

# §4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Минитаева А.М.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРА В ЧМС

**Аннотация:** Развитие локальных систем автоматизации транспортных средств (ТС) в конце XX-начале XXI века и расширяющееся использование микропроцессорных средств и систем создали предпосылки управления ТС с учетом личных особенностей оператора. При создании на этой основе новых алгоритмов управления целесообразно исходить из принципа «дуального» управления А.А. Фельдбаума. Имеется в виду использование возможностей системы управления для изучения характера управляющих действий, присущих данному оператору, и учет их согласовании с условиями среды в выбираемом алгоритме УЭВМ. Это становится возможным не только на тренажерах, но и в результате прямого измерения переменных, являющихся действиями оператора. Тем не менее, оператор представляется моделью с не полностью измеримыми переменными состояниями в классе соответствующих наблюдателей состояния. Заметим, что в соответствии с модальной теорией основой для моделирования является использование доминирующих корней при учете основных психофизиологических особенностей оператора и существенной не стационарности основных параметров оператора. Это становится возможным в результате процедур текущей динамической идентификации выходных переменных оператора в процессе управления. Учитывая сложность внутренних процессов у оператора и используя возможности декомпозиции, первичные этапы описания можно свести к формированию в подсистеме оператора частных моделей: собственно личностной; внутренней модели объекта управления; внутренней модели окружающей среды и ее состояния. Для обеспечения решения задачи создания сложного ЧМИ представляется уместным использование принципа «дуального» управления А.А.Фельдбаума. Имеется в виду изучение системой управления характера, присущего данному оператору, и учет его при согласовании с условиями среды в выбираемом алгоритме управления. Такого рода работы основаны на возможностях реализации, предоставляемых уже имеющимися устройствами автоматизации и средствами вычислительной техники. Новизна и перспективность реализации предлагаемых подходов определяется возможностью получения результатов для разработки и создания: 1. Автоматизированной информационной системы организации и диагностирования психологического и физиологического обеспечения безопасности вычислительных машин включающего комплекс мероприятий, таких как профилактику, нарушения и отклонения в состоянии здоровья операторов, организацию проведения

медицинских осмотров, где ключевым звеном профилактики может выступать психолого-физиологические факторы. 2. Управляющих вычислительных систем с искусственным интеллектом, устройств обмена информацией между человеко-машинного интерфейса с учетом интеллектуализации взаимодействия человека и вычислительного комплекса. **Ключевые слова:** принцип «дуального» управления, человеко машинный интерфейс, оператор, математическая модель, эргатические системы управления, искусственный интеллект, человеко машинная система, аппарат многомерного шкалирования, исполнительная система, база знаний

Развитие локальных систем автоматизации транспортных средств (ТС) в конце XX-начале XXI века и расширяющееся использование микропроцессорных средств и систем создали предпосылки управления ТС с учетом личных особенностей оператора. При создании на этой основе новых алгоритмов управления целесообразно исходить из принципа «дуального» управления А.А. Фельдбаума. Имеется в виду использование возможностей системы управления для изучения характера управляющих действий, присущих данному оператору, и учет их согласовании с условиями среды в выбираемом алгоритме УЭВМ. Это становится возможным не только на тренажерах, но и в результате прямого измерения переменных, являющихся действиями оператора.

Тем не менее, оператор представляется моделью с не полностью измеримыми переменными состояниями в классе соответствующих наблюдателей состояния. Заметим, что в соответствии с модальной теорией основой для моделирования является использование доминирующих корней при учете основных психофизиологических особенностей оператора и существенной не стационарности основных параметров оператора. Это становится возможным в результате процедур текущей динамической идентификации выходных переменных оператора в процессе управления.

Учитывая сложность внутренних процессов у оператора и используя возможности декомпозиции, первичные этапы описания можно свести к формированию в подсистеме оператора частных моделей: собственно личностной; внутренней модели объекта управления; внутренней модели окружающей среды и ее состояния.

Представим общую структуру взаимодействия оператора, объекта, окружающей среды и системы управления в виде, показанном в работе [3], где выделены соответственно независимые модели и внутренние отображения у оператора.

### **Независимые уравнения состояния объекта и среды.**

Для построения текущих алгоритмов оперативного управления ТС наиболее существенно локальное, т.е. в ограниченных окрестностях, описание состояния объекта в целом и взаимодействия его с окружающей средой. Однако из-за нестационарности его целесообразно записать уравнения состояния объекта и окружающей среды в форме общего уравнения переходов:

$$X[k+1] = \Phi(X, U, F, t)X[k] + \Gamma(t)U[k] + G(t)F[k] \quad (1)$$

где  $X[k+1]$ ,  $X[k]$  – векторы состояния объекта и среды в соответственные дискретные моменты времени; эти векторы объединяют переменные объекта и той части окружающей среды, которая в какой-то мере связана с переменными состояния объекта (например, рельеф дороги);  $F(X, U, F, t)$  – функция перехода, учитывающая изменения состояния;  $U[k]$  – вектор управляющих воздействий (осуществляемые оператором решения по управлению объектом);  $F[k]$  – вектор возмущающих воздействий окружающей среды (имеющих случайную природу);  $\Gamma(t)U[k]$  и  $G(t)F[k]$  – векторные интегральные преобразования управляющих и возмущающих воздействий.

Введем вектор измеримых переменных состояния объекта и среды:

$$Y[k] = CX[k] + v[k] \quad (2)$$

где  $v[k]$  – вектор помех измерений;  $C$  – матрица связи измеримых переменных с переменными состояния.

### Уравнения внутреннего отображения объекта и среды у оператора.

Действия оператора по управлению ТС определяются состоянием объекта в окружающей среде и целью управления в этих условиях. Не будем, поэтому разделять описание объекта и среды, хотя раздельное описание в ряде случаев имеет свой смысл. Представим внутреннее отображение состояния объекта и окружающей среды у оператора в общем виде:

$$\bar{X}[k+1] = \bar{\Phi}(\bar{X}, U, \bar{F}, t)\bar{X}[k] + \bar{\Gamma}(t)U[k] + \bar{G}(t)\bar{F}[k] \quad (3)$$

В этом выражении одна черта над переменными означает первичную модель, формируемую относительно внешнего мира;  $\bar{X}[k+1]$ ,  $\bar{X}[k]$  – оценки оператором векторов состояния объекта и среды в соответственные моменты времени;  $\bar{\Phi}(\bar{X}, U, \bar{F}, t)$  – функция перехода модели, учитывающая изменения состояния среды и объекта;  $\bar{F}[k]$  – оценка вектора возмущающих воздействий;  $\bar{\Gamma}(t)U[k]$ ,  $\bar{G}(t)\bar{F}[k]$  – интегральные преобразования воздействий в модели;  $\bar{Y}[k]$  – вектор оценок оператором измеримых переменных состояния, представляемый в виде:

$$\bar{Y}[k] = \bar{C}\bar{X}[k] + \bar{v}[k] \quad (6)$$

где  $\bar{v}[k]$  – вектор помех при формировании оценок;  $\bar{C}$  – матрица формирования оператором оценок измеримых переменных.

### Уравнения личностной модели оператора

Эта модель рассматривается главным образом как функциональная, то есть ото-

бражающая действия водителя по управлению объектом, а также внешние проявления изменения его состояния в результате ряда внутренних процессов психофизиологического характера:

$$V[k+1] = \Psi(X, V, U, F, t)V[k] + \Gamma(t)(U[k] + U^*[k]) + G(t)F[k] \quad (7)$$

где  $V[k+1], V[k]$  – вектор состояния оператора в соответственные дискретные моменты времени;  $\Psi(\bar{X}, V, U, \bar{F}, t)$  – функция перехода, учитывающая изменения состояния оператора, в этой функции отображается зависимость состояния от внутренней оценки вектора состояния объекта и среды, а также оценки вектора возмущающих воздействий;  $U^*[k]$  – вектор тестовых идентификационных воздействий;  $\bar{\Gamma}(t)(U[k] + U^*[k])$  – отображение в состоянии оператора собственных управляющих и тестовых воздействий.

Функция перехода в (7) может допускать прямое выделение влияния оценок состояния объекта и среды на состояние оператора, в результате чего это уравнение примет вид:

$$V[k+1] = \Psi(V, t)V[k] + \bar{\Psi}(\bar{X}, t)\bar{X}[k] + \bar{\Gamma}(t)(U[k] + U^*[k]) + \bar{G}(t)\bar{F}[k] \quad (8)$$

где  $\bar{\Psi}(\bar{X}, t)\bar{X}[k]$  – функция перехода, отображающая влияние оценки состояния объекта и среды на состояние и действия оператора.

Для человеко-машинного интерфейса и управления на вычислительной машине особую актуальность приобретает направление исследования цифровых вычислительных систем с искусственным интеллектом основной побуждающей причиной создания которых, является, безопасность работы при высокой его интенсивности в современных условиях. Сотни тысяч операторов нарушения и отклонения в состоянии здоровья, ежегодно, рост этой цифры, много миллиардные убытки ставят вопрос: какие перспективные методы остановят или хотя бы замедлят этот процесс. Можно отметить еще требование универсальности, которое означает в частности снижение требований к любому человеку со стороны любой индивидуальной вычислительной техники. Сюда же относится способность выполнять различные задачи, совместимость ряда систем, особенно безопасности, раскрытие внешним участникам процесса намерений человека и т.д.

Современный этап развития автоматизированных систем характеризуется более широким применением интеллектуальных компьютерных технологий в процессах обработки информации, принятия решений и управления. Проблематика применения встроенного компьютерного интеллекта открывает новое направление научных исследований в области автоматизации ЭСУ. Развитие данного направления предполагает кардинальные изменения функциональной структуры процессов управления, создание необходимой теоретической базы для постановки и решения конкретных научно-технических задач. Одна из закономерностей научно-технического прогресса – ускоренное возрастание сложности и масштабов технических систем, степени их влияние на техносферу. Проблема их эффективности и безопасной эксплуатации приобретает первостепенное значение и не может решаться вне сферы автоматизации, в которой исключительно важную роль играют эргатические системы управления (ЭСУ). В связи с этим одна из важнейших про-

блем разработки высокоэффективных ЭСУ заключается в оптимальном распределении функций между ЧО и техническими средствами с учетом психофизиологических возможностей человека. Необходимость исследования интеллектуальных систем при их функционировании в реальном мире привело к постановке задачи создания интегральных роботов. Проведение таких работ можно считать вторым этапом исследований по искусственному интеллекту [1,3,5].

Эта структура состоит из трех комплексов вычислительных средств (см. рисунок 1). Первый комплекс представляет собой совокупность средств, выполняющих программы (исполнительную систему), спроектированных с позиций эффективного решения задач, имеет в ряде случаев проблемную ориентацию. Второй комплекс - совокупность средств интеллектуального интерфейса, имеющих гибкую структуру, которая обеспечивает возможность адаптации в широком спектре интересов конечных пользователей. Третьим комплексом средств, с помощью которых организуется взаимодействие первых двух, является база знаний, обеспечивающая использование вычислительными средствами первых двух комплексов целостной и независимой от обрабатываемых программ системы знаний о проблемной среде.



Рис. 1. Структура трех комплексов вычислительных средств

Исполнительная система (ИС) объединяет всю совокупность средств, обеспечивающих выполнение сформированной программы. Интеллектуальный интерфейс - система программных и аппаратных средств, обеспечивающих для конечного пользователя использование компьютера для решения задач, которые возникают в среде его профессиональной деятельности либо без посредников либо с незначительной их помощью. База знаний (БЗ) - занимает центральное положение по отношению к остальным компонентам вычислительной системы в целом, через БЗ осуществляется интеграция средств вычислительных систем (ВС), участвующих в решении задач.

Для обеспечения решения задачи создания сложного ЧМИ представляется уместным использование принципа «дуального» управления А.А.Фельдбаума. Имеется в виду изучение системой управления характера, присущего данному оператору, и учет его при согласовании с условиями среды в выбираемом алгоритме управления [2,3,4]. Такого рода работы основаны на возможностях реализации, предоставляемых уже имеющимися устройствами автоматизации и средствами вычислительной техники. Далее рассмотрим уже существующие датчики перемещения. Функционально полная измерительная система содержит по современным представлениям следующие датчики:

1. Датчик угла поворота/частоты колеса прокрутки –  $Y1/Y2$ .
2. Датчик угла поворота/частоты вращения первичного колеса прокрутки П –  $Y3/Y4$ .
3. Датчик угла поворота/частоты вращения вторичного колеса прокрутки –  $Y5/Y6$
4. Датчик элемента джойстика (угла/скорости поворота ее оси) –  $U1=\xi_1$
5. Датчик поворота компьютерного манипулятора (угла/скорости поворота ее оси) –  $U2=\xi_2$
6. Датчик угла/скорости поворота колеса прокрутки –  $U3=\xi_3$

Здесь через знак тире указано обозначение датчиков, как измеримых координат:  $Y$  – измеримые (выходные) переменные состояния;  $U$  – управляющие воздействия оператора  $U_i = \xi_i$ .

Из этого набора датчиков следует значительно большее число идентификационных переменных: для датчиков по п. 4...6 действия оператора характеризуются еще направлением (знаком) воздействия, что для данного класса систем имеет существенное значение. Для других объектов могут быть аналогичным образом выделены измеримые переменные состояния и управляющие воздействия оператора. Это позволяет составить следующую таблицу 1.

Номер датчика	Направление воздействия	Обозначение направления воздействия	Обозначение скорости изменения воздействия
4.	нажатие	$\xi_{11} = \xi_{1+}$	$d\xi_{11} / dt = \xi_{121}$
	отпускание	$\xi_{12} = \xi_{1-}$	$d\xi_{12} / dt = \xi_{122}$
5.	нажатие	$\xi_{21} = \xi_{2+}$	$d\xi_{21} / dt = \xi_{221}$
	отпускание	$\xi_{22} = \xi_{2-}$	$d\xi_{22} / dt = \xi_{222}$
6.	вправо	$\xi_{31} = \xi_{3+}$	$d\xi_{31} / dt = \xi_{321}$
	влево	$\xi_{32} = \xi_{3-}$	$d\xi_{32} / dt = \xi_{322}$

Кроме того, имеется еще логическая переменная, которая может быть использована для идентификации стиля оператора: включение указателя поворотов  $\xi_4$  (вправо –  $\xi_{41}$ , влево –  $\xi_{42}$ ). Таким образом  $\xi[k]$  – вектор выходных (измеримых в системе управления) переменных состояния, которые можно представить в следующем виде:

$\xi[k] = \Lambda(V, U, t)V[k] + v[k]$ , где  $\Lambda(V, U, t)V[k]$  – вектор-функция, выявляющая состояние оператора;  $v[k]$  – вектор помех, сопровождающих действия оператора [3].

Выделенные переменные  $\xi[k]$  имеют высокую частоту повторения в реальных условиях управления объектом. Поэтому в запоминающих устройствах контроллера управления можно достаточно быстро накопить и статистически обработать их значения. Это обстоятельство создаёт разнообразные возможности построения идентификационных алгоритмов. Рассмотрим в качестве примера следующий алгоритм, который назовём двухступенчатым. Из накапливаемых данных будем формировать две базовые выборки значений выше указанных переменных с периодом накопления 100 и 10 000 тактов, т.е.  $n_{ijk}=100$  и  $N_{ijk}=10\,000$ , что определяет стохастические характеристики действия оператора на коротком и длинном интервале. Можно считать, что первая из этих выборок отображает текущее состояние оператора, а вторая – интегральные (типовые) его качества. Следует сразу обратить внимание на то, что эти характеристики являются многомерными, т.е. отображающими идентификационные переменные в их совокупности.

Используем аппарат многомерного шкалирования. Посмотрим для каждой идентификационной переменной шкалу оценивания следующим образом: примем максимальное значение каждой переменной следующим образом: примем максимальное значение каждой переменной за единицу и будем считать текущим значением относительную величину переменной:  $\xi_i = \xi_{jk} / \xi_{jk\max}$ , где  $\xi_{jk\max}$  – максимальное значение соответствующей переменной.

Выделим  $s$  дискретных интервалов  $\xi_{jk}$ , например 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; ...; 1. Для каждого оператора по идентификационному ID-коду в памяти контроллера накапливается относительная частота  $v_{jk}^s$  двух базовых значений идентификационной переменной из общего числа накопленных значений для этой переменной  $n_{jk}$  т.е.  $v_{jk}^s = n_{jk}^s / n_{jk}$ , где  $n_{jk}^s$  означает номер интервала попадания идентификационной переменной. Для ряда значений данной переменной зависимость представляет одномерную характеристику данного оператора на некотором интервале времени – соответственно коротком и длинном. Первая отображает текущее состояние, вторая – интегральные качества данного оператора. На основании выделенной системы измеримых переменных может быть построена процедура идентификации стиля управления с использованием теории нечетких множеств.

Из локальных моделей, входящих в структуру ЧМС рассматриваемого вида наибольшей не стационарностью обладает личностная модель оператора. Именно о текущей идентификации параметров этой модели идет речь.

Выделенные переменные  $n_{jk}^s$  имеют высокую частоту повторения в реальных условиях управления объектом. Поэтому в запоминающих устройствах контроллера управления можно достаточно быстро накопить и статистически обработать их значения. Это обстоятельство создает разнообразные возможности построения идентификационных

алгоритмов. Рассмотрим в качестве примера следующий алгоритм, который назовем двухступенчатым.

### Двухступенчатый алгоритм идентификации.

Из накапливаемых данных будем формировать две базовые выборки значений выше указанных переменных с периодом накопления 100 и 10000 тактов, то есть  $n_{ijk}=100$  и  $N_{ijk}=10000$ , что определяет стохастические характеристики действий водителя (оператора) на «коротком» и «длинном» интервале. Можно считать, что первая из этих выборок отображает текущее состояние водителя, а вторая – интегральные (типовые) его качества. Следует сразу обратить внимание на то, что эти характеристики являются многомерными, то есть отображающими идентификационные переменные в их совокупности.

Используем аппарат многомерного шкалирования. Построим для каждой идентификационной переменной шкалу оценивания следующим образом: примем максимальное значение каждой переменной за 1,0 и будем считать текущим значением относительную величину переменной:  $\xi_{jk}^s = \xi_{jk} / \xi_{jk \max}^s$ , где  $\xi_{jk \max}^s$  – максимальное значение соответствующей переменной.

Выделим  $s$  дискретных интервалов  $\xi_{ik}^s$  – например, 0,1, 0,2, 0,3,... 1,0. Для каждого оператора по его идентификационному ID-коду в памяти контроллера накапливается относительная частота  $v_{ik}^s$  двух базовых значений идентификационной переменной из общего числа накопленных значений для этой переменной  $n_{ik}$ , то есть:  $v_{ik}^s = n_{jk}^s / n_{jk}$ , где  $n_{ik}^s$  означает номер интервала попадания идентификационной переменной.

Таким образом, для ряда значений данной переменной зависимость представляет одномерную характеристику данного оператора на некотором интервале времени – соответственно коротком и длинном. Первая отображает текущее состояние, вторая – интегральные качества данного оператора. Для 14 идентификационных переменных это дает комплексную (многомерную) характеристику данного оператора.

### Идентификационная таблица стиля вождения.

На основании выделенной системы идентификационных переменных может быть построена процедура идентификации стиля вождения с использованием теории нечетких множеств. Отметим, что поставленная задача определяют необходимость рассмотрения динамических оценок (изменяющихся в зависимости от ряда условий, и прежде всего – состояния водителя). Поэтому рассмотрим вначале динамическое оценивание для индивидуального оператора в индивидуальных условиях. Будем фиксировать комплексные характеристики для водителей при некоторых строго фиксированных условиях вождения и в определенном проконтролированном психо-физическом состоянии в соответствии с вышерассмотренной процедурой многомерного шкалирования.

При этом группы водителей формируются по возможности близкими по технике вождения, опыту, возрасту и некоторым другим данным и для однотипных ТС. Это позволяет сформировать затем кластеры (нечеткие множества) операторов близкого уровня.



Так может быть получен, например, кластер мастеров спорта международного класса – водители, имеющий соответствующие сертификаты и примерно одинаковые идентификационные показатели. Следующий кластер может быть составлен из водителей-профессионалов одного уровня показателей, далее могут формироваться и обследоваться группы любителей одного стажа вождения, новичков и так далее.

Кроме этого, типовые группы водителей могут проходить такое многомерное шкалирование при психофизическом состоянии, отличающемся от исходного, в частности, после малого (2...3) или большого (4..6 часов) непрерывного вождения АТС, употребления определенных доз алкоголя и так далее. Можно назвать их «идентификационными таблицами отклонений» от нормальных для каждого кластера. Таблицы отклонений могут пересекаться с нормальными идентификационными таблицами более низкого класса.

Для отнесения характеристик данного водителя в данном текущем психофизическом состоянии к одному из кластеров целесообразно использовать алгоритм близости по одному из 3 методов: обычное отклонение «в среднеквадратичном»; отклонение вычисленное по методу «центра тяжести»; более сложно определяемое – «взвешенное», то есть с учетом значимости каждой данной переменной для безопасности процесса вождения.

1. Оценка, таким образом, является интегральной – по всем идентификационным переменным. Статистическая обработка для каждой группы в каждом состоянии дает классификационные кластеры, сводимые в идентификационную таблицу с размерностью  $S$  (где  $S$  – есть число идентификационных переменных  $x$ ). Автоматизированной информационной системы организации и диагностирования психологического и физиологического обеспечения безопасности вычислительных машин включающего комплекс мероприятий, таких как профилактику, нарушения и отклонения в состоянии здоровья операторов, организацию проведения медицинских осмотров, где ключевым звеном профилактики может выступать психолого-физиологические факторы.
2. Управляющих вычислительных систем с искусственным интеллектом, устройств обмена информацией между человеко-машинного интерфейса с учетом интеллектуализации взаимодействия человека и вычислительного комплекса.

Таким образом, создание сложной системы с использованием «дуального» принципа, позволит реализовать актуальные задачи организации человеко-машинного интерфейса с учетом интеллектуализации взаимодействия человека и вычислительного комплекса, построения и развития автоматизированных информационных систем организации и диагностирования психологического и физиологического обеспечения безопасности работы человека. А также создаст предпосылки для развития отечественной концепции разработки управляющих вычислительных систем с искусственным интеллектом и д.р., перспективных отечественных вычислительных машин и других комплексных, программных средств.

**Библиография :**

1. Минитаева А.М. Метод сетевого оператора для решения задачи синтеза системы управления. Современные проблемы информационной безопасности и программной инженерии: Сборник избранных статей научно-методологического семинара кафедры ИБиПИ (12.10.2011). – М.: Изд-во «Спутник+», 2011. С. 53-57.
2. Корнеев Н.В. Минитаева А.М. Задачи организации человеко-машинного интерфейса с учетом интеллектуализации взаимодействия человека и вычислительного комплекса. Журнал «Ученые записки РГСУ», 2011, №8. – С. 211 – 215.
3. Н. В. Корнеев, Ю. С. Кустарев, Ю. Я. Морговский. Теория автоматического управления с практикумом. – М.: Изд-во: Академия, 2008. С. 224.
4. Корнеев Н.В., А.М. Минитаева. Исследования проблем человеко-машинного взаимодействия применительно к системам управления. Математические методы и приложения: Труды двадцать первых математических чтений РГСУ (23-29 января 2012 г.). М.: АПКППРО, 2012. С. 300-302.
5. Минитаева А.М. Введение в проблему человеко-машинного интерфейса с учетом взаимодействия вычислительной машины. Современные проблемы информационной безопасности и программной инженерии: Сборник избранных статей научно-методологического семинара №3 кафедры ИБиПИ (7.12.2011). – М.: Изд-во «Спутник+», 2012. С. 73-77.

**References:**

1. Minitaeva A.M. Metod setevogo operatora dlya resheniya zadachi sinteza sistemy upravleniya. Sovremennye problemy informatsionnoi bezopasnosti i programmnoi inzhenerii: Sbornik izbrannykh statei nauchno-metodologicheskogo seminarafedry IBiPI (12.10.2011). – M.: Izd-vo «Sputnik+», 2011. S. 53-57.
2. Korneev N.V. Minitaeva A.M. Zadachi organizatsii cheloveko-mashinnogo interfeisa s uchetom intellektualizatsii vzaimodeistviya cheloveka i vychislitel'nogo kompleksa. Zhurnal «Uchenye zapiski RGSU», 2011, №8. – S. 211 – 215.
3. N. V. Korneev, Yu. S. Kustarev, Yu. Ya. Morgovskii. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya s praktikumom. – M.: Izd-vo: Akademiya, 2008. S. 224.
4. Korneev N.V., A.M. Minitaeva. Issledovaniya problem cheloveko-mashinnogo vzaimodeistviya primenitel'no k sistemam upravleniya. Matematicheskie metody i prilozheniya: Trudy dvadtsat' pervykh matematicheskikh chteniy RGSU (23-29 yanvarya 2012 g.). M.: APKPPRO, 2012. S. 300-302.
5. Minitaeva A.M. Vvedenie v problemu cheloveko-mashinnogo interfeisa s uchetom vzaimodeistviya vychislitel'noi mashiny. Sovremennye problemy informatsionnoi bezopasnosti i programmnoi inzhenerii: Sbornik izbrannykh statei nauchno-metodologicheskogo seminarafedry IBiPI (7.12.2011). – M.: Izd-vo «Sputnik+», 2012. S. 73-77.