

А. Л. Ерохин

О ВИЗУАЛЬНОМ КОДИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА.

Сообщение 1

1. Введение

В статье рассматривается задача моделирования и адаптации психофизиологических состояний человека-оператора как одного из важных компонентов системы управления сложной системой. Проблема наглядно-образного (визуального) мышления остается весьма актуальной, поэтому использование визуальных систем кодирования информации, с позиций современных систем и средств искусственного интеллекта, является одним из важных направлений. Задача идентификации и оценки психофизиологического состояния (ПФС) человека, несмотря на то, что к ней интерес к ней приходился на 90-е годы, так и не решена. В настоящее время на новом этапе развития человеко-машинных систем, связанном с достижениями интеллектуализации техники и технологии, вновь усиливается интерес к этой проблеме.

2. Исследования систем психофизиологических состояний человека-оператора

В существующих технических системах психофизиологическое состояние человека-оператора рассматривается как некий фон (постоянная величина), на котором решается задача управления объектом. На самом же деле функциональное состояние человека оператора следует рассматривать как фундамент, на котором разворачиваются психические процессы (процессы приема, переработки информации, принятия решений и формирования управляющих воздействий) [1–3]. Недостатком такого подхода является то, что попытки идентификации функционального состояния человека-оператора с помощью так называемых объективных показателей (например, биофизических, биохимических индикаторов) показали, что эти индикаторы не всегда адекватны целям исследования ПФС. С другой стороны, в современных СС функции человека-оператора сильно изменились и приобрели новые черты, связанные с сенсомоторными функциями (преимущественно работа не с тумблерами и крупногабаритными коммутационными элементами, а с манипулятором «мышь» и клавиатурой).

Для человека-оператора можно выделить несколько причин перехода ПФС из устойчивого состояния в неустойчивое:

- несоответствие между психологическим статусом (психологическим портретом) человека-оператора и его профессиональной деятельностью;

- неопределенность информационного состояния человека-оператора;
- снижение когнитивных (базовых операторских) функций человека-оператора в поле влияния стрессора.

Неопределенность информационных состояний человека-оператора является объективной причиной, которая может быть минимизирована при усовершенствовании методов распознавания самой СС. Причиной снижения когнитивных функций человека-оператора являются влияния стрессоров, которые вызывают развитие стресса монотонии у операторов [3]. Однако сама постановка задачи минимизации сталкивается с более сложными психофизиологическими процессами, определяемыми не только множественностью факторов изменения ПФС, но и необратимостью процессов в биосистемах.

Для решения задачи минимизации перехода ПФС человека-оператора в неустойчивое состояние необходимо разработать модель взаимодействия формализованной квазипустойчивой системы ПФС и внешних воздействий.

В этой связи представляется важной задача идентификации ПФС с точки зрения базовых операторских функций. Цель такой идентификации — создание адекватной модели ПФС человека-оператора, пригодной для практической реализации с помощью современных информационных технологий.

Повышение качества операторской работы лица, принимающего решения, определяет необходимость активизации его базовых когнитивных психологических функций.

Рассмотрим современные понятия, касающиеся моделей работы мозга [4–6]. Важнейшей частью мозга человека является так называемая ретикулярная формация (РФ) — скопление нервных клеток, переплетающихся между собой в сложную сеть. Фактически она представляет собой информационную сеть. Первая часть РФ, возбуждаясь, действует как активатор для всех вышележащих 14–15 млрд нервных клеток коры головного мозга. Вторая часть РФ — активатор только для отдельных участков коры. В коре пересекаются сигналы, быстро (за 9 мс) проходящие путь от внешних органов чувств до клеток коры, а несколько позже (через 30–40 мс) в те же клетки коры поступают импульсы, идущие от РФ.

Ритмы электрической активности мозга

Название ритма	Частота, колеб./с	Амплитуда, мкВ	Описание
Дельта-ритм	0,5–4	50–500	Медленный ритм. Охраняет жизнеспособность мозга. При появлении раздражителей, грозящих серьезными нарушениями работы мозга, медленные ритмы переводят нейроны в режим холостого хода
Тета-ритм	5–7	10–30	Вызывает прекращение ощущения удовольствия
Альфа-ритм	8–13	До 100	Связан с образом, возникающим в мозге
Сигма-ритм	13–14		Точно не установлено
Бета-ритм	15–35	5–30	Связан с состоянием напряжения, беспокойства
Гамма-ритм	35–100	До 15	Точно не установлено
Сверхмедленные колебания	7–8 0,5–2 в мин.; 1–8 в мин.	0,3–0,8 0,5–1,5	Фоновая активность нейронов

В коре происходит анализ, синтез и обработка поступившей информации согласно законам высшей нервной деятельности, сформулированным в трудах И. П. Павлова. Считается, что мозг способен накопить и сохранить 10^{15} – 10^{16} бит информации [7, 8]. В табл. 1 приведена классификация электрической активности мозга. Рассмотрим, например, как физиология описывает особенности наркоза и сна мозга. Наркоз рассматривается не как торможение либо угасание активности, которое «разливается» по коре и спускается на подкорковые структуры, а наоборот — как увеличение активности, гиперактивация. Тогда малейший внешний раздражитель сразу приводит к перегрузке и защитному отключению. Такой режим называется режимом синхронизации. Сон рассматривается как появление медленных, но высокоамплитудных колебаний. Режим десинхронизации — это реакция депрессии относительно медленных колебаний типа альфа-ритма и смена их высокочастотными, но низкоамплитудными колебаниями, то есть это реакция пробуждения, активации. Эта реакция во многом зависит от деятельности РФ. Н. Винер в [9] сформулировал свою знаменитую гипотезу о механизме сканирования в мозге, основанную на результатах анализа колебаний энцефалограммы человека. Как известно, он построил спектр и обратил внимание на резкое падение мощности колебаний в районе 9,05 Гц. Современные исследования активности мозга человека проводятся Институтом мозга РАН на основе данных различных сканеров и томографов.

Из всего множества подходов к моделированию интеллекта (а по сути — работы мозга) в настоящее время выделились два конкурирующих подхода: 1) структурный подход (например, нейросети, мозгоподобные ЭВМ); 2) функциональный подход («черный ящик» с различными функциями обработки информации).

Анализ ритмов активности мозга (табл. 1) дает основание полагать, что истина в проблеме моделирования интеллекта, как всегда, лежит где-то посередине.

Критики модели мозга в виде вычислительной машины апеллируют к данным о производительности мозга, например, при распознавании визуального образа, предъявляемого человеку. Так, человек узнает (распознает) образы, если частота предъявления не превышает в среднем 9 Гц. Если перевести это утверждение на язык цифровых ЭВМ, то это свидетельствует о том, что «внешняя» частота работы мозга — примерно 9 Гц, а отнюдь не «мегагерцы», как принято считать в настоящее время. Тогда за счет чего же достигается такая колоссальная производительность мозга при решении

задач распознавания? Ответом может быть только огромная разрядность «машинного слова» мозга при решении указанных задач. Можно высказать предположение, что вся нейронная сетевая структура мозга является не только (а может, и не столько) решателем, а скорее «разрядной сеткой». Отсюда напрашивается вывод о непригодности существующих фон-неймановских ЭВМ последовательного действия для адекватного и эффективного моделирования интеллекта и необходимости искать новые подходы к аппаратному обеспечению. Одним из таких «новых» (хорошо забытых старых) подходов может стать аналоговое моделирование.

Н. Винер также предположил, что мозг обладает механизмом стробирования (временной селекции), то есть реакция мозга (прием, обработка сигналов) осуществляется только в определенные временные промежутки. На основе этого и была высказана гипотеза о дискретном характере работы мозга.

Считается [9], что механизм стробирования в мозге связан с тем, что в нейроне возбуждение или торможение должно происходить благодаря комбинации импульсов в определенный отрезок времени. Стробирующий механизм позволяет комбинировать сообщения.

Теперь рассмотрим работу зрительного анализатора человека. В зрительном нерве примерно 1 млн волокон, рефлекторный период равен 10 мс. Зрительный канал может передать 10^6 сигналов за 10 мс.

Если бы каждый из этих сигналов регистрировался отдельным нейроном, то через 100 с уже все клетки коры были бы заняты.

Таким образом, по пути к мозгу происходит предварительная обработка, сжатие, перекодировка, селекция информации. По предположению Н. Винера, для этого используется альфа-ритм. Согласно результатам опытов Калифорнийского университета, центральная нервная система может воспринимать зрительные раздражения каждые 0,1 с. Тогда упрощенный механизм обработки внешних сигналов мозгом таков. Сигналы внешнего мира, поступая в органы чувств, кодируются и с помощью электрических импульсов в течение 9 мс передаются по нервным проводникам через подкорковые образования в кору. В подкорковых образованиях происходит предварительная обработка информации: в глубине мозга сигналы попадают в РФ, откуда через 30–40 мс поступают в кору. В коре происходит анализ и синтез. При этом именно РФ оказывает дополнительное влияние на кору, мобилизуя активность того или иного отдела мозга. Таким образом, РФ выполняет регулирующую, управляющую функцию.

В кибернетике мощность системы как регулятора не может превосходить пропускную способность ее как канала связи. РФ — это интеллектуальный канал связи. На основании того, что РФ пропускает значительно меньшую частоту импульсов, обладает меньшей функциональной подвижностью, то есть меньшей лабильностью, физиологи утверждают, что кора обладает свойством саморегуляции, то есть имеет систему обратных связей.

На основе указанных механизмов стало возможным рассматривать семь принципов работы мозга как моделирующей установки [7, 8]:

1) *принцип этапности*. Образование моделей происходит в результате перекодирования информации из низшего кода в высший, причем по вероятностному принципу (вероятностное перекодирование);

2) *принцип активного изоморфизма*. Образование моделей происходит по законам изоморфного отображения. Процесс сличения (установления меры сходства, идентификация);

3) *принцип компарации*. Образование новых моделей происходит при сравнении врожденных или приобретенных в ходе индивидуального развития моделей со вновь возникающими при поступлении сигналов в мозг;

4) *принцип функционального кольца*. Моделирование происходит в определенном материальном субстрате — нервных структурах. Этот процесс не однонаправленный (рецептор — кора). Моделирование — это результат циркуляции по кольцу: центр — периферия — кора — подкорковые образования;

5) *принцип энтропийности*. Создание моделей в мозге ведет к уменьшению энтропии;

6) *принцип вероятностного прогнозирования*. Наличие обратной связи — канала, по которому в мозг поступают сигналы о том, что делается на периферии, — имеет смысл тогда, когда в мозгу происходит сравнение того, что сделано, и того, что должно быть в результате действия;

7) *принцип минимизации отрицательного*. Организм избирает такую тактику, которая сулит ему удовлетворение жизненных потребностей и позволяет избежать неблагоприятных ситуаций и отрицательных эмоций. В терминах системного анализа этот принцип формулируется как получение максимума выигрыша при минимальных затратах.

Согласно И. М. Гельфанду, В. С. Гурфинкелю и М. Л. Цейтлин [2], нервные центры работают по принципу наименьшего взаимодействия: задача системы для каждой внешней ситуации состоит в том, чтобы поступающая сигнализация была минимальна.

Рассмотренные принципы будем использовать при моделировании базовых когнитивных функций человека-оператора при выполнении им операторских функций во время стрессорных воздействий. Основной целью функционирования оператора является обеспечение выполнения им своих основных операторских функций в течение заданного времени (времени дежурства) на заданном уровне, независимо от внешних проявлений негативных факторов. Поэтому важной задачей является совершенствование самих интерфейсов «человек-машина» путем интеграции в систему следящих устройств, обеспечивающих регуляцию ПФС человека-оператора на заданном уровне. Для построения такой модели вначале необходимо решить задачу формальной идентификации ПФС человека-оператора.

3. Разработка моделей идентификации систем психофизиологических состояний человека-оператора

Существует несколько подходов к разработке модели человека-оператора в СС. Первый подход предполагает исследование системы ПФС человека-оператора, формализацию такой системы путем построения множества допустимых интегральных коэффициентов влияния

$$\psi = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}, \quad (1)$$

где k_i — интегральный коэффициент, учитывающий одно ПФС; n — количество ПФС человека-оператора.

Интегральный коэффициент k составляется с учетом предметной области, поскольку для разного рода деятельности человека-оператора могут быть важными те или другие параметры, составляющие общее ПФС. Например, для диспетчера аэропорта

важнейшим параметром ПФС считается скорость реакции зрительного и слухового анализатора. Для диспетчера электроэнергетической системы наиболее важным параметром ПФС можно считать не скорость реакции, а рассеянное внимание, поскольку ему приходится наблюдать за информационными экранами с большим количеством информационных точек.

На протяжении одного сеанса работы (рабочей смены, боевого дежурства и т. п.) человек-оператор изменяет свое ПФС. Если вести периодический контроль за ПФС, то можно идентифицировать и текущее ПФС. Тогда идентификация текущего или мгновенного значения ПФС будет сводиться к выбору такого k , который наиболее близок к интегральному коэффициенту ПФС и согласуется с заданной функцией принадлежности. Остается установить характер зависимости между частотой контроля за ПФС и качеством принятого решения (уровень согласованности решения со среднестатистическим решением для данного события в системе). Такая модель является в значительной степени эмпирической и требует постоянной коррекции коэффициентов при ее применении в режиме реального времени. Коррекцию можно проводить на следующих этапах:

1) первичное настраивание модели системы ПФС. Проводится путем входного тестирования человека-оператора перед началом сеанса работы. На этом этапе строится система ПФС и проверяется степень совпадения с предыдущими системами ПФС для данного человека-оператора. Входной тест может использоваться как тренинг человека-оператора, а также как допуск к работе;

2) периодическое подстраивание модели системы ПФС для идентификации текущего значения ПФС. Осуществляется путем выбора коэффициента из построенного на первом этапе множества.

В работе человека-оператора присутствует ряд факторов, вызывающих психо-психическое напряжение. В первую очередь, можно выделить такие стрессорные факторы, как ответственность за выполнение технической задачи по недопущению аварийной ситуации в системе, длительное воздействие монотонии и дефицит времени, необходимого для принятия решений, адекватных сложившейся ситуации. Результатами таких стрессорных нагрузок является снижение психологической и физической работоспособности. Исследования динамики психоэмоционального состояния специалистов, работающих в условиях, приближенных к экстремальным, проводились с помощью психологических и психофизиологических методов [3]. Базовыми психологическими методиками исследований являются: методика оценки скорости сенсомоторной реак-

ции — ВЗМР; методика оценки эмоциональной напряженности на основе измерения уровня электрокожного сопротивления — ЭКС; восьмицветный тест Люшера для определения степени суммарного отклонения от аутогенной нормы психического дискомфорта и напряженности, а также расчета вегетативного коэффициента [10]; методика диагностики САН («самочувствие, активность, настроение»); методика реактивной тревожности, для определения ее уровня как ситуационного состояния, развивающегося на фоне монотонии и утомления.

Данные фоновых исследований [3] корреляционных матриц психологических показателей сотрудников Чернобыльской АЭС и результаты факторного анализа матриц корреляций до и после оперативного дежурства приведены в табл. 2. Факторный анализ матриц корреляций диагностических показателей показал, что в фоновом обследовании выявлены 7 значимых факторов, объединяющих 85 % дисперсий корреляционной матрицы. 24 % дисперсий коррелируют с показателями психоэмоционального и функционального состояния испытуемых, а также с их возрастом и стажем работы. Этот

Таблица 2

Данные фоновых исследований психологических показателей

Методика	Психологический показатель	Фон		После работы		t-критерий Стьюдента
		n	s	n	s	
ВЗМР	Время реакции, мс	288	98	314	69	1,06
САН	Самочувствие	5,1	1,1	4,1	1,2	3,01
	Активность	4,6	1,1	4,2	1,1	1,26
	Настроение	4,8	0,9	4,4	1,2	1,31
Тест Люшера	Суммарное отклонение	16,2	5,1	14	6,2	1,18
	Вегетативный коэффициент	1,0	0,7	1,4	0,8	1,84
ЭКС	Электрокожное сопротивление, кОм	17,6	5,9	15	6,4	1,41

Таблица 3

Факторный анализ матриц корреляций диагностических показателей

Методика	Показатели	24% дисперсий	16% дисперсий	12% дисперсий
ВЗМР	Время реакции, мс	-0,142	0,109	-0,116
САН	Самочувствие	0,227	0,437	-0,274
	Активность	0,257	0,352	-0,253
	Настроение	0,188	0,449	-0,244
Тест Люшера	Суммарное отклонение	-0,416	0,083	0,080
	Вегетативный коэффициент	0,303	-0,135	0,138
ЭКС	Электрокожное сопротивление, кОм	0,258	0,129	0,216

Таблица 4

**Структура факторов
исследуемых психофункциональных состояний
испытуемых после суточного дежурства**

Методика	Показатели	18% дисперсий	16,1% дисперсий	14,2% дисперсий
ВЗМР	Время реакции, мс	-0,140	0,203	-0,353
САН	Самочувствие	0,430	-0,139	-0,097
	Активность	0,274	-0,007	-0,288
	Настроение	0,429	-0,006	-0,166
Тест Люшера	Суммарное отклонение	0,005	-0,108	0,040
	Вегетативный коэффициент	-0,225	0,109	0,077
ЭКС	Электрокожное сопротивление, кОм	-0,082	0,169	-0,337

фактор приведен в табл. 3 и является показателем состояния испытуемых, сочетающее «психический дискомфорт, чувство страха и повышенную эмоциональную напряженность» [3]. Второй фактор, объединяющий 16 % дисперсий корреляционной матрицы, определяет «плохое самочувствие и настроение, подавленность» [3].

Третий фактор, 12 % дисперсий, определен как высокий уровень активации симпатического отдела вегетативной нервной системы оператора. Другая структура факторов исследуемых психофункциональных состояний испытуемых получена после суточного дежурства (табл. 4). Все приведенные данные получены при обследовании сотрудников Чернобыльской АЭС, деятельность которых проводилась в условиях, максимально приближенных к экстремальным [3]. Полученные значимые корреляционные связи индивидуально-психологических характеристик с изменением показателей психофункциональных состояний обследованных свидетельствуют об их прогностичности.

Уравнение модели для прогнозирования интенсивности реагирования операторов на возникновение экстремальной (нестатной, предаварийной или аварийной) ситуации, выведенное эмпирически [3], имеет вид:

$$Y = (0,6X_1 + 0,6X_2 + 0,2X_3 + 0,1X_4 + 0,1X_5) + 2,4, \quad (2)$$

где X_1 — желание работать; X_2 — удовлетворенность психологическим климатом в коллективе; X_3 — эмоциональная напряженность; X_4 — психоэмоциональная устойчивость; X_5 — показатель правосторонней функциональной асимметрии мозга.

Наиболее важными психологическими функциями человека-оператора являются когнитивные функции внимания, на которые оказывают сильное влияние посторонние стрессоры, прежде всего — стресс монотонии [3, 5, 11].

В современных системах слабо проявляются те психофизиологические особенности, которые характерны для обычных эргатических систем, а именно в них не проявляется явно стресс монотонии. При попытке получить адекватную модель ПФС возникают сложности, связанные с неоднозначным толкованием психофизиологами и специалистами по инженерной психологии стресса монотонии. Поскольку полярной стрессу монотонии можно считать функцию внимания [3], то собственно моделирование функции внимания также является важным и более соответствует основным когнитивным реакциям человека-оператора. Это связано с уменьшением чрезмерности визуальной информации, которая подлежит анализу последовательными механизмами обработки.

Реализация формализованной модели когнитивной функции внимания необходима системе искусственного интеллекта (СИИ) для прогноза нестандартных или аварийных ситуаций, локализованных в актуальном зрительном поле системы.

Использование модели психофизиологического состояния человека-оператора позволяет решить важную научно-практическую задачу — создание методики психологической реабилитации человека-оператора, что позволит снизить вероятность принятия неадекватного решения.

В процессе анализа операторской деятельности принято выделять следующие группы психических функциональных состояний [11]:

1) стресс (напряженность), например, стресс монотонии у операторов, который приводит к резкому снижению реактивных функций вплоть до полного отказа ПФС человека-оператора. Предъявление мелькающего с одинаковой частотой изображения человеку-оператору (фактически — навязывание коре головного мозга внешних ритмов) приводит к тому, что в заинтересованных структурах головного мозга выстраиваются цепочки ассоциаций. Через некоторое время после начала показа такого типа изображений фронтальная часть зрительного анализатора оказывается неспособной зарегистрировать изменения (срабатывают защитные функции коры головного мозга, предохраняющие мозг от разрушения). Единственный способ дать мозгу информацию об изменении изображения — воздействовать на периферическую часть зрительного анализатора человека-оператора, которая остается временно активной. Однако современные дисплеи не обладают функцией воздействия на периферическое зрение, а следовательно, априори только усиливают стресс монотонии у операторов. Поэтому, основываясь на исследованиях модели ПФС человека-оператора,

можно сделать вывод о том, что актуальной становится задача разработки специальных методов, алгоритмов и устройств для создания дисплеев нового поколения, устраняющих указанные недостатки традиционного способа предъявления зрительной информации;

2) утомление;

3) эмоциональные состояния человека-оператора.

Современная модель ПФС человека-оператора должна максимально учитывать все эти три составляющие. ПФС можно рассматривать как реакцию на внешние или внутренние возмущения, которые изменяют характеристики психической системы человека-оператора и организма в целом.

Основной эмпирический материал, полученный при исследовании ПФС, позволяет прежде всего ввести анализ изменений состояний человека-оператора. Начало системы отсчета при проведении таких практических исследований — состояние покоя человека-оператора. Тогда остается фиксировать только флуктуации ПФС по трем параметрам (функциональных состояний (стресс, утомление, эмоции). Сложнее всего регистрировать третью составляющую.

Важной для практического использования является принципиальная возможность повторения состояний человека-оператора. ПФС, как класс психических явлений [12–14], являются не только ограниченно длящимися во времени, но потенциально многократно достижимыми.

4. Разработка методики и модель исследования ПФС

Для построения эффективной модели ПФС человека-оператора предлагается следующий алгоритм исследования ПФС для конечного множества операторских задач:

1) эмпирическое исследование всех возможных ПФС человека-оператора. Субъекту предъявляются выборки различных ситуаций;

2) выбор репрезентативной выборки субъектов ПФС. Начальные предположения и ограничения: предполагается, что в этой выборке удастся реализовать все возможные ПФС для множества операторских задач из заданной предметной области;

3) подход к естественной метрике состояний согласно (2). Отнесение каждого из состояний человека-оператора ко множеству всех ПФС. Поиск i -го ПФС в множестве n ;

4) если ПФС не найден, то возврат к пункту 2 и выдвижение нового предположения о выборке субъектов ПФС;

5) иначе — ПФС идентифицирован.

Данный подход является стохастическим, поскольку эргодическая теория здесь не работает даже для сколь угодно малых выборок субъектов и малого

количества операторских задач. Используя предложенную методику исследования, принципиально возможно построить модели стабилизации когнитивных функций человека-оператора и доказать, что изменение ПФС принципиально обратимо.

5. Разработка метода адаптации когнитивных функций человека-оператора к воздействию стрессоров

Рассмотрим вопросы стабилизации когнитивных функций лица, принимающего решение, находящегося в поле воздействия стрессоров. Для этого предлагаются две адаптационные модели, позволяющие улучшить качество управления интеллектуальной системой и принятия решений.

Психические процессы человека — это сложные процессы, образующие иерархическую открытую систему, динамически изменяющую свои состояния под воздействием внешних (экзогенных) и внутренних (эндогенных) факторов [15]. Изменение этих факторов носит случайный характер, поэтому смена психических состояний может быть представлена последовательностью переходных состояний, у которых каждое последующее состояние зависит от предыдущего. Большой интерес представляют так называемые пограничные состояния, возникающие у человека, например, при длительном и постоянном воздействии стрессоров или при хронических заболеваниях. Структура-аттрактор, называемая в биологии и медицине системой гомеостатического регулирования [15], при пограничных состояниях нередко оказывается перед выбором нового пути развития системы в точке, далекой от устойчивого равновесного состояния. В медицине такое состояние регулирования жизненных функций называется гетеростазом, означающим то, что обычных параметров регулирования недостаточно и необходимо посредством лекарств или любых иных воздействий расширить диапазон регулирования.

Процесс восстановления психических состояний называется процессом психологической реабилитации. Сложность описания процессов смены и развития психических состояний представляет большую сложность в силу того, «что субстанция ощущений, которая делает его субъективным переживанием, не может быть описана в научных терминах» [16]. Однако указанная сложность устранивается применением принципа тождественности, предложенного в [16]. Указанный принцип определяет тождественность природы физических процессов-носителей субъективных состояний и природы самих субъективных состояний. Это дает возможность разработать модели сложно организованных совокупностей физических параметров в виде стохастических, марковских процессов, при воздействии которых на

субъект возможен управляемый процесс перехода одного психического состояния в другое.

Наиболее разработанными параметрами воздействия могут считаться воздействия цветowych полей (цветовых последовательностей). Четко определенные эмпирические границы «цветового символизма» дают возможность широко применять цвет для тестирования, профилактики и лечения психологических отклонений.

Однако ни одна из методик цветового воздействия не учитывает того факта, что центральная нервная система быстро отфильтровывает длительно повторяющиеся стимулы, выводя их из поля внимания, а значит, эффективность таких воздействий из-за монотонии резко снижается. Альтернативой могут быть только динамически изменяемые, стохастические процессы, близкие по структуре к марковским процессам, при воздействии которых на субъект возможен управляемый процесс перехода одного психического состояния в другое, характеризующийся изменением окраски и силы эмоциональных переживаний. Эмоции опосредованно воздействуют на физиологическое состояние человека и дают возможность объективной оценки изменения психического состояния.

Моделирование такого класса стохастических процессов возможно при использовании аппарата комбинаторных и топологических преобразований информации [17, 18]. Определенным достоинством такого способа моделирования является дискретность растровых структур входа-выхода системы кодирования, дающая возможность моделирования разнообразных топологических структур одного класса эквивалентности, а использование комбинаторной нерегулярности обеспечивает моделируемому процессу любой тип распределения дискретных элементов кодирования.

Основу математического и физического моделирования составляют дискретные элементы, преобразующие входное и выходное изображения в набор регулярных и нерегулярных фрагментов, соответственно образующих матричные структуры A (входа) и B (выхода). Преобразование двумерной информации F осуществляется тем, что между структурами A и B устанавливаются отношения взаимного положения, которые являются взаимно-однозначными.

Эти отношения упрощаются с использованием предиката совпадения координат положения одноименных элементов растров, преобразуя сложную таблицу отношений в матрицу $A1$, состоящую из нулевых и единичных элементов. При этом указанная матрица является инвариантом к системе кодирования при аффинных преобразованиях. Расположения «1» и «0» в матрице $A1$ могут быть организованы

в структуры, которые являются топологически конформными друг другу.

Благодаря комбинаторной нерегулярности и соорганизованности дискретных элементов преобразования достигается уникальная возможность моделирования многообразных квазистойчивых процессов при использовании одной базовой матрицы $A1$ кодирования при повороте ее системы координат вокруг какой-либо точки или при линейных перемещениях ее относительно первичной информации.

Проведено физическое моделирование процессов комбинаторного преобразования визуальной информации на основе специальных оптико-волоконных установок, которое обеспечивает визуальное представление о степени искажения первичной информации. Роль такой информации выполняют подвижные светофильтры, образующие упорядоченные информационные потоки с параметрами физического цвета, формы и размера. Если на время остановить движение светофильтров, то на приемной поверхности волоконно-оптического преобразователя сформируются несколько изображений. Они формируют упорядоченное эталонное множество Ω_1 , которое является по отношению к преобразованной семантике Ω_2 подсистемой.

После такого преобразования свойств на выходной поверхности волоконно-оптического преобразователя получим объединение неупорядоченных подмножеств разноокрашенных абстрактных фигур, степень непохожести которых по сравнению с эталонным изображением определяется количеством искажений в тракте передачи. В каждый момент времени преобразованная семантика Ω_2 является объединением эквивалентных подмножеств $\Omega_{2,i}^{*k}$ и описывается выражением

$$\Omega_2 = \bigcup_{i=1}^N \Omega_{2,i}^{*k} \quad (3)$$

где k — количество подмножеств, заполняющих выходную поверхность системы; $\Omega_{2,i}^{*k}$ — подмножество, эквивалентное подмножеству

$$\Omega_1 = \bigcup_{i=1}^N \Omega_{1,i} \quad (4)$$

где N — максимальное число подмножеств на входной поверхности.

При неподвижном положении изображения на входе прямоугольная матрица значений коэффициента комбинаторных перестановок R_s определяет вероятность перехода состояния.

Таким образом, модель преобразования первичных изображений в динамике может рассматриваться как процесс, воспринимаемый оператором как случайный при неизменном положении системы в выбранной системе координат.

Наибольший интерес для моделирования представляет обратная задача распознавания искаженной информации при наличии эталонного первичного изображения и матриц R_s .

6. Выводы

Разработаны методика и модель исследования психофизиологического состояния человека-оператора, являющегося составной частью системы искусственного интеллекта. Рассмотрены пути разработки метода адаптации когнитивных функций человека-оператора к воздействию стрессоров.

В следующем сообщении будет предложен метод воздействия на ПФС человека-оператора в виде экзогенного резонансного хронотопа, взаимодействующего с эндогенными системорегулирующими процессами в системе ПФС, а также изложено использование цветодинамических преобразователей изображений для визуального моделирования хаотических процессов, отображаемых на двумерных фазовых дискретных плоскостях, детерминированных коэффициентами нерегулярности и гомеоморфизмами, образующими группу устойчивых аттракторов.

Список литературы: 1. Азутин В. М., Зингерман А. М., Кислицин М. М. Комплексная оценка функционального состояния человека-оператора в системах управления // Проблемы космической биологии. — 1977. — Т. 34. — С. 134–137. 2. Васильев Ю. М., Гельфанд Н. М., Губерман Ш. А., Шик М. Л. Взаимодействие в биологических системах // Природа. — 1969. — № 6. — С. 13–21; № 7. — С. 24–33. 3. Исследования и разработка рекомендаций по улучшению условий труда и совершенствованию профессиональной подготовки пожарных ОАЭ и промышленности. Отчет о НИР / ВНИИПО МВД РФ: Рук. Марин М. И. № ГР01900057262. — М., 1990. — 279 с. 4. Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. — М.: Радио и связь, 1989. — 184 с. 5. Прибрам К. Язык мозга. — М.: Прогресс,

1975. — 453 с. 6. Ruggieri V., Morelli J. Chromatic perception in relation to an hypothesized cerebral dominance // Percept and Mot. Skills. — 1985. — Vol. 60. — P. 583–589. 7. Касты Дж. Большие системы: связность, сложность и катастрофы. — М.: Мир, 1982. — 324 с. 8. Клейн Э. Анализ сложных систем. — М.: Сов. радио, 1969. — 360 с. 9. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. — М.: Сов. радио, 1968. — 325 с. 10. Семикин В. В. Цветовой тест Люшера в задачах диагностики функционального состояния и работоспособности человека-оператора // Методики исследования и диагностики ФС и работоспособности человека-оператора в экстремальных условиях. — М., 1987. — С. 62–70. 11. Селье Г. Стресс без дистресса. — Рига: Виеда, 1992. — 109 с. 12. Костин А. Н. Принципы взаимного резервирования при распределении функций между человеком и автоматикой. Автореф. дис. ... д-ра психол. наук / Институт психологии РАН. — М., 2000. — 36 с. 13. Забродин Ю. М. Психология личности и управление человеческими ресурсами. — М.: Финстатинформ, 2002. — 360 с. 14. Суворов Н. Б., Меницкий Д. Н., Булгакова О. С. и др. Психофизиологическая подготовка оператора в биотехнической системе // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. — 2003. — Т. 2, № 1. — С. 4–12. 15. Стрелков Ю. К. Инженерная и профессиональная психология. — М.: Академия, 2001. — 360 с. 16. Shepard R. N. The perceptual organization of color: An adaptation to the regularities of the terrestrial world // The adapted mind: Evaluator psychology and the generation of culture. — New York: Oxford University Press, 1992. — P. 495–532. 17. Ерохин А. Л., Бурцев Вал. Н., Бурцев В. Н. Исследование стохастических процессов комбинаторно-топологического кодирования информации. Сообщение 1 // Радиоэлектроника и информатика. — 2000. — № 4(13). — С. 44–48. 18. Ерохин А. Л., Бурцев Вал. Н., Бурцев В. Н. Способ моделирования стохастических процессов с помощью топологических преобразований // Проблемы биоптики. — 1999. — Вып. 51. — С. 151–157.

Поступила в редакцию 11.12.2006