0 & 0,4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,3 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 & -0,3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,2 & 0,8 & 0 & 0,7 \\ 0,5 & 0 & 0,65 & -0,3 \\ 0,3 & 0 & 0,4 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta Y_1(k) \\ \Delta Y_2(k) \\ \Delta Y_3(k) \\ \Delta Y_4(k) \\ \Delta Y_5(k) \\ \Delta Y_6(k) \\ \Delta Y_7(k) \\ \Delta Y_8(k) \end{pmatrix},$$

де  $\Delta \bar{Y}(k) = \bar{Y}(k) - \bar{Y}(k-1)$ ,  $A$  – вагова матриця суміжності КК.

Нескладно перевірити, що система є нестійкою, тому що серед власних чисел матриці  $A$  є за модулем більші за одиницю. А саме, власні числа системи дорівнюють  $1,15$ ;  $0,84 \pm 0,52i$ ;  $0,18 \pm 0,56i$ ;  $-0,48$ ;  $-0,19$ ;  $0,44$ . Це означає, що після будь-якого, навіть незначного, зовнішнього збурення, коли система перейде в режим імпульсного процесу, якщо не здійснювати ніяких додаткових дій, стан студента почне різко змінюватись по всіх “координатах” одночасно, що може призвести до вкрай негативних наслідків. Це можна спостерігати на прикладі студентів, у яких після тривалого усталеного стану раптово починаються проблеми у навчанні, роботі, сім’ї тощо.

#### Алгоритм стабілізації нестійких режимів у соціально-навчальному процесі студента на основі методу модального керування

Розглянемо, яким чином методи теорії автоматичного керування [10], спільно з методикою когнітивного моделювання, можуть бути застосовані для стабілізації нестійкого імпульсного процесу студента, описуваного різницеvim рівнянням (1).

Спочатку виділимо вершини, на які можна впливати безпосередньо через варіювання відповідними ресурсами. У цьому випадку це вершини “1 – час, витрачений на навчання”, “3 – час, витрачений на роботу”, “6 – рівень здо-

ров’я (час та фінансування на підтримку здоров’я)”, “8 – хобі (час та гроші на відпочинок та розваги)”. Студент як особа, що приймає рішення, може варіювати цими ресурсами (в розумних межах). Таким чином, алгоритм керування, який буде розроблено, можна трактувати як інструкцію з використання цих ресурсів таким чином, щоб стабілізувати нестійкий соціально-навчальний імпульсний процес у житті студента.

Алгоритм побудови закону керування матиме тоді такий вигляд [6].

1. Сформувати матрицю керування  $B$  відповідно до вибраних керованих вершин розмірності  $m \times n$ , де  $m=4$  – кількість керувань,  $n=8$  – кількість вершин. Таким чином, керована система описуватиметься рівнянням

$$\Delta \bar{Y}(k+1) = A \Delta \bar{Y}(k) + B \Delta \bar{U}(k), \quad (2)$$

де

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

2. Вибрати бажаний спектр (власні числа) стійкої замкненої системи, тобто  $n=8$  чисел, за модулем менших за одиницю. Для простоти поставимо такі обмеження: ці числа мають бути дійсними, попарно різними та не збігатись із жодним із власних чисел матриці  $A$  в рівнянні (1). Наприклад, у такому разі було вибрано вектор  $(0,25 \ 0,55 \ 0,3 \ 0,2 \ 0,1 \ 0,35 \ 0,7 \ 0,6)$ .

3. Задати матрицю  $P$  розмірності  $m \times n$  ( $4 \times 8$ ) що має повний ранг і не має нульових стовпчиків, наприклад:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

4. Знайти матрицю  $R$  як набір з  $n=8$  стовпчиків:  $\bar{R}_j = (A - \lambda_j I)^{-1} B P_j$ ,  $j=1, \dots, n$ , де  $\lambda_j$  – власні числа з п. 2,  $\bar{P}_j$  – стовпчики матриці  $P$  з п. 3. Вектори  $\bar{R}_j$  – це власні вектори матриці стану замкненої системи  $A - BK$ . У цьому прикладі маємо

$$R = \begin{pmatrix} 2,03 & -0,93 & 4,11 & 3,12 \\ -2,25 & 7,07 & -10,26 & -6,24 \\ 0,21 & 1,00 & -2,68 & -1,90 \\ 0,62 & -0,39 & 0,57 & 0,37 \\ 1,73 & -0,50 & 1,33 & 1,30 \\ -0,76 & -1,56 & 1,92 & 1,22 \\ -0,91 & 0,04 & -2,20 & -1,63 \\ 1,67 & -0,83 & -0,35 & -0,28 \end{pmatrix} \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{pmatrix} 2,71 & -0,78 & 0,64 & 0,85 \\ -4,55 & 3,02 & -4,34 & -3,34 \\ -1,58 & 0,80 & -0,19 & -0,06 \\ 0,21 & -0,38 & -0,59 & 0,38 \\ 1,50 & -0,76 & -0,59 & 0,44 \\ 0,96 & -1,05 & -0,40 & -0,08 \\ -1,55 & 0,62 & -0,84 & -1,58 \\ -0,36 & -0,64 & -0,85 & 0,47 \end{pmatrix}.$$

5. Обчислити матрицю зворотного зв'язку  $K = PR^{-1}$ . У цьому прикладі отримуємо

$$K = \begin{pmatrix} 11,04 & 1,77 & 17,76 & -10,11 \\ -8,39 & -1,30 & -14,39 & 8,51 \\ 4,53 & 0,53 & 7,36 & -3,38 \\ -6,33 & -1,04 & -9,44 & 7,18 \\ -6,63 & 15,12 & -3,19 & 3,09 \\ 5,32 & -12,66 & 2,22 & -2,37 \\ -2,41 & 5,33 & -0,68 & 0,10 \\ 3,76 & -8,96 & 1,15 & -1,93 \end{pmatrix}.$$

6. На кожному періоді дискретизації здійснювати керування за законом синтезованого регулятора стану:

$$\Delta \bar{U}(k) = -K \Delta \bar{Y}(k). \quad (3)$$

Цифрове моделювання, проведене на основі алгоритму 1–6, продемонструвало ефективність запропонованого методу для стабілізації нестійкого імпульсного соціально-навчального процесу студента (рис. 2, 3). Початковий імпульс полягав у зменшенні координати вершини “2 – Успіхи в навчанні” з 5 до 4. У результаті керування за законом (3) досягнуто стабілізації, причому в цьому випадку успіхи в навчанні зрештою зросли (як і час, витрачений на навчання), час, витрачений на роботу, скоротився (при дуже незначному зниженні успіхів та кількості грошей), здоров'я та сімейне благополуччя покращились, і лише час та ресурси на хобі довелося зменшити.

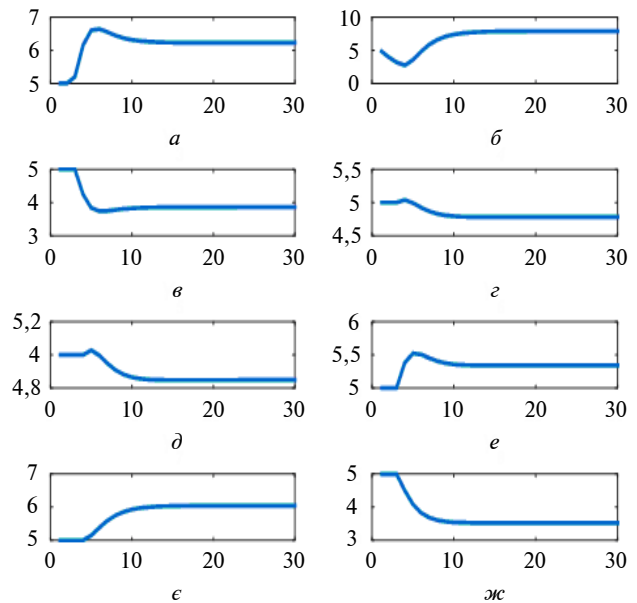


Рис. 2. Результати моделювання координат вершин КК студента: а –  $Y_1$ ; б –  $Y_2$ ; в –  $Y_3$ ; г –  $Y_4$ ; д –  $Y_5$ ; е –  $Y_6$ ; є –  $Y_7$ ; жс –  $Y_8$

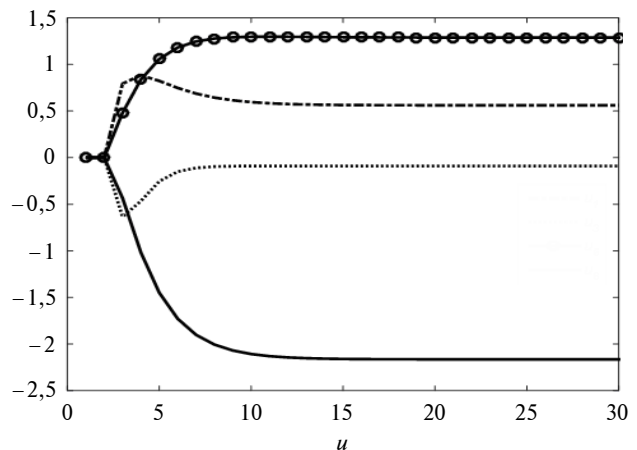


Рис. 3. Керування для стабілізації КК студента: ---- –  $u_1$ ; ..... –  $u_3$ ; —●— –  $u_6$ ; — –  $u_8$ ;

### Висновки

У роботі побудовано КК соціально-навчального процесу студента, за допомогою якої описано взаємозв'язки між різними компонентами, що формують соціальне життя студента. За допомогою методу модального керування з декількома керуючими сигналами вдалося стабілізувати нестійкий імпульсний процес системи, описуваної цією КК, через безпосереднє варіювання її ресурсами. У подальшому планується розробляти інші методи керування імпульсними процесами КК, а також застосовувати ці методи до реальних соціальних і економічних систем.

## Список літератури

1. Roberts F. *Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological, and Environmental Problems*. – Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1976. – 559 p.
2. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем. Когнитивный подход. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.
3. Aguilar J. A Survey about fuzzy cognitive maps papers // *Int. J. Computational Cognition*. – 2005. – 3, № 2. – P. 27–33.
4. Когнитивный подход в управлении / З.К. Авдеева, С.В. Коврига, Д.И. Макаренко, В.И. Максимов // *Проблемы управления*. – 2002. – № 3. – С. 2–8.
5. Li Chun-Mei. Using fuzzy cognitive map for system control // *WSEAS Trans. Syst.* – 2008. – 12, № 7. – P. 1504–1515.
6. Temporal fuzzy cognitive maps / Haoming Zhong, Chunyan Miao, Zhiqi Shen, Yuhong Feng // *IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems*. – 2008. – P. 1831–1840.
7. Романенко В.Д., Мильявский Ю.Л. Обеспечение устойчивости импульсных процессов в когнитивных картах на основе моделей в пространстве состояний // *Системні дослідження та інформ. технології*. – 2014. – № 1. – С. 26–42.
8. Романенко В.Д., Мильявський Ю.Л. Методи керування імпульсними процесами когнітивних карт із запізненнями // *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*. 2015. – № 5. – С. 57–63.
9. Романенко В.Д., Мильявский Ю.Л. Стабилизация импульсных процессов в когнитивных картах сложных систем на основе модальных регуляторов состояния // *Кибернетика и вычислительная техника*. – 2015. – Вып. 179. – С. 43–55.
10. *Методы классической и современной теории автоматического управления*. У 3 т. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – Т. 2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – 736 с.

## References

1. F. Roberts, *Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological, and Environmental Problems*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1976.
2. G. Gorelova et al., *Research of Semi-Structured Problems in Socio-Economic Systems. Cognitive Approach*. Rostov-on-Don, Russia: Rostov State University Publ., 2006 (in Russian).
3. J. Aguilar, "A survey about fuzzy cognitive maps papers", *Int. J. Computational Cognition*, vol. 3, no. 2. pp. 27–33, 2005.
4. Z.K. Avdeeva et al., "Cognitive approach in control", *Problemy Upravleniya*, no. 3, pp. 2–8, 2002 (in Russian).
5. Li Chun-Mei, "Using fuzzy cognitive map for system control", *WSEAS Trans. Syst.*, vol. 12, no. 7, pp. 1504–1515, 2008.
6. Haoming Zhong et al., "Temporal fuzzy cognitive maps", *IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems*, pp. 1831–1840, 2008.
7. V. Romanenko and Y. Milyavskiy, "Stabilizing of impulse processes in cognitive maps based on state-space models", *Systemni Doslidzhennya ta Informatsiyi Technologiyi*, no. 1, pp. 26–42, 2014 (in Russian).
8. V. Romanenko and Y. Milyavskiy, "Methods of impulse processes control for cognitive maps with delays", *Naukovi Visti NTUU KPI*, no. 5, pp. 57–63, 2015 (in Ukrainian).
9. V. Romanenko and Y. Milyavskiy, "Impulse processes stabilisation in cognitive maps of complex systems based on modal state controllers", *Cybernetika i Vychislitel'naya Tekhnika*, no. 179, pp. 43–55, 2015 (in Russian).
10. N. Yegupov et al., *Methods of Classic and Modern Automatic Control Theory*, vol. 2, *Controllers Design and Optimization Theory of Automated Control Systems*. Moscow, Russia: MSTU Publ., 2000 (in Russian).

В.Д. Романенко, Ю.Л. Мильявський

КОГНІТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ НЕСТІЙКИХ РЕЖИМІВ У СОЦІАЛЬНО-НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ СТУДЕНТА

**Проблематика.** У роботі розглядається соціально-навчальний процес студента вищого навчального закладу. При цьому він допускає представлення у формі когнітивної карти, нестійкий імпульсний перехідний процес якої є предметом дослідження у статті.

**Мета дослідження.** Побудова когнітивної карти студента і стабілізація нестійкого імпульсного процесу в описуваному нею соціально-навчальному процесі студента.

**Методика реалізації.** Спочатку експертним шляхом встановлено взаємозв'язки між основними поняттями предметної області, на основі чого побудовано когнітивну карту. Потім за допомогою методу модального керування з теорії автоматичного керування було розроблено алгоритм стабілізації імпульсного процесу цієї когнітивної карти через безпосереднє варіювання ресурсами системи.

**Результати дослідження.** Моделювання підтвердило, що за допомогою запропонованої методики можна швидко стабілізувати імпульсний соціально-навчальний процес студента. При цьому значення, на яких встановлюються координати вершин когнітивної карти, є задовільними з практичної точки зору.

**Висновки.** Проведені дослідження дали змогу знайти метод прийняття рішень для стабілізації динамічної системи, що описує соціально-навчальний процес студента.

**Ключові слова:** когнітивна карта; модальне керування; стабілізація імпульсного процесу.

В.Д. Романенко, Ю.Л. Милявский

#### КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НЕУСТОЙЧИВЫХ РЕЖИМОВ В СОЦИАЛЬНО-УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ СТУДЕНТА

**Проблематика.** В работе рассматривается социально-учебный процесс студента высшего учебного заведения. При этом он допускает представление в форме когнитивной карты, неустойчивый импульсный переходный процесс которой является предметом исследования в статье.

**Цель исследования.** Построение когнитивной карты студента и стабилизация неустойчивого импульсного процесса в описываемом ею социально-учебном процессе студента.

**Методика реализации.** Сначала экспертным путем установлены взаимосвязи между основными понятиями предметной области, на основе чего построена когнитивная карта. Затем с помощью метода модального управления из теории автоматического управления был разработан алгоритм стабилизации импульсного процесса этой когнитивной карты путем непосредственного варьирования ресурсами системы.

**Результаты исследования.** Моделирование подтвердило, что с помощью предложенной методики можно быстро стабилизировать импульсный социально-учебный процесс студента. При этом значения, на которых устанавливаются координаты вершин когнитивной карты, являются удовлетворительными с практической точки зрения.

**Выводы.** Проведенные в статье исследования позволили найти способ принятия решений для стабилизации динамической системы, описывающей социально-учебный процесс студента.

**Ключевые слова:** когнитивная карта; модальное управление; стабилизация импульсного процесса.

Рекомендована Радою  
Навчально-наукового комплексу  
“Інститут прикладного системного  
аналізу” НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського”

Надійшла до редакції  
26 лютого 2016 року