

Обчислювальна технологія моделювання процесу навчання

БАЙБУЗ О.Г., КУЗЬМА К.Т.

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

Представлено стохастичну модель управління процесом навчання, засновану на марківських процесах, та запропоновано обчислювальну технологію опису процесу управління знаннями, розроблену на основі рішення системи диференціальних рівнянь, сформованих за допомогою рівнянь Колмогорова-Чемпена, з коефіцієнтами, які залежать від часу.

Представлена стохастическая модель управления процессом обучения, основанная на марковских процессах и предложена вычислительная технология описания процесса управления знаниями, разработанная на основании решения системы дифференциальных уравнений, сформированных с помощью уравнений Колмогорова-Чемпена, с коэффициентами, которые зависят от времени.

A stochastic case a teaching process frame is presented, based on Markov processes and calculable technology of description of process of management knowledges is offered, developed on the basis of decision of the system of differential equalizations, formed by equalizations of Kolmogorova- Chempena, with coefficients which depend on time.

Постановка проблеми. Головною діяльністю вищих навчальних закладах є власне навчальна діяльність, якій властиві такі задачі підтримки прийняття рішень як: вивчення поточного стану навчального процесу; прогнозування стану знань студента і групи; оптимізація управління навчальним процесом. Рішення даних задач можливе за рахунок розробки й використання методів і моделей оцінки, аналізу та прогнозу рівня підготовки студентів.

Враховуючи те, що на сьогоднішній день об'єм інформації збільшується в декілька раз швидше, ніж студент встигає завершити черговий етап навчання, необхідно при управлінні навчальним процесом в вищих закладах освіти приділяти особливу увагу дослідженню поточного стану навчального процесу і його прогнозуванню, включаючи екзаменаційну сесію (підсумкова атестація) і всі проміжні етапи контролю (атестація модулів, моніторинг).

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, та постановка задачі. Задачу моделювання процесу навчання в сучасних дослідженнях відносять або до стохастичних процесів, які можна розглядати як марківські [1-7], або до графово-мережних моделей [8-10], або до задач нечіткої оптимізації [11-14](рис.1).

Проведений аналіз показав, що недоліком стохастичного підходу є те, що розглядаючи процес навчання як випадковий, вважають можливим лише переходи в сусідні стани навченості, які можуть залежати від часу. Процес отримання знань дійсно можна розглядати як послідовний процес підвищення рівня навченості, але процес втрати знань не є послідовним. Тому модель управління знаннями повинна передбачати можливість переходу не тільки в сусідні, а й в несуміжні стани.

Крім того, інтенсивності забування та відновлення знань в досліджуваних аналітичних та стохастичних моделях розглядаються як сталі величини. В загальному випадку інтенсивності переходів між станами не є сталими.

Недоліком графово-мережних методів моделювання процесу навчання є те, що вони не дозволяють кількісно проаналізувати динаміку процесів навчання, тобто визначити необхідну кількість навчальної інформації, що передається на кожному етапі навчання

об'єкту навчання (в залежності від його характеристик) для того, щоб процес навчання був найбільш ефективним (заданий рівень навчання було досягнуто за мінімальну кількість кроків). Крім того, графові та мережні методи обмежені можливостями побудови на площині і в тривимірному просторі, тому втрачають наочність при ускладненні моделі.

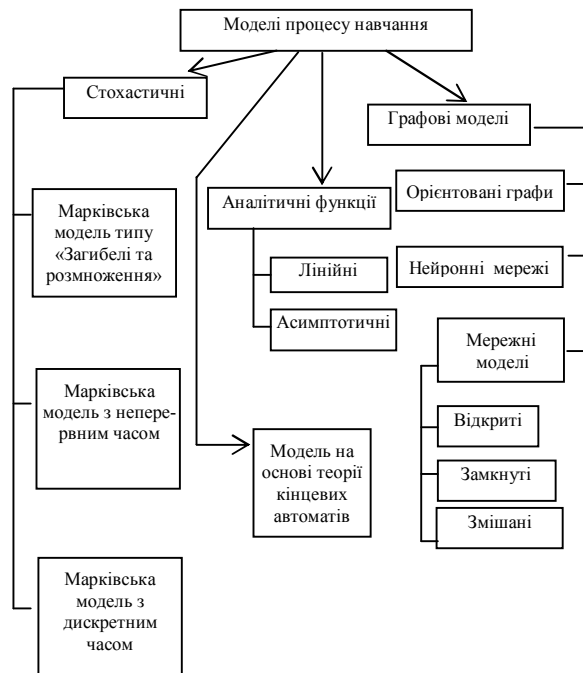


Рис. 1. Класифікаційна схема моделей процесу навчання

Питання моделювання процесу навчання з метою прогнозування рівня засвоєння та забування навчального матеріалу, визначення необхідного рівня навчання, для того щоб процес навчання був найбільш ефективним є малодослідженими та дискусійними.

Виклад основного матеріалу дослідження. При моделюванні процесу отримання знань пропонується розглядати 4 стани навченості, які відповідають рівням

засвоєння матеріалу дисципліни (курсу): 0 - початковий рівень знань (F,FX – для системи ECTS або «незадовільно» для п'ятибальної системи оцінки знань); 1 – середній рівень (D,E або «задовільно»); 2 – достатній рівень (B,C або «добре»); 3 – високий рівень (A або «відмінно»). В зв'язку з тим, що процес переходу з одного рівня управління до іншого (з більш низького рівня засвоєння знань на більш високий) має характер агрегування в сторону верхніх рівнів, модель передбачає поетапне послідовне підвищення рівня засвоєння навчальної інформації.

Об'єктом моделювання процесу навчання є результат навчання, який доцільно отримувати за допомогою комп'ютерного тестування. Процедура комп'ютерного тестування призначена для обробки даних педагогічного тестування є базовою в системі підтримки прийняття рішень при управлінні навчальним процесом.

Дані про рівень знань студентів представляються у вигляді масиву результатів навчання:

$$\{x_{ij}^{(k)}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}\},$$

де n - кількість студентів; m - момент часу дослідження; $x_{ij}^{(k)}$ - бал i -го студента в j -й момент часу для k -ї дисципліни.

Для дослідження зміни рівня знань у часі пропонується застосувати систему, яка заснована на марківській моделі з кінцевою кількістю станів та інтенсивностями збереження і відновлення знань, які залежать від часу.

Дана система визначається: кінцевим графом станів у просторі; інтенсивностями переходів між станами; початковими умовами.

Граф можливих переходів між станами навчання подано на рис. 2.

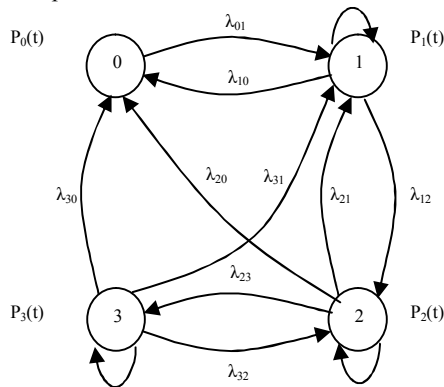


Рис. 2. Модель відновлення та збереження знань

$P_{ij}(t)$ - функції ризику втрати (забування) знань по всьому курсу;

$\lambda_{ij}(t)$ - швидкість отримання (засвоєння) знань: відношення кількості студентів, які підвищили рівень навченості на наступному етапі навчання, до загальної кількості студентів;

$\lambda_{ji}(t)$ - швидкість втрати (забування) знань: відношення кількості студентів, у яких знизився рівень навченості на наступному етапі навчання, до загальної кількості студентів.

Функції інтенсивності $\lambda_{ij}(t)$ переходу зі стану i, j до стану j, i апроксимовані сталими λ_{ij} або кусково-сталими:

$$\lambda_{ij}(t) = \{\lambda_{ij}^{(k)} : t \in [T_k, T_{k+1}]; k = \overline{0, K}\}.$$

В результаті можуть бути отримані системи диференціальних рівнянь з коефіцієнтами, які залежать від часу, що не завжди мають аналітичний розв'язок:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_{01}P_0(t) + \lambda_{10}P_1(t) + \lambda_{20}P_2(t) + \lambda_{30}P_3(t), \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{10}P_1(t) + \lambda_{01}P_0(t) + \lambda_{21}P_2(t) + \lambda_{31}P_3(t), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -\lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{21}P_2(t) - \lambda_{20}P_2(t) + \lambda_{12}P_1(t) + \lambda_{32}P_3(t), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -\lambda_{32}P_3(t) - \lambda_{31}P_3(t) - \lambda_{30}P_3(t) + \lambda_{23}P_2(t), \\ P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) = 1 \\ P_0(t_0) = 1, P_1(t_0) = 0, P_2(t_0) = 0, P_3(t_0) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Змінні інтенсивності переходів $\lambda_{ev}(t)$ можна апроксимувати кусково-постійними функціями:

$$\lambda_{ev}(t) = \lambda_{ev}^{(k)}, \text{ при } T_k \leq t < T_{k+1},$$

причому $T_0 = 0, T_{n+1} = \infty$.

Для цього весь період спостереження розбивається на такі тимчасові інтервали, щоб в межах кожного з них можна було б вважати інтенсивності переходів постійними.

Завдання визначення перехідних ймовірностей $P_{ij}^{(k)}(t)$ вирішується крок за кроком, шляхом послідовного дослідження поведінки системи в інтервалі $[T_k, T_{k+1}]$.

Алгоритм обчислення $P_{ij}^{(k)}(t)$, запропонований в роботі [15] та адаптований для даної моделі, наступний:

1) Значення функції $P_{ij}^{(0)}(t)$ в точці $t = 0$ вважають такими, що дорівнюють 0 при $i \neq j$ та такими, що дорівнюють 1 при $i = j$ ($i, j = \overline{0, 3}$). Для всіх $k = \overline{0, N}$ виконуються подальші пункти алгоритму.

2) Визначаються елементи матриці $\|A_k\|$ по формулах алгебраїчного доповнення елементів першого стовпця матриці, протилежної до інфінітезимальної матриці:

$$\|A_k\| = \left(-\|M^{(k)}\| \right)^{-1} \det \left(-\|M^{(k)}\| \right),$$

$$\|M^{(k)}\| = \begin{pmatrix} -\sum_{i=1}^n \lambda_{0i}^{(k)} & \lambda_{01}^{(k)} & \lambda_{02}^{(k)} & \dots & \lambda_{0n}^{(k)} \\ \lambda_{10}^{(k)} & -\sum_{i=1}^n \lambda_{1i}^{(k)} & \lambda_{12}^{(k)} & \dots & \lambda_{1n}^{(k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{n0}^{(k)} & \lambda_{n1}^{(k)} & \lambda_{n2}^{(k)} & \dots & -\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_{ni}^{(k)} \end{pmatrix}.$$

3) Коефіцієнти характеристичного багаточлена $M_k(S)$ знаходяться за формулами:

$$P_1^{(k)} = \lambda_{00}^{(k)} + \lambda_{11}^{(k)} + \lambda_{22}^{(k)} + \lambda_{33}^{(k)},$$

$$P_2^{(k)} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=i+1}^3 (\lambda_{ii}^{(k)} \lambda_{jj}^{(k)} - \lambda_{ij}^{(k)} \lambda_{ji}^{(k)})$$

$$P_3^{(k)} = A_{00}^{(k)} + A_{01}^{(k)} + A_{02}^{(k)} + A_{03}^{(k)}.$$

4) Елементи матриці $\|\alpha_k\|$ і $\|\beta_k\|$ і $\|\gamma_k\|$ визначаються за формулами:

$$\alpha_{ij}^{(k)} = \lambda_{ij}^{(k)}, \quad \beta_{ij}^{(k)} = A_{ij}^{(k)},$$

$$\alpha_{ii}^{(k)} = -\lambda_{ii}^{(k)}, \quad \beta_{ii}^{(k)} = -\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^3 \beta_{ij}^{(k)}, \quad \gamma_{ii}^{(k)} = -\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^3 \gamma_{ij}^{(k)}.$$

при $i \neq j$

$$\gamma_{ij}^k = \sum_{\substack{m=1 \\ m=i}}^3 \sum_{\substack{n=m+1 \\ n \neq i}}^4 \left[\sum_{\substack{v=1 \\ v=j}}^3 R_v \right],$$

$$R_1 = \lambda_{ij}^{(k)} (\lambda_{mm}^{(k)} \lambda_{nn}^{(k)} - \lambda_{mn}^{(k)} \lambda_{nm}^{(k)}),$$

$$R_2 = \lambda_{im}^{(k)} (\lambda_{mn}^{(k)} \lambda_{nj}^{(k)} - \lambda_{mn}^{(k)} \lambda_{mj}^{(k)}),$$

$$R_3 = \lambda_{in}^{(k)} (\lambda_{nm}^{(k)} \lambda_{mj}^{(k)} - \lambda_{nm}^{(k)} \lambda_{mj}^{(k)}).$$

5) Обчислюється корені багаточлена $M_k(S)$.

6) Для всіх $i \in \overline{1, M_k}$ обчислюються значення t_{ik} за формулою:

$$t_{ik} = T_k + i \frac{T_{k+1} - T_k}{M_k}.$$

7) Залежно від кореня багаточлена знаходяться значення функцій $f_1^{(k)}(t)$, $f_2^{(k)}(t)$ і $f_3^{(k)}(t)$ в точках t_{ik} :

а) якщо $M_k(S)$ має три різні дійсні корені, то $f_1^{(k)}(t)$, $f_2^{(k)}(t)$ і $f_3^{(k)}(t)$ знаходяться за формулою:

$$f_m^{(k)}(t) = \sum_{i \neq 1}^n \frac{(S_i^{(k)})^{n-m-1} \exp(S_i^{(k)} t)}{\prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^n (S_l^{(k)} - S_i^{(k)})},$$

8) Обчислюють значення функції $Q_{ij}^{(k)}(t)$ ($i, j = \overline{0,3}$) в точках t_{ik} за формулою:

$$Q_{ij}^{(k)}(t) = \frac{A_{ij}^{(n)}}{P_3^{(k)}} + \alpha_{ij}^{(k)} f_1^{(k)}(t) + \beta_{ij}^{(k)} f_2^{(k)}(t) + \gamma_{ij}^{(k)} f_3^{(k)}(t),$$

де $P_n^{(k)} = \sum_{j=0}^n a_{ij}^{(n)}$.

9) Значення функції $P_{ij}^{(k)}(t)$ ($i, j = \overline{0,3}$) в точках $T_k + t_{ik}$ обчислюються за формулою:

$$P_{ij}^{(k)}(T_k + t_{ik}) = \sum_{m=0}^3 P_{im}^{(k-1)}(T_k) Q_{mj}^{(k)}(t_{ik}).$$

10) Значення функції $P_{ij}^{(k)}(t)$ ($i, j = \overline{0,3}$) в точці

T_{k+1} вважаються такими, що дорівнюють відповідним значенням $P_{ij}^{(k)}(T_k + t_{mk})$.

З аналізу інформації про результати оцінювання з дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» студентів третього курсу, спеціальності «Комп'ютерні системи та мережі» при поточному та підсумковому контролі були отримані наступні інтенсивності переходів (в днях).

$$\lambda_{01}(t) = \begin{cases} 0,0597, & 0 \leq t < 14 \\ 0,0425 & 14 \leq t < 50; \\ 0,0132 & t \geq 50 \end{cases}$$

$$\lambda_{12}(t) = \begin{cases} 0,067, & 0 \leq t < 30 \\ 0,003, & 30 \leq t < 70; \\ 0,028, & t \geq 70 \end{cases}$$

$$\lambda_{23}(t) = \begin{cases} 0,02 & 0 \leq t < 80 \\ 0,031 & 80 \leq t < 120. \\ 0,017 & t \geq 120 \end{cases}$$

$$\lambda_{10} = 0,0031; \lambda_{21} = 0,0004; \lambda_{20} = 0,0009; \lambda_{32} = 0,0005; \lambda_{31} = 0,0001; \lambda_{30} = 0,0002.$$

На підставі рішення системи (1) або реалізації метода імітаційного моделювання знаходять ймовірності досягнення відповідного рівня навченості (рис. 3). Можна виділити три області зміни навченості. Область 1 – навченість практично не змінюється, об'єкт навчання отримує знань, але вони ще структуровані. Область 2 – різкий ріст навченості, отримані раніше та нові знання структуруються. Область 3- уповільнення навчання. Нові знання мало впливають на загальне представлення об'єкта навчання по даному предмету.

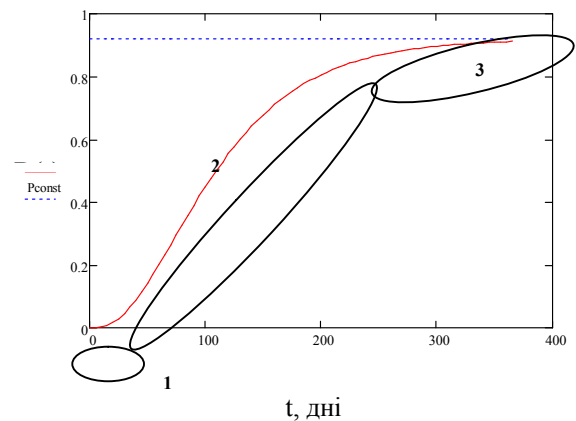


Рис. 3. Ймовірність досягнення високого рівня навченості

Запропонована інформаційна технологія моделювання процесу навчання є ядром системи підтримки прийняття рішень при управлінні навчальним процесом. Специфікація загальних особливостей функціонування системи зображена на рис. 4 у вигляді UML-моделі варіантів використання, що включає прецеденти процесу оцінювання знань та моделювання процесу навчання, відповідних акторів з певними характеристиками. На

основі аналізу моделі формуються вимоги до бази даних. Опис прецедентів, моделей активності і послідовності дій дозволяють проаналізувати інформаційні потоки в системі ще на стадії проектування. Нотації мови

UML дозволяють представити взаємодія елементів системи у двох вимірах: логічному/ фізичному й статичному /динамічному [16,17].

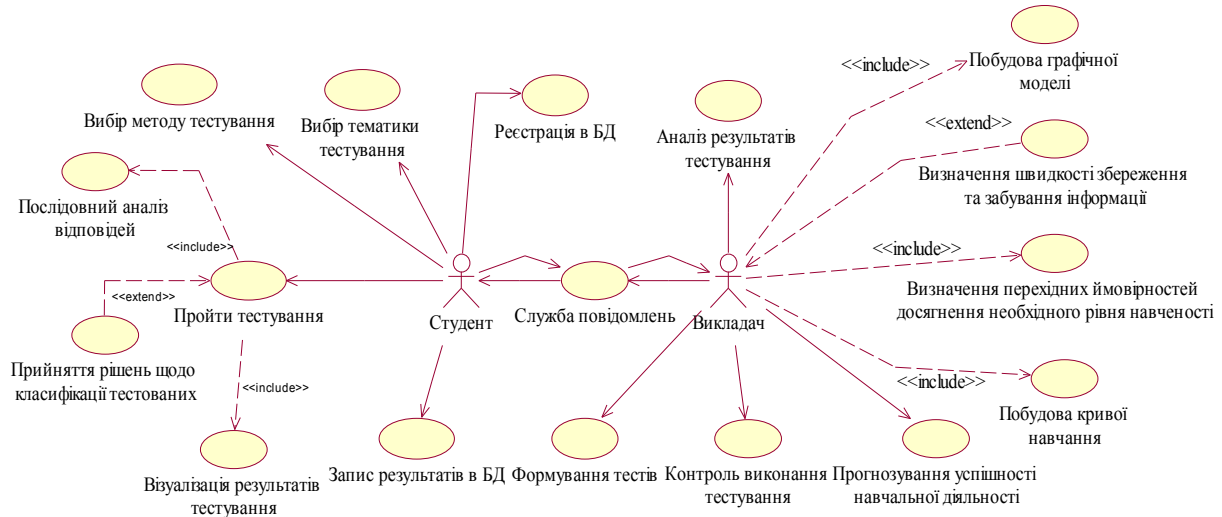


Рис. 4. Діаграма варіантів використання системи підтримки прийняття рішень при управлінні навчальним процесом

Основним етапом проектування СППР при управлінні навчальним процесом, є розділення майбутньої системи на автономні структурно-логічні частини (модулі), взаємодія яких реалізуватиме найбільшу функціональність і забезпечуватиме управління процесом навчання. Пропонується використання наступних модулів: модуль введення і зберігання даних, модуль підтримки прийняття рішень під час перевірки знань, модуль аналізу результатів перевірки знань, модуль візуалізації, модуль довідкової інформації, модуль протоколювання.

Модуль керування – призначений для узгодження роботи всіх модулів програмного комплексу і організації взаємодії з користувачем. З його допомогою задається методика проведення дослідження шляхом вказівки переліку відповідних методів. Дозволяє створювати зручну для роботи конфігурацію програмного комплексу.

Модуль введення і зберігання даних – дозволяє готувати і здійснювати корекцію початкових даних. Дає можливість користувачеві вводити дані, підготовлені поза програмним комплексом, а також зберігати і відновлювати задану конфігурацію програмного комплексу і результати обробки початкових даних.

Модуль підтримки прийняття рішень під час перевірки знань – призначений для підтримки прийняття рішень під час перевірки знань на основі методу послідовного аналізу статистичних гіпотез А. Вальда [18] при заданих ймовірностях помилок першого та другого роду та ймовірностях невиконання завдань для кожного рівня навчальних досягнень.

Модуль аналізу результатів перевірки знань (моделювання процесу навчання) – служить для аналізу інформації, що отримують під час перевірки знань студентів, шляхом побудови математичної моделі управління процесом навчання у вигляді марківського ланцюга з чотирма станами навчання, які відповідають

рівням засвоєння навчального матеріалу, та опису даної моделі системою диференціальних рівнянь, сформованих за допомогою рівнянь Колмогорова-Чемпена, з коефіцієнтами, які залежать від часу. Реалізація обчислювальних процедур дозволяє отримати ймовірності досягнення відповідного рівня навченості та функції ризику втрати знань.

Модуль візуалізації – призначений для графічного відображення результатів обробки інформації.

Модуль довідкової інформації – служить для надання користувачеві допомоги в його роботі з програмним комплексом. Він дозволяє визначити, які дії реалізуються в поточній ситуації а також попереджає про можливі помилки.

Модуль протоколювання – надає можливість документувати початкові дані, результати обробки шляхом виведення в текстові файли, на екран або на принтер.

Запропоноване ядро інформаційної системи, в склад якого включені прогресивні методи, є базовою складовою програмного комплексу підтримки прийняття рішень при управлінні навчальним процесом. Процес тестування в ньому можна трактувати як процес управління засвоєнням знань. Критерієм якості управління служить результат ймовірність досягнення відповідного рівня навченості.

Всі підсистеми програмного комплексу підтримки прийняття рішень при управлінні навчальним процесом повинні працювати за схемою «клієнт–сервер», де сервером виступає Сервер Даних та серверна частина програмного комплексу, а клієнтами решта структурних частин системи. Взаємодія «клієнтів» з «сервером» повинна здійснюватися за допомогою технології COM (Component Object Model – модель багатокomпонентних об'єктів), зокрема її розширення - технології Borland DataSnap, яка дозволяє реалізувати сервіси проміжного шару усередині серверів автоматизації або компонентів

Microsoft Component Services, оскільки вона реалізує поетапний доступ до сервера, розподіляючи, таким чином, потоки інформації від «клієнтів», що сприяє надійності і швидкості роботи системи.

Висновки

Запропонована обчислювальна технологія моделювання процесу навчання дозволяє як якісно так і кількісно проаналізувати динаміку процесів навчання.

На основі розробленої формалізації задачі управління знаннями для процесів навчання були отримані рівняння Колмогорова-Чемпена, які описують динаміку навчання. Описана обчислювальна схема дає можливість оцінювати функції ризику для будь-якого стану системи $P_i(t)$, $i = 0, \dots, 3$.

Перевагою запропонованої технології є використання кусково-постійних інтенсивностей переходів між станами системи, що дозволяє отримати більш адекватну модель управління навчальним процесом. Модель управління навчальним процесом та обчислювальна технологія, що описує функціонування даної моделі є практичною основою для створення програмного забезпечення системи підтримки прийняття рішень при управлінні навчальним процесом.

ЛІТЕРАТУРА

- Свиридов А. П. Разработка и исследование систем автоматизированного обучения на базе статистических моделей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Свиридов Александр Петрович. — Москва, 1984. — 427 с.
- Жуков Д.О. Моделирование управления компетенцией учащихся на основе уравнения Колмогорова и решения краевой задачи / Д.О.Жуков // Качество. Инновации. Образование. — 2008. - №4. — С. 2 -8.
- Романов В.П. Вероятностно-статистическая модель учащегося / В.П. Романов, Н.А. Соколова // Современные проблемы науки и образования, № 6 (Часть 3.), 2009. - С. 122-129.
- Сыгодина М. В.. Моделирование процесса обучения в высшем учебном заведении: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.18. “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ” / Сыгодина Марина Владимировна - Б.м., 2005.- 19 с.
- Мамонтова М.Ю. Статистическое моделирование и прогнозирование результатов обучения: подходы и реализация / М.Ю. Мамонтова // Образование и наука. Известия Уральского отделения российской академии образования. — 2008. - №9. — с. 14-25.
- Ульянов Д.А. Марковская модель адаптивного тестирования и ее программная реализация в условиях дистанционного обучения : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Ульянов Дмитрий Александрович. - Иркутск, 2005. - 119 с.
- Лаптев В. В. Изучение поведения моделей обучения с использованием марковского процесса / В. В. Лаптев, В. И. Сербин // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. — 2010. - №1. — С. 42-47.
- Доррер А.Г., Доррер Г.А., Рудакова Г.М. Моделирование процесса обучения с помощью вложенных сетей петри// Вестник КрасГУ. -2006. - №4. — С. 74-77.
- Меньшикова А.А. Дискретные математические модели в исследовании процессов автоматизированного обучения / А.А. Меньшикова, А.В. Соловов // Информационные технологии. — М.: Изд-во «Новые технологии», 2001, № 12. — С. 32-36. - Режим доступа: <<http://cnit.ssau.ru/do/articles/model/model.htm>>.
- Балл Г.А. Результаты экспериментального исследования регулирующих воздействий в адаптивных обучающих системах / Г.А. Балл, А.М. Довгялло, Е.И. Машбиц // Технические средства в программном обучении. — Киев, 1970. — С. 57 — 86.
- Павлюк А.А. Система интеллектуального анализа данных для прогнозирования успешности учебной деятельности : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / Павлюк Александр Александрович. - Красноярск, 2004. - 113 с.
- Соколов А.Е. Моделирование процесса обучения с использованием моделей обучаемого и обучающего / А.Е. Соколов //Проблемы информационных технологий. — 2009. — №2 (006). — Режим доступа : <http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Pit/2009_2/Sokol.htm>
- Обучающиеся системы обработки информации и принятия решений / А.В. Лапко, С.В.Ченцов, С.И.Крохов, Л.А.Фельдман. - Новосибирск: Наука, 1996.- 296 с.
- Астанин С.В. Сопровождение процесса обучения на основе нечеткого моделирования / С.В.Астанин // Дистанционное образование. — 2004. — № 5. — С. 27-32.
- Байбуз О.Г. Сплайни в надійності / О.Г. Байбуз, О.П. Приставка. — Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2003. — 216 с.
- Якобсон А. и др. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения / А. Якобсон, Г. Буч, Дж. Рамбо; Пер. с англ.- СПб.: Питер, 2002. - 496 с , ил.
- Эрик Дж. Нейбург. Проектирование БД с помощью UML. / Эрик Дж. Нейбург, Максимчук Р. А. — Вильямс, 2002. — 288 с.
- Вальд А. Последовательный анализ / А.Вальд . — М.:Физматгиз, 1960. - 328 с.