

УДК 004.942:378.147

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ САМОСТІЙНОГО НАВЧАННЯ З ЕЛЕКТРОННИМ ТРЕНАЖЕРОМ

Самсонов В.В., Поворознюк Н.І., Сільвестров А.М.
Національний університет харчових технологій, м. Київ

У статті розглянуто процес самостійного навчання як систему автоматичного управління, запропоновано структуру системи і адаптивні алгоритми управління процесом навчання.

Self-instruction process analyse in the paper as automatic control system, propose the structure of a system and adaptive algorithm of the learning process control.

Вступ.

Процес самостійного навчання займає важливе місце у системі електронних навчально-методичних ресурсів навчальної дисципліни (СЕНД) [1]. Одним із засобів самостійного навчання є електронний тренажер. Щоб наблизитись до рівня прямого спілкування „вчитель – учень”, електронний тренажер має забезпечувати оптимальний процес передачі інформації особі, що навчається. Оптимальність процесу передачі інформації розуміється як мінімізація втрат інформації при передачі її від „вчителя” до того, хто навчається (учня, студента тощо), а також засвоєння цієї інформації. Такий електронний тренажер, як складова частина в СЕНД, а також викладач і особа, що навчаються створюють дворівневу автоматизовану систему керування процесом навчання [2]. Викладач (верхній рівень) визначає шлях (граф) проходження необхідних розділів відповідної дисципліни, вагу цих розділів у загальній оцінці рівня знань особи, що навчається. Електронний тренажер і особа, що навчається створюють нижній рівень системи, де особа, що навчається, є об’єктом керування, а тренажер – регулятором процесу навчання цього об’єкту. Викладач і особа, що навчається, можуть планувати загальний темп і термін вивчення відповідної дисципліни та бажаний рейтинг (бал) рівня засвоєння навчального матеріалу. Тренажер повинен забезпечити адаптивний (бажано оптимальний) до параметрів учня керівний вплив. Керівними змінними такої системи є:

- 1) темп подачі інформації (інтервал часу між заняттями);
- 2) траєкторії руху вперед від розділу до розділу i , за необхідністю, повернення назад до вже пройдених модулів курсу на основі інформації з поточного тестування учня;
- 3) об’єм мотиваційної інформації.

Повернення до попередніх модулів, як керівний вплив, необхідне при низькому показнику поточного контролю (тобто, розуміння) знань; мотивація – як керівний вплив на якість засвоєння матеріалу.

Таким чином, при достатньому рівні формалізації і можливості контролю поточних параметрів моделі об’єкту навчання, процес навчання на електронному тренажері може (з відповідним ступенем наближення) бути представлений системою автоматичного керування (САК) з відповідним аналізом і синтезом оптимального режиму [3].

Опис елементів системи автоматичного керування процесом навчання

Навчальний матеріал відповідного предмету поділено на тематично цілісні *блоки*, приблизно однакові за об’ємом – заняття терміном 75 ± 15 хвилин.

Матеріал кожного n -го блоку ($n = \overline{1, N}$) поділено на предметну *інформаційну* $I(n)$ і *мотиваційну* $M(n)$ складові. Передбачено декілька рівнів мотивації залежно від показника

$k(n)$ успішності учня. Для n -го блоку показник $k(n)$ встановлюється за результатами поточного контролю окремих мікроблоків в межах n -го і остаточного – по всьому n -му блоку. Контроль по мікроблокам здійснюється при поданні матеріалу в режимі співбесіди: 30-ти секундна мовна та відповідна їй екранна інформація, запитання і 3 відповіді: поверхнева, нормальна, поглиблена. Учень, вибравши одну з них, набирає певну кількість балів, а тренажер, отримавши цю інформацію каналом зворотного зв'язку, коригує подальший шлях викладання матеріалу: перехід до наступного мікроблоку чи повернення до вже пройдених мікроблоків, логічно пов'язаних з поточним. По завершенню процесу подачі інформаційної частини $I(n)$ n -го блоку здійснюється підсумковий контроль для n -го блоку за показником $K(n)$ і, залежно від реального і бажаного рівня (заданого програмною траєкторією $KV^*(n)$ накопичення рейтингу) приймається рішення за правилом: якщо $K(n) \geq K_{\min}(n)$, то, після необхідної паузи, перехід до $n+1$ -го блоку, якщо $K(n) < K_{\min}(n)$, то повтор без паузи n -го блоку зі збільшенням мотиваційної складової $M(n)$.

На початку кожного n -го заняття, учень проходить контроль залишкових знань по $n - 1$ -му блоку-заняттю і отримує рейтинг $KV(n)$, залежно від рівня якого переходить до засвоєння n -го блоку з відповідним до $KV(n)$ рівнем мотивації чи повертається на повторне вивчення $n - 1$ -го блоку. Сумарний рейтинг $\sum_n KV(n)$ розглядається як функція часу t і коригується системою автоматичного керування зміною пауз T_n між блоками-заняттями. Послідовність дій на одному занятті представлено на Рис.1.

Вхідний контроль	Мікромодулі n -ного блоку $(n,i) i = \overline{1,m}$										Вихідний контроль	
$KV(n-1)$	$M(n,1)$	$I(n,1)$	$K(n,1)$		$M(n,i)$	$I(n,i)$	$K(n,i)$		$M(n,m)$	$I(n,m)$	$K(n,m)$	$KV(n)$

Рис.1. Складові n -го заняття

Для успішного функціонування системи автоматичного керування слід побудувати модель особи, що навчається як об'єкта керування:

$$K(n) = K_0 + K_M \cdot M(n) + K_r \cdot R(n), \quad (1)$$

$$KV(n) = K(n) \cdot \exp\left[-\frac{T_n}{\tau_n}\right] + KV_r \cdot R(n), \quad (2)$$

де K_0 , K_M і K_r – коефіцієнти лінійної стохастичної моделі залежності $K(n)$ від рівня мотивації $M(n)$ та випадковості $R(n)$, $R(n)$ – гаусів шум з одиничною дисперсією, τ_n – стала часу експоненціального забування інформації $n - 1$ -го заняття на n -му занятті:

$$\tau_n = \frac{t_n - t_{n-1}}{\ln\left(\frac{K(n)}{KV(n)}\right)}. \quad (3)$$

Експоненціальний процес накопичення знань в межах одного заняття подано лінійною моделлю (1) внаслідок короткого часу одного заняття, а процес забування інформації в паузі T_n між заняттями взято експоненціальним (2).

Бажана оптимальна траєкторія $\sum_{j=1}^n KV^*(t_j)$, $n = \overline{1, n_k}$ накопичення знань у часі t_j

задається на основі психологічних аспектів навчання викладачем або учнем, залежно від запланованого рівня знань і резервів часу.

Задача тренажера, як системи автоматичного керування процесом, забезпечити близькість реальної траєкторії $\sum_{j=1}^n KV(t_j)$ до бажаної $\sum_{j=1}^n KV^*(t_j)$, тобто мінімізувати деякий функціонал похибки $\varepsilon(n)$:

$$\varepsilon(n) = KV^*(n) - KV(n), \quad (4)$$

$n = \overline{1, n_k}$, де n_k – номер кінцевого заняття. Цю задачу будемо вирішувати за допомогою пропорційно (k_p) інтегрального (k_I) регулятора [3] інтервалу ΔT_n між n -ми і $m - 1$ -им заняттями:

$$\Delta T_n = \frac{\Delta T_{\min} + \Delta T_{\max}}{2} \left[\frac{1}{2} + K_P \frac{\varepsilon(n)}{\varepsilon_{\max}} + K_I \frac{\sum_{j=1}^n \varepsilon(j)}{\varepsilon_{\max}} \right], \quad (5)$$

де ΔT_{\min} , ΔT_{\max} – обмеження на найменший і найбільший інтервал, ε_{\max} – на дужках приймають значення в інтервалі $[-0,5; 0,5]$, то ΔT_n не виходить за межі $[\Delta T_{\min}, \Delta T_{\max}]$. В протилежному випадку слід ввести корекцію ΔT . За цих умов процесу навчання на тренажері відповідає модель дискретної САК з частотно-імпульсною модуляцією та адаптацією до об'єкту керування (Рис.2):

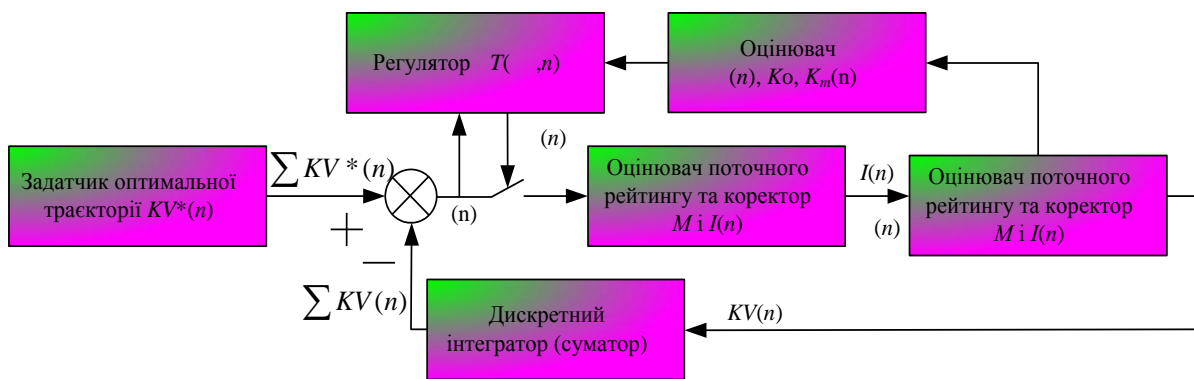


Рис.2. Функціональна схема САК процесом керування

Керування кількістю мотивації $M(n)$ відбувається протягом n -го заняття в залежності від якості $K(n, i)$ засвоєння i -го мікроблоку n -го заняття. Збільшення $M(n, i)$ призводить (при фіксованому часі $T \pm \Delta T$ n -го заняття) до зменшення кількості m мікроблоків в n -му блоці. Тоді регулятор $\Delta T(\varepsilon, \tau, n)$ зменшує паузу між заняттями таким чином, щоб $\sum KV(n)$ наближалась до $\sum KV^*(n)$.

Числове моделювання процесу

У середовищі MATLAB [4] було здійснено числове моделювання запропонованої системи автоматичного керування навчальним процесом (рис. 2) у таких режимах:

детермінований (ідеально зосереджений учень) $K_r = KV_r = 0$), $\Delta T(n) = const$, тобто система (Рис.2) розімкнена, внаслідок чого траєкторія $\sum KV(n)$ дещо випереджує оптимальну $\sum KV^*(n)$ (Рис.3); той же учень, але САК замкнена і має K_P – регулятор (Рис.4); та ж система з пропорційно (K_P)– інтегральним (K_I)законом регулювання $\Delta T(n)$ від $\varepsilon(n)$ (Рис.5). Як бачимо, у випадку (Рис.4) середньоквадратична похибка відслідковування бажаної траєкторії навчання мінімальна; за наявності не нульової випадкової складової $KV_r = 0,2$ в моделі (2) (не ідеального учня) похибка для системи (Рис.5) і кількість занять дещо зросла (похибка з 1,62 до 3,67, кількість занять з 39 до 58).

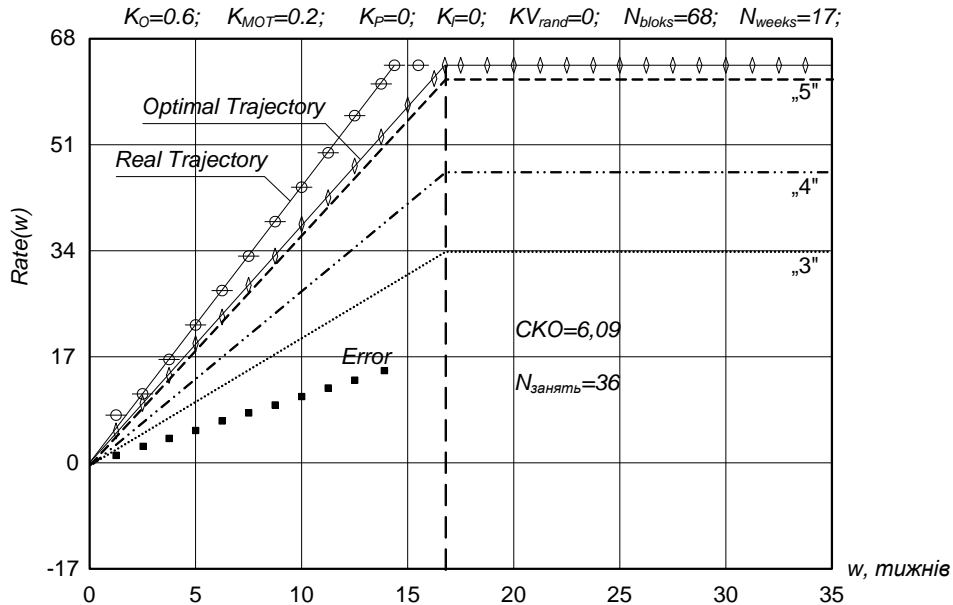


Рис.3 Розімкнена система керування ідеальним учнем

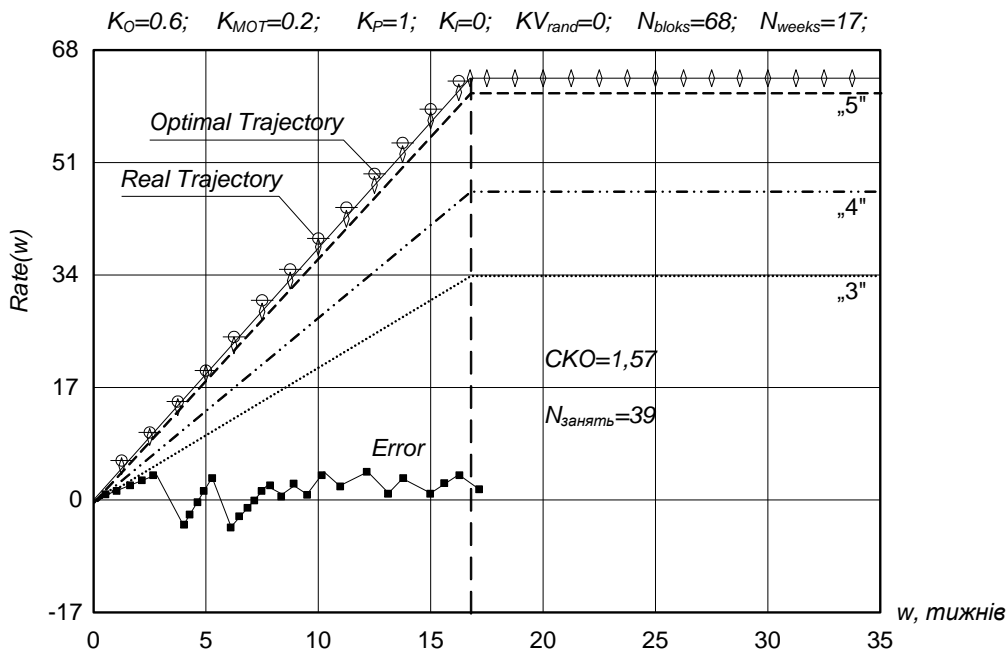


Рис.4 Замкнена система автоматичного керування з пропорційним регулятором (ідеальний учень)

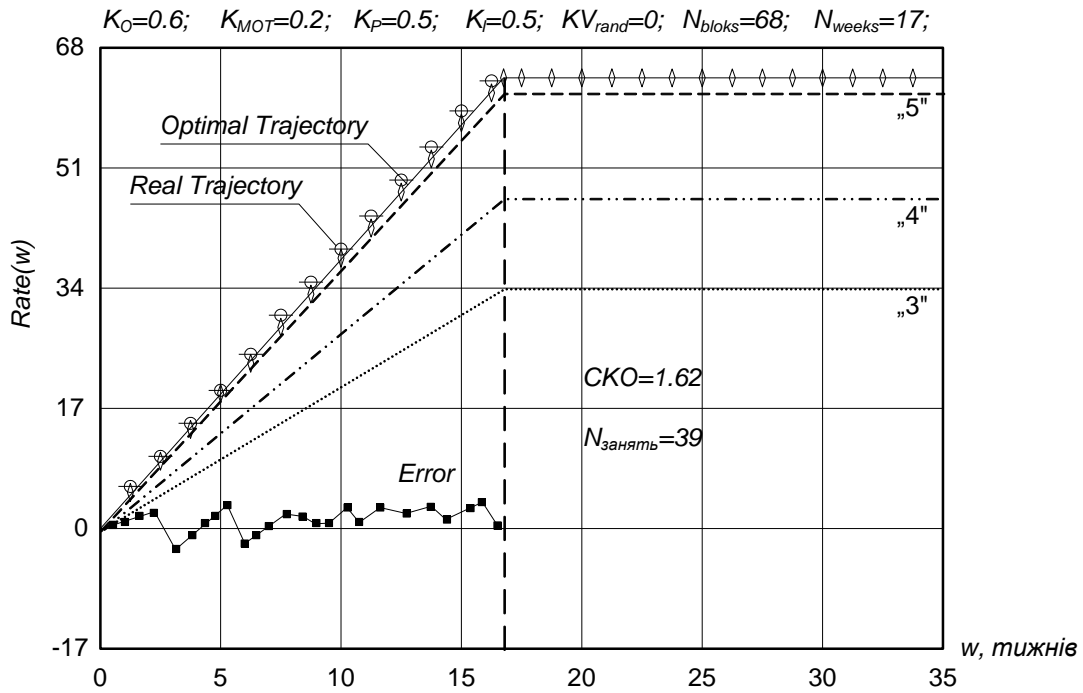


Рис.5 Замкнена система автоматичного керування з інтегро-пропорційним регулятором (ідеальний учень)

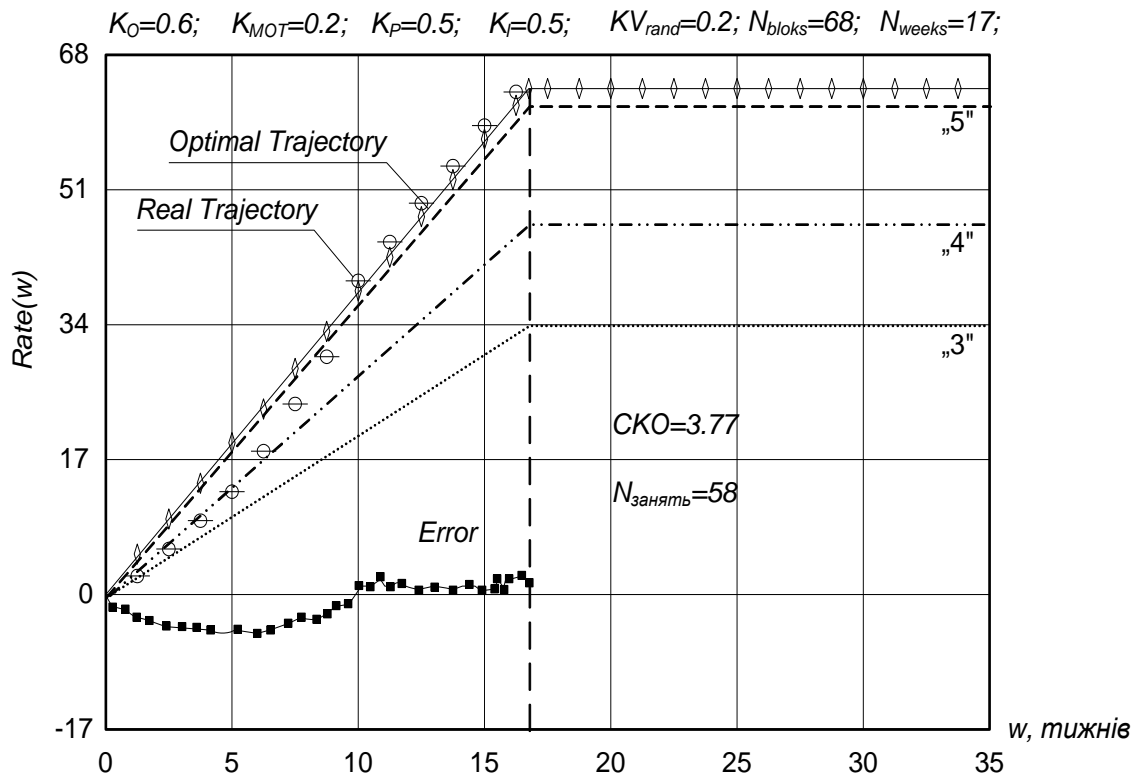


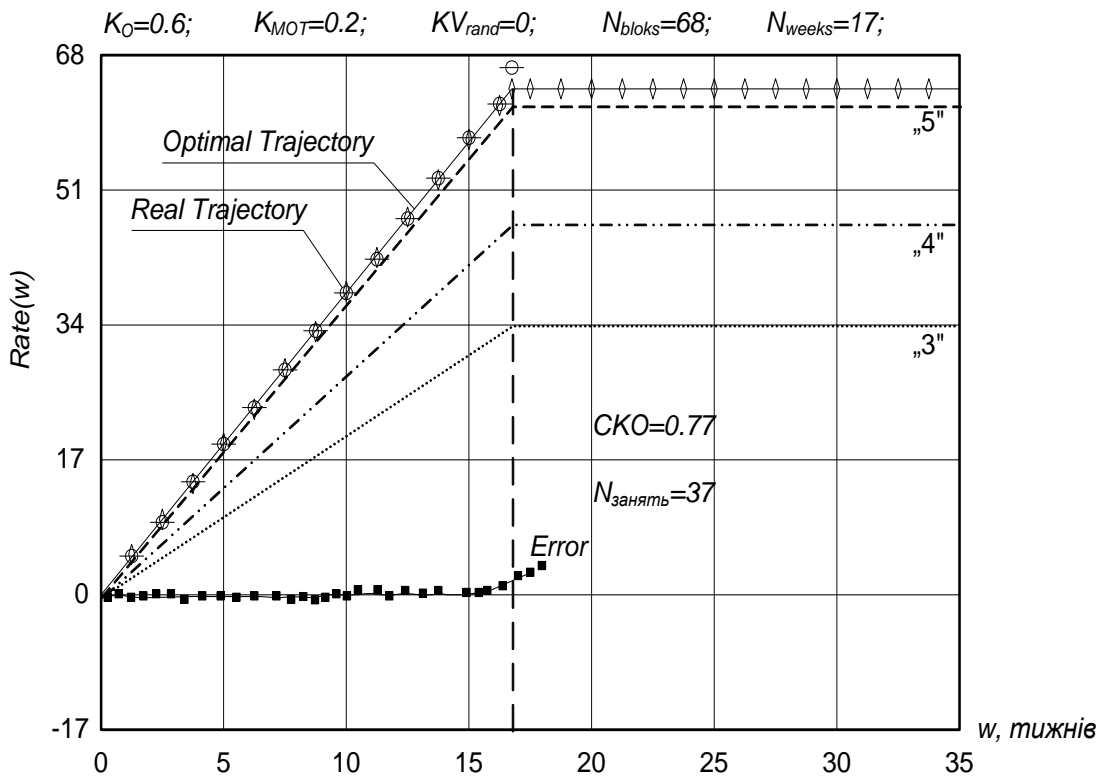
Рис.6 Замкнена система автоматичного керування з інтегро-пропорційним регулятором (реальний учень)

Таким чином стандартні пропорційні і пропорційно-інтегральні закони керування забезпечують відслідковування оптимальної траєкторії з похибкою 1,57 – 3,77 одиниць при сумарному максимальному рейтингу в 68 одиниць, тобто з похибкою 2 – 6 %.

З метою подальшого поліпшення процесу навчання реального учня ($KV_r = 0,2$) розглянемо можливість побудови оптимального адаптивного (до учня) закону керування замість стандартного пропорційного та інтегрального. Хай на кінець n -го заняття (Рис.1, момент часу $t_{n,2}$) поточний сумарний рейтинг учня, після виконання вхідного контролю залишкових знань по $n-1$ -ому заняттю ($KV(n-1)$) складає $\sum_n KV(n)$. Сума оцінок поточного контролю по m мікро блокам n -го заняття дорівнює $K(n)$. Відоме також оптимальне (бажане) значення сумарного рейтингу учня на момент часу $t_{n,1}$, це $\sum_n KV^*(n)$.

З урахуванням того, що на момент часу початку $n+1$ -го заняття рівень знань учня експоненціально зменшується (стала часу τ_n), то для моменту $t_{n+1,1}$ прогнозний рейтинг учня визначиться виразом:

$$\sum_n KV(n+1, t_{n+1,1}) = \sum_n KV(n, t_{n,2}) + K(n, t_{n,2}) \cdot \exp\left[\frac{t_{n+1,1} - t_{n,2}}{\tau_n}\right] \quad (6)$$



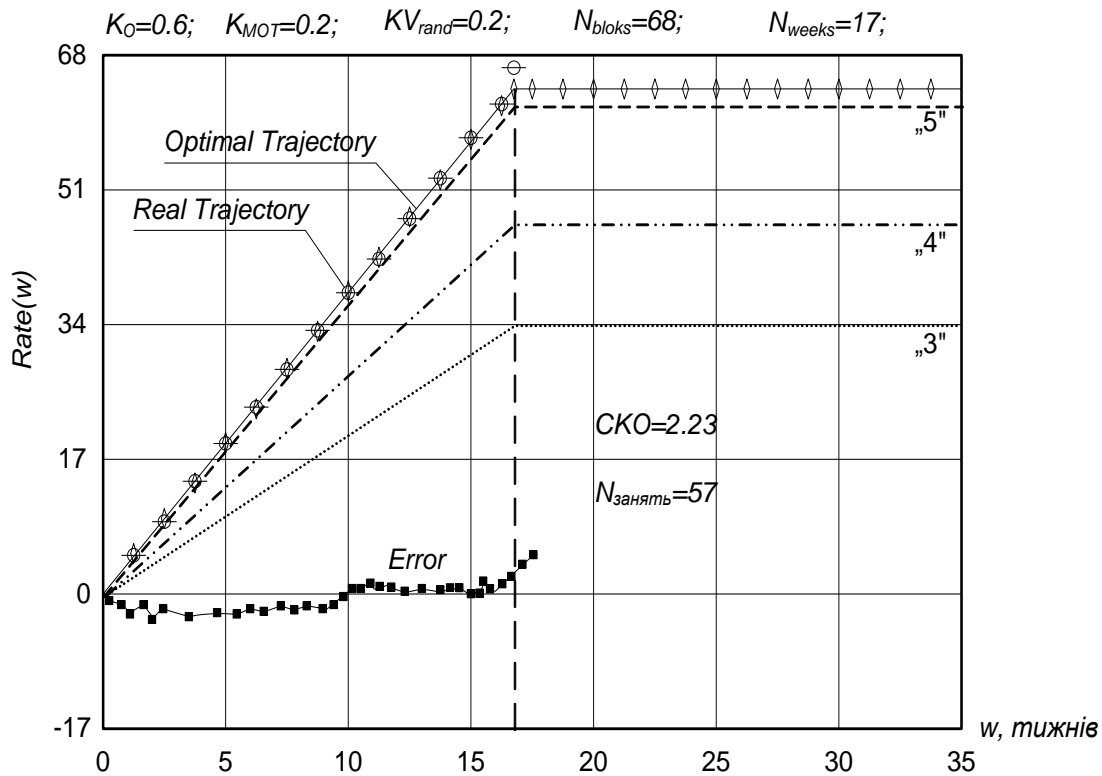


Рис.7 Оптимальна система автоматичного керування процесом навчання (реальний учень)

Прирівнявши вираз (6) до оптимального рейтингу $\sum_n KV^*(n+1)$, отримуємо вираз для визначення оптимального моменту $t_{n+1,1}$ часу початку $n+1$ -го заняття:

$$\sum_n KV(n, t_{n,2}) + K(n, t_{n,2}) \cdot \exp\left[\frac{t_{n+1,1} - t_{n,2}}{\tau_n}\right] = \sum_n KV^*(n+1). \quad (7)$$

Звідси оптимальне значення часу $t_{n+1,1}$ початку $n+1$ -го заняття дорівнюватиме:

$$t_{n+1,1} = t_{n,2} + \tau_n \ln \frac{\sum_n KV^*(n+1) - \sum_n KV(n, t_{n,2})}{K(n, t_{n,2})} \quad (8)$$

Як бачимо, на $t_{n+1,1}$ впливають стала часу τ_n та показники сумарного $\sum_n KV(n, t_{n,2})$ та поточного $K(n, t_{n,2})$ рейтингів. У правій частині виразу (8) відому всі складові, окрім сталої часу τ_n . Вона від заняття до заняття може змінюватись залежно від стану і ступеня мотивації учня. Тому для розв'язання рівняння (8) слід задати τ_n . Найпростіше це зробити, прийнявши, що $\tau_n = \tau_{n-1}$, де τ_{n-1} знаходиться із попереднього заняття з виразу (6), якщо замість $n+1$ взяти n , а замість n взяти $n-1$:

$$\sum_n KV(n, t_{n,1}) = \sum_n KV(n-1, t_{n-1,2}) + K(n-1, t_{n-1,2}) \cdot \exp\left[\frac{t_{n,1} - t_{n-1,2}}{\tau_{n-1}}\right]; \quad (9)$$

звідси

$$\tau_{n-1} = \frac{(t_{n,1} - t_{n-1,2})}{\ln \frac{\sum_n KV(n, t_{n,1}) - \sum_n KV(n-1, t_{n-1,2})}{k(n-1, t_{n-1,2})}}. \quad (10)$$

Більш точно прогнозне значення τ_n визначимо (якщо $n > 3$) лінійною апроксимацією $\tau(t)$ і прогнозом на інтервал $t_{n+1,1} - t_{n,2}$:

$$\tau_{n+1} = \tau_n + [t_{n+1,1} - t_{n,2}] \cdot \frac{\tau_n - \tau_{n-1}}{t_{n,1} - t_{n-1,2}}. \quad (11)$$

Комп'ютерне моделювання оптимальної САК, засобу СЕНД, проведене за тих же умов, що і САК з пропорційно-інтегральним законом керування: $k_0 = 0,6$; $K_M = 0,2$; число блоків $N = 68$, число тижнів – 17, $K_r = 0,2$ (реальний учень). Результат моделювання оптимального режиму навчання наведено на Рис.7. Порівнявши САК з регулятором (5) (Рис.6) і оптимальним регулятором (8) з додатковими обмеженнями на паузу T_n між заняттями ($\max T_n > T_n > \min T_n$), внаслідок того, що $t_{n+1,1}$ за виразом (8) коригується обмеженнями на довжину паузи, робимо такий висновок: практично за однакової кількості занять (58 і 57) у разі оптимального регулятора траєкторія накопичення рейтингу учня значно ближча до бажаної (середньоквадратична похибка 2,23).

Висновок.

За відповідної формалізації процесу навчання на основі системного підходу з відповідним ступенем адекватності є можливість автоматизувати і оптимізувати цей процес.

Прогнозується, що якість навчання значно зросте і наблизиться до рівня безпосереднього спілкування вчитель–учень, якщо матеріал подавати мікроблоками (30 секунд) з запитаннями наприкінці кожного мікро-блоку і трьома правильними відповідями різної глибини розуміння запитання. Учень серед них вибирає (як кращу) зрозумілу для нього, а вчитель – тренажер змінює зміст наступного мікро-блоку залежно від вибраної учнем відповіді. Такий діалог з початковою і поточною мотивацією та контролем наприкінці заняття може значно поліпшити засвоєння матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Система електронних навчально-методичних ресурсів навчальної дисципліни (методичні рекомендації викладачам технологічних дисциплін). Українець А.І., Самсонов В.В., Поворознюк Н.І., Горлова Т.М., Маноха Л.Ю., Хомічак Л.М. НУХТ. – К., 2005. – 113 с.
2. Згуровский М.З., Денисенко В.А., Дискретно-непрерывные системы управляемой структуры. – К.: Наукова думка, 1998. – 350 с.
3. Методы современной ТАУ // Под ред. М.Д.Якубова. – М.: МГТУ им. Баумана, 2000. – 750 с.
4. Поршнев С.В., Беленкова И. В. Численные методы на базе Mathcad. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 464 с.