

О.В. Верёвка, К.И. Кузьмина, Т.М. Сёмик

БАЙЕСОВСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА ПО СОЦИОПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СТРУКТУРЫ ЛИЧНОСТИ

Разработаны и реализованы технология и компьютерная система байесовского прогнозирования эффективности деятельности оператора (пользователя ПК) по его социопсихофизиологическим свойствам.

Введение

Целью многих современных исследований человека является поиск способов и средств индивидуального и социального прогнозирования эффективности деятельности, включая ее психофизиологическое обеспечение и социопсихофизиологическую стоимость. Сама по себе задача прогнозирования интересовала человечество всегда, периодически меняя свои названия и суть от гениальных предвидений до кодовства и ереси в зависимости от века, страны и личности — носителя знаний. Наблюдается очередной всплеск интереса к этой области на уровне разработки фундаментальных теоретических и методологических подходов, построения сценариев будущих событий в разных сферах человеческой деятельности с использованием методологии качественного и системного анализа. Активно исследуются также сферы и возможности практического применения полученных результатов. Научно-технические знания становятся стратегическим ресурсом [1].

В постановке задач разработки прогнозов недостаточно внимания уделяется человеческому фактору. В настоящее время дефицита природных и технических ресурсов человечеству необходимы принципиально новые технологии жизнеобеспечения планеты и одним из наиболее перспективных направлений является получение и использование знаний о человеке. В связи с этим крайне актуальными становятся исследования эффективности

деятельности с целью получения индивидуального, группового и социального прогнозов. В контексте сегодняшних социальных и экономических реалий социопсихофизиологический аспект деятельности воспринимается не как отвлеченный интересный феномен, а как полноправный (иногда и решающий) компонент, а социопсихофизиологическая стоимость — как мощный резерв современных экономических (товарно-денежных) отношений [2].

Данная статья посвящена технологии байесовского прогнозирования эффективности деятельности оператора (пользователя ПК) по его социопсихофизиологическим свойствам и ее компьютерной реализации.

Подходы к прогнозированию в области социопсихофизиологических исследований

Прогнозирование различных аспектов деятельности по исходной структуре личности — заманчивая перспектива экономии средств, времени и сил как личности, так и общества, с повышением к тому же эффективности и безопасности функционирования экономики, обеспечением профессионального долголетия и индивидуальной комфортности. О сложности задачи прогнозирования эффективности деятельности можно судить, в частности, по тому, что в работах общепhilософского плана развиваются концепции относительности формализации и содержательной интерпретации схем человеческой деятельности.

Данному вопросу посвящено большое количество разноаспектных публикаций. Исследовались эффективность и надежность деятельности человека-оператора, возможности прогнозирования умственного и физического утомления, резервов, индивидуального стиля деятельности [3–8]. Рассматривались методологические и методические вопросы исследования и диагностики психической напряженности человека-оператора в различных условиях деятельности, подходы и методы управления его функциональным состоянием [9]. Результаты подобных исследований подчеркивают сложность задач прогнозирования поведения и деятельности такого объекта, как человек. В частности, исследование надежности человека-оператора в условиях напряженной деятельности привело автора [8] к выводу, что, видимо, структура индивидуальности представляет собой не сумму отдельных независимых черт личности, а целостное образование, внутренняя структура которого, вероятно, подобна своему материальному субстрату — мозгу.

В основе всех подходов к исследованию деятельности в явном или неявном виде присутствуют адаптационные возможности человека [10–12], причем уровень адаптивности к экологическим условиям и профессиональным требованиям [8] является основой систематизации свойств и классификации индивидуумов.

Разноаспектность проблемы адаптационного реагирования отражена в многочисленных теоретических и практических знаниях: о системном подходе, общих и частных закономерностях адаптационного реагирования (Казначеев В.П., Аршавский И.А., Крыжановский Г.Н., Анохин П.К., Саркисов Д.С. и др.); о различных уровнях функционирования биосистем (Фролов М.В., Гаркави Л.Х. с соавтор.); о континууме функциональных состояний и напряженности физиологических функций (Баевский Р.М., Зимкина А.М., Меерсон Ф.З.); о структурно-функциональном обеспечении процессов адаптации

(Симонов П.К., Иванов-Муромский К.А., Кузьмина К.И.); о конституционно-генетической обусловленности адаптационного реагирования, свойствах нервной системы (Небылицын В.Д., Теплов Б.М., Суворова В.В., Медведев В.И., Василевский Н.Н., Сороко С.И.); о биоритмологическом статусе человека, хронодиагностике, хронотерапии (Моисеева Н.Н., Реушкин В.Н., Степанова С.И.) и др.

Разрабатывается информационный подход к вопросу о многоуровневом характере адаптации в системах человек — ЭВМ [13]. Для всех вариантов взаимодействия человека со средой, в частности с компьютером, отмечена необходимость усовершенствования информационного обмена, причем особо значимыми факторами взаимодействия с вычислительной техникой являются индивидуально-типологические особенности, психофизиологическое состояние и направление его развития в момент воздействия [14], структура профессиональных качеств, память, мышление, психомоторика, характеристики анализаторных систем (слуховой, тактильной, зрительной). Рассмотрены психологические аспекты организации работы с вычислительными машинами. Объектом специальных теоретических и прикладных научных исследований психологического обеспечения совершенствования информационного взаимодействия «оператор — ПК» в различных условиях деятельности являются требования к языку, процедуре и средствам реализации диалога, а также методики их разработки и экспертизы [15, 16].

Исследовались также вопросы влияния индивидуально-психологических свойств на функциональную надежность человека-оператора, взаимосвязь особенностей личности и характеристик стресса, в частности устойчивость к стрессу, в том числе информационному [17]. Фундаментально проанализированы типологические свойства нервной системы [18, 19], которые учитывались или даже являлись определяющими при оценке профпригодности [20, 21].

В области моделирования различных аспектов человеческого фактора в основном присутствуют экспериментальные [17, 22, 23], концептуальные [24] или же математические модели ситуационных проявлений деятельности человека в конкретных видах деятельности [25], что обусловлено, на наш взгляд, отсутствием знания законов взаимодействия человека со средой и колоссальной сложностью человека как объекта исследования.

Прогрессивным для построения прогнозов в психофизиологических исследованиях является введение рядом авторов помимо результативности также понятия «цены», или «стоимости», деятельности [2, 24, 26]. Учитывая, что одинаковая эффективность обеспечивается различной социопсихофизиологической стоимостью, указанный подход является плодотворным, поскольку позволяет точнее оценивать и прогнозировать индивидуальную надежность деятельности человека в сложных автоматизированных системах [2].

Необходимость учета человеческого фактора

В разработках прогнозов сложных систем недостаточно внимания уделяется человеческому фактору. Прогнозирование поведения объекта затруднено также тем, что взаимодействие человека с техникой, в том числе с компьютером, происходит в условиях, когда не унифицированы критерии функционирования и возможны ошибки измерения [27]. Кроме того, из-за большой сложности биологических объектов привлечение методов точной математики к прогнозированию эффективности деятельности оператора имеет ряд трудностей принципиального характера.

Применение вероятностных подходов в теоретических и практических задачах современных информационных систем является весьма обещающим [29]. Выбор привлекаемого математического аппарата часто влияет на интерпретацию теоретических и экс-

периментальных данных в области исследований биообъектов. Используются самые различные математические подходы: многомерный статистический анализ при прогнозировании работоспособности операторов, многофакторный корреляционно-регрессионный анализ при изучении межсистемных взаимоотношений, канонический корреляционный анализ при оценке силы связи между показателями результативности деятельности и показателями, характеризующими состояние изучаемых систем организма [24], методы проверки статистических гипотез. Особое место занимают методы поиска и разработки процедур синтеза оценок состояния физиологических механизмов и иерархической свертки оценок, позволяющих уменьшить мерность пространства показателей [28]. Привлекается также вся совокупность методов, используемых при изучении экономических закономерностей [30].

Цель исследования — прогнозирование эффективности деятельности по исходной структуре личности

В настоящей статье представлены полученные авторами результаты по разработке и компьютерной реализации технологии прогнозирования эффективности деятельности оператора (пользователя ПК) по его социопсихофизиологическим свойствам (структуре личности). При этом под эффективностью деятельности подразумевается совместная оценка результативности процесса, психофизиологического обеспечения и социопсихофизиологической стоимости процесса взаимодействия.

В основу предлагаемых исследований работоспособности человека-оператора (в частности, пользователя ПК) положены:

— теоретические положения информационного взаимодействия биообъектов и среды, развиваемые авторами еще с XX века и определяемые объективной информационной структурой экзогенного фактора (среды) независимо от его физической суб-

станции и субъективной информационной значимости этого экзогенного фактора (СИЗЭФ), определяемой свойствами и состоянием (с учетом направления его развития) биообъекта в момент их встречи [14, 22];

— концепция единства биосоциальных механизмов адаптации, рассмотрения надежности и здоровья профессионала в аспекте "типология личности — континуум функциональных состояний" [23];

— доминантность значения социопсихофизиологической стоимости деятельности [2];

— байесовский подход к исследованию актуального состояния и прогнозированию работоспособности человека-оператора по статодинамическим индивидуально-типологическим свойствам [32].

Исследование эффективности деятельности выполнено на базе компьютерной системы АСНИ [34] с использованием унифицированной технологии проведения психофизиологических исследований [14], включающей набор технических и программных средств проведения экспериментов, обработки результатов, интегрированной оценки социопсихофизиологической структуры и состояний личности. Эффективность деятельности (ЭД) как целевая функция, нервно-психическая устойчивость и вработываемость изучались с помощью методики Шульте. Актуальное функциональное состояние анализаторных и вегетативных систем оценивались с помощью теста простой сенсомоторной реакции (времени реакции), теппинг-теста (максимальной частоты нажатий в минуту для право- и леворучных реализаций), моды и амплитуды моды временных рядов, составленных из последовательностей нажатий, теста Люшера (уровня стресса, коэффициента вегетативного баланса).

Привлечение методов точной математики к прогнозированию эффективности деятельности оператора сопряжено с преодолением, часто в ущерб адекватности описания изучаемых процессов, ряда трудностей. Прежде всего

это связано с биологической природой человека, его существенно большей сложностью, изменчивостью поведения по сравнению с техническими компонентами любой системы. Организм человека способен достигать одинакового результата с помощью различных поведенческих реакций и других феноменов, основанных на реализации сугубо биологических механизмов, например компенсации отказов посредством перехода на иные алгоритмы деятельности (так называемое функциональное резервирование). В свою очередь отказ в живой системе не сводится просто к отказу одной или нескольких составляющих, но на определенном уровне усталости чреват функциональной перестройкой самого организма и переходом его в иной, «стрессовый» режим существования и деятельности. Далее, кроме его собственного физического состояния, следует учитывать также воздействие внешних обстоятельств, поскольку «фон» эксперимента может существенно изменить полученные данные. Еще более сложной является ситуация, когда на основании изучения нескольких отдельных представителей следует получить выводы относительно большой группы операторов, определяемой наличием ряда характеристик, в различной степени выраженных. Вероятно, наиболее нетривиальным является продуцирование знаний, пригодных для прогнозирования как типичных реакций всей группы, так и поведения конкретного ее представителя. При групповом оценивании вообще рискованно оперировать точечными оценками, поскольку исследуемые значения «размыты» по некоторому интервалу, если контрольная группа является достаточно однородной (рис. 1), или по совокупности непересекающихся интервалов в противном случае, причем различные значения могут иметь неодинаковую степень выраженности. Кроме того, сами изучаемые процессы имеют случайную природу и получаемые при проведении эксперимента значения могут лишь в

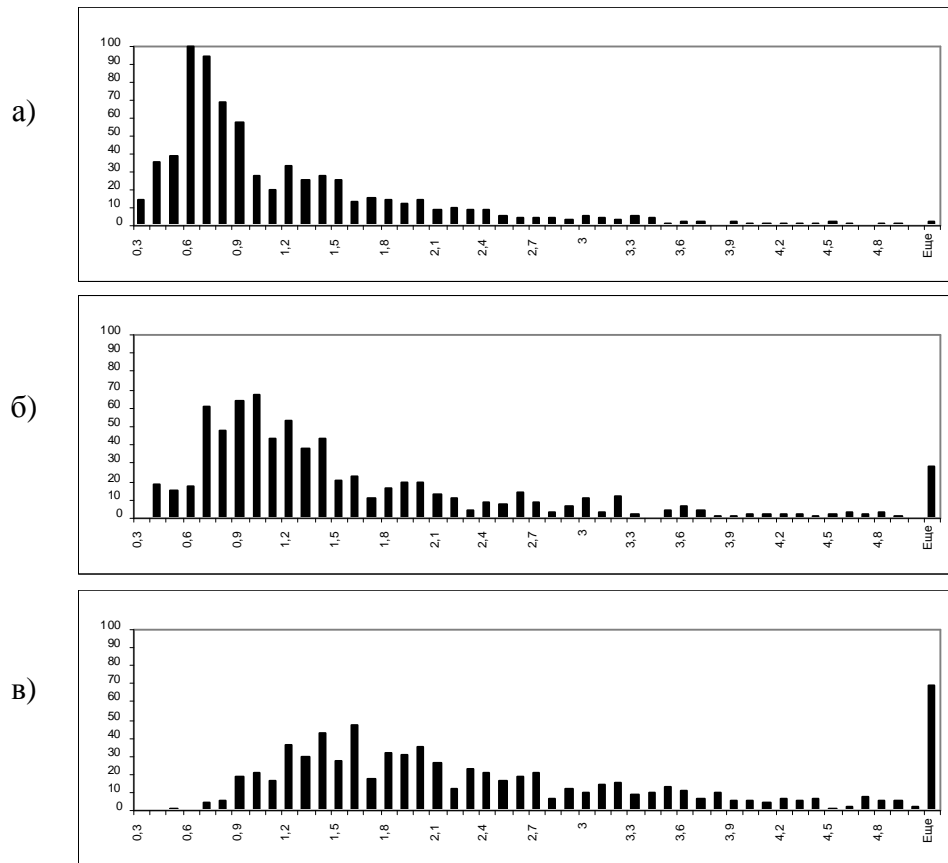


Рис. 1. Частотные распределения эффективности деятельности групп операторов (в секундах) с характеристикой их стабильности (крайний столбик "еще"): (а) — высокая, (б) — средняя и (в) — низкая

той или иной степени характеризовать возможность реального исхода.

Вследствие вышеизложенного определение разумной и интерпретируемой численной величины, которую можно было бы принять в качестве оценки эффективности оператора, является весьма нетривиальной задачей. Перспективным представляется подход, при котором в качестве оценки эффективности выступает не одно число, а совокупность величин, характеризующих взаимозависимости между результативностью работы человека-оператора и личностными характеристиками, позволяющими оценить психофизиологическую «цену» его деятельности, т.е. степень напряженности регуляторных механизмов и величину израсходованных функциональных резервов организма. Под эффективностью деятельности оператора в этом случае понимается некая мера (например, временные характеристики) его способности выполнять предписанные функ-

ции с заданным качеством при сохранении в допустимых пределах психофизиологической «цены» этой деятельности. В свою очередь «цена» деятельности численно характеризуется совокупностью соотношений между текущим, исходным и предельно допустимым состояниями функциональных систем организма, ответственных за обеспечение рассматриваемой деятельности.

Таким образом, в каждом конкретном случае определение оценок эффективности жестко связано как со спецификой деятельности человека-оператора по реализации конечных целей, так и с особенностями индивидуально-личностного допустимого диапазона психофизиологических параметров предполагаемого или реального контингента исполнителей. ЭД связана с некоторыми другими важными показателями деятельности оператора, например прямой связью с надежностью и стабильностью (на рис. 1 значение

гистограммы против отметки «еще» существенно увеличивается при понижении эффективности операторов, составляющих группу). Целесообразно поэтому рассматривать не саму численную оценку эффективности деятельности конкретного фигуранта, а определять его принадлежность к одной из относительно однородных групп, упорядоченных по результативности. При исследовании конкретного вида деятельности целесообразно определять меру того, что исполнитель работает в каждом из возможных режимов функционирования, и затем приписывать его к группе, работающей в том режиме, которому соответствует максимальная оценка. Удобно сформулировать задачу прогнозирования ЭД человека в виде подлежащих проверке гипотез, например: «высокая ЭД оператора», «средняя ЭД», «низкая ЭД». Тогда примерный прогноз может быть получен в виде некоторого приближения значений вероятности принадлежности к каждой из выделенных групп.

Квалифицированный эксперт при анализе социопсихологических характеристик структуры личности конкретного человека на основании своих неформальных соображений часто может достаточно адекватно спрогнозировать эффективность его деятельности при определенных воздействиях и в определенных обстоятельствах, причем указанные им пределы возможных изменений итоговых показателей могут быть весьма близки реально полученным впоследствии. В любом случае учет имеющейся априорной информации с привлечением эксперта является оправданным и в подавляющем большинстве случаев весьма плодотворным. Например, участие эксперта также необходимо для выделения с целью тщательного последующего изучения индивидов-«экстремалов», показатели которых могут быть наиболее информативными при установлении, скажем, возможных и допустимых границ изменений показателей и при проведении любой предварительной классификации.

В свете приведенных выше соображений наиболее плодотворным при прогнозировании эффективности деятельности оператора представляется привлечение непрямого экспертно-статистического подхода к анализу изучаемых явлений.

При таком подходе часто удается установить наличие зависимости эффективности от индивидуально-типологических показателей, присущей контингенту исполнителей, на основании изучения которого делаются выводы. Крайне полезной является проведение предварительной классификации по разумно избранному показателю. Например, при прогнозировании эффективности деятельности тестируемого его принадлежность к одной из типологических групп (сангвиники, холерики, флегматики, меланхолики) уже сама по себе является неявным прогнозом эффективности деятельности, поскольку ее профили по каждой из групп (три из них приведены на рис. 2) весьма отличны. Следует, однако, заметить, что ортодоксальные представители «чистых» типов встречаются достаточно редко. Типичным является как раз противоположный, пограничный случай, когда оператор на разных этапах деятельности (вработывание, стабильное функционирование, усталость) ведет себя как представитель различных типологических групп. В любом случае прогнозирование является более адекватным, если проводится отдельно для каждого из указанного выше этапов.

Прогнозирование эффективности деятельности как задача проверки гипотез

Весьма привлекательным и математически обоснованным является так называемый байесовский подход к проверке гипотез, основанный на классической теореме Байеса и позволяющий рационально использовать априорную, в частности экспертную, информацию [31–33]. В этом случае проверка выдвинутых гипотез проводится по свидетельствам о степени выра-

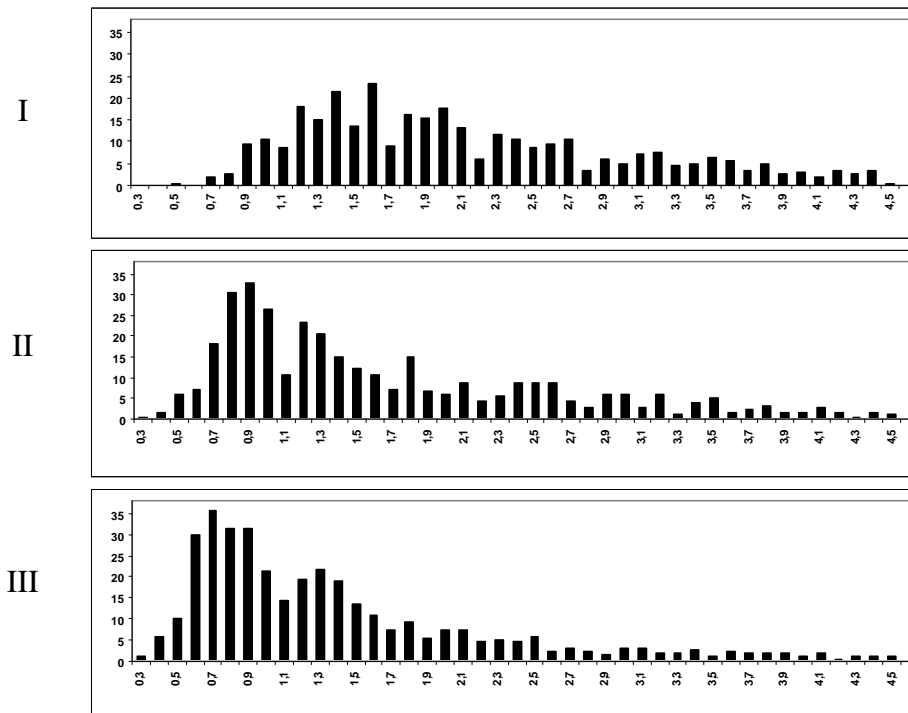


Рис. 2. Гистограммы распределения временных интервалов (в секундах) эффективности деятельности разных типологических групп в стадии стабильного функционирования (I — меланхолики, II — флегматики, III — сангвиники)

женности каждого из совокупности признаков. Используются также экспертно полученные априорные оценки о мере связанности каждого из признаков с каждой из гипотез, причем свидетельства о наличии и выраженности признаков обрабатываются последовательно и полученная на предыдущем шаге апостериорная оценка вероятности справедливости гипотезы используется как априорная при учете следующего свидетельства. Как и любой другой, байесовский подход не лишен недостатков. Прежде всего, это трудность получения экспертных априорных оценок и лежащее в основе подхода предположение о независимости свидетельств, что принципиально невыполнимо для живых систем. Стоит, однако, отметить, что указанные недостатки присущи подавляющему большинству успешно применяемых в настоящее время подходов, хотя условие независимости в них часто открыто не оговаривается, но неявно предполагается. При любом подходе также имеет место качественный анализ [1], поскольку привлекаемые математические модели или даже количественные

вычисления на определенных сегментах информации, как правило, базируются на использовании знаний экспертов, причем субъективизм в определении значимых для используемых факторов очень силен. При любой методике прогнозирования эффективности деятельности приходится прибегать к упрощению ситуации, учитывая агрегированные факторы, определяемые единым набором индивидуально-типологических показателей, действующих независимо.

Оценки, полученные при байесовском подходе даже в случае сильной коррелированности свидетельств, могут быть успешно использованы, поскольку они являются в равной степени «зашумленными» и дают правильную ранжировку степени справедливости гипотез. Главное при интерпретации результатов понимать, что конечный результат дает не адекватную оценку вероятности справедливости гипотез, а только множество значений, позволяющих получить конструктивные выводы в порядковой шкале, т.е. ранжировать по убыванию (возрастанию) эти неизвестные вероятности.

Байесовский подход к проверке гипотез

Результаты тестирования человека довольно успешно описываются множеством показателей возможных исходов с указанием степени выраженности каждого из них. В простейшем случае вместо показателя «Наличие признака e » с вариантами ответа «Признак e присутствует» или «Признак e отсутствует» разумно использовать показатель определенности $u(e)$ «Степень выраженности признака». Диапазон допустимых значений $u(e)$ задается значениями от $u(e) = -1$, что соответствует полному отсутствию признака, до $u(e) = 1$, когда наличие признака ярко выражено и не вызывает сомнений; при этом значение $u(e) = 0$ соответствует случаю полной неопределенности.

Для более формального представления вышесказанного введем следующие обозначения. Для прогнозирования эффективности сформулированы три гипотезы $H = \{h_i\}_{i=1}^3$, подлежащие ранжированию по апостериорной оценке правдоподобия их справедливости согласно эффективности деятельности:

$$h_1 = \{\text{высокая}\}, h_2 = \{\text{средняя}\}, h_3 = \{\text{низкая}\},$$

причем понятия «высокая», «средняя» и «низкая» экспертно определяются непересекающимися критическими диа-

пазонами в соответствии с целями исследования. Проверка справедливости выдвинутых гипотез проводится на основании учета свидетельств из множества $E = \{e_j\}_{j=1}^J$. Заданы априорная оценка $\hat{P}_0(h_i)$ справедливости гипотезы h_i , а также $\hat{P}(e_j/h_i)$ — оценка условной вероятности $P(e_j/h_i)$ наличия свидетельства e_j , если справедлива h_i , и $\hat{P}(e_j/\bar{h}_i)$ — оценка условной вероятности $P(e_j/\bar{h}_i)$ наличия свидетельства e_j , если h_i неверна. В качестве информации относительно наличия свидетельства e_j выступает фактор определенности $u(e_j)$, принимающий соответствующее степени выраженности свидетельства e_j значение в интервале от -1 до 1 .

Пусть процесс учета свидетельств находится в состоянии Ψ_{j-1} , когда уже учтены первые $(j-1)$ свидетельства, и оценка вероятности того, что справедлива гипотеза h_i , равна $\hat{P}_{j-1}(h_i)$. В качестве апостериорной оценки $\hat{P}_j(h_i)$ справедливости гипотезы h_i в состоянии Ψ_j целесообразно использовать значение на траверзе $u(e_j)$ кусочно-линейной интерполяции $P(h_i/e_j)$ (рис. 3) по точкам $\hat{P}(h_i/e_j)$ при $u(e_j) = 1$ (случай полного подтверждения e_j), $\hat{P}(h_i/\bar{e}_j)$ при $u(e_j) = -1$ (т.е. при полном отрицании e_j) и по значению $\hat{P}_{j-1}(h_i)$ при $u(e_j) = 0$ (случай полной неопределенности):

$$\hat{P}_j(h_i) = Q(\hat{P}(e_j/h_i), \hat{P}(e_j/\bar{h}_i), \hat{P}_{j-1}(h_i), u(e_j)),$$

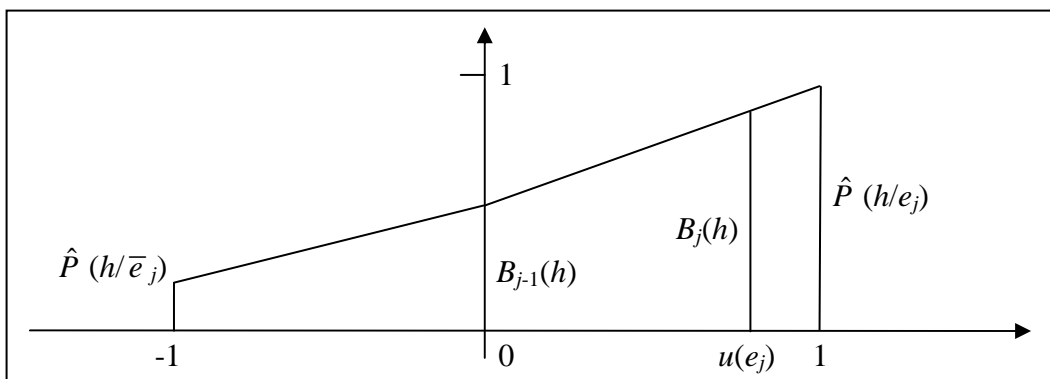


Рис. 3. Графическая интерпретация линейной интерполяции оценки апостериорной вероятности справедливости гипотезы h

где

$$Q(\hat{P}(e/h), \hat{P}(e/\bar{h}), B(h), u(e)) = B(h) + \begin{cases} u(e) \times [B(h) - \hat{P}(h/\bar{e})] & \text{при } u(e) \leq 0, \\ u(e) \times [\hat{P}(h/e) - B(h)] & \text{при } u(e) > 0, \end{cases}$$

оценки $\hat{P}(h/e)$ и $\hat{P}(h/\bar{e})$ вычислены по формуле Байеса,

$$\hat{P}(h/e) = \hat{P}(h) \times \hat{P}(e/h) / [\hat{P}(h) \times \hat{P}(e/h) + (1 - \hat{P}(h)) \times \hat{P}(e/\bar{h})],$$

$$\hat{P}(h/\bar{e}) = \hat{P}(h) \times (1 - \hat{P}(e/h)) / [\hat{P}(h) \times (1 - \hat{P}(e/h)) + (1 - \hat{P}(h)) \times (1 - \hat{P}(e/\bar{h}))].$$

Байесовские оценки обладают известной «компенсационной гибкостью», т.е. недостаточное значение по одному из показателей может быть сбалансировано или даже вовсе погашено яркой выраженностью другого. Это совершенно логично для процесса классификации живого: границы групп, определяемых как различные, являются часто достаточно приблизительными, и каждая группа в то же время может включать весьма пестрый контингент. Более того, всегда существуют операторы, которые в равной степени могут быть отнесены к каждой из двух соседних групп. Иногда наибольший интерес представляют «экстремалы»,

которые при байесовской классификации достаточно уверенно занимают место в определенной группе и в то же время при неформальном анализе явно отличаются от остальных по некоторым существенным параметрам. Для выполнения конструктивной байесовской проверки гипотез даже при наличии удовлетворительных априорных экспертных оценок требуется достаточно кропотливая работа по исследованию взаимозависимости связанных с гипотезами свидетельств, отбору наиболее информативных из них (и устранению менее информативных, корреляционно связанных с избранными). Поиск и оценка степени взаимной зависимости проводятся с привлечением оценок взаимной корреляционной функции (рис. 4). Все выявленные существенные корреляции затем подвергаются проверке на значимость как неформальными методами (например, визуальная оценка соответствующих диаграмм рассеяния), так и с привлечением аппарата статистической проверки гипотез, причем предпочтительными являются непараметрические критерии. Далее, поскольку порядок учета свидетельств имеет значение и наибольшее влияние на итоговые показатели оказывают свидетельства,

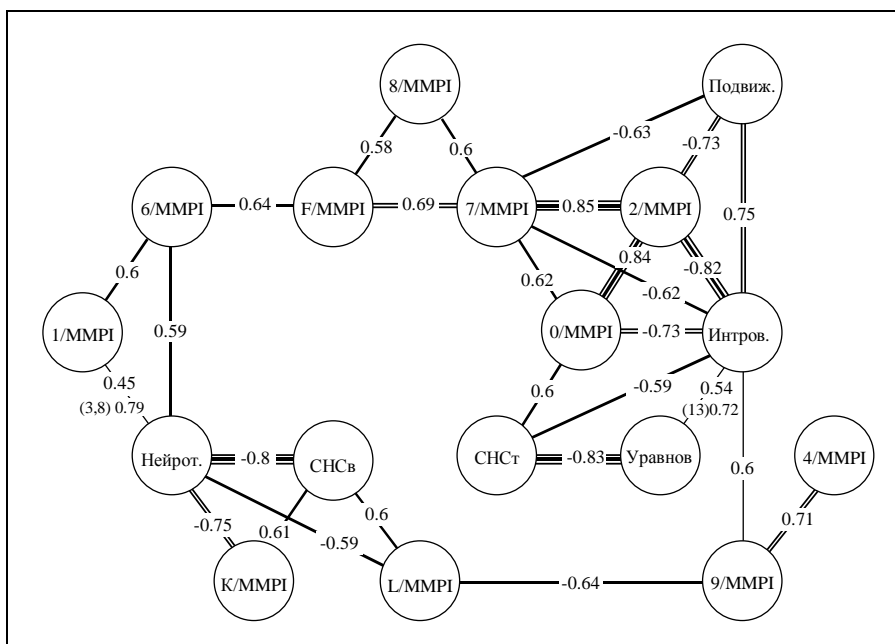


Рис. 4. Граф корреляционных связей характеристик личности с порогом 0.6

учтенные вначале, требуется установить порядок их привлечения, наиболее подходящий для конкретной постановки решаемой задачи с учетом условий проведения эксперимента.

Весьма важной является также классификация состояния, в котором находится человек-оператор. Разбиение показателей функционирования на стадии вхождения в деятельность (вработывание), стабильную стадию и последующую усталость также способно значительно повысить адекватность полученных результатов.

Привлечение любой методики оценивания должно сопровождаться графическим представлением исходной информации и полученных результатов. Это обеспечивает выявление, анализ и отсеивание выбросов и ошибочных показателей (полученных вследствие сбоев аппаратуры, например) и может помочь при формировании «однородных» групп при предварительной классификации контингента исполнителей и выделении групп «экстремалов», наиболее ярко отражающих возможные аспекты функционирования, а также при выборе способа заполнения пропусков в исходных данных.

Компьютерная реализация предлагаемого подхода

Весьма перспективным направлением деятельности является создание компьютерных систем, позволяющих на базе байесовского подхода выявлять принадлежность испытуемых к группе с высокой, средней и низкой эффективностью деятельности по значениям индивидуально-типологических показателей, полученным в результате сравнительно кратковременного тестирования. Такой подход особенно привлекателен еще и потому, что, кроме основного параметра, заложенного в формулировку проверяемых утверждений, можно «отсеивать» претендентов (тестируемых) также по сопутствующим показателям, искусственно завышая требования относительно диапазонов, в которых последние должны попадать.

Байесовский подход был положен в основу системы EFFECT, предназначенной для прогнозирования эффективности деятельности оператора.

Прогнозирование проводилось на основе анализа индивидуальных психофизиологических показателей человека, для определения которых в ИПС успешно функционирует компьютерная система. Наиболее сложными поэтому были принципиально важные вопросы разработки стратегии получения необходимых априорных и динамических оценок, визуализации данных, определения информативных показателей, а также ряд вопросов, связанных с обеспечением приемлемой цены эффективного функционирования, требований надежности и других вопросов, касающихся сопутствующих показателей деятельности.

Оценивание априорных вероятностей проводилось по схеме «классификация с обучением». Была сформирована большая группа операторов, аналогичная по своим показателям предполагаемому контингенту исполнителей. Процентное соотношение представителей различных классов (высокоэффективные, среднеэффективные и низкоэффективные исполнители) во всей группе было использовано как исходное для экспертной априорной оценки вероятности каждого класса. Затем были выделены сравнительно небольшие «обучающие» группы, каждая из которых состояла из достаточно ярких представителей соответствующего класса. Аккуратно, с возможно минимальными внешними последствиями и на достаточно хорошей аппаратуре были измерены все экспертно выделенные потенциально полезные первичные показатели. По ним были вычислены значения агрегированных показателей, характеризующих индивидуально-типологические свойства операторов: сила нервной системы по возбуждению, сила нервной системы по торможению, уравновешенность, подвижность нервной системы, уровень нейротизма и интроверсии, значения

шкал № 1–10 теста ММРІ, время реакции, средняя частота теппинг-теста правой руки, коэффициент вегетативного баланса, уровень стресса (%) и др. Агрегированные показатели по каждому из членов обучающей группы были совокупно визуализированы. Весьма удобным средством для этого является масштабированная лепестковая диаграмма, которая выполняется графическими средствами EXCEL.

Экспертно, после изучения корреляционной взаимосвязи, был выделен набор показателей (табл. 1), далее интерпретируемый как совокупность сви-

детельств для проведения проверки гипотез эффективности. Априорные оценки условных вероятностей (табл. 2, 3), необходимые для вычислений по формуле Байеса, получены на основании либо частотного (взвешенное среднее показателей всех членов группы), либо экспертного подхода (степень уверенности эксперта в том, что рассматриваемый признак присутствует в данной тестовой группе), либо при совмещении обоих (взвешенное среднее экспертных оценок, полученных для каждого представителя группы, либо экспертно скорректированное частотное значение).

Таблица 1. Совокупность свидетельств для проверки гипотез эффективности

№ свид. j	Название свидетельства	Степень выраженности	Критические точки (a_{-1} , a_{+1}) или a_{-1} , (a_{+1} , b_{+1}), b_{-1}
1	Сила нервной системы по возбуждению (СНСв)	Высокая	(52, 65)
2	Сила нервной системы по торможению (СНСт)	Средняя	46, (55,70), 80
3	Уравновешенность нервных процессов	Высокая	(0.8, 1.1)
4	Подвижность нервной системы	Высокая	(48, 55)
5	Уровень нейротизма	Средняя	6, (10, 13), 16
6	Уровень интроверсии	Высокая	(10, 14)
7	Значение по шкале №2 теста ММРІ	Среднее	47, (53, 73), 80
8	Значение по шкале №7 теста ММРІ	Высокое	(45, 55)
9	Значение по шкале №6 теста ММРІ	Высокое	(54, 60)
10	Значение по шкале №4 теста ММРІ	Среднее	46, (53, 62), 70
11	Значение по шкале №8 теста ММРІ	Высокое	(55, 63)
12	Время реакции	Средняя	220, (227, 240), 248
13	Средняя частота теппинг-теста правой руки	Высокая	(370, 390)
14	Коэффициент вегетативного баланса	Высокая	(0.8, 1.2)
15	Уровень стресса	Средняя	21, (28, 55), 65

Таблица 2. Априорные начальные оценки вероятностей гипотез

№ гипотезы	Название гипотезы	Априорная оценка правдоподобия
1	Высокий уровень эффективности	0,375
2	Средний уровень эффективности	0,375
3	Низкий уровень эффективности	0,25

Таблица 3. Априорные оценки условных вероятностей

№ гип. i	№ свид. j	$\hat{P}(e_j/h_i)$	$\hat{P}(e_j/\bar{h}_i)$	№ гип. i	№ свид. j	$\hat{P}(e_j/h_i)$	$\hat{P}(e_j/\bar{h}_i)$
2	1	0,17	0,6	3	8	0,01	0,67
3	1	0,75	0,33	1	9	0,67	0,2
1	2	0,83	0,4	2	9	0,17	0,5
2	2	0,17	0,8	3	9	0,25	0,42
3	2	0,75	0,5	1	10	0,83	0,99
3	3	0,25	0,33	1	11	0,5	0,1
2	4	0,33	0,8	2	11	0,17	0,3
3	4	0,99	0,5	3	11	0,01	0,33
1	5	0,99	0,5	2	12	0,83	0,4
2	5	0,5	0,8	3	12	0,25	0,67
3	5	0,5	0,75	1	13	0,67	0,4
3	6	0,25	0,33	3	13	0,25	0,58
2	7	0,5	0,7	1	14	0,83	0,6
3	7	0,75	0,58	3	14	0,5	0,75
1	8	0,67	0,4	1	15	0,5	0,1
2	8	0,67	0,4	2	15	0,01	0,4

Выбор порядка учета свидетельств и оценивание фактора определенности

Обычно выделяют три стратегии учета свидетельств [31]:

1) так называемая прямая цепочка, при которой последовательно учитываются все свидетельства-симптомы и на каждом шаге корректируется результат. Данная стратегия вполне применима для решения задачи прогнозирования эффективности оператора и может привести к удовлетворительным результатам при условии, что порядок учета свидетельств определен экспертом в соответствии с сопутствующими требованиями к результату (надежность, стабильность функционирования и т.п.), т.е. каждому свидетельству приписан «рейтинг», равный очередности учета. Значимость свидетельства и его рейтинг, таким образом, находятся в обратной зависимости;

2) обратная цепочка, при которой выбирается одна из альтернативных гипотез h , учитываются все свидетельства, имеющие отношение к этой гипотезе, и после определения окончательной апостериорной оценки справедливости избранной гипотезы анало-

гично анализируется следующая. Обратная цепочка может быть успешно использована при проверке пригодности оператора для определенного вида деятельности, когда выбор приоритетной гипотезы очевиден и для её окончательной апостериорной оценки задано критическое пороговое значение. В этом случае часто бывает достаточно даже ограничиться проверкой одной гипотезы («эффективность высокая»). Прямую цепочку привлечения свидетельств к рассмотрению для приоритетной гипотезы опять-таки должен выстроить эксперт. Для решения задачи прогнозирования в общем случае обратная цепочка — не лучший выбор;

3) так называемая косвенная цепочка, ориентированная на свидетельства. Этот подход является логически наиболее естественным и оправданным: в первую очередь учитывается то из еще не учтенных свидетельств, текущая «цена» $S(e)$ которого является наибольшей. Выражение для $S(e)$ выбирается таким образом, чтобы определить воздействие учета свидетельства на изменение оценок для всех допустимых гипотез, т.е. цена является мерой значимости соответствующего

свидетельства в текущей ситуации. Примеры часто используемых выражений приведены, например, в [32], наиболее интересным из них является соотношение

$$C(e) = \frac{1}{|H^e|} \sum_{h_i \in H^e} [\hat{P}(h_i/e) - \hat{P}(h_i/\bar{e})]^2 \times k(e, h_i),$$

где H^e — множество гипотез $H = \{h_i\}$, связанных со свидетельством e ;

$k(e, h)$ — весовые коэффициенты, выбранные экспертно.

Очевидно, первые два подхода являются чисто экспертными, а при третьем учитывается текущая ситуация. Для задачи прогнозирования эффективности деятельности оператора наиболее рациональным является модификация косвенной цепочки, которую можно назвать косвенно-рейтинговой: для каждого свидетельства $e \in E = \{e_j\}_{j=1}^J$, $J = 15$, экспертно определяется рейтинг $R(e)$, который находится в прямой зависимости со значимостью свидетельства и определяется из соображений обеспечения сопутствующих требований к результату. В отличие от стратегии прямой цепочки разные свидетельства могут иметь одинаковый рейтинг. В качестве цены свидетельства в косвенной цепочке используется значение

$$C(e) = \frac{R(e)}{|H^e|} \sum_{h_i \in H^e} [\hat{P}(h_i/e) - \hat{P}(h_i/\bar{e})]^2.$$

По мере учета информации цены еще не привлеченных свидетельств меняются в соответствии с объективной ситуацией, но неизменно с учетом решения эксперта относительно их важности. Таким образом искусственно завышена значимость симптомов, ответственных за надежность (скорость, безошибочность и т.п.) функционирования и обеспечен отсев тех операторов, которые не проходят именно по этому показателю, хотя великолепно подходят по остальным.

Завершающим вопросом является вычисление факторов определенности для свидетельств, приведенных в

табл. 1, по аппаратно найденным психофизиологическим характеристикам структуры личности. Степень выраженности $u(e)$ соответствующей характеристики (третий столбец в табл. 1) по числовому показателю e целесообразно выполнять по предлагаемой ниже методике: экспертно определить непересекающиеся и взаимно разнесенные диапазоны подтверждения и отрицания для симптомов. Если определить непересекающиеся интервалы невозможно, конкретное свидетельство исключить из числа значимых для данной гипотезы. Таким образом, если наличие свидетельства соответствует степень выраженности «высокая», необходимо определить пару критических точек: a_{-1} и a_{+1} . Ситуации «Признак e отсутствует» (т.е. $u(e) = -1$) соответствует выполнение неравенства $e \leq a_{-1}$, ситуации «Признак e присутствует» (т.е. $u(e) = 1$) — выполнение неравенства $e \geq a_{+1}$, а для $e \in (a_{-1}, a_{+1})$ используется ордината $u(e) = [2e - (a_{-1} + a_{+1})] / (a_{+1} - a_{-1})$ прямой, соединяющей точки $(a_{-1}, -1)$ и $(a_{+1}, 1)$, на траверзе абсциссы e (рис. 5). Аналогично в случае, когда наличие признака соответствует степень выраженности «средняя», следует задать две пары критических точек: a_{-1} , a_{+1} и b_{+1} , b_{-1} . Затем определять $u(e)$ как ординату линейного сплайна, представленного на рис. 6, на траверзе абсциссы e , т.е. если $e \leq a_{-1}$ или $e \geq b_{-1}$, то $u(e) = -1$; если $a_{-1} < e < a_{+1}$, то $u(e) = [2e - (a_{-1} + a_{+1})] / (a_{+1} - a_{-1})$; если $a_{+1} \leq e \leq b_{+1}$, то $u(e) = 1$; если $b_{+1} < e < b_{-1}$, то $u(e) = [(b_{-1} + b_{+1}) - 2e] / (b_{-1} - b_{+1})$.

По описанной методике был проведен модельный эксперимент для определения ключевых параметров байесовской проверки гипотез принадлежности к группам с высокой, средней и низкой эффективностью деятельности по индивидуальным психофизиологическим характеристикам. Полученное по контрольной группе операторов соответствие результатов прогнозирования и фактической принадлежности к группе эффективности деятельности превысило 74%.

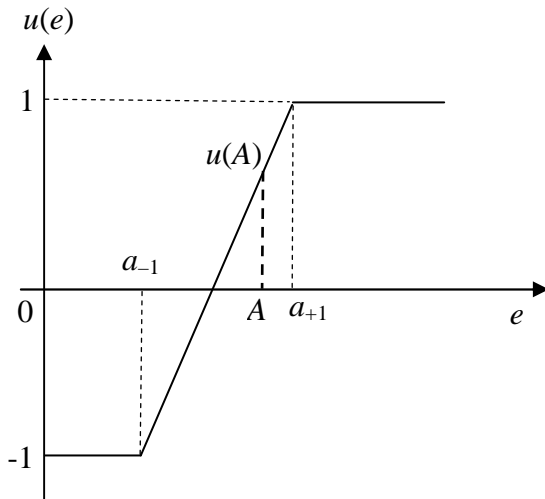


Рис. 5. Вычисление коэффициента определенности одностороннего свидетельства в случае линейной интерполяции по паре критических точек (a_{-1} и a_{+1})

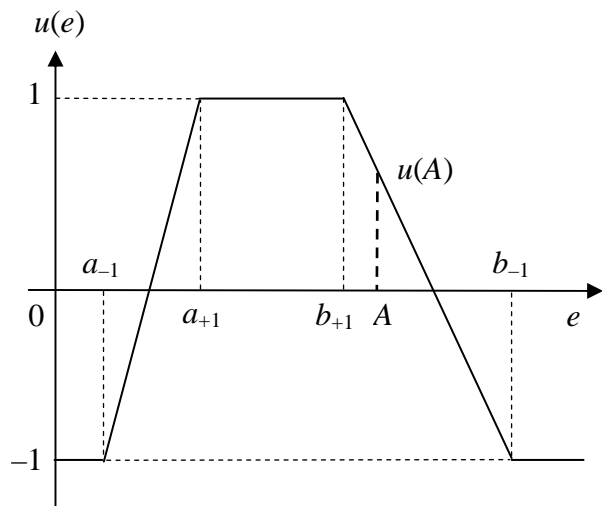


Рис. 6. Вычисление коэффициента определенности двустороннего свидетельства в случае линейного сплайна по четырем критическим точкам (a_{-1} и a_{+1} , b_{+1} и b_{-1})

На основе экспертно откорректированной информации была создана база данных компьютерной системы EFFECT, предназначенной для прогнозирования эффективности деятельности оператора. В режиме эксплуатации на каждом шаге следует заполнить соответствующее показателю окно полученным при тестировании конкретным числовым значением, по которому система вычисляет показатель определенности, используемый далее при пересчете вероятностей принадлежности к каждой из групп (высокая, средняя, низкая эффективность деятельности). Выделенная совокупность свойств является информативной и описывает зависимости между эффективностью деятельности оператора и его статодинамическими характеристиками.

Предусмотрена возможность модификации системы и ее адаптации к эксплуатации в конкретных условиях. Для удобства и быстроты работы эксперта при модификации системы предусмотрено использование набора схем экспертных таблиц.

Визуализация информации

Предложена оригинальная визуализация результатов применения подхода в виде лепестковой диаграммы (рис. 7). Оси диаграммы соответствуют выбранным информативным показате-

лям. Точкой на оси изображается не число, а выбранный диапазон, или совокупность интервалов значений (низкий, средний, высокий), или n -мерная структура — связь двух, трех, ..., N показателей. Результатом экспертных оценок является «модель» идеального объекта предметной области (жирная линия). Данные конкретного нового объекта наносятся на диаграмму следующим образом: в случае попадания объекта в заданные интервалы его «линии» совпадают с контурами идеального объекта. В противном случае оценивается степень приближения к интервалу и на оси показателя наносится соответствующая точка с координатами приближения. Такое представление данных, кроме удобного вида для интерпретации, позволяет качест-

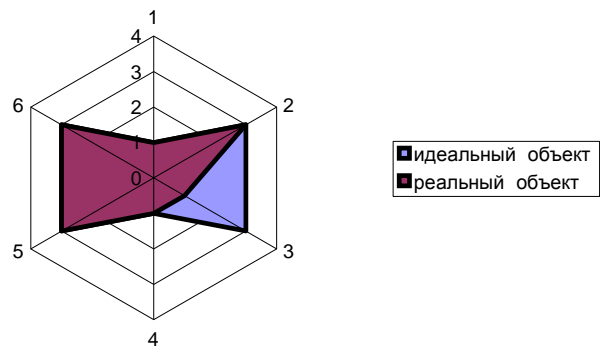


Рис. 7. Визуализация прогнозирования поведения объекта предметной области

венно улучшить процесс управления за счет предварительной «свертки» информации и минимизации корректирующих команд.

Выводы

1. Процедуру байесовской проверки гипотез можно успешно использовать для непрямого прогнозирования эффективности деятельности человека-оператора. Она позволяет разумно учитывать априорную информацию, является весьма гибкой, позволяющей ранжировать значимость привлекаемых свидетельств за счет порядка их учета (в частности, при косвенно-рейтинговой стратегии), изменения пороговых значений при аппроксимации показателя определенности. Результаты имеют понятную и аргументируемую интерпретацию. При байесовском подходе учитываются основные и сопутствующие требования и условия предполагаемого использования результатов.

2. Экспериментальная проверка показала высокую степень соответствия полученных прогнозов фактическому положению, что демонстрирует применимость предложенного подхода для решения реальных задач и определяет целесообразность разработки компьютерных систем для прогнозирования эффективности деятельности операторов на основе экспертной информации в конкретной проблемной области по предложенной методике.

3. Предложенная оригинальная визуализация меры принадлежности к заданным классам произвольной предметной области сложных многомерных объектов, в том числе не формализуемых в рамках классической математики, является весьма перспективной.

4. Разработана экспериментальная компьютерная система EFFECT для прогнозирования эффективности деятельности человека-оператора по статодинамическим показателям структуры личности.

5. Методика позволяет выбрать благоприятный индивидуальный режим эффективного информационного взаимодействия, что повышает надежность

функционирования и выполнения задач с сохранением свойств и собственно биообъектов.

Заключение

Предлагаемый подход позволяет не просто учитывать личностные свойства, но ощутимо повысить эффективность взаимодействия человека со средой (в частности, с компьютером) за счет индивидуализации их информационного взаимодействия согласно цели функционирования. Предложенная методика прогнозирования эффективности деятельности человека является составляющей разработок новых информационных технологий управления состоянием, поведением и свойствами человека.

1. Згуровський М.З. Сценарний аналіз як системна методологія передбачення // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2002. — № 1. — С. 7–38.
2. Сёмик Т.М., Кузьмина К.И. Социопсихологическая стоимость деятельности — резерв товарно-денежных отношений и кадрового менеджмента // Персонал. — К.: МАУП, 1998. — №1. — С. 54–55.
3. Навакатикян А.О., Крыжановская В.В., Кальниш В.В. Физиология и гигиена умственного труда. — Киев: "Здоров'я", 1987. — 152 с.
4. Макаренко Н.В. Психофизиологические функции человека и операторский труд. — Киев: Наук. думка, 1991. — 216 с.
5. Судаков К.В. Системная оценка физиологических функций человека на рабочем месте // Вестник Российской АМН. — 1997. — № 1. — С. 18–28.
6. Кузьмина К.И., Сёмик Т.М. Эффективность деятельности человека-оператора и особенности ее психофизиологического обеспечения. — Киев, 1991. — 23 с. — Деп. в ВИНТИ 26.02.92 № 653 — В 92.
7. Вопросы кибернетики. Биотехнические проблемы человеческого фактора. — М.: АН СССР, 1991. — 152 с.
8. Зингерман А.М. Теоретическое и экспериментальное исследование надежности человека-оператора в условиях напряженной деятельности // Психическая напряженность в трудовой деятельности. — М., Ин-т психологии АН СССР, 1989. — С.51–65.
9. Психическая напряженность в трудовой деятельности. — М.: Ин-т психологии АН СССР, 1989. — 300 с.
10. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. — М.: Наука, 1980. — 192 с.
11. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные функции и резистентность

- организма. — Ростов: Изд-во Ростов. ун-та, 1977. — 63 с.
12. Баевский Р.М. Саморегуляция биологических ритмов как один из механизмов адаптации организма к изменениям внешней среды // Адаптивная саморегуляция функций. — М.: Медицина, 1977. — С.49–67.
 13. Венга В.Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. — М: Машиностроение, 1990. — 448 с.
 14. Сёмик Т.М., Кузьмина К.И. Компьютерный аспект информационного взаимодействия человека со средой // Проблемы программирования. — Киев: ИПС НАНУ, 1998. — С.493–500. (Тр. 1 Междунар. конф. по программированию, 2–4 сентября 1998 г.).
 15. Пономаренко В.А., Турзин П.С., Рысакова С.А. Проектирование диалога «оператор-ЭВМ» (психологические аспекты). — М.: Машиностроение, 1993. — 120 с.
 16. Винарик Л.С., Васильева Н.Ф. Взаимодействие человека с персональным компьютером в управлении производством. — Донецк, 1997. — 49с. — (Препр. / Ин-т эргономики промышленности НАНУ).
 17. Богров В.А. Информационный стресс: Учебное пособие для вузов. — М.: ПЕР СЭ, 2000. — 352 с.
 18. Теплов Б.М. Типологические свойства нервной системы и их значение для психологии // Вопросы высшей нервной деятельности и психологии. — М.: АН СССР, 1963. — С. 475.
 19. Небылицын В.Д. Психофизиологические исследования индивидуальных различий. — М.: Наука, 1976. — 336 с.
 20. Гуревич К.М. Профессиональная пригодность и основные свойства нервной системы. — М.: Наука, 1970. — 272 с.
 21. Собчик Л.Н. Введение в психологию индивидуальности. — М.: Ин-т прикладной психологии, 1998. — 512 с.
 22. Семик Т.М. Общие закономерности и особенности индивидуального адаптационного реагирования человека: Дис. ... канд. биол. наук. — Киев: ИПС, 1993. — 285 с.
 23. Кузьмина К.И. Психофизиологические механизмы индивидуальной адаптации организма при действии различных экзогенных факторов: Дис. ... д-ра биол. наук. — Киев: ИПС, 1996. — 356 с.
 24. Щербанов В.Ю., Бобров А.Ф. Надежность деятельности человека в автоматизированных системах и ее количественная оценка. Концептуальная модель надежности деятельности // Психологический журнал. — 1990. — 11, №3. — С. 60–69.
 25. Пискун А.В. Методы и средства моделирования когнитивного поведения пользователя в адаптивных компьютерных системах: Дис. ... канд. техн. наук. — Черкассы: Черкасский ин-т управления, 2000. — 127 с.
 26. Чайнова Л.Д., Чопорова М.Г. Дифференцированная оценка состояния напряженности человека при решении прикладных задач эргономики // Психическая напряженность в трудовой деятельности. — М.: Ин-т психологии АН СССР, 1989. — С. 160–171.
 27. Рыбаков Ф.И. Системы эффективного взаимодействия человека и ЭВМ. — М.: Радио и связь, 1985. — 200 с.
 28. Синтез оценок функционального состояния сердечно-сосудистой системы и системы регуляции давления при психоэмоциональной пробе / Ю.Г. Антомонов, Г.С. Гедеванишвили, А.Б. Котова, М.Г. Сухишвили, Ю.В. Ильченко, В.М. Белов, Т.М. Гонтарь, И.А. Скачкова // Кибернетика и вычисл. техника. — 1998. — Вып. 98. — С. 45–50.
 29. Биоэкомедицина. Единое информационное пространство // В.И. Гриценко, М.И. Вовк, А.Б. Котова и др. — Киев: Наук. думка, 2001. — 314 с.
 30. Холген К., Піл Д.А., Томпсон Дж.Л. Економічне прогнозування: Вступ: Пер. з англ. — Київ: Інформтехніка-ЕМЦ, 1996. — 216 с.
 31. Экспертные системы. Принципы работы и примеры: Пер. с англ. / Под ред. Р. Форсайта. — М.: Радио и связь, 1987. — 224 с.
 32. Веревка О.В., Заложенкова И.А., Парасюк И.Н. Обобщение интервальных байесовских механизмов вывода и перспективы их использования // Кибернетика и системный анализ. — 1998. — №6. — С. 3–13.
 33. Концептуальні основи байесівської діагностики у розмитому інформаційному просторі при дзвоноподібних функціях належності / О.В. Верьовка, І.М. Парасюк, Є.С. Карпінка, І.А. Заложенкова // Пробл. програмування. — 2004. — №2–3. — С. 328–333.
 34. Автоматизированная система для диагностики и управления надежностью пользователя компьютера на основе междисциплинарного социопсихофизиологического подхода / К.И. Кузьмина, Т.М. Сёмик, Е.С. Карпинка, В.Г. Тюпанский // Теорія і практика управління соціальними системами: філософія, психологія, педагогіка, соціологія. — 2003. — № 4. — С. 90–96.

Получено 13.10.04

Об авторах

Кузьмина Кларисса Ивановна,

д-р биол. наук, вед. науч. сотр.

Сёмик Татьяна Михайловна,

канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

Верёвка Ольга Викторовна,

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

Место работы авторов:

Институт программных систем НАН Украины, 03187, Киев, просп. Академика Глушкова, 40

Тел. (044) 266 3183

E-mail: somik@isofts.kiev.ua