

Наводяться моделі для розрахунку показників якості та надійності процесу функціонування діалогової системи «студент - комп'ютер»

Ключові слова: ергономіка, діалог, система «людина-машина», система «студент - комп'ютер», функціонально-структурна теорія, рівні якості

Приводятся модели для расчёта показателей качества и надёжности процесса функционирования диалоговой системы "студент - компьютер"

Ключевые слова: эргономика, диалог, система "человек-машина", система "студент - компьютер", функционально-структурная теория, уровни качества

The models for calculating the quality and reliability of operation of a dialog system «student - computer» are present

Keywords: ergonomics, dialogue, Man-Machine System, Student - Computer System, functional-structural theory, levels of quality

ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ "СТУДЕНТ- КОМПЬЮТЕР": РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ДИАЛОГА

Е. А. Лавров

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой

Кафедра информационных систем в менеджменте
Национальный университет биоресурсов и
природопользования Украины
ул. Героев Обороны, 15, г. Киев, Украина, 03041
Контактный тел.: (050) 691-37-33
E-mail: prof_lavrov@mail.ru

Н. Л. Барченко

Аспирант
Кафедра кибернетики и информатики
Сумской национальный аграрный университет
ул. Кирова, г. Сумы, Украина, 40020
Контактный тел.: 099-975-27-11
E-mail: surock@mail.ru

1. Введение

Эффективность диалога в системе "студент-компьютер" определяется степенью ее адаптируемости к особенностям человека. Среди влияющих факторов [1]:

- Характеристики отдельных модулей [2], составляющих процесс обучения (в т.ч. сложность, мультимедийность, интерактивность, свобода навигации и т.д.). Особенности выбора таких характеристик исследованы, например, в работах [1, 3].

- Структура диалога, т.е. взаимосвязь отдельных модулей между собой (в т.ч. особенности введения в процесс диалога элементов контроля и самоконтроля). Эта часть факторов представляется (для современных диалоговых систем) исследованной не до конца.

Для оценки качества функционирования в диалоговой системе "студент-компьютер" целесообразно

использование функционально-структурной теории (ФСТ) эрготехнических систем [4], разработанной школой проф. А. Губинского.

В работе [5] исследована возможность распространения методологии ФСТ проф. А. Губинского на задачу моделирования различных уровней качества, приведены математические модели (получены формулы), позволяющие получить значения показателей качества функционирования для типовой функциональной структуры (ТФС) "рабочая с контролем функционирования".

Целью настоящей работы является демонстрация возможности применения разработанного в [5] подхода для оценки качества функционирования в диалоговой системе "студент-компьютер" и разработка базовых для оценки вариантов диалога математических моделей.

2. Постановка задачи

Разные операторы (студенты) в зависимости от условий деятельности характеризуются различными значениями показателей безошибочности и времени взаимодействия с диалоговой системой "студент-компьютер". Эти показатели зависят от группы факторов. Среди них: подготовленность, опыт работы с системой, функциональное состояние, степень соответствия параметров диалога особенностям человека оператора. Состав этих факторов и степень влияния на эффективность деятельности исследуются, например, в [1, 6]. В данной работе эти значения принимаются известными.

Пусть вероятность выполнения работы с некоторым уровнем качества представлена вектором в n-мерном пространстве уровней качества:

$$V=(V^1, \dots, V^n), (i=1, n),$$

где V^i - вероятность выполнения работы с качеством i . При градациях качества "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно" имеем:

$$V=(V^1, V^2, V^3, V^4).$$

Известно, что $V^4=1-(V^1+V^2+V^3)$.

С целью повышения качества результатов обучения в диалог могут вводиться операции самоконтроля, по результатам которого осуществляется переход на изучение следующего модуля или возврат на реализацию диалога, связанного с изучением текущего модуля (или его части). Самоконтроль позволяет увеличить показатели качества, зато может существенно увеличивать время реализации диалога.

Для операции контроля функционирования K^j известна вероятность того, что операция, выполненная с i -м уровнем качества, признана выполненной с j -м уровнем качества, $j=1,4, i=1,4$.

Необходимо:

- выявить возможные сценарии (структуры) реализации диалога, связанные с самоконтролем и устранением обнаруженных нарушений;
- для выявленных типовых функциональных структур разработать математические модели оценки:
 - вероятности выполнения структуры с i -м уровнем качества $V_i, i=1,4$;
 - математического ожидания $M(T)$ и дисперсии времени выполнения $D(T)$;
 - вероятности выполнения структуры за некоторое директивное время T_0 .

3. Результаты исследований

3.1. Основные стратегии изучения в диалоговой системой "студент-компьютер". При модульном подходе к обучению учебный материал разбивается на отдельные блоки - модули [2]. Модули могут быть информационными и контролирующими (самоконтроль и результирующий контроль). При прохождении информационного модуля усваивается некоторый объем знаний. При прохождении контрольного модуля определяется уровень качества усвоенных знаний. В зависимости от выбранной стратегии изучения, воз-

можно различие в структуре деятельности оператора при изучении материала (рис. 1).

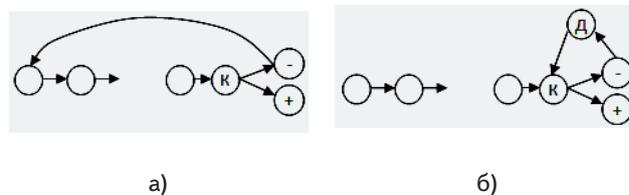


Рис. 1. Основные стратегии в диалоговой системе "студент-компьютер"

Стратегия а) соответствует последовательному изучению модулей с последующим итоговым контролем. В случае неудовлетворительного результата контроля происходит повторное изучение модулей. В стратегии б) при неудовлетворительном результате контрольной процедуры происходит дополнительное изучение (нет необходимости заново проходить весь материал) и повторный контроль. В терминах ФСТ данная процедура соответствует типовой функциональной единице (ТФЕ) - "рабочая (доработка)", изучение модуля - ТФЕ "рабочая", контроль обучения - ТФЕ "контроль функционирования".

3.2. ТФС процесса обучения в диалоговой системе "студент-компьютер" и модели для оценки прагматических показателей.

3.2.1. Содержательный анализ. Таким образом, можно выделить следующие ТФС, характерные для процесса обучения в диалоговой системе "студент-компьютер" (рис. 2):

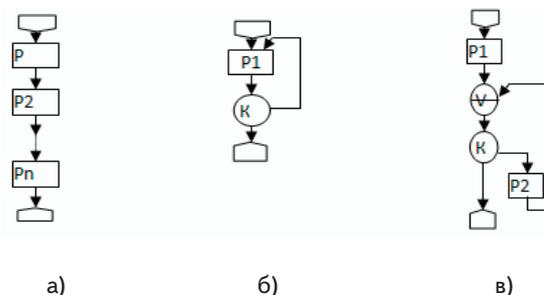


Рис. 2. ТФС, характерные для процесса обучения в диалоговой системе "студент-компьютер":

- а) последовательное выполнение учебных модулей;
- б) последовательное выполнение учебного модуля и самоконтроля результатов обучения (контрольная процедура после модуля);
- в) изучение модуля с самоконтролем результатов обучения, дополнительным изучением (доработкой) и повторением самоконтроля

Изучение модуля может быть выполнено "отлично", "хорошо", "удовлетворительно" или "неудовлетворительно". Процесс функционирования (обучение) и, естественно, результат, будут зависеть от установки на уровень качества. Имеется в виду минимально допустимый уровень качества, при котором не осуществляется возврат на повторное изучение материала модуля. В данном случае возможны три установки: а) установка на "отлично"; б) установка на "хорошо"; в) установка на "удовлетворительно". Чем ниже установка, тем меньше затраты на соответствующий контроль и меньше вероятность повторения изучения модуля или его части.

Итоговые результаты будут зависеть от исходных данных (уровня подготовки студента, качества кон-

троля, времени изучения модуля) и от установки на требуемый уровень качества.

3.2.2. Краткая характеристика метода получения моделей. В основе получения конечного набора формул для множества ТФС - процедура перехода от "графа работ", соответствующего ТФС, к "графу событий" [4]. Информация, необходимая и достаточная для построения моделей оценки алгоритма функционирования, может быть задана на вероятностном графе G(X, Z), вершины которого (X - множество вершин)

соответствуют событиям начала и окончания выполняемых операций, а дуги - возможным переходам (Z - множество дуг).

В основе метода укрупнения вероятностных графов лежит понятие H-функции [4]. Зная H-функцию, получаем формулы для оценки показателей исследуемых структур.

3.2.3. Модели для оценки. Полученные нами формулы для каждой из структур для n = 4 выделенных уровней качества приведены в табл. 1.

Таблица 1

Модели для оценки надёжности процессов функционирования в диалоговой системе "студент-компьютер"

ТФС	Установка на уровень качества	Показатель	Расчётная формула
Цикловая ФС «Учебный модуль с контролем обучения, доработкой и повторением контроля без ограничения на число циклов»	«удовлетворительно»	Вероятность выполнения *	$V_i = B_1^i K^{ii} + \frac{\left(\sum_{i=1}^n B_1^i K^{in}\right) \cdot B_2^i K^{ii}}{1 - \sum_{i=1}^n B_2^i K^{in}}$
		Математическое ожидание времени выполнения*	$M(t)_i = M(t_{p1}) + M(t_k) + \frac{\left(\sum_{i=1}^n B_1^i K^{in}\right)}{1 - \sum_{i=1}^n B_2^i K^{in}} \cdot (M(t_{p2}) + M(t_k))$
		Дисперсия времени выполнения*	$D(t) = \frac{(1-C) \cdot \left(\sum_{i=1}^n B_2^i K^{in} + C\right)}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B_2^i K^{in}\right)^2} \cdot (M(t_{p2}) + M(t_k))^2 + (D(t_{p2}) + D(t_k)) \cdot \frac{1-C}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B_2^i K^{in}\right)} + D(t_{p1}) + D(t_k)$ $C = \sum_{i=1}^n B_1^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)})$
	«хорошо»	Вероятность выполнения *	$V_i = B_1^i K^{ii} + \frac{\left(\sum_{i=1}^n B_1^i (K^{in} + K^{i(n-1)})\right) \cdot B_2^i K^{ii}}{1 - \sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)})}$
		Математическое ожидание времени выполнения*	$M(t)_i = M(t_{p1}) + M(t_k) + \frac{\left(\sum_{i=1}^n B_1^i (K^{in} + K^{i(n-1)})\right)}{1 - \sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)})} \cdot (M(t_{p2}) + M(t_k))$
		Дисперсия времени выполнения*	$D(t) = \frac{(1-C) \cdot \left(\sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)}) + C\right)}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)})\right)^2} \cdot (M(t_{p2}) + M(t_k))^2 + (D(t_{p2}) + D(t_k)) \cdot \frac{1-C}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)})\right)} + D(t_{p1}) + D(t_k)$ $C = \sum_{i=1}^n B_1^i (K^{in} + K^{i(n-1)})$

Продолжение таблицы 1

Цикловая ФС «Учебный модуль с контролем обучения, доработкой и повторением контроля без ограничения на число циклов»	«отлично»	Вероятность выполнения *	$V_i = B_1 K^{ii} + \frac{\left(\sum_{i=1}^n B_1^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)}) \right) \cdot B_2 K^{ii}}{1 - \sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)})}$
		Математическое ожидание времени выполнения *	$M(t)_i = M(t_{p1}) + M(t_k) + \frac{\left(\sum_{i=1}^n B_1^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)}) \right)}{1 - \sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)})} \cdot (M(t_{p2}) + M(t_k))$
		Дисперсия времени выполнения *	$D(t) = \frac{(1-C) \cdot \left(\sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)}) + C \right)}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)}) \right)^2} \cdot (M(t_{p2}) + M(t_k))^2 + (D(t_{p2}) + D(t_k)) \cdot \frac{1-C}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B_2^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)}) \right)} + D(t_{p1}) + D(t_k)$ $C = \sum_{i=1}^n B_1^i K^{i1}$
Цикловая ФС «Учебный модуль с контролем обучения без ограничения на число циклов»	«удовлет- ворительно»	Вероятность выполнения *	$V_i = B^i K^{ii} \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^n B^i K^{in}}$
		Математическое ожидание времени выполнения *	$M(t)_i = \frac{M(t_p) + M(t_k)}{1 - \sum_{i=1}^n B^i K^{in}}$
		Дисперсия времени выполнения *	$D(t) = \frac{\sum_{i=1}^n B^i K^{in}}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B^i K^{in} \right)^2} \cdot (M(t_p) + M(t_k))^2 + (D(t_p) + D(t_k)) \cdot \frac{1}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B^i K^{in} \right)}$
	«хорошо»	Вероятность выполнения *	$V_i = B^i K^{ii} \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)})}$
		Математическое ожидание времени выполнения *	$M(t)_i = \frac{M(t_p) + M(t_k)}{1 - \sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)})}$
		Дисперсия времени выполнения *	$D(t) = \frac{\sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)})}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)}) \right)^2} \cdot (M(t_p) + M(t_k))^2 + (D(t_p) + D(t_k)) \cdot \frac{1}{\left(1 - \sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)}) \right)}$

Продолжение таблицы 1

Цикловая ФС «Учебный модуль с контролем обучения без ограничения на число циклов»	«отлично»	Вероятность выполнения *	$V_i = B^i K^{ii} \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)})}$
		Математическое ожидание времени выполнения*	$M(t) = \frac{M(t_p) + M(t_k)}{1 - \sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)})}$
		Дисперсия времени выполнения*	$D(t) = \frac{\sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)})}{(1 - \sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)}))^2} \cdot (M(t_p) + M(t_k))^2 + (D(t_p) + D(t_k)) \cdot \frac{1}{(1 - \sum_{i=1}^n B^i (K^{in} + K^{i(n-1)} + K^{i(n-2)}))}$
Примечание: * с заданным качеством i ($i = \overline{1, n}$), n -число выделяемых уровней качества ($n=4$)			

Таблица 3

Характеристики дополнительного модуля

Студенты	Вероятность выполнения дополнительного модуля с i -м качеством, B^i ($i = \overline{1, 4}$)			
	B^1	B^2	B^3	B^4
1	0,1201	0,2801	0,5908	0,0090
2	0,5470	0,2419	0,2110	0,0001
3	0,5290	0,2760	0,1947	0,0003
4	0,7344	0,2540	0,0115	0,0001
5	0,8970	0,0570	0,0440	0,0020

Характеристики операции "контроль обучения" (табл. 4):

Таблица 4

Характеристики операции "контроль обучения"

K^{11}	K^{22}	K^{33}	K^{41}	K^{42}	K^{43}	K^{14}	K^{24}	K^{34}	
0,99	0,99	0,99	0,0001	0,0013	0,0078	0,0009	0,0008	0,0083	
K^{44}	K^{12}	K^{13}	K^{21}	K^{23}	K^{31}	K^{31}	K^{32}	$M(t_k)$	$D(t_k)$
0,99	0,009	0,0001	0,009	0,0002	0,003	0,001	0,0008	7,7	0,05

Результаты моделирования процесса обучения представим на рис. 3-5.

Как видно из полученных результатов, изменение структуры даёт при незначительном повышении вероятности выполнения структуры с заданным уровнем качества значительное сокращение математического ожидания и дисперсии времени, а следовательно, и - вероятности своевременного выполнения структуры.

3.3 Компьютерное моделирование. Рассмотрим моделирование процесса взаимодействия в диалоговой системе "студент-компьютер". Имеются следующие уровни качества: "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно". Пусть структуры алгоритма функционирования процесса обучения задается функциями ТФС:

1.«Учебный модуль с самоконтролем обучения без ограничения на число циклов» (РК).

2.«Учебный модуль с самоконтролем обучения, доработкой и повторением с самоконтроля без ограничения на число циклов» (РКД).

С использованием моделей табл. 1 определяем показатели качества: V_i - вероятность того, что структура выполнена с i -м уровнем качества, $M(t)$ и $D(t)$ - математическое ожидание и дисперсия времени выполнения ТФС для трёх установок на уровень качества.

Вычисления выполняем в среде MS Excel.

Пример. Пусть студенты при изучении модуля имеют такие показатели успеваемости:

Таблица 2

Показатели успеваемости

Студенты	Вероятность выполнения модуля с i -м качеством, B^i ($i = \overline{1, 4}$)			
	B^1	B^2	B^3	B^4
1	0,1110	0,2701	0,4781	0,1408
2	0,4470	0,3750	0,1210	0,0570
3	0,5220	0,2750	0,1941	0,0089
4	0,7310	0,2531	0,0110	0,0049
5	0,8940	0,0570	0,0430	0,0060

Характеристики основного и дополнительного модуля:

$M(t_{p1})=20$ мин, $M(t_{p2})=5$ мин, $D(t_{p1})=0,1$ мин, $D(t_{p2})=0,047$ мин.



а) б) в)

Рис. 3. Математическое ожидание времени выполнения для ТФС РКД и РК для установок на различные уровни качества: а) "удовлетворительно", б) "хорошо", в) "отлично"

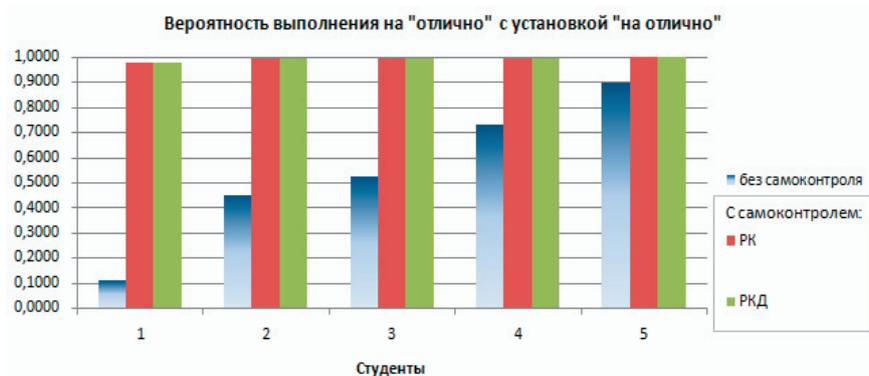
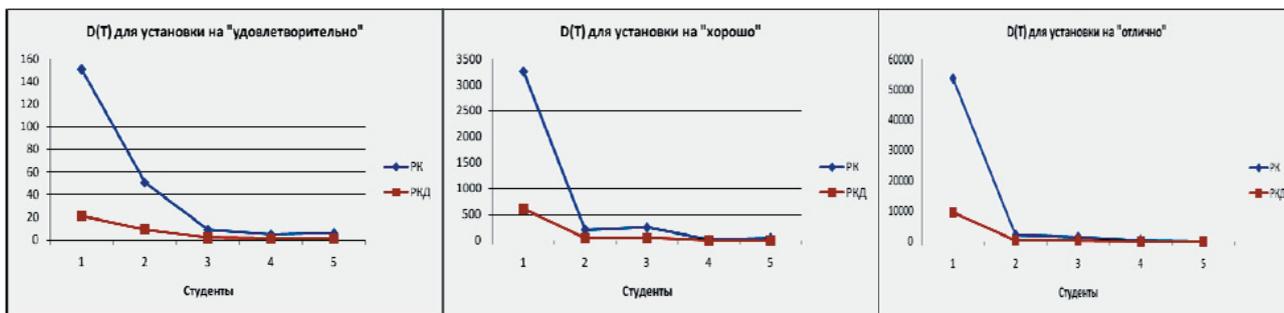


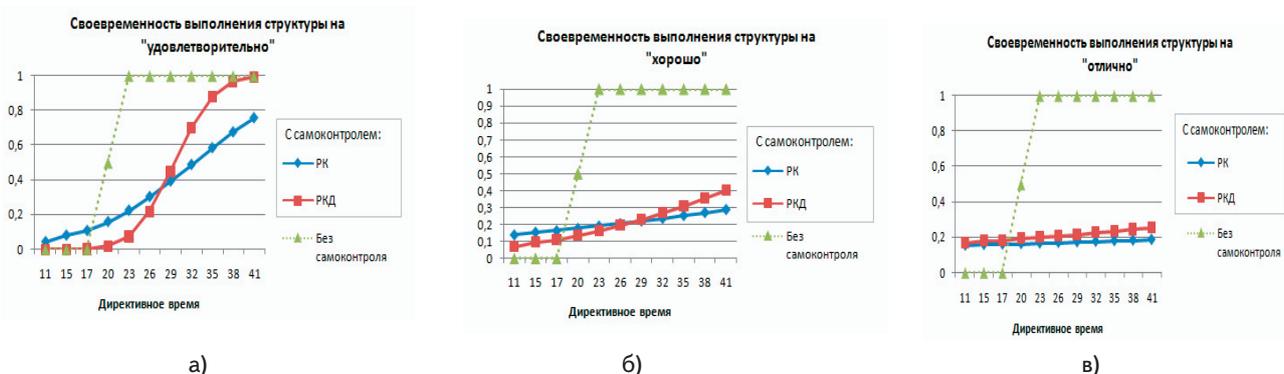
Рис. 4. Вероятность выполнения ТФС на "отлично" с установкой на "отлично"



а) б) в)

Рис. 5. Дисперсия времени выполнения для ТФС РКД и РК для установок на различные уровни качества: а) "удовлетворительно", б) "хорошо", в) "отлично"

На рис. 6-7 представлены результаты моделирования своевременности выполнения структур РК и РКД для студента №1 и №5 из табл. 2.



а) б) в)

Рис. 6. Своевременность выполнения для ТФС РКД и РК для студента №1 на: а) "удовлетворительно", б) "хорошо", в) "отлично"



Рис. 7. Своевременность выполнения для ТФС РКД и РК для студента №5 на: а) "удовлетворительно", б) "хорошо", в) "отлично"

4. Направления дальнейших исследований

В последующих исследованиях необходимо разработать процедуру редукции функциональной сети таким образом, чтобы получать модели качества алгоритмов функционирования произвольной структуры.

5. Выводы

Разработана технология расширения известного подхода к выводу расчётных зависимостей для моделирования безошибочности и времени выполнения функциональных структур на случай, когда необходимо определить вероятности достижения различных уровней качества завершения алгоритмического процесса. Выявлены ТФС, характерные для диалоговых обучающих систем "студент-компьютер". Получены соответствующие расчетные зависимости.

Литература

1. Тулова С.А. Модель обучаемого как средство управления сеансом работы пользователя компьютерной обучающей системы. Автореф. дис. к.т.н., Тверь, 2006. - 16 с.

2. Осин А.В. Создание учебных материалов нового поколения// Информатизация общего образования: Тематическое приложение к журналу «Вестник образования» - М.: Просвещение. – 2003. – №2.
3. Лавров Е.А., Барченко Н.Л. Подход к выбору типа диалога для адаптивных обучающих систем «человек-компьютер» на основе анализа предпочтений оператора// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. Системы управления. - Харьков, 2009 - 3/4 (39) - 2009. - С. 45-49.
4. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. Л.: Наука, 1982.- 270 с.
5. Лавров Е.А., Барченко Н.Л. Подход к вероятностной оценке качества результатов функционирования систем "человек-машина" //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. Математика и кибернетика - фундаментальные и прикладные аспекты. - Харьков, 2009 - 6/4 (42) - 2009. - С. 37-41.
6. Lavrov Ev., Pasko N., Barchenko N. Intelligence Data Analysis for the Ergonomic Planning of the Human-Machine Systems// Materials International Scientific Conference "UNITECH '06" is organized by the Technical University of Gabrovo under the motto, 24-25 November 2006, Gabrovo, Bulgaria. - Gabrovo: University Publishing House "V.APR-ILOV", 2006. – Т. 1. - P.p. 437-441.