ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-149-2-50-57

УДК 159.953. 6:51-7

Б. І. Мокін[1]
О. О. Войцеховська[1]

СИСТЕМНА ТРАНСФОРМАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЗАБУВАННЯ ЗНАНЬ, ОТРИМАНИХ СТУДЕНТОМ НА ЛЕКЦІЇ, ТА СПОСІБ ЇЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

[1]Вінницький національний технічний університет

Здійснено системну трансформацію математичної моделі процесу забування знань, отриманих на лекції, «відмінниками» (з високим рівнем пам'яті) з прив'язкою до характерної для цієї категорії студентів «смуги забування»; отриманих «хорошистами» (з добрим рівнем пам'яті) з прив'язкою до характерної для цієї категорії студентів «смуги забування»; отриманих студентами з посередньою успішністю (з таким же посереднім рівнем пам'яті) з прив'язкою до характерної для цієї категорії студентів «смуги забування»; отриманих студентами з успішністю, нижчою посередньої, але здатними отримати задовільну оцінку в процесі не більше двох перескладань іспиту з прив'язкою до характерної для цієї категорії студентів «смуги забування»; та отриманих студентами з незадовільною успішністю, які повинні бути або відрахованими або залишеними на повторний курс з прив'язкою до характерної для цієї категорії студентів «смуги забування».

Системно трансформована математична модель реалізована у відносному часі та містить три основні параметри, один з яких характеризує швидкість забування студентом отриманої на лекції інформації, другий характеризує синергетичну складову, яка сповільнює процес забування, а третій характеризує ту складову отриманої інформації, яка залишається в пам'яті студента назавжди.

На основі критерію найменших квадратів розроблено спосіб ідентифікації системно трансформованої математичної моделі процесу забування знань, отриманих на лекції студентами вищеперерахованих категорій, реалізований з використанням обчислювальних структур, прив'язаних до відповідних «смуг забування», за допомогою яких реалізується ітераційний спосіб отримання оптимальних оцінок параметрів цієї моделі.

Ключові слова: забування знань, смуги забування, швидкість забування, синергетична складова пам'яті, математична модель, ітераційний спосіб ідентифікації, оптимальні оцінки параметрів.

Аналіз результатів попередніх досліджень за тематикою статті та постановка задачі

В роботі [1] автори встановили, що математичну модель процесу забування знань, отриманих студентом на лекції, потрібно використовувати не у вигляді, запропонованому у роботі [2], і не вигляді, запропонованому у роботі [3], а у вигляді

$$x_{1(\%)}(\tau) = \phi_{(\%)} + \left(100 - \phi_{(\%)}\right) e^{-(1-\alpha_{12} x_2)\tau}, \tag{1}$$

де

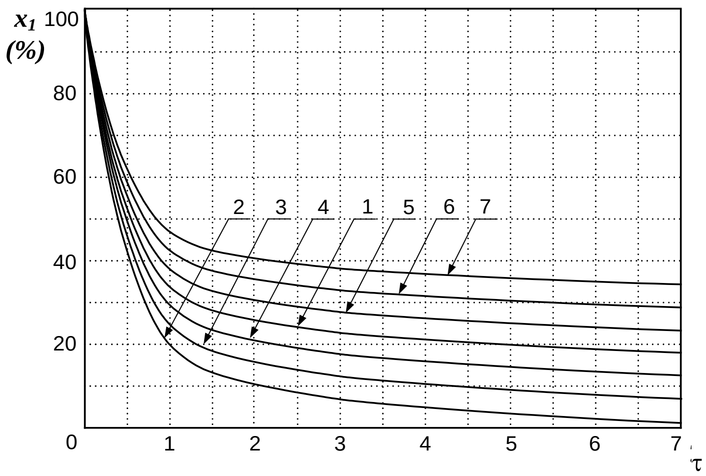
$$x_{1(\%)} = 100\overline{I}_1; \quad \overline{I}_1 = \frac{I_1}{I_0}; \quad x_2 = \frac{I_2}{I_0}; \quad \phi_{(\%)} = 100\overline{\phi}; \quad \overline{\phi} = \frac{I_c}{I_0}; \quad \tau = \frac{t}{T}; \tag{2}$$

I_1 — поточне значення інформації, що залишається в пам'яті студента з плином часу t після отримання її ним у кількості I_0 на лекції; I_c — та частка від початкової інформації I_0, отриманої на лекції, що залишається в пам'яті студента назавжди; T — інтервал часу, за який забувається $2/3$ від початкової кількості інформації, тобто, від I_0, який, як випливає ще з графіка, отриманого Г. Еббінгаузом і підтвердженого в подальших дослідженнях психологів, дорівнює 24 години;

$\alpha_{12}x_2$ — синергетична складова, в якій x_2 — відносна інформація, що генерується мозком студента самостійно за тематикою, пов'язаною з початковою інформацію у той період часу, в який уже від викладача ця інформація не надходить і відбувається процес її забування, а тому ця складова уповільнює цей процес.

У цій же роботі [1] також обгрунтовано, що перехід від «кривої забування» Г. Еббінгауза до «смуг забування» Б. І. Мокіна та О. Б. Мокіна потрібно здійснювати не за запропонованими ними в роботі [4] границями, а у відповідності з границями, нанесеними на рис. 3, який автори для зручності повторюють у цій статті на рисунку.

Нагадаємо, що «смуги забування», що запропоновані Б. І. Мокіним та О. Б. Мокіним в роботі [4], отримані ними з використанням деяких фундаментальних положень теорії ймовірностей, взятих з роботи [5].



Тижневі графіки «кривої забування»: лінія 1 — Г. Еббінгауза; «смуги забування», обмежені лініями 1–5, 5–6, 6–7 — над «кривою забування» та лініями 1–4, 4–3, 3–2 — під «кривою забування»

В цій роботі автори ставлять задачу, використовуючи ці «смуги забування», здійснити системну трансформацію математичної моделі (1) процесу забування знань, отриманих на лекції, «відмінниками» (з високим рівнем пам'яті), для яких характерною є «смуга забування», обмежена кривими 7—6; отриманих «хорошистами» (з добрим рівнем пам'яті), для яких характерною є «смуга забування», обмежена кривими 6—5; студентами з посередньою успішністю (з таким же посереднім рівнем пам'яті), для яких характерною є «смуга забування», обмежена кривими 5—4; студентами з успішністю, нижчою посередньої, але здатними отримати задовільну оцінку в процесі не більше двох перескладань іспиту, для яких характерною є «смуга забування», обмежена кривими 4—3, та студентами з незадовільною успішністю, які повинні бути або відрахованими або залишеними на повторний курс, для яких характерною є «смуга забування», обмежена кривими 3—2, а також запропонувати спосіб ідентифікації трансформованої моделі.

Викладення результатів системної трансформації та ідентифікації запропонованої математичної моделі

Приступаючи до системної трансформації математичної моделі (1), звертаємо увагу на те, що, як показано в роботі [1], в ній використано відносний час

$$\tau = \frac{t}{T} = \frac{t}{24}, \quad (3)$$

де у Г. Еббінгауза параметр T — це час (в годинах), за який піддослідний забував дві третини того, що йому пропонували запам'ятати, а тому, як видно з графіка, показаного на рис., для кривої Г. Еббінгауза значення параметра α_{11}, який характеризує «чисте забування» в момент відносного часу $\tau = 1$ за відсутності впливу синергетичної складової, теж взято рівним одиниці, яка має місце в показнику експоненти в моделі (1). Очевидно, що для усіх інших «смуг забування», значення цього параметра буде відрізнятись від одиниці, будучи більшим за одиницю для «смуг», які мають місце під кривою Г. Еббінгауза, та меншим за одиницю для «смуг», які мають місце над цією кривою, тобто, в загальному вигляді його можна записати, як $\alpha_{11}(\bullet)$, пам'ятаючи однак, що для кожної «смуги забування» $(\bullet)$ він є константою.

Зроблене зауваження дає нам право переписати математичну модель (1) для кожної зі «смуг забування» у більш узагальненому вигляді, а саме

$$x_{1(\%)}(\tau) = \phi_{(\%)} + \left(100 - \phi_{(\%)}\right) e^{-(\alpha_{11} - \alpha_{12}x_2)\tau}. \quad (4)$$

Для того, щоб розпочати процес ідентифікації моделі (4), зробимо припущення, що вже відомо, до якої «смуги забування» $(\bullet)$ відноситься пам'ять студента, тобто ми уже знаємо, що він є «відмінником», який отримує оцінки у класі «А» за міжнародною шкалою; «хорошистом», який отримує оцінки у класах «B—C» за цією ж шкалою; «посередніх здібностей», який отримує оцінки у класах «D—E» цієї шкали; «здібностей нижчих посередніх, але здатним шляхом додаткових перескладань іспиту завершити екзаменаційну сесію у складі студентів з посередніми здібностями», тобто, що при першому складанні іспиту він отримує оцінку у класі «FX»; або ж він має «здібності настільки нижчі посередніх, що для отримання посередньої оцінки йому потрібно повторно вивчати усю програму навчальної дисципліни», тобто, що він навіть не допускається до першого складання іспиту, маючи за роботу протягом семестру лише оцінку «F». В подальшому будемо позначати параметри і значення змінних, які вони набувають у відповідних «смугах забування», з використанням саме цих літер — A, B—C, D—E, FX, F, проставлених у вигляді аргументів, записаних в круглих дужках.

Як уже зазначено в роботі [1], для коректної ідентифікації моделі (1), а тим більше моделі (4) потрібно застосовувати метод найменших квадратів (МНК), критерієм для якого у нашому випадку служитиме трансцендентна квадратична форма

$$\Sigma=\sum_{i=1}^{N}\left(x_{1(\%)}^{(ei)}(\bullet)-x_{1(\%)}^{(Ti)}(\bullet)\right)^{2}=\sum_{i=1}^{N}\left(x_{1(\%)}^{(ei)}(\bullet)-\phi_{(\%)}(\bullet)-\left(100-\phi_{(\%)}(\bullet)\right)e^{-(\alpha_{11}(\bullet)-\alpha_{12}x_{2}(\bullet))\tau_{i}}\right)^{2}, \tag{5}$$

в якій $x_{1(\%)}^{(ei)}(\bullet)$ — експериментально визначене в i-му вимірі і виражене в процентах значення інформації, що залишається в пам'яті студента з плином часу t після отримання її ним у кількості I_0 на лекції, а $x_{1(\%)}^{(Ti)}(\bullet)$ — теоретично визначене з використанням моделі (4) і віднесене до i-го виміру значення цієї ж інформації. З урахуванням висловленого вище стосовно позначень матимемо:

$$\begin{cases} x_{1(\%)}^{(ei)}(\bullet)\in\left[x_{1(\%)}^{(ei)}(A),x_{1(\%)}^{(ei)}(B-C),x_{1(\%)}^{(ei)}(D-E),x_{1(\%)}^{(ei)}(FX),x_{1(\%)}^{(ei)}(F)\right],\\ x_{1(\%)}^{(Ti)}(\bullet)\in\left[x_{1(\%)}^{(Ti)}(A),x_{1(\%)}^{(Ti)}(B-C),x_{1(\%)}^{(Ti)}(D-E),x_{1(\%)}^{(Ti)}(FX),x_{1(\%)}^{(Ti)}(F)\right]. \end{cases} \tag{6}$$

Оскільки для ідентифікації моделі (1) необхідно чисельно визначити її параметри $\phi_{(\%)}(\bullet),\alpha_{11}(\bullet)$ та параметр $\alpha_{12}x_2(\bullet)$, який для зручності позначимо $\lambda(\bullet)$, тобто вважатимемо, що $\lambda(\bullet)=\alpha_{12}x_2(\bullet)$, де

$$\begin{cases} \phi_{(\%)}(\bullet)\in\left[\phi_{(\%)}(A),\phi_{(\%)}(B-C),\phi_{(\%)}(D-E),\phi_{(\%)}(FX),\phi_{(\%)}(F)\right],\\ \alpha_{11}(\bullet)\in\left[\alpha_{11}(A),\alpha_{11}(B-C),\alpha_{11}(D-E),\alpha_{11}(FX),\alpha_{11}(F)\right],\\ \lambda(\bullet)\in[\lambda(A),\lambda(B-C),\lambda(D-E),\lambda(FX),\lambda(F)], \end{cases} \tag{7}$$

то згідно з ідеологією МНК, викладеною в багатьох посібниках з прикладної математики та оброблення результатів вимірювання, у тому числі і в роботі [6], нам необхідно, взявши частинні похідні $\frac{\partial\Sigma}{\partial\phi_{(\%)}},\frac{\partial\Sigma}{\partial\alpha_{11}},\frac{\partial\Sigma}{\partial\lambda}$ та прирівнявши їх нулю, синтезувати систему трьох рівнянь для кожної «смуги забування»

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\Sigma}{\partial\phi_{(\%)}}=0,\\ \dfrac{\partial\Sigma}{\partial\alpha_{11}}=0,\\ \dfrac{\partial\Sigma}{\partial\lambda}=0, \end{cases} \tag{8}$$

і розв'язати цю систему рівнянь відносно $\phi_{(\%)}(\bullet),\alpha_{11}(\bullet)$ та $\lambda(\bullet)$, взятих з множин (7), які у ці рівняння входять тріадами в якості змінних величин.

Але, перш ніж конкретизувати систему рівнянь (8), здійснимо ще одну трансформацію моделі (1), враховуючи уже її модифікацію у вигляді (4).

Параметри $\phi_{(\%)}(\bullet), \alpha_{11}(\bullet)$ цієї моделі, які характеризують структуру пам'яті, є константами для кожної особи, а що стосується параметра $\lambda(\bullet)$, який характеризує синергетичну складову, то він з плином часу міняється у бік зменшення, оскільки згадки про отриману студентом на лекції інформацію з плином часу відвідують його пам'ять усе рідше і рідше. Тож можна допустити, що

$$\lambda(\bullet) = \frac{\lambda_0}{1+\tau}. \tag{9}$$

З урахуванням виразу (9) математичну модель (4) для кожної «смуги забування» $(\bullet)$ можна записати і так:

$$x_{1(\%)}(\tau) = \phi_{(\%)}(\bullet) + \left(100 - \phi_{(\%)}(\bullet)\right) e^{-\left(\alpha_{11}(\bullet) - \frac{\lambda_0(\bullet)}{1+\tau}\right)\tau} \tag{10}$$

або

$$x_{1(\%)}(\tau) = \phi_{(\%)}(\bullet) + \left(100 - \phi_{(\%)}(\bullet)\right) e^{\frac{\lambda_0(\bullet)}{1+\tau}\tau} e^{-\alpha_{11}(\bullet)\tau}. \tag{11}$$

Враховуючи той факт, що навчальна дисципліна вивчається протягом семестру, який має 18 тижнів, а модель (11) ми синтезуємо для того, що спрогнозувати скільки інформації у студента залишиться в пам'яті від прослуханої в аудиторії лекції через тиждень до початку наступної лекції, якщо лекція читається за розкладом лише раз на тиждень, то тиждень є лише однією вісімнадцятою часткою часу, протягом якого в семестрі викладається ця навчальна дисципліна. А це дозволяє інтервал часу в тиждень вважати таким, що є околом точки $\tau = 0$. Тож, якщо експоненту $e^{\frac{\lambda_0}{1+\tau}\tau}$ розкласти в степеневий ряд в околі точки $\tau = 0$, то з цього степеневого ряду можна залишити лише перші два члени і записати цю експоненту у вигляді

$$e^{\frac{\lambda_0}{1+\tau}\tau} \approx 1 + \lambda_0\tau. \tag{12}$$

Підставляючи вираз (12) у рівняння (11), отримаємо:

$$x_{1(\%)}(\tau) = \phi_{(\%)}(\bullet) + \left(100 - \phi_{(\%)}(\bullet)\right)(1 + \lambda_0\tau) e^{-\alpha_{11}(\bullet)\tau}. \tag{13}$$

З урахуванням рівняння (13) критеріальний вираз (5) набуде вигляду

$$\Sigma = \sum_{i=1}^{N} \left(x_{(\%)}^{(ei)} - \phi_{(\%)}(\bullet) - \left(100 - \phi_{(\%)}(\bullet)\right)\left(1 + \lambda_0(\bullet)\tau_i\right) e^{-\alpha_{11}(\bullet)\tau_i} \right)^2. \tag{14}$$

А тому, підставляючи вираз (14) у систему рівнянь (8), матимемо

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\Sigma}{\partial\phi_{(\%)}} = \psi_\phi\left(\phi_{(\%)}(\bullet), \alpha_{11}(\bullet)\lambda_0(\bullet)\right) = \\ = \sum\limits_{i=1}^{N} \left\{ x_{1(\%)}^{(ei)}(\bullet) - \phi_{(\%)}(\bullet) - \left[100 - \phi_{(\%)}(\bullet)\right]\left(1 + \lambda_0(\bullet)\tau_i\right) e^{-\alpha_{11}(\bullet)\tau_i} \right\} \left\{ -1 + \left(1 + \lambda_0(\bullet)\tau_i\right) e^{-\alpha_{11}(\bullet)\tau_i} \right\} = 0, \\ \dfrac{\partial\Sigma}{\partial\alpha_{11}} = \psi_\alpha\left(\phi_{(\%)}(\bullet), \alpha_{11}(\bullet), \lambda_0(\bullet)\right) = \\ = \sum\limits_{i=1}^{N} \left\{ x_{1(\%)}^{(ei)}(\bullet) - \phi_{(\%)}(\bullet) - \left[100 - \phi_{(\%)}(\bullet)\right]\left(1 + \lambda_0(\bullet)\tau_i\right) e^{-\alpha_{11}(\bullet)\tau_i} \right\} \left(\phi_{(\%)}(\bullet) - 100 \right)\left(1 + \lambda_0(\bullet)\tau_i\right)\tau_i e^{-\alpha_{11}(\bullet)\tau_i} = 0, \\ \dfrac{\partial\Sigma}{\partial\lambda_0} = \psi_\lambda\left(\phi_{(\%)}(\bullet), \alpha_{11}(\bullet), \lambda_0(\bullet)\right) = \\ = \sum\limits_{i=1}^{N} \left\{ x_{1(\%)}^{(ei)}(\bullet) - \phi_{(\%)}(\bullet) - \left[100 - \phi_{(\%)}(\bullet)\right]\left(1 + \lambda_0(\bullet)\tau_i\right) e^{-\alpha_{11}\tau_i} \right\} \left\{ 100 - \phi_{(\%)}(\bullet) \right\} \tau_i e^{-\alpha_{11}(\bullet)\tau_i} = 0. \end{cases} \tag{15}$$

В систему рівнянь (15), яку у компактнішому вигляді можна записати і так:

$$\begin{cases} \psi_{\phi}\left(\phi_{(\%)}(\bullet),\alpha_{11}(\bullet),\lambda_0(\bullet)\right)=0, \\ \psi_{\alpha}\left(\phi_{(\%)}(\bullet),\alpha_{11}(\bullet),\lambda_0(\bullet)\right)=0, \\ \psi_{\lambda}\left(\phi_{(\%)}(\bullet),\alpha_{11}(\bullet),\lambda_0(\bullet)\right)=0, \end{cases} \tag{16}$$

для її розв'язання необхідно внести експериментально отримані в кожному i-му вимірі значення змінних $x_{1(\%)}^{(ei)}(\bullet)$, де $i=1,2,...,N$, а N — кількість вимірів. Оскільки у нас цих вимірів немає, то для ідентифікації математичної моделі (13), придатної для прогнозування в середньоквадратичному сенсі ступеня забування студентом, пам'ять якого належить до певної «смуги забування», інформації, отриманої на лекції, що читається лише один раз на тиждень, доцільно використати значення цих змінних на границях кожної «смуги забування» у послідовності, яка сформована у таблиці для кожної з цих «смуг» з використанням графіків, показаних на рисунку.

i	1	2	3	4	5	6	7
τ_i	1	2	3	4	5	6	7
$x_{1(\%)}^{(ei)}(A)$	46,5	36,1	38,8	31,1	35,6	30	35
$x_{1(\%)}^{(ei)}(B-C)$	41,1	31	33	30	31	25,5	24,9
$x_{1(\%)}^{(ei)}(D-E)$	37,5	21	27,5	15,5	25	13,5	22,5
$x_{1(\%)}^{(ei)}(FX)$	30	15	17	11	14	9	12
$x_{1(\%)}^{(ei)}(F)$	23	10	12	5	9	2,5	6

Цілком очевидно, що розв'язувати систему трансцендентних рівнянь (16) з використанням даних, поданих у таблиці, потрібно одним з методів послідовних наближень, які використовують ітераційні алгоритми. Автори пропонують використовувати метод послідовних наближень з ітераційним алгоритмом, застосування якого викладене в роботі [7]. Для нашої задачі цей ітераційний алгоритм матиме вигляд

$$\begin{cases} \phi_{(\%)}(n)=\phi_{(\%)}(n-1)-\gamma(n)\psi_{\phi}\left(\phi_{(\%)}(n-1),\alpha_{11}(n-1),\lambda_0(n-1)\right), \quad n=1,2,3,..., \\ \alpha_{11}(n)=\alpha_{11}(n-1)-\gamma(n)\psi_{\alpha}\left(\phi_{(\%)}(n-1),\alpha_{11}(n-1),\lambda_0(n-1)\right), \quad n=1,2,3,..., \\ \lambda_0(n)=\lambda_0(n-1)-\gamma(n)\psi_{\lambda}\left(\phi_{(\%)}(n-1),\alpha_{11}(n-1),\lambda_0(n-1)\right), \quad n=1,2,3,... \end{cases} \tag{17}$$

з початковими умовами

$$\begin{cases} \phi_{(\%)}(0)=\phi_0, \\ \alpha_{11}(0)=\alpha_{110}, \\ \lambda_0(0)=\lambda_{00}, \end{cases} \tag{18}$$

які потрібно задавати для кожної «смуги забування» свої.

Задавати потрібно і похибки розрахунку $\varepsilon_{\phi}, \varepsilon_{\alpha}, \varepsilon_{\lambda}$, виходячи з числових значень, за яких необхідно зупиняти ітераційний процес і приймати в якості числових значень $\phi_{(\%)}^{*}, \alpha_{11}^{*}, \lambda^{*}$ параметрів $\phi_{(\%)}, \alpha_{11}, \lambda_0$ моделі (14) ті їх значення $\phi_{(\%)}(n), \lambda(n)$, які задовольняють вимогам

$$\begin{cases} \left|\phi_{(\%)}(n)-\phi_{(\%)}(n-1)\right| \le \varepsilon_{\phi}, \\ \left|\alpha_{11}(n)-\alpha_{11}(n-1)\right| \le \varepsilon_{\alpha}, \\ \left|\lambda(n)-\lambda(n-1)\right| \le \varepsilon_{\lambda}. \end{cases} \tag{19}$$

Що стосується параметра $\gamma(n)$ ітераційного алгоритму (17), то, як рекомендується в роботі [7], його потрібно задавати або у вигляді

$$\gamma(n) = \text{const}, \tag{20}$$

у цьому випадку швидкість збіжності оцінок (17) до числових значень $\phi^*_{(\%)}, \alpha^*_{11}, \lambda^*_0$ параметрів $\phi_{(\%)}, \alpha_{11}, \lambda_0$, що задовольняють умовам (19), буде визначатись показниковим законом, або у вигляді

$$\gamma(n) = \frac{\text{const}}{n}, \tag{21}$$

у цьому випадку швидкість збіжності оцінок (17) до числових значень $\phi^*_{(\%)}, \alpha^*_{11}, \lambda^*_0$ параметрів $\phi_{(\%)}, \alpha_{11}, \lambda_0$, що задовольняють умовам (19), буде визначатись степеневим законом.

Цілком очевидно, що в разі, коли потрібно знайти швидко оцінки параметрів, але не надто точно, то слід застосовувати умову (20), а в разі, коли потрібно знайти оцінки якомога точніше, але час на їх ітераційне знаходження не лімітується, то слід застосовувати умову (21).

Процедура реалізації ітераційного процесу (17) з використанням ППП Mathcad чи ППП MATLAB труднощів не викликає, тому на ній зупинятись не будемо, оскільки, задаючись прийнятним числовим рівнем похибок $\varepsilon_\phi, \varepsilon_\alpha, \varepsilon_\lambda$, кожен, хто використовуватиме математичну модель (14), може це здійснити самостійно.

Висновки

1. З прив'язкою до «смуг забування», маючи на меті зробити придатною для розв'язання задачу ідентифікації, здійснено системну трансформацію математичної моделі процесу забування знань, отриманих на лекції, «відмінниками» (з високим рівнем пам'яті); отриманих «хорошистами» (з добрим рівнем пам'яті); отриманих студентами з посередньою успішністю (з таким же посереднім рівнем пам'яті); отриманих студентами з успішністю, нижчою посередньої, але здатними отримати задовільну оцінку в процесі не більше двох перескладань іспиту; та отриманих студентами з незадовільною успішністю, які можуть бути або відрахованими, або залишеними на повторний курс.
2. Запропоновано спосіб ідентифікації системно трансформованої математичної моделі процесу забування знань, отриманих на лекції студентами вищеперерахованих категорій, в якому використано критерій найменших квадратів для визначення оптимальних оцінок параметрів моделі та обчислювальні структури, за допомогою яких реалізується ітераційний спосіб отримання цих оптимальних оцінок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Б. І. Мокін, і О. О. Войцеховська, «Удосконалення ймовірнісної математичної моделі процесу забування інформації, отриманої студентом на лекції,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 49-57, 2019.

[2] Б. І. Мокін, А. В. Пискляровa, і О. Б. Мокін, «Дослідження впливу синергетичної складової у математичній моделі процесу засвоєння студентом навчальної дисципліни,» *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 2, с. 9-14, 2013.

[3] Л. М. Приснякова, *Системный анализ поведения личности*. Днепропетровск, Украина: издатель Овсянников Ю. С., 2007, 218 с.

[4] Б. І. Мокін, і О. Б. Мокін, «Підвищення ступеня адекватності моделі процесу забування знань,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 116-121, 2013.

[5] В. Н. Тутубалин, *Теория вероятностей*. Москва: изд-во Московского университета, 1972, 230 с.

[6] Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, і О. Б. Мокін, *Математичні методи ідентифікації динамічних систем*, навч. посіб. ВНТУ, Вінниця, Україна: ВНТУ, 2010, 260 с.

[7] Я. З. Цыпкин, *Адаптация и обучение в автоматических системах*. Москва: изд-во «Наука», 1968, 400 с.

Рекомендована кафедрою системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 23.01.2020

Мокін Борис Іванович — академік НАПН України, д-р техн. наук, професор, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, професор кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail borys.mokin@gmail.com ;

Войцеховська Ольга Олександрвна — аспірантка, асистент кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: olgav1085@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

B. I. Mokin[1]
O. O. Voitsekhovska[1]

System Transformation of the Mathematical Model for the Process of Forgetting the Knowledge Obtained by a Student at Lecture and the Method of its Identification

[1]Vinnytsia National Technical University

Systematic transformation of the mathematical model for the process of forgetting the knowledge obtained at the lectures was carried out by an "excellent students" (with a high level of memory) with reference to the "bands of forgetting" characteristic for this category of students; obtained by "intermediate students" (with good memory) with an attachment to the "bands of forgetting" characteristic of this category of students; obtained by mediocre students (with the same median level of memory) with an attachment to the category of "bands of forgetting" characteristic of this category; obtained by students with a grade point average lower than average but able to receive a satisfactory grade in the process of no more than two examinations with an attachment to the student's "bands of forgetting" category; and those obtained by poorly performing students who must either be deducted or retained for a student with a "bands of forgetting" characteristic of this category.

System-transformed mathematical model is implemented in relative time and contains three basic parameters, one of which characterizes the rate of forgetting by the student of the information obtained at the lecture, the second characterizes the synergistic component that slows down the process of forgetting, and the third characterizes that component of the received information that remains in student's memory forever.

On the basis of the least squares criterion, a method of identification of a systematically transformed mathematical model for the process of forgetting the knowledge obtained at the lectures by students of the categories listed above was implemented using computational structures tied to the corresponding "bands of forgetting", through which an iterative method of obtaining optimal estimates is realized above.

Keywords: forgetting of knowledge, bands of forgetting, speed of forgetting, synergistic memory component, mathematical model, iterative way of identification, optimal parameter estimates.

Mokin Borys I. — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, Professor of the Chair of System Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: borys.mokin@gmail.com ;

Voitsekhovska Olha O. — Post-Graduate Student, Assistant of the Chair of System Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: olgav1085@gmail.com

Б. И. Мокин[1]
О. А. Войцеховская[1]

Системная трансформация математической модели процесса забывания знаний, полученных студентом на лекции и способ ее идентификации

[1]Винницкий национальный технический университет

Осуществлена системная трансформация математической модели процесса забывания знаний, полученных на лекции, «отличниками» (с высоким уровнем памяти) с привязкой к характерной для этой категории студентов «полосы забывания»; полученных «хорошистами» (с хорошим уровнем памяти) с привязкой к характерной для этой категории студентов «полосы забывания»; полученных студентами с посредственной успеваемостью (с таким же посредственным уровнем памяти) с привязкой к характерной для этой категории студентов «полосы забывания»; полученных студентами с успеваемостью ниже посредственного, но способными получить удовлетворительную оценку в процессе не более двух пересдач экзамена с привязкой к характерной для этой *категории студентов «полосы забывания»; и полученных студентами с неудовлетворительной успеваемостью, которые могут быть либо отчисленными, либо оставленными на повторный курс с привязкой к характерной для этой категории студентов «полосы забывания».*

Системно трансформированая математическая модель реализована в относительном времени и содержит три основных параметра, один из которых характеризует скорость забывания студентом полученной на лекции информации, второй — характеризует синергетическую составляющую, которая замедляет процесс забывания, а третий — характеризует ту составляющую полученной информации, которая остается в памяти студента навсегда.

На основе критерия наименьших квадратов разработан способ идентификации системно трансформированной математической модели процесса забывания знаний, полученных на лекции студентами вышеперечисленных категорий, реализованный с использованием вычислительных структур, привязанных к соответствующим «полосам забывания», с помощью которых реализуется итерационный способ получения оптимальных оценок параметров этой модели.

Ключевые слова: забывание знаний, полосы забывания, скорость забывания, синергетическая составляющая памяти, математическая модель, итерационный способ идентификации, оптимальные оценки параметров.

Мокин Борис Иванович — академик НАПН Украины, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте, профессор кафедры системного анализа, компьютерного мониторинга и инженерной графики, e-mail: borys.mokin@gmail.com ;

Войцеховская Ольга Александровна — аспирант, ассистент кафедры системного анализа, компьютерного мониторинга и инженерной графики, e-mail: olgav1085@gmail.com