

УДК 621.396

І.О. Романенко<sup>1</sup>, О.П. Бабенко<sup>2</sup>, І.В. Рубан<sup>3</sup>, С.В.Осієвський<sup>3</sup><sup>1</sup> Генеральний Штаб Збройних Сил України, Київ<sup>2</sup> Міністерство оборони України, Київ<sup>3</sup> Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків**АНАЛІЗ ТЕОРЕТИКО-ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМУВАННЯ СТІЙКИХ ЗНАТЬ**

Проведено аналіз існуючих теоретико-інформаційних моделей формування знань. Виконано узагальнення результатів і сформувано припущення про можливість використання елементів проаналізованих моделей для розробки моделі формування стійких знань для групи навчаємих.

**Ключові слова:** модель, знання, інформація, тестування.

**Вступ**

**Аналіз літератури.** Значну частину описаних в літературі теоретико-інформаційних моделей формування знань складають моделі, що ґрунтуються на розгляді процесів переробки інформації навчаємими. Об'єднує усі ці моделі те, що, практично, у кожній з них передбачається, що можливості навчаємих в сприйнятті і переробці інформації в одиницю часу обмежені [1, 2, 3 і ін.].

Так, наприклад: "... середній час, потрібний для чіткого з'ясування значення деякого сигналу і правильної реакції на нього, зростає пропорційно середній інформації, що міститься в цьому сигналі" [4]. Окремим випадком припущення про обмеженість можливостей людини при переробці інформації є відомий закон Хіка, що встановлює пропорційність (у певному діапазоні) між кількістю обробленої інформації і невизначеністю сигналу.

Розрізняють два типи інформації – зв'язана (початкова, апріорна інформація) і вільна. Процес формування знань при цьому може інтерпретуватися таким чином: "... вільна інформація поступово переходить в зв'язану, відбувається процес "формування знань" – підвищення первинної організації системи, збільшення обсягу зв'язаної інформації" [5]. Навчання може також розумітися як "... розвиток системи без збільшення елементного складу, підвищення цінності інформації встановленням додаткових зв'язків" [6], причому модифікація структури цілей в більшості випадків викликає лише кількісні, а не якісні зміни [7, 8].

Такі підходи в цілому орієнтуються на визначення рівня сформованості знань у окремої особистості, при цьому нехтується проекція перенесення результатів на групу навчаємих.

**Метою статті** являється виявлення в існуючих теоретико-інформаційних моделях параметрів, що можуть бути спроектовані та використані в моделях визначення стійких знань для групи навчаємих.

**Основна частина**

Інформація, що отримується навчаємими або групою навчаємих, може використовуватися, зокрема, наступним чином:

- безпосередня реакція;
- запам'ятовування попередніх ситуацій з метою відбору найбільш успішних реакцій безпосереднього типу;
- запам'ятовування зовнішніх дій з метою їх екстраполяції і виявлення раціональної реакції на екстрапольовану зовнішню дію;
- створення уявлення про зовнішній світ і отримання прогнозу на базі функціонування моделей.

Практично всі розглянуті та проаналізовані моделі формування знань відповідають приведеним вище положенням.

Однією з найбільш поширених моделей ітеративного формування знань є модель, наведена в [9, 10]. В даній моделі був запропонований підхід до визначення поняття організації навчальної системи і її складності через ентропію. Відповідність між навчаємими і організацією навколишнього середовища встановлюється принципом адекватності. Тобто, особові можливості навчаємого визначають межі його "навчаємості", як би не були великі обсяги матеріалу, що надається (зворотне співвідношення зустрічається в біології надзвичайно рідко) [7, 8]. Іншими словами, для того, щоб матеріал був успішно сприйнятий, складність і організація його надання мають бути адекватні складності і організації середовища існування об'єкта навчання.

У [9] запропонований принцип динамічної адекватності: "... при зміні складності і організації середовища біосистема постійно прагне досягти нового рівня адекватності по складності й організації з середовищем із мінімізацією часу, витрат речовини і енергії".

Зокрема, в [9] вводиться наступне припущення (яке в тому або іншому вигляді використовується, практично, у всіх теоретико-інформаційних моделях): зміна ентропії відносно навчаємого – пропорційна зміні ентропії навколишнього середовища.

Коефіцієнт пропорційності залежить від можливостей навчаємих – швидкості запам'ятовування, максимально допустимої швидкості зміни переходів між викладенням матеріалу і так далі, причому, якщо коефіцієнт пропорційності і кількість інформації, що надходить в одиницю часу, постійні (не залежать від часу), то динаміка процесу навчання повинна описуватися експонентою. Розглянемо модель аналізу процесу переробки інформації навчаємим [11]. Дана модель розроблена в припущенні, що інформаційні потоки задовольняють рівнянню:

$$\frac{dI}{dt} = \alpha \frac{dJ}{dt} + \beta J, \quad (1)$$

де  $I$  – кількість інформації, що поступає;  $J$  – кількість засвоєної інформації;  $\alpha$  і  $\beta$  – константи, що характеризують навчаємого і визначають швидкість формування знань. Рівняння (1) свідчить, що швидкість засвоєння інформації пропорційна швидкості надходження інформації і зменшується (також пропорційно) із зростанням вже отриманої інформації.

Якщо кількість інформації, що надходить в одиницю часу, постійна:

$$I(t) = \theta t. \quad (2)$$

Розв'язання (1) в рамках наведеного припущення має вигляд:

$$J(t) = \delta(1 - e^{-\gamma t}), \quad (3)$$

де  $\delta = \frac{\theta}{\beta}, \quad \gamma = \frac{\beta}{\alpha}. \quad (4)$

Припущення про незмінність кількості інформації, що надходить або переробляється навчаємим в одиницю часу, використовуються практично у всіх теоретико-інформаційних моделях формування знань, причому в більшості з них вони мають саме вигляд (2). У даній моделі для отримання виразу (3) необхідне введення гіпотези про зв'язок інформації, що надходить і засвоюється [11]. Слід зазначити, що швидкість навчання, що визначається константами  $\alpha$  і  $\beta$ , не залежить від темпу надходження інформації  $\theta$  – зовнішнього параметра, а визначається лише можливостями самого навчаємого.

**Модель запам'ятовування і зберігання інформації в пам'яті людини** [12]. В даній моделі передбачається, що інформаційні потоки підкоряються співвідношенню:

$$\frac{dJ}{dt} = \frac{dI}{dt} - (J - J^\infty)/T, \quad (5)$$

де  $\frac{dJ}{dt}$  – темп засвоєння інформації;  $\frac{dI}{dt}$  – темп подачі інформації;  $J$  – кількість засвоєної інформації;  $T$  – постійна часу (характерний час, що визначає швидкість формування знань) процесу переробки інформації пам'яттю людини;  $J^\infty$  – граничне значення засвоєної інформації.

У припущенні  $\frac{dI}{dt} = \theta = \text{const}$  (незмінність зовнішніх умов), розв'язання (5) має вигляд

$$I(t) = \delta(1 - e^{-\gamma t}), \quad (6)$$

де  $\delta = I^\infty + \theta T, \quad \gamma = 1/T.$

**Модель процесу накопичення інформації і її забування** [11].

**Модель переробки інформації оператором** (у людино-машинній системі) при навчанні і в процесі професійної діяльності [11]. Кількість інформації  $I$ , що переробляється оператором в процесі його діяльності, відповідає зміні його ентропії:  $I = \Delta H$ . Отже, невпорядкованість діяльності оператора  $W$  залежить від часу таким чином:

$$W(t) = W_0 e^{-\beta t}. \quad (7)$$

Припустимо, що  $I(t) = \alpha t$ , де  $t$  – час навчання оператора,  $\alpha$  – константа, що характеризує систему підготовки. Визначимо якість роботи оператора таким чином

$$Q(t) = Q_{\max}(1 - W(t)).$$

Тоді  $Q(t) = Q_{\max}(1 - W_0 e^{-\gamma t}), \quad (8)$

де  $\gamma = \alpha\beta.$

Експоненціальний характер отримання знань обумовлений вибором ентропії і інформації як характеристик невпорядкованості, конкретними (зокрема, лінійними) залежностями характеристик діяльності оператора від невпорядкованості і припущенням лінійного збільшення кількості накопиченої інформації. У даній моделі швидкість формування знань залежить як від темпу надходження інформації в процесі навчання, так і від характерного часу зміни невпорядкованості. Залежність помилки від часу можна в цьому випадку схематично представити кривою, наведеною на рис. 1.

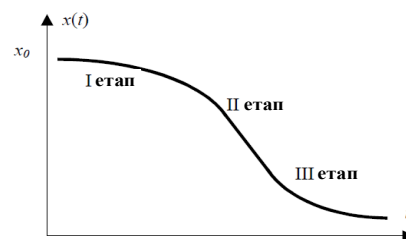


Рис. 1. Залежність помилки оператора від часу навчання

Розглянемо можливість узагальнення проаналізованих моделей з метою отримання найбільш коректної моделі у відношенні до професійної діяльності військовослужбовців. Для такої моделі перш за все актуальним є визначення можливості рішення задачі в групі (підрозділі).

Представимо визначений підрозділ, як складну навчаєму систему у вигляді множини елементів (їх число позначимо  $N$ ), сумісні дії яких ведуть до досягнення деякої фіксованої мети.

Припустимо, що кожен елемент характеризується кінцевою множиною його допустимих станів  $S_i(t)$  (число елементів множини  $S_i$  рівне  $n_i(t)$ ), в одному з яких він може знаходитися у момент часу

$t$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Число незалежних станів системи в цілому (описуване переліком станів її незв'язаних елементів) дорівнює добутку числа допустимих станів всіх елементів.

Припустимо, що процес отримання знань полягає в зведенні числа допустимих станів кожного елемента до деякого мінімуму, тобто в залишенні одного або декількох фіксованих станів, що відповідають вирішуваному завданню. Зменшення числа допустимих станів кожного елемента відбувається по мірі отримання ним інформації. Ентропія  $i$ -го елемента (його неупорядкованість):

$$H_i(t) = \ln n_i(t). \quad (9)$$

Кількість управляючої інформації  $\xi_i(t)$ , що постувила  $i$ -му елементу у момент часу  $t$ , йде на зниження невизначеності:

$$\frac{dH_i(t)}{dt} = -\xi_i(t), \quad t > 0. \quad (10)$$

Припустимо, що існує абсолютна межа кількості регулюючої інформації, що надходить в кожен момент:  $\xi_i(t) \leq \gamma_i, \forall t > 0$ . У загальному випадку, у момент часу  $t$ ,  $\xi_i(t)$  належить відрізьку  $[0; \gamma_i]$  ( $\xi_i(t) \equiv 0$  відповідає тому, що  $i$ -й елемент в момент  $t$  не навчається). Дослідимо, як змінюватиметься з часом число допустимих станів елементів. Підставляючи (9) в (10) і вирішуючи відповідне диференціальне рівняння, отримаємо

$$n_i(t) = n_i^0 \exp\left(-\int_0^t \xi_i(\tau) d\tau\right), i = \overline{1, n}, t > 0, \quad (11)$$

де  $n_i^0$  – число допустимих станів  $i$ -го елемента до початку формування знань. Інтеграл в показнику експоненти відповідає накопиченій елементом ін-

формації  $I_i(t) = \int_0^t \xi_i(\tau) d\tau$ .

Суттєвим питанням при реалізації приведеної теоретико-множинної моделі є питання визначення коефіцієнтів підготовки навчаємих. На наш погляд, оптимальним варіантом визначення такого коефіцієнта є методика адаптивного тестування.

Під адаптивним тестуванням слід розуміти спосіб контролю рівня підготовки навчаємого, при якому процедура вибору і пред'явлення йому чергового тестового завдання на  $(t+1)$ -му кроці тестування визначається відповідями навчаємого на попередніх  $t$  кроках тесту. Слід відмітити, що під тестуванням, у разі визначення практичних навичок, необхідно розуміти правильність виконання операцій при відпрацюванні певних практичних прийомів (нормативів). Математичну основу такого способу визначення рівня підготовленості складає модель об'єднання тестових завдань в тематичні послідовності із зваженим ранжируванням як окремих завдань, так і цілих послідовностей і виведенням підсумкової оцінки за тест (відроблення нормативу) з урахуванням нормованої

суми балів, що накопичується за вибрані навчаємих варіанти відповідей або виконання нормативу. Таким чином, формується необхідний показник рівня підготовленості навчаємого.

Нехай  $V_{MTZ} = \{v_j\}$ ,  $j = \overline{1, N_{\max}}$  – множина тестових завдань, які можуть використовуватися для формування тесту;  $V_{TZ} = \{v_j\}$ ,  $j = \overline{1, N}$  – тестові завдання, відібрані для перевірки знань конкретного тестованого, причому  $N < N_{\max}$ . Позначимо  $S_t$  – нормовану щодо кількості поставлених питань суму балів, накопичену навчаємих за відповіді на 1, 2, ...,  $t$ -му кроках тесту.

Шкалу підсумкового оцінювання рівня підготовленості  $U_1$  спрощено представимо у вигляді  $U_1 = [0, I_1/O_1, I_2/O_2, \dots, I_n/O_n, \dots, 1/O_{n+1}]$ , де  $0 < I_1 < I_2 < \dots < I_n < 1$  – межі оцінних інтервалів;  $O_i$ ,  $i = \overline{1, n+1}$  – оцінка, якою характеризуються знання тестованого у разі, коли накопичена ним сума балів  $S_t$  потрапляє в інтервал  $[I_{i-1}, I_i]$ . Оскільки  $N \ll N_{\max}$ , то згідно теорії вірогідності сума балів  $S_t$  може використовуватися для оцінювання знань навчаємого з довірчою вірогідністю  $P_t < 1$ , і, отже, при виведенні підсумкової оцінки підготовленості за наслідками виконання  $N$  завдань за  $t$  кроків тестування необхідно враховувати ненульовий інтервал невизначеності  $\pm DI > 0$ , у якому з вірогідністю  $P_t$  знаходиться дійсне значення  $S_t^{\text{ist}}$ :  $S_t^{\text{ist}} \in [S_t - DI; S_t + DI]$ . З практичної точки зору це означає, що при проєцюванні значення  $S_t$  на шкалу  $U_1$  слід брати до уваги не тільки сегмент шкали в який потрапляє значення  $S_t$ , але і його можливе розсіювання з урахуванням інтервалу невизначеності  $DI$ . При попаданні суми балів в інтервал  $I_i + DI < S_t < I_i - DI$  сума балів  $S_t^{\text{ist}}$  відповідає дійсній оцінці підготовленості. У цій ситуації є достатньо підстав для виставлення оцінки  $O_{i+1}$  відразу після закінчення першого етапу тестування, тому подальше пред'явлення додаткових або уточнюючих питань недоцільне.

## Висновки

Таким чином, приведені міркування дають можливість говорити про те, що результати моделей 1 – 3 можуть розглядатися як окремі випадки пропонуваної моделі. У всіх моделях даної роботи швидкість формування знань визначається кількістю накопиченої інформації, тому для збільшення швидкості формування знань, в рамках даної моделі, доцільно вибирати як можна більший темп передачі інформації. Проте, слід враховувати, що в реальних системах перевищення деякого порогового обсягу інформації, що надходить, може зробити негативний вплив і знизити ефективність формування знань (аналог ефекту інтерференції навичок). Приведена

методика визначення коефіцієнтів підготовленості навчаємих може бути використана на будь-якому з етапів реалізації теоретико-множинної моделі.

### Список літератури

1. Братко А.А. *Информация и психика* / А.А. Братко, А.Н. Кочергин. – Н-ск: Наука, 1977. – 198 с.
2. Клаус Г. *Кибернетика и общество* / Г. Клаус. – М.: Прогресс, 1967. – 431 с.
3. Линдсей П. *Переработка информации у человека (введение в психологию)* / П. Линдсей, Д. Норман. – М.: Мир, 1974. – 550 с.
4. Яглом А.М. *Вероятность и информация* / А.М. Яглом, И.М. Яглом. – М.: Наука, 1973. – 511 с.
5. Зингерман А.М. *Информация и функциональные системы* / А.М. Зингерман, Д.Н. Меницкий, В.В. Усов // *Принципы системной организации функций*. – М.: Наука, 1973. – С. 86-91.
6. Дружинин В.В. *Проблемы системологии (проблемы теории сложных систем)* / В.В. Дружинин, Д.С. Контров. – М.: Сов. радио, 1976. – 295 с.
7. Козелецкий Ю. *Психологическая теория решений* / Ю. Козелецкий. – М.: Прогресс, 1979. – 504 с.
8. Миллер Д. *Планы и структура поведения* / Д. Миллер, Е. Галантер, К. Прибрам. – М.: Прогресс, 1964. – 236 с.
9. Ферстер Г. *О самоорганизующихся системах и их окружении* / Г. Ферстер // *Самоорганизующиеся системы*. – М.: Мир, 1964. – С. 113-139.
10. Антомонов Ю.Г. *Организация и оптимальность* / Ю.Г. Антомонов // *Моделирование в биологии и медицине*. – К.: Наукова думка, 1968. – С. 163-182.
11. Новиков Д.А. *Закономерности итеративного научения* / Д.А. Новиков. – М.: Институт проблем управления РАН, 1998. – 77 с.
12. Присняков В.Ф. *Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем* / В.Ф. Присняков, Л.М. Приснякова. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.

Надійшла до редколегії 17.12.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### АНАЛИЗ ТЕОРЕТИКО-ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ЗНАНИЙ

И.А. Романенко, А.П. Бабенко, И.В. Рубан, С.В. Осиевский

*Проведен анализ существующих теоретико-информационных моделей формирования знаний. Выполнено обобщение результатов и сформировано предположение о возможности использования элементов проанализированных моделей для разработки модели формирования устойчивых знаний для группы обучаемых.*

**Ключевые слова:** модель, знания, информация, тестирование.

### ANALYSIS OF THEORETICAL INFORMATIVE MODELS OF FORMING OF KNOWLEDGES

I.O. Romanenko, O.P. Babenko, I.B. Ruban, S.V. Osiyevs'kiy

*The analysis of existent theoretical informative models of knowledge's is conducted. Generalization of results is executed. Supposition about the use of elements of models is formed for forming of steady knowledge's of group of taught.*

**Keywords:** model, knowledge's, information, testing.