

УДК 519. 72

В.И. Сумин, О.В. Исаев, М.В. Скулков  
**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО  
ФОРМИРОВАНИЮ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ОБУЧЕНИЯ**

*Воронежский институт ФСИИ России  
Воронежский государственный педагогический университет*

*В статье рассмотрен процесс обучения, который представляется в виде дискретного информационного потока. На каждом из этапов процесса обучения ученика проанализированы порции обучающей информации и определено качество их усвоения, с определением уровня незнания порции учебной информации. Сформированы индивидуальные характеристики и реакция ученика на каждую порцию обучающей информации. В условиях построения оптимальной обучающей системы, на основе среднего значения уровня незнания определена функция качества обучения ученика. Сформирована более адекватная оценка процесса обучения ученика, что позволяет эффективнее корректировать действующую систему обучения в процессе трансформации её характеристик. Рассмотрен алгоритм управления обучением ученика с прогнозируемым количеством контрольных проверок его знаний, что позволяет сформировать требуемое управляющее воздействие, которое для этого необходимо. С использованием исследованного алгоритма сформирован вектор вероятностей незнания учеником элементов обучающей информации. Также разработан алгоритм по формированию прогнозируемых параметров обучения ученика. Решена задача, позволяющая сравнивать оптимальную продолжительность обучения ученика, полученную экспериментально, с теоретически прогнозируемой продолжительностью процесса обучения. При этом сделан вывод об эффективности формирования прогнозируемых параметров обучения ученика. В работе разработана информационная система, использующая результаты экспериментальных значений индивидуальных параметров обучения каждого ученика и позволяющая определить индивидуальные характеристики, вычислить рейтинг и отслеживать процесс изменения параметров обучения.*

**Ключевые слова:** алгоритм, информационная система, информационный процесс, модель взаимодействия, непрерывный информационный поток, дискретный информационный поток, параметр обучения, вектор вероятностей незнания, функция качества обучения, порция учебной информации.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Процесс обучения является сложной системой, которую целесообразно представить в виде этапов: получения учебной информации по дисциплине, усвоения учебного материала, контроля восприятия учебного материала и формирования управляющего воздействия на ученика. Такой процесс необходимо представить в виде дискретного информационного потока, а именно в виде порций учебной информации. Для формирования этого процесса необходимо определить общее количество элементов учебной порции информации и среднее время

заучивания этой порции. Перед началом процесса обучения необходимо определить вероятность незнания учебного материала обучаемым, определяемую, в частности, с учетом индивидуальных характеристик ученика. Также в процессе обучения важно учитывать индивидуальные особенности учащегося по забыванию учебного материала. Оптимизация процесса обучения должна осуществляться на основе использования функции и критерия качества обучения ученика.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Процесс обучения необходимо рассматривать как систему, которую необходимо разбить на этапы: получения информации об изучаемой дисциплине, усвоения учебного материала и контрольной проверки знаний.

Этот процесс необходимо осуществлять под управляющим воздействием, представимом в виде дискретного информационного потока.

На каждом этапе учебного процесса ученик получает порции учебной информации  $U_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ , которые необходимо представить в виде совокупности элементов по каждой порции учебной информации:

$$u_k = (m_{k-1} + 1, m_{k-1} + 2, \dots, m_k), \quad (1)$$

где  $m_k$  - количество элементов порции учебной информации, получаемых на  $k$ -м сеансе обучения, которое определяется согласно (2):

$$m_k = \max_{1 \leq m^* \leq m} \left\{ m^* : t_k \geq f \cdot \sum_{i \in m^*} p_i(t_i^k) \right\}, \quad (2)$$

где  $f$  - среднее время заучивания элемента порции учебной информации;  $m$  - общее количество элементов учебной порции информации.

На первоначальном этапе осуществляется проверка уровня знания ученика, осуществляемая на основе тестирования в определенные моменты времени  $t_j^k$ ,  $j=1, 2, \dots, l$  при условии, что время тестирования ученика не превышает времени, требуемого на изучение порции учебной информации:  $t_j^k \leq t^k$ .

В процессе обучения ученика количество измерений  $S^*$  задается на базе вычисленной размерности странного аттрактора. Предполагаем, что изучение порции учебной информации в момент времени  $t_j^k$ ,  $j=1, 2, \dots, l$  на  $k$ -м этапе, позволяет познать весь объем учебной информации и, поэтому, вероятность незнания равна нулю.

$$p_i^k(t_j^k) = 0. \quad (3)$$

Вероятность незнания ученика  $P_k$  в момент времени  $t_j^k$ ,  $j=1, 2, \dots, l$  на  $k$ -м этапе вычисляется на основе экспоненциальной зависимости [7,9].

$$P_k = (p_1^k, p_2^k, \dots, p_{m_k}^k), \quad (4)$$

где

$$p_i^k = 1 - e^{-\alpha_i^k t_i^k}, i=1,2,\dots,m_k, k=1,2,\dots,N, \quad (5)$$

где

$$t_i^{k+1} = \begin{cases} \Delta t_k, i \in u_k \\ t_i^k + \Delta t_k, i \notin u_k \end{cases}, \quad (6)$$

Учитывая тот факт, что со временем учебная информация, освоенная учеником, забывается, то такой процесс формализуется в виде:

$$\alpha_i^{k+1} = \begin{cases} \alpha_i^k, i \notin \bigcup_{j=1}^k u_j; \\ \gamma_1 \alpha_i^k, r_i^k = 0 \text{ } \forall i \in \bigcup_{j=1}^k u_j; \\ \gamma_2 \alpha_i^k, r_i^k = 1 \text{ } \forall i \in \bigcup_{j=1}^k u_j. \end{cases} \quad (7)$$

где  $\alpha^l$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  - индивидуальные характеристики состояния ученика или параметры адаптации,  $r_i^k$  - реакция ученика на воздействие  $k$ -й порции учебной информации, определяемая согласно соотношению (8) в виде тестов:

$$r_i^k = \begin{cases} 0, \text{ если обучаемый дал правильный ответ;} \\ 1, \text{ в противном случае.} \end{cases} \quad (8)$$

Определение реакции ученика на каждую порцию учебной информации, а также определение индивидуальных характеристик ученика позволит повысить все показатели по каждому обучаемому.

В рамках теоретического подхода, необходимо понимать, что уровень незнания порции учебной информации определяется выражением:

$$Q_j^k = \sum_{i=1}^{m_k} p_i^k q_i. \quad (9)$$

Причем

$$\alpha_i^{j+1} = \begin{cases} \gamma_1 \alpha_i^j, r_i^j = 0; \\ \gamma_2 \alpha_i^j, r_i^j = 1, i=1,2,\dots,l. \end{cases} \quad (10)$$

$$t_i^{j+1} = \Delta t_j. \quad (11)$$

Поэтому функцию качества обучения ученика необходимо формировать как среднее значение уровней незнания на  $k$ -м сеансе обучения.

$$Q = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l Q_j^k. \quad (12)$$

Индивидуальные способности каждого ученика не одинаковы и поэтому подача порций учебной информации (ПУИ) не может быть освоена каждым учеником полностью. Поэтому важную роль в процессе обучения ученика будет играть определение уровня незнания  $Q_j$  учебной информация.

Процесс обучения необходимо начинать после подачи первой ПУИ. Этот процесс необходимо представить в виде вектора внешних воздействий  $S(u_1)$ . Алгоритм управления процессом обучения с прогнозируемым количеством контрольных проверок ученика формируется как управляющее воздействие (порции учебной информации), которое необходимо сформировать для ученика.

Рассмотрим алгоритм управления процессом обучения ученика с прогнозируемым количеством контрольных проверок обучаемого:

1. С использованием тестирования проводится проверка знаний ученика ПУИ  $u_k$  в результате которой формируется множество  $R_k$ :

$$R_k = \left( r_1^k, r_2^k, \dots, r_{m_k}^k \right),$$

где  $r_i^k$  определяется соотношением (8).

2. Используя выражения (7), (10), осуществляется адаптация параметров ученика (объект управления).

3. Используя выражения (5), (6) - (7), (10) - (11), формируется вектор вероятностей незнания элементов учебной информации (ЭУИ)  $P_k$ .

4. Используя выражения (11-12), определяются значения, где  $Q_j^k$  и функция качества обучения ученика  $Q$ .

5. Процесс  $k$ -го этапа обучения ученика заканчивается, если удовлетворен критерий качества обучения обучающегося  $Q \leq \sigma$ . Далее ученику подается следующая ПУИ  $u_{k+1}$  в соответствии с предложенным алгоритмом.

Если критерий качества обучения ученика не выполняется, тогда если  $j \leq s$  ( $s^*$  – оценка количества переменных функции качества обучения, полученная на базе метода вычисления корреляционной размерности на основе временного ряда наблюдений) ПУИ  $u_k$  вновь даются ученику для изучения по предложенному алгоритму.

Достижение цели обучения более адекватно отражает состояние знаний обучаемого. Использование алгоритма управления обучением с определением количества прогнозируемых контрольных проверок ученика, произведенных на основе временных рядов, не предполагает использования модели корректировки состояния ученика (объект управления), которая из-за множества случайных факторов может не совсем адекватно отражать реальное состояние знаний ученика (объект управления). Следовательно, более адекватная оценка  $s^*$ , позволяет

эффективнее корректировать действующую систему в процессе трансформации её характеристик в рамках оптимальной системе.

Рассмотрим подробнее процесс управления учеником с прогнозируемым количеством его контрольных проверок [6, 9,14]. При получении ПУИ,  $r_i^k$  ученика и его знания будут описываться некоторой случайной величиной  $\lambda_i^k \in [0, 1]$ , со следующим распределением:

$$P(\lambda_i^k = 1) = p_i^k, \quad (13)$$

$$P(\lambda_i^k = 0) = 1 - p_i^k, \quad i = 1, 2, \dots, m_k \quad (14)$$

С учетом выражения (5) вектор  $P_k$  однозначно определяется векторами:

$$\alpha^k = (\alpha_1^k, \alpha_2^k, \dots, \alpha_{m_k}^k), \quad (15)$$

$$t^k = (t_1^k, t_2^k, \dots, t_{m_k}^k). \quad (16)$$

Поэтому, в  $2m_k$  - мерном евклидовом пространстве формируется векторная функция  $f: R^{2m_k} \rightarrow R^{m_k}$ , такая что:

$$P_k = f(\alpha^k, t^k) \quad (17)$$

Базируясь на (11), функция, определяющая уровень незнания ученика, формируется в виде скалярного произведения:  $Q_j = (P_k, q)$ , где  $q = (q_1, q_2, \dots, q_{m_k}) \in R^{m_k}$ , является вектором, определяющим состояние ученика до начала обучения.

Следовательно, в  $2m_k$  - мерном евклидовом пространстве сформирована векторная функция  $h: R^{2m_k} \rightarrow R^1$ , такая что:

$$Q_j = (f(\alpha^k, t^k), q) = h(\alpha^k, t^k) \quad (18)$$

Анализ выражений (15)-(18) позволяет сделать вывод о том, что в момент времени  $t^k$  процесс управления обучением ученика описывается двумя случайными  $m_k$  - мерными векторами  $\alpha^k$  и  $t^k$ .

Практическая составляющая заключается в получении экспериментальных значений индивидуальных характеристик ученика.

Выражения (17)-(18) с использованием  $\zeta_k = (\alpha^k, t^k)$  можно представить в виде:

$$P_k = f(\zeta_k) \quad (19)$$

$$Q_j = h(\zeta_k).$$

Для дальнейшего исследования управления обучением ученика рассмотрим вектор  $\chi_k = (\chi_1^k, \chi_2^k, \dots, \chi_{m_k}^k)$  с компонентами:

$$\chi_i^k = \begin{cases} 1, & i \in \bigcup_{j=1}^k u_j \\ 0, & i \notin \bigcup_{j=1}^k u_j \end{cases} \quad (20)$$

Считаем, что  $\omega = ((\alpha^1, t^1), (\alpha^2, t^2), \dots, (\alpha^m, t^m))$  - траектория обучения ученика из  $\Omega$  - множества всех возможных траекторий в  $R^{2m}$ . С использованием (7) получаем случайные величины  $\alpha_i^{k+1}$  имеют распределение вероятностей:

$$\begin{aligned} P(\alpha_i^{k+1} = \alpha_i^k | (\alpha_i^k, t_i^k)) &= 1 - \chi_i^k; \\ P(\alpha_i^{k+1} = \gamma_1 \alpha_i^k | (\alpha_i^k, t_i^k)) &= (1 - p_i^k) \chi_i^k; \\ P(\alpha_i^{k+1} = \gamma_2 \alpha_i^k | (\alpha_i^k, t_i^k)) &= p_i^k \chi_i^k, \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (21)$$

Формула (19) показывает то, что на  $(k+1)$ -м сеансе обучения ученика  $\alpha^{k+1}$  полностью определяется вектором  $\zeta_k = (\alpha^k, t^k)$  и не зависит от этапа сеанса  $k$ . При определении вектора  $t^{k+1}$  будем считать, что промежуток времени между сеансами обучения постоянен и равен  $\Delta t$ . Поэтому, выражение (6) примет вид:

$$t_i^{k+1} = \begin{cases} \Delta t, & i \in u_k \\ t_i^k + \Delta t, & i \notin u_k \end{cases} = \begin{cases} \Delta t, & \chi_i^k = 1; \\ t_i^k + \Delta t, & \chi_i^k = 0 \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (22)$$

Выражение (22) примет вид:

$$t_i^{k+1} = \Delta t + (1 - \chi_i^k) t_i^k = z(i, t^k) \quad (23)$$

Поэтому, и на  $(k+1)$ -м шаге, и на  $k$ -м шаге,  $\zeta_{k+1}$  определяется  $\zeta_k$ , а это означает, что  $P_{k+1}$  и  $Q^{k+1} = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l Q_j^{k+1}$  формирует реализацию  $\zeta_k$  и не зависит от  $k$ .

Это позволяет сформировать следующий вывод. Вероятность любого состояния ученика на  $k$ -м шаге зависит от состояния предыдущего состояния, и не зависит от способа перевода из одного состояния в другое. Определим условные математические ожидания параметров обучения ученика и функций процесса  $\zeta_k = (\alpha^k, t^k)$  обучения на  $k$ -м шаге функций  $P_k$  и  $Q_k$ .

Учитывая выражения (14) и (23) получим:

$$\begin{aligned} M(\alpha_i^{k+1} | \zeta_k) &= \alpha_i^k (1 - \chi_i^k) + \gamma_1 \alpha_i^k (1 - p_i^k) \chi_i^k + \gamma_2 \alpha_i^k p_i^k \chi_i^k = \\ &= \alpha_i^k (1 - \chi_i^k (1 - \gamma_1) - \chi_i^k (\gamma_1 - \gamma_2) p_i^k). \end{aligned} \quad (24)$$

Так, как при условии  $\zeta_k$  время  $t_i^{k+1}$  является детерминированной величиной, получим:

$$M(\alpha_i^{k+1} t_i^{k+1} | \zeta_k) = \Delta t \alpha_i^k (1 - \chi_i^k (1 - \gamma_1) - \chi_i^k (\gamma_1 - \gamma_2) p_i^k) + (1 - \chi_i^k) \alpha_i^k t_i^k. \quad (25)$$

Используя (5) и (7) получим:

$$\begin{aligned} M(p_i^{k+1} | \zeta_k) &= M\left(1 - e^{-\alpha_i^{k+1} t_i^{k+1}} | \zeta_k\right) = 1 - (1 - p_i^k) e^{-t_i^{k+1} (\alpha_i^k (1 - \chi_i^k) + \chi_i^k \gamma_1)} - \\ &\quad - p_i^k e^{-t_i^{k+1} (\alpha_i^k (1 - \chi_i^k) + \chi_i^k \gamma_2)}. \end{aligned} \quad (26)$$

Используя (19) и (26), получим:

$$\begin{aligned} M(Q_j^{k+1} | \zeta_k) &= \sum_{i=1}^{m_{k+1}} q_i M(p_i^{k+1} | \zeta_k) = \sum_{i=1}^{m_{k+1}} q_i - \sum_{i=1}^{m_{k+1}} q_i \left[ (1 - p_i^k) e^{-t_i^{k+1} (\alpha_i^k (1 - \chi_i^k) + \chi_i^k \gamma_1)} - \right. \\ &\quad \left. - p_i^k e^{-t_i^{k+1} (\alpha_i^k (1 - \chi_i^k) + \chi_i^k \gamma_2)} \right] = 1 - \sum_{i=1}^{m_{k+1}} q_i \left[ (1 - p_i^k) e^{-t_i^{k+1} (\alpha_i^k (1 - \chi_i^k) + \chi_i^k \gamma_1)} - \right. \\ &\quad \left. - p_i^k e^{-t_i^{k+1} (\alpha_i^k (1 - \chi_i^k) + \chi_i^k \gamma_2)} \right] \end{aligned} \quad (27)$$

где  $t_i^{k+1}$  определяется по формуле (25).

Определяем (27) для  $\chi_i^k = 0$  и  $\chi_i^k = 1$ :

$$\begin{aligned} M(Q_j^{k+1} | \zeta_k) &= \sum_{i=1}^{m_{k+1}} q_i M(p_i^{k+1} | \zeta_k) = 1 - \sum_{i \in \cup u_k} q_i e^{-\Delta t \alpha_i^k \gamma_1} + \\ &\quad + \sum_{i \in \cup u_k} q_i p_i^k \left( e^{-\Delta t \alpha_i^k \gamma_1} - e^{-\Delta t \alpha_i^k \gamma_2} \right) - \sum_{i \notin \cup u_k} q_i e^{-\left(\Delta t + t_i^k\right) \alpha_i^k \gamma_1} \end{aligned} \quad (28)$$

Используя (26) и (28), вычисляем условное математическое ожидание для функции качества процесса обучения ученика.

$$M(Q^{k+1}|\zeta_k) = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l M(Q_j^{k+1}|\zeta_k) = 1 - \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l \left[ \sum_{i \in \cup_{u_k}} q_i^e e^{-\Delta t \alpha_i^j \gamma_1} + \right. \quad (29)$$

$$\left. + \sum_{i \in \cup_{u_k}} q_i^p e^{-\Delta t \alpha_i^j \gamma_1} e^{-\Delta t \alpha_i^j \gamma_2} \right] - \sum_{i \notin \cup_{u_k}} q_i^e e^{-\left(\Delta t + t_i^j\right) \alpha_i^j \gamma_1}$$

Для формирования требуемого уровня обученности ученика, необходимо использовать функцию, которая вычисляет число сеансов обучения, необходимых для достижения уровня учеником  $Q \leq \sigma$ , зависящая от:  $m$  - объема всей учебной информации;  $m_k$  - объемов порций учебной информации;  $\Delta t_k$  - время продолжительности обучения между сеансами;  $s^*$  - количеством измерений состояния ученика;  $Q$  - уровня незнания ученика;  $\sigma$  - границы незнания учеником.

Функция качества процесса обучения ученика имеет вид (30).

$$n(\omega) = F(m, \{m_k\}_{k=1,2,\dots,N}, \{\Delta t_k\}_{k=1,2,\dots,N}, s^*, \sigma, (Q^k(\omega))_{k=1,2,\dots,N}) \quad (30)$$

Для определения вида функции качества процесса обучения ученика сделаем следующие предположения:

1. На каждом сеансе обучения ученика выдается одинаковое количество ЭУИ  $m_k = m/N = m$ .
2. Время между сеансами обучения ученика постоянны ( $\Delta t_k = \Delta t$ ).
3. Количество измерений  $s$  для каждой порции обучаемой информации постоянно;
4. Начальные скорости забывания учеником для всех ЭУИ одинаковы.

Учитывая (20) преобразуем в виде:

$$\alpha_i^{k+1} = \gamma_i^k \alpha_i^k \chi_i^k + \alpha_i^k (1 - \chi_i^k), \quad (31)$$

где

$$\gamma_i^k = \begin{cases} \gamma_1, & \chi_i^k = 1 \text{ и } r_i^k = 0; \\ \gamma_2, & \chi_i^k = 1 \text{ и } r_i^k = 1. \end{cases} \quad (32)$$



Учитывая (32) и (22), формируем выражение для уровня незнания учеником:

$$Q^{k+1} = \frac{1}{s} \sum_{j=1i=1}^s \sum_{km} q_i \left( 1 - e^{-\left[ \gamma_i^j \alpha_i^j \Delta t \chi_i^j + \alpha_i^j (\Delta t + t_i^j) (1 - \chi_i^j) \right]} \right) \quad (33)$$

Учитывая предположение, и количество повторов, считая определенным, один сеанс обучения содержит  $s$  циклов обучения.

Следовательно, порции обучающей информации описываются векторами:

$$\begin{aligned} \chi^0 &= \underbrace{\left( \underbrace{1, \dots, 1}_m, \underbrace{0, \dots, 0}_{m-m} \right)}_s, \chi^1 = \underbrace{\left( \underbrace{1, \dots, 1}_m, \underbrace{1, \dots, 1}_m, \underbrace{0, \dots, 0}_{m-2m} \right)}_s, \dots, \\ \chi^{r-1} &= \underbrace{\left( \underbrace{1, \dots, 1}_{rm}, \underbrace{0, \dots, 0}_{m-rm} \right)}_s, \dots, \chi^N = \underbrace{\left( \underbrace{1, \dots, 1}_{m-m}, \underbrace{1, \dots, 1}_m \right)}_s. \end{aligned} \quad (34)$$

Считая, что на каждом сеансе  $m$  ЭУИ выдаются  $s$  раз, а  $0 < \gamma_1 \leq \gamma_i^k \leq \gamma_2 < 1$ , то  $(\gamma_1 \alpha, \dots, \gamma_1 \alpha) \leq \alpha^s \leq (\gamma_2 \alpha, \dots, \gamma_2 \alpha)$ , а через  $N$  сеансов все элементы учебной информации будут выданы  $r < Ns$  раз, следовательно:

$$\begin{aligned} \alpha^{rs} &\leq \left( (\gamma_2)^r \alpha, \dots, (\gamma_2)^r \alpha \right), \\ \alpha^{rs} &\geq \left( (\gamma_1)^r \alpha, \dots, (\gamma_1)^r \alpha \right). \end{aligned} \quad (35)$$

Преобразуя (34) с учетом выражений (33) и (35), получаем оценку  $Q_{rs}$ :

$$\frac{1}{s} \sum_{j=1i=1}^s \sum_{km} q_i \left( 1 - e^{-\left( \gamma_1 \right)^r \alpha N \Delta t} \right) \leq Q^{rs} \leq \frac{1}{s} \sum_{j=1i=1}^s \sum_{km} q_i \left( 1 - e^{-\left( \gamma_2 \right)^r \alpha N \Delta t} \right) \quad (36)$$

Так как  $\frac{1}{s} \sum_{j=1i=1}^s \sum_{km} q_i = 1$ , то:

$$Q^{rs} \leq \left( 1 - e^{-\left( \gamma_2 \right)^r \alpha \Delta t N} \right) m, r = 1, 2, \dots \quad (37)$$

Используя выражение  $Q \leq \sigma$ , получим максимальное число ПУИ, необходимое для достижения уровня  $\sigma$ :

$$r_{\max} \leq \frac{\ln \left( \frac{\ln \left( \frac{m - \sigma}{m} \right)}{\alpha \Delta t N} \right)}{\ln \gamma_2} \quad (38)$$

Поэтому, продолжительность обучения  $n=Nr$  оценивается выражением:

$$n = \left[ N \frac{\ln \left( \frac{\ln \frac{(m-\sigma)}{m}}{\alpha \Delta t N} \right)}{\ln \gamma_2} \right] + 1. \quad (39)$$

Представим процесс формирования прогнозируемых параметров обучения в виде алгоритма (рисунок 1).

1. Определения вероятности незнания ученика  $i$ -го ЭУИ на  $k$ -м сеансе определяется следующим образом:

$$p_i^k = 1 - e^{-\alpha_i^k t_i^k}, \quad i=1,2,\dots,m, k=1,2,\dots,N, \quad (40)$$

2. Формирования всех  $q_i$  преподавателем по учебному материалу до начала обучения ученика как важность  $i$ -го понятия.
3. Вычисления:

$$Q_k = \sum_{i=1}^{m_k} p_i^k q_i, \quad (41)$$

4. Определение порога качества обучения ученика:

$$Q = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l Q_j^k, \quad (42)$$

5. Определение порога  $\sigma$  и определение  $S^*$ .
6. Определение последовательности экспериментальных значений:  
 $T(t) : T_j = T(t_j)$ .
7. Определение  $Q_j$  при  $j > 0$  и величины интервала предсказуемости  $L$ .

Процесс формирования прогнозируемых параметров обучения ученика позволяет оценивать сверху продолжительность процесса обучения при условии, что ПУИ и временные интервалы одинаковые.

### ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Результаты прохождения обучения, полученные экспериментально приведены в Таблице 1. В результате экспериментов для каждого ученика определялись индивидуальные характеристики, которые определяются фрактальными размерностями оценки количества переменных функции качества обучения, необходимых для выполнения критерия качества обучения, а также вычислялось количество повторного прохождения ПУИ и осуществлялось сравнение с прогнозируемыми значениями [5,7,15]. В Таблице 1 производилось сравнение временные характеристики обучения ученика, полученные экспериментально и за счет прогнозируемых значений.

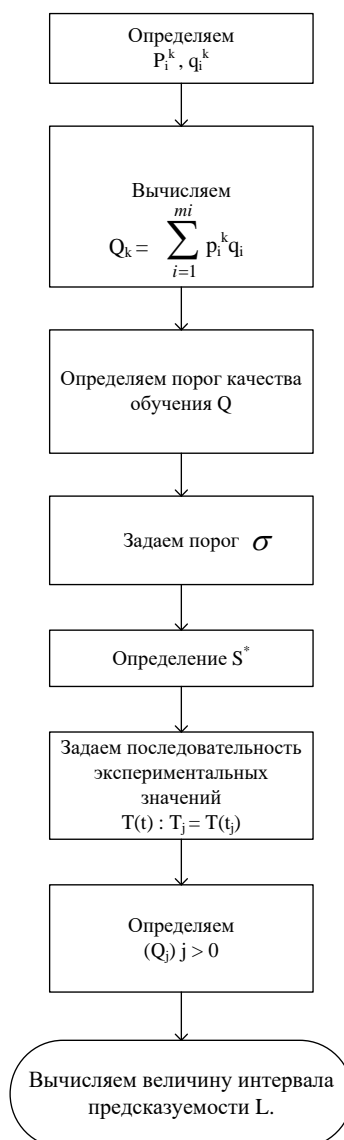


Рисунок 1 - Алгоритм формирования прогнозируемых параметров обучения ученика

Таблица 1 - Результаты прохождения обучения, полученные экспериментально

$N = 8, \sigma = 0,4, \Delta t = 1$									
$m_k$	$\gamma_1 = 0,19, \gamma_2 = 0,28$			$\gamma_1 = 0,3, \gamma_2 = 0,49$			$\gamma_1 = 0,51, \gamma_2 = 0,68$		
	$n_{новм}$	$s^*$	$Q$	$n_{новм}$	$s^*$	$Q$	$n_{новм}$	$s^*$	$Q$
5	1	2	0,18	1	2	0,23	2	3	0,31
10	1	2	0,2	2	3	0,31	3	4	0,38
15	1	2	0,23	2	3	0,34	3	4	0,39
20	2	3	0,28	3	4	0,38	3	4	0,4
$N = 12, \sigma = 0,3, \Delta t = 1$									
$m_k$	$\gamma_1 = 0,19, \gamma_2 = 0,28$			$\gamma_1 = 0,3, \gamma_2 = 0,49$			$\gamma_1 = 0,51, \gamma_2 = 0,68$		
	$n_{новм}$	$s^*$	$Q$	$n_{новм}$	$s^*$	$Q$	$n_{новм}$	$s^*$	$Q$
5	1	2	0,16	2	3	0,22	3	4	0,28
10	2	2	0,21	3	4	0,27	4	5	0,3
15	2	3	0,23	3	4	0,29	3	4	0,29
20	3	3	0,27	4	4	0,3	4	5	0,3
$N = 20, \sigma = 0,3, \Delta t = 1$									
$m_k$	$\gamma_1 = 0,19, \gamma_2 = 0,28$			$\gamma_1 = 0,3, \gamma_2 = 0,49$			$\gamma_1 = 0,51, \gamma_2 = 0,68$		
	$n_{новм}$	$s^*$	$Q$	$n_{новм}$	$s^*$	$Q$	$n_{новм}$	$s^*$	$Q$
5	2	2	0,17	3	3	0,24	3	5	0,28
10	2	3	0,26	3	4	0,26	5	5	0,3
15	2	3	0,28	3	4	0,28	5	5	0,3
20	3	4	0,28	4	4	0,29	5	5	0,3

Используя значения Таблицы 1, сформированы значения Таблицы 2.

Таблица 2 - Результаты сравнения средней продолжительности обучения и ее оценки для разных значений параметров  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$

$N = 6, \sigma = 0,4, \Delta t = 1$									
$m_k$	$\gamma_1 = 0,19, \gamma_2 = 0,28$			$\gamma_1 = 0,3, \gamma_2 = 0,49$			$\gamma_1 = 0,51, \gamma_2 = 0,68$		
	$n_{экс}$	$n$	$\frac{n}{n_{экс}}$	$n_{экс}$	$n$	$\frac{n}{n_{экс}}$	$n_{экс}$	$n$	$\frac{n}{n_{экс}}$
5	14	20	1,43	14	34	2,43	14	66	4,71
10	14	22	1,57	14	40	2,86	14	77	5,5
15	14	23	1,64	14	42	3	14	80	5,71
20	20	25	1,25	20	44	2,2	20	84	4,2
$N = 10, \sigma = 0,3, \Delta t = 1$									
$m_k$	$\gamma_1 = 0,19, \gamma_2 = 0,28$			$\gamma_1 = 0,3, \gamma_2 = 0,49$			$\gamma_1 = 0,51, \gamma_2 = 0,68$		
	$n_{экс}$	$n$	$\frac{n}{n_{экс}}$	$n_{экс}$	$n$	$\frac{n}{n_{экс}}$	$n_{экс}$	$n$	$\frac{n}{n_{экс}}$
5	20	37	1,85	30	69	2,3	40	130	3,25

10	20	43	2,15	40	92	2,3	50	149	2,98
15	20	45	2,25	40	94	2,35	50	152	3,04
20	30	46	1,53	40	110	2,75	50	160	3,2
$N = 20, \sigma = 0,3, \Delta t = 1$									
$m_k$	$\gamma_1 = 0,19, \gamma_2 = 0,28$			$\gamma_1 = 0,3, \gamma_2 = 0,49$			$\gamma_1 = 0,51, \gamma_2 = 0,68$		
	$n_{экс}$	$n$	$\frac{n}{n_{экс}}$	$n_{экс}$	$n$	$\frac{n}{n_{экс}}$	$n_{экс}$	$n$	$\frac{n}{n_{экс}}$
5	40	88	2,2	60	160	2,67	60	298	4,97
10	60	99	1,65	60	179	2,99	100	326	3,26
15	60	103	1,72	60	186	3,1	100	338	3,38
20	60	106	1,78	80	191	2,39	100	356	3,56

В таблице 2 используются обозначения:

$n_{экс}$  - средняя продолжительность обучения ученика, полученная экспериментально;

$n$  - продолжительность обучения ученика, полученная при использовании выражения (41).

$n/n_{экс}$  - показывает во сколько раз оценка продолжительности обучения ученика хуже средней продолжительности обучения исследуемого учебного процесса.

Рассмотрим более тщательно зависимость  $n/n_{экс}$ , которая зависит от числа ЭУИ  $m$  при значениях  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Аппроксимацию выражения  $n/n_{экс} = f(m)$  будем осуществлять с использованием функции:

$$\frac{n}{n_{экс}} = f(m) = a \ln m, \quad (43)$$

где  $a$  - параметр,  $m > 1$ .

Аппроксимацию будем производить с использованием метода наименьших квадратов. Оценку будем осуществлять для различных значений  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Поэтому, учитывая выражения (40) и (41), можно сформировать оценку средней продолжительности процесса обучения ученика в виде:

$$n = \frac{N \left( \frac{\ln \left( \frac{m - \sigma}{m} \right)}{\alpha \Delta t N} \right) + 1}{a \ln m} \cdot \ln \gamma_2 \quad (44)$$

Полученная оценка является приближенной, но все равно её можно использовать для прогнозирования числа сеансов обучения ученика, за которое обучающийся с его индивидуальными параметрами  $\gamma_1, \gamma_2, \alpha$  при заданных  $N, \Delta N, m$  возможно достигнет определенного уровня

обученности  $\sigma$ . Возможно решить и обратную задачу т.е. при заданном числе сеансов обучения ученика  $N_{max}$ , возможно определить количество ЭУИ  $m$  из  $m$  необходимого ученику на каждом сеансе обучения, чтобы достигнуть необходимого уровня  $\sigma$  не позднее  $N_{max}$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В заключении следует отметить, что процесс разработки информационной системы (ИС) и информационных компонент определяет все необходимые составляющие при формировании ИС, задает необходимую последовательность действий.

Последовательность разработки ИС имеет следующий вид:

- выбор инструментальных средств;
- разработка физической модели БД;
- разработка программных модулей ИС.

При этом отслеживать процесс динамики показателей качества усвоения дисциплины учеником позволяют исследуемая ИС [1,16-19].

В заключении следует отметить, что разработанная ИС на основе полученных в результате экспериментов значений индивидуальных параметров ученика позволяет вычислять его индивидуальные характеристики, рейтинг, а также отслеживать процесс изменения параметров обучения (Рисунок 2-4).

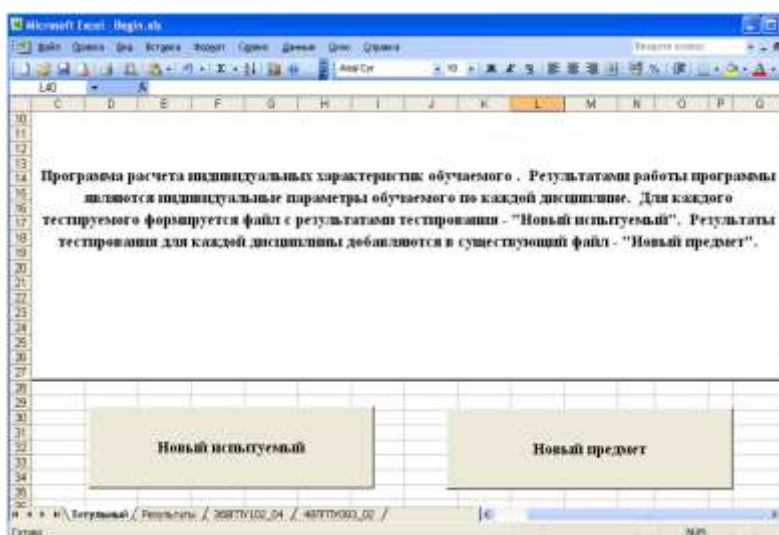


Рисунок 2 - Индивидуальные параметры

группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
группа 1																																		
группа 2																																		
группа 3																																		
Скорость забывания, alpha:		0,42																																
Параметры, характеризующие индивидуальную особенность памяти обучаемого																																		
gamma1		0,65										gamma2																		0,45				

Рисунок 3 - Показатели параметров обучения

```

1 4 20
2 История Философия ИностранныйЯзык
3 0,21 0,19 0,23 0,33 0,13 0,26 0,43 0,15 0,29 0,23 0,17 0,26
4 0,34 0,13 0,26 0,21 0,18 0,24 0,29 0,14 0,28 0,43 0,15 0,26
5 0,25 0,18 0,21 0,34 0,14 0,25 0,27 0,16 0,27 0,25 0,14 0,25
6 0,33 0,14 0,26 0,38 0,17 0,27 0,26 0,15 0,28 0,46 0,15 0,29
7 0,50 0,17 0,24 0,19 0,15 0,28 0,61 0,17 0,20 0,28 0,14 0,35
8 0,16 0,16 0,25 0,43 0,17 0,20 0,23 0,16 0,25 0,31 0,16 0,26
9 0,43 0,17 0,27 0,29 0,16 0,25 0,43 0,40 0,21 0,33 0,15 0,29
10 0,61 0,15 0,28 0,27 0,14 0,21 0,25 0,14 0,26 0,53 0,17 0,28
11 0,23 0,14 0,20 0,26 0,15 0,26 0,46 0,15 0,26 0,43 0,14 0,27
12 0,43 0,15 0,24 0,30 0,14 0,26 0,28 0,16 0,25 0,26 0,18 0,29
13 0,25 0,14 0,25 0,24 0,19 0,21 0,31 0,15 0,29 0,26 0,16 0,28
14 0,46 0,18 0,24 0,24 0,20 0,26 0,33 0,17 0,28 0,43 0,17 0,27
15 0,34 0,16 0,23 0,26 0,16 0,24 0,34 0,17 0,30 0,26 0,15 0,28
16 0,53 0,17 0,25 0,28 0,18 0,25 0,32 0,15 0,31 0,28 0,14 0,20
17 0,43 0,15 0,29 0,31 0,16 0,23 0,26 0,14 0,35 0,31 0,18 0,25
18 0,26 0,17 0,28 0,33 0,14 0,25 0,21 0,15 0,26 0,33 0,16 0,21
19 0,26 0,16 0,27 0,34 0,15 0,29 0,34 0,14 0,29 0,53 0,14 0,26
20 0,43 0,18 0,28 0,32 0,13 0,28 0,25 0,18 0,28 0,43 0,16 0,29
21 0,26 0,16 0,24 0,26 0,18 0,29 0,33 0,14 0,27 0,31 0,15 0,28
22 0,42 0,17 0,27 0,40 0,14 0,28 0,50 0,15 0,29 0,23 0,17 0,27
23
24 0,300 0,160 0,260
25 0,318 0,150 0,260
26 0,278 0,155 0,245
27 0,358 0,152 0,275
28 0,395 0,157 0,268
29 0,283 0,162 0,240
30 0,370 0,220 0,255
31 0,415 0,150 0,258
32 0,345 0,145 0,248
33 0,318 0,158 0,260
34 0,265 0,160 0,258
35 0,365 0,180 0,263
36 0,300 0,160 0,263
37 0,353 0,160 0,253
38 0,328 0,158 0,280
    
```

Рисунок 4 - Пример текстового файла с итоговыми значениями

В разработанной ИС возможно хранить и обрабатывать результаты эксперимента, а также формировать рейтинг обучающихся [3,18].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Голдбергер Э. Хаос и фракталы в физиологии человека/ Э. Голдбергер, Д.Б. Ригни // В мире науки.-1990.-№4.-с.25-32.
2. Горев А. Эффективная работа с СУБД/ А. Горев, Р. Ахаян, С. Макашарипов// СПб.: Питер.- 1997. - 704 с.
3. Гринченко В.Т. Введение в нелинейную динамику. Хаос и фракталы / В.Т. Гринченко, В.Т. Мацыпура, А.А. Снарский// Изд.2-е.-М.: Издательство ЛКИ.- 2007.-264с.
4. Дегтярев Ю.И. Основы кибернетики/ Ю.И. Дегтярев, Б.Н. Калинин// М.: Высш. шк.- 1976.- 408 с.
5. Дюран Б. Одел П. Кластерный анализ/ Б. Дюран// М.: Статистика.- 1997.- 128 с.
6. Жуковский В.И. Многокритериальное принятие решений в условиях неопределённости / В.И. Жуковский, В.С. Молоствов// М.: МНИИПУ.- 1988. – 130 с.
7. Зельдович Я.Б. Фракталы, подобие, промежуточная асимптотика/ Я.Б. Зельдович, Д.Д. Соколов //УФН.-1985.-№3.-с.493-506.
8. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: Применение теории хаоса в инвестициях и экономике/ Э. Петерс// М.: Интернет-трейдинг.- 2004. – 304 с.
9. Савельев А.Я. Подготовка информации для автоматизированных обучающих систем/ А.Я. Савельев, В.А. Новиков, Ю.Н. Лобанов // Методическое пособие для преподавателей и студентов вузов. М.: Высшая школа.- 1986.- 176 с.
10. Сумин В.И. Формализация задачи управления социальными системами/ В.И. Сумин, Т.Е. Смоленцева// Теория конфликта и ее приложения: Всероссийская научно – технич. конференция ч.1.- Воронеж: Воронежский институт высоких технологий.- 2008. - с.133 - 137.
11. Сумин В.И. Конкретизация цели обучения в модели обучаемого как объекта управления/ В.И, Сумин Т.Е. Смоленцева // Математические методы и информационно - технические средства: всерос. научно-практ. конф. сб.материалов.- Краснодар.- 2009.- с.187-190.
12. Смоленцева Т.Е. Реализация функции качества обучения/Т.Е. Смоленцева// II Международная научно-практическая конференция Современная наука: теория и практика.- Ставрополь.- 2011.-с.140-143.
13. Тарасенко В.В. Фрактальная геометрия природы: социокультурное измерение/ В.В. Тарасенко // Синергетическая парадигма.



- Многообразие поисков и подходов. М.: Прогресс-Традиция.- 2000.- с.191-214.
14. Трахтенгерц Э.А. Возможности и реализация компьютерных систем поддержки принятия решений / Э.А. Трахтенгерц // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2001. - № 3. - С. 86-113.
  15. Душкин А.В. Введение в системный анализ: Монография / А.В. Душкин, С.А. Баркалов, С.А. Колодяжный, В.И. Сумин; под ред. проф. В.И. Новосельцева // М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 234 с.
  16. Душкин А.В. Математические модели и информационные процессы управления сложным объектом: Монография / А.В. Душкин, А.С. Кравченко, В.И. Новосельцев, Т.Е. Смоленцева, В.И. Сумин // Воронеж: Научная книга, 2014. – 125 с.
  17. Душкин А.В. Модели управления сложными социальными объектами в системе обучения сотрудников УИС: Монография / А.В. Душкин, А.С. Кравченко, В.И. Новосельцев, В.И. Сумин // Воронеж: Научная книга, 2014. – 125 с.
  18. Трубецков Д.Н. Турбулентность и детерминированный хаос / Д.Н. Трубецков// Соровский образовательный журнал.-1998.-№1.-с.77-83.
  19. Фейгенбаум М. Универсальность в поведении нелинейных систем / М. Фейгенбаум // УНФ.-1983.- №2.-с.343-374.

V.I. Sumin, O.V. Isaev, M.V. Skulkov

**DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM ON  
FORMATION OF THE PREDICTED TRAINING PARAMETERS**

*Voronezh Institute of Russian Federal Penitentiary Service  
Voronezh state pedagogical university*

*In article training process which is presented in the form of a discrete information stream is considered. On each of stages of process of training of the pupil portions of the training information are analyzed and the quality of their assimilation, with determination of level of ignorance of a portion of educational information is defined. Individual characteristics and reaction of the pupil to every portion of the training information are created. In the conditions of creation of the optimum training system, on the basis of average value of level of ignorance function of quality of training of the pupil is defined. More adequate assessment of process of training of the pupil is created that allows to correct more effectively the operating system of training in the course of transformation of her characteristics. The control algorithm of training of the pupil with the predicted number of control checks of his knowledge is considered that allows to create the required operating influence which for this purpose is necessary. With use of the studied algorithm the vector of probabilities of ignorance by the pupil of elements of the training information is created. The*

*algorithm on formation of the predicted parameters of training of the pupil is also developed. The task allowing to compare the optimum duration of training of the pupil received experimentally to theoretically predicted training process duration is solved. At the same time the conclusion is drawn on efficiency of formation of the predicted parameters of training of the pupil. In work the information system using results of experimental values of individual parameters of training of each pupil and allowing to define individual characteristics, to calculate rating and to monitor process of change of parameters of training is developed.*

**Keywords:** algorithm, information system, information process, interaction model, continuous information stream, discrete information stream, training parameter, vector of probabilities of ignorance, function of quality of training, portion of educational information.

## REFERENCES

1. Goldberger E. Khaos i fraktaly v fiziologii cheloveka/ E. Goldberger, D.B. Rigni // V mire nauki.-1990.-No. 4.-pp.25-32.
2. Gorev A. Effektivnaya rabota s SUBD/ A. Gorev, R. Akhayan, S. Makasharipov// SPb.: Piter.- 1997. - 704 p.
3. Grinchenko V.T. Vvedenie v nelineynuyu dinamiku. Khaos i fraktaly / V.T. Grinchenko, V.T. Matsypura, A.A. Snarskiy// Izd.2-e.-M.: Izdatel'stvo LKI.- 2007.-264p.
4. Degtyarev Yu.I. Osnovy kibernetiki/ Yu.I. Degtyarev, B.N. Kalinin// M.: Vyssh. shk.- 1976.- 408 p.
5. Dyuran B. Odel P. Klasternyy analiz/ B. Dyuran// M.: Statistika.- 1997.- 128 p.
6. Zhukovskiy V.I. Mnogokriterial'noe prinyatie resheniy v usloviyakh neopredelennosti / V.I. Zhukovskiy, V.S. Molostvov// M.: MNIIPU.- 1988. – 130 p.
7. Zel'dovich Ya.B. Fraktaly, podobie, promezhutochnaya asimptotika/ Ya.B. Zel'dovich, D.D. Sokolov //UFN.-1985.- No.3.-pp.493-506.
8. Peters E. Fraktal'nyy analiz finansovykh rynkov: Primenenie teorii khaosa v investitsiyakh i ekonomike/ E. Peters// M.: Internet-treyding.- 2004. – 304 p.
9. Savel'ev A.Ya. Podgotovka informatsii dlya avtomatizirovannykh obuchayushchikh sistem/ A.Ya. Savel'ev, V.A. Novikov, Yu.N. Lobanov // Metodicheskoe posobie dlya prepodavateley i studentov vuzov. M.: Vysshaya shkola.- 1986.- 176 p.
10. Sumin V.I. Formalizatsiya zadachi upravleniya sotsial'nymi sistemami/ V.I. Sumin, T.E. Smolentseva// Teoriya konflikta i ee prilozheniya: Vserossiyskaya nauchno – tekhnich. konferentsiya ch.1.- Voronezh: Voronezhskiy institut vysokikh tekhnologiy.- 2008. - p.133 - 137.
11. Sumin V.I. Konkretizatsiya tseli obucheniya v modeli obuchaemogo kak ob"ekta upravleniya/ V.I, Sumin T.E. Smolentseva // Matematicheskie metody i informatsionno - tekhnicheskie sredstva: vseros. nauchno-prakt. konf. sb.materialov.- Krasnodar.- 2009.- p.187-190.

12. Smolentseva T.E. Realizatsiya funktsii kachestva obucheniya/T.E. Smolentseva// II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Sovremennaya nauka: teoriya i praktika.- Stavropol'.- 2011.-p.140-143.
13. Tarasenko V.V. Fraktal'naya geometriya prirody: sotsiokul'turnoe izmerenie/ V.V. Tarasenko // Sinergeticheskaya paradigma. Mnogoobrazie poiskov i podkhodov. M.: Progress-Traditsiya.- 2000.- p.191-214.
14. Trakhtengerts E.A. Vozmozhnosti i realizatsiya komp'yuternykh sistem podderzhki prinyatiya resheniy / E.A. Trakhtengerts // Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya. - 2001. - No.3. - pp. 86-113.
15. Dushkin A.V. Vvedenie v sistemnyy analiz: Monografiya / A.V. Dushkin, S.A. Barkalov, S.A. Kolodyazhnyy, V.I. Sumin; pod red. prof. V.I. Novosel'tseva // M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2017. – 234 p.
16. Dushkin A.V. Matematicheskie modeli i informatsionnye protsessy upravleniya slozhnym ob"ektom: Monografiya / A.V. Dushkin, A.S. Kravchenko, V.I. Novosel'tsev, T.E. Smolentseva, V.I. Sumin // Voronezh: Nauchnaya kniga, 2014. – 125 p.
17. Dushkin A.V. Modeli upravleniya slozhnymi sotsial'nymi ob"ektami v sisteme obucheniya sotrudnikov UIS: Monografiya / A.V. Dushkin, A.S. Kravchenko, V.I. Novosel'tsev, V.I. Sumin // Voronezh: Nauchnaya kniga, 2014. – 125 p.
18. Trubetskov D.N. Turbulentnost' i determinirovanny khaos / D.N. Trubetskov// Sorovskiy obrazovatel'nyy zhurnal.-1998.- No.1.-pp.77-83.
19. Feygenbaum M. Universal'nost' v povedenii nelineynykh sistem / M. Feygenbaum // UNF.-1983.- No.2.-ppp.343-374.