

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 007.2:004.94:004.021

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРИГОДНОСТИ РАБОТНИКОВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОФЕССИЙ

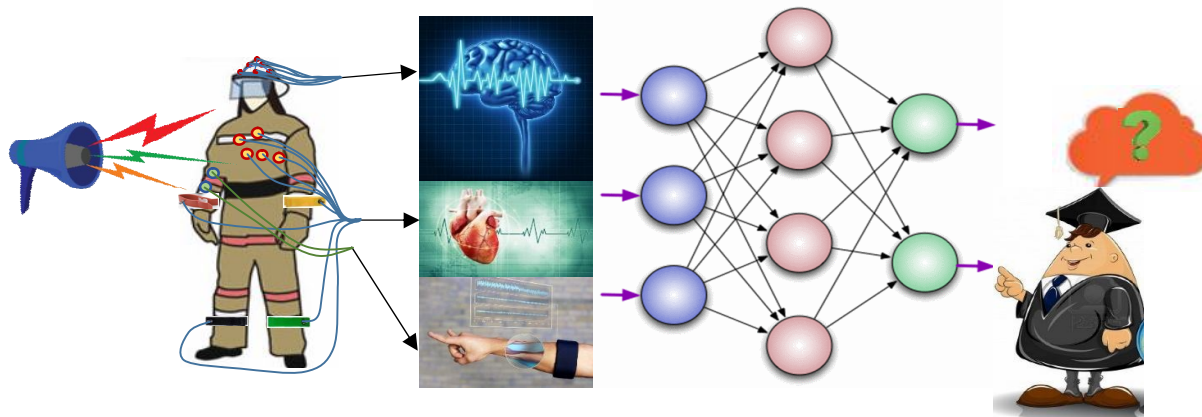
Статья поступила в редакцию 26.08.2017, в окончательном варианте – 02.10.2017.

Шуткин Александр Николаевич, Юго-Западный государственный университет, 305004, Российская Федерация, г. Курск, ул. Челюскинцев, 19Б, кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: anshutkin@mail.ru

Предложены модели формирования функциональных систем и оценки адаптационного потенциала, предназначенные для интеллектуальных систем прогнозирования профессиональной пригодности работников экстремальных профессий. Обосновано использование алгоритма формирования функциональных систем, особенность которого – осуществление последовательного переключения настройки нейросетевой структуры, формирующей данные системы, с экспертного оценивания на обучающую выборку и наоборот. Показано, что адаптационный потенциал организма определяется его возможностью перестройки функциональных систем. Эта возможность, в свою очередь, определяется способностью управлять процессом перестройки систем (врожденные качества) и наличием ресурсов в системах организма (определяется путем анамнеза). Для определения параметров модели предложен многофазный эксперимент, основанный на возбуждении переходных процессов в функциональных системах организма с использованием функциональных проб или стимулов с динамически изменяющимися параметрами. На основе статистического анализа результатов трехфазного эксперимента получены линейные модели адаптационных возможностей организма. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие адекватность полученных моделей.

Ключевые слова: функциональная система, адаптация, модель, нейронная сеть, алгоритм, трехфазный эксперимент, функциональная проба, профессиональная пригодность, компьютерное моделирование, интеллектуальное прогнозирование

Графическая аннотация (Graphical annotation)



THEORETICAL AND EXPERIMENTAL FORECASTING MODEL OF PROFESSIONAL SUITABILITY OF EMPLOYEES OF EXTREME PROFESSIONS

The article has been received by editorial board 26.08.2017, in the final version – 02.10.2017.

Shutkin Aleksandr N., Southwest State University, 19 B Chelyuskintsev St., Kursk, 305004, Russian Federation, Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor, e-mail: anshutkin@mail.ru

The paper presents the model of formation of functional systems and evaluation of adaptive capacity for intellectual systems of forecasting professional suitability of employees of extreme professions. Using of algorithm of formation of the functional systems, a feature of which is the sequential switch of the configuration of the neural network structure, which generates functional systems, from expert estimation to training sample and vice versa, is justified. It is shown that adaptive capacity is determined by its potential ability to rebuild the functional systems. The ability itself depends on the capability to manage the process of rebuilding the system (innate qualities) and the presence of resources in the systems of the body (history). To determine the parameters of the model there is multi-phase experiment, which is proposed; it is based on initiating

transition processes in the functional systems of the body using functional tests or stimuli with dynamically varying parameters. On the basis of statistical analysis of results of a three-phase experiment linear models of adaptation capabilities have been obtained. There has been conducted experimental research confirming the adequacy of the models.

Keywords: functional system, adaptation, model, neural network, algorithm, three-phase experiment, functional test, professional suitability, computer simulating, intellectual forecasting

Введение. Современная организационно-управленческая практика обозначает проблему профессиональной пригодности человека как одну из наиболее актуальных. Особенно важно ее решение для работников экстремальных профессий, так как занятие человека деятельностью, не адекватной его психологическим качествам и объективным физическим возможностям, может привести к необратимым негативным последствиям. Однако теоретические подходы к решению данной проблемы неоднозначны и с этой целью используют множество методов и методик [3, 4, 6, 8, 11]. Среди них важное место занимают методики, основанные на мета-анализе экспериментальных данных [12].

При решении вопроса о профпригодности кандидатов или сотрудников для экстремальных профессий необходимо учитывать не только профессиональные навыки и состояние здоровья кандидата, но и способность его организма формировать функциональные системы (ФС), поддерживающие гомеостаз и отвечающие на вызовы окружающей среды [2, 13]. Согласно теории ФС П.К. Анохина под функциональной системой понимается такое сочетание процессов и механизмов, которое приводит к конечному приспособительному эффекту, полезному для организма в конкретной ситуации. Обычно ФС представляет собой разветвленную физиологическую организацию, составляющую *конкретный физиологический аппарат*, служащий поддержанию жизненно важных констант (параметров) организма. Состав ФС и направление её деятельности определяются ни органом, ни анатомической близостью компонентов, а динамикой объединения, диктуемой только качеством конечного приспособленного эффекта.

В [13] была предложена модель формирования ФС, основанная на понятии структурно-функциональной единицы (СФЕ). С точки зрения этой модели адаптационный потенциал организма, то есть способность его противостоять вызовам внешней среды посредством формирования новых ФС и модификации старых, определяется оперативным и стратегическим запасом СФЕ в системе. Однако эта модель не учитывала способности самой системы к формированию ФС – как за счет врожденных способностей, так и за счет приобретенных знаний (умений). Поэтому целью исследований, представленных в данной статье, является устранение этого недостатка.

Модель формирования функциональных систем с учетом врожденных способностей и приобретенных знаний. В работах П.К. Анохина выдвинуты основные постулаты, лежащие в основе теории формирования ФС. 1) Ведущим системообразующим фактором ФС любого уровня организации является полезный для жизнедеятельности организма, приспособительный результат. 2) Любая ФС организма строится на основе принципа саморегуляции, т.е. на основе контроля отклонения результата от уровня, обеспечивающего нормальную жизнедеятельность. При этом ФС посредством соответствующей деятельности сама восстанавливает оптимальный уровень этого результата (параметра). 3) ФС являются центрально-периферическими образованиями, избирательно объединяющими различные органы и ткани для достижения полезных для организма приспособительных результатов. 4) ФС различного уровня характеризуются изоморфной организацией, то есть имеют однотипную архитектуру. 5) Отдельные элементы в ФС взаимодействуют с целью достижения полезных для организма результатов. 6) ФС и их отдельные части избирательно созревают в процессе онтогенеза, отражая тем самым общие закономерности системогенеза [2, 9].

Таким образом, ФС – это организация активных элементов во взаимосвязи, которая направлена на достижение полезного приспособительного результата. До сих пор идет поиск конкретных анатомических структур мозга, ответственных за формирование ФС. Поэтому обратимся к теории структурных функциональных единиц (СФЕ). Теория СФЕ предполагает, что ФС формируется из абстрактного набора СФЕ путем включения их в функциональную схему ФС. При этом количество СФЕ ограничено.

Однако для построения ФС недостаточно одного ресурса СФЕ. Необходим еще Менеджер – интеллектуальный агент, который собирает данную систему из СФЕ, на основе имеющегося запаса знаний, который, при необходимости, может пополняться. В качестве такого Менеджера в модели используем нейронную сеть, занимающую промежуточное положение между обучающейся и самоорганизующейся нейросетевой структурой. Модель формирования ФС на основе такого подхода представлена на рисунке 1.

Задача ФС заключается в том, чтобы в ответ на входной стимул X , поступивший в момент времени t_i , выдать реакцию Y заданного класса, которая определяется оператором A :

$$Y(t_i) = A\{X(t_i)\}. \quad (1)$$

Для формирования оператора A используется нейронная сеть NET , формируемая по гибриднему алгоритму [10].

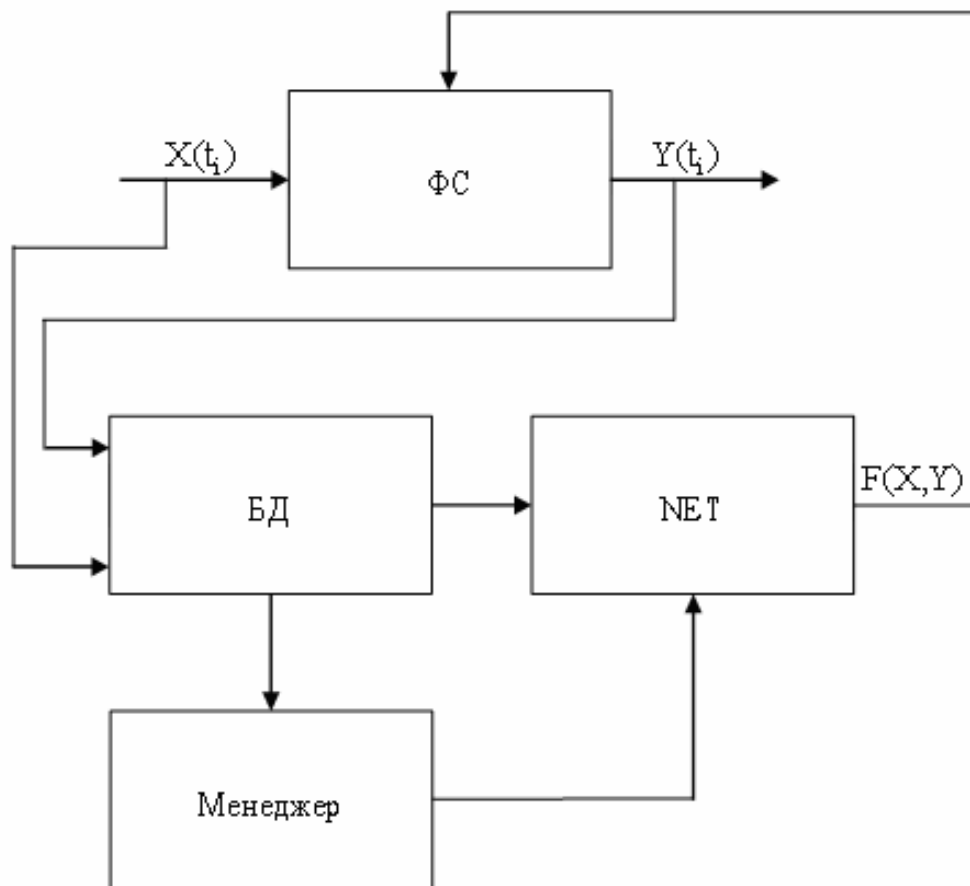


Рисунок 1 – Схема формирования функциональной системы

Для настройки нейронной сети NET в начале стимуляции нет обучающей выборки. На вход ФС поступают стимулы X , которые нарушают гомеостазис организма. На выходе ФС необходимо сформировать реакцию Y , которая снижает деструктивное влияние стимула X . Сущность гибридной настройки нейросети NET заключается в следующем. При ее настройке используется как обучающая выборка, формируемая в базе данных (БД), так и системная память – база знаний (БЗ), которую в модели на рисунке 1 представляет Менеджер [7]. Алгоритм настройки NET, а по существу формирования ФС, представлен на рисунке 2.

Особенность алгоритма состоит в том, что он осуществляет последовательное переключение настройки нейросетевой структуры NET с экспертного оценивания на обучающую выборку и наоборот. Так как в начальный момент обучающая выборка отсутствует, то Менеджер на основе памяти о предыдущих ситуациях формирует ФС и настраивает NET (блок 1 – здесь и далее по рис. 2). Затем, им же в блоке 2 определяется апертура наблюдения (число наблюдаемых дискретных состояний ФС) Nl , после чего в БД записывается множество пар $\{X(t_i), Y(t_i)\}$. В блоке 5 определяется ошибка ε , которая отражает «удовлетворенность» Менеджера работой ФС. Если Менеджер признает работу ФС удовлетворительной (блок 6), то осуществляется возврат на блок 2, где выбирается новая апертура наблюдения Nl . Если же ошибка велика, то Менеджер приступает к анализу данных в БД. Здесь могут иметь место три варианта действий. **А)** Менеджер приходит к выводу о необходимости смены настройки NET на основе своего опыта, то есть к возврату на блок 1. **Б)** Менеджер находит нерегулярность в данных и решает реформатировать обучающую выборку (блок 9), после чего переобучить нейронную сеть (блок 10). **В)** Если данные, по решению (оценке) Менеджера, нормальные, то из блока 8 осуществляется переход по третьей ветви на блок обучения нейронной сети.

Алгоритм, представленный на рисунке 2, является бесконечным алгоритмом. Более того, он может «уснуть» на блоках 3 и 4, если прекращают поступать данные в БД (отсутствуют стимулы).

Этот алгоритм позволяет моделировать процесс адаптации, но не позволяет оценить способность Менеджера адаптировать ФС под вызовы внешнего мира, в частном случае, оценить профессиональную пригодность кандидата для работы в экстремальных условиях. Для решения этой задачи был предложен многофазный эксперимент.

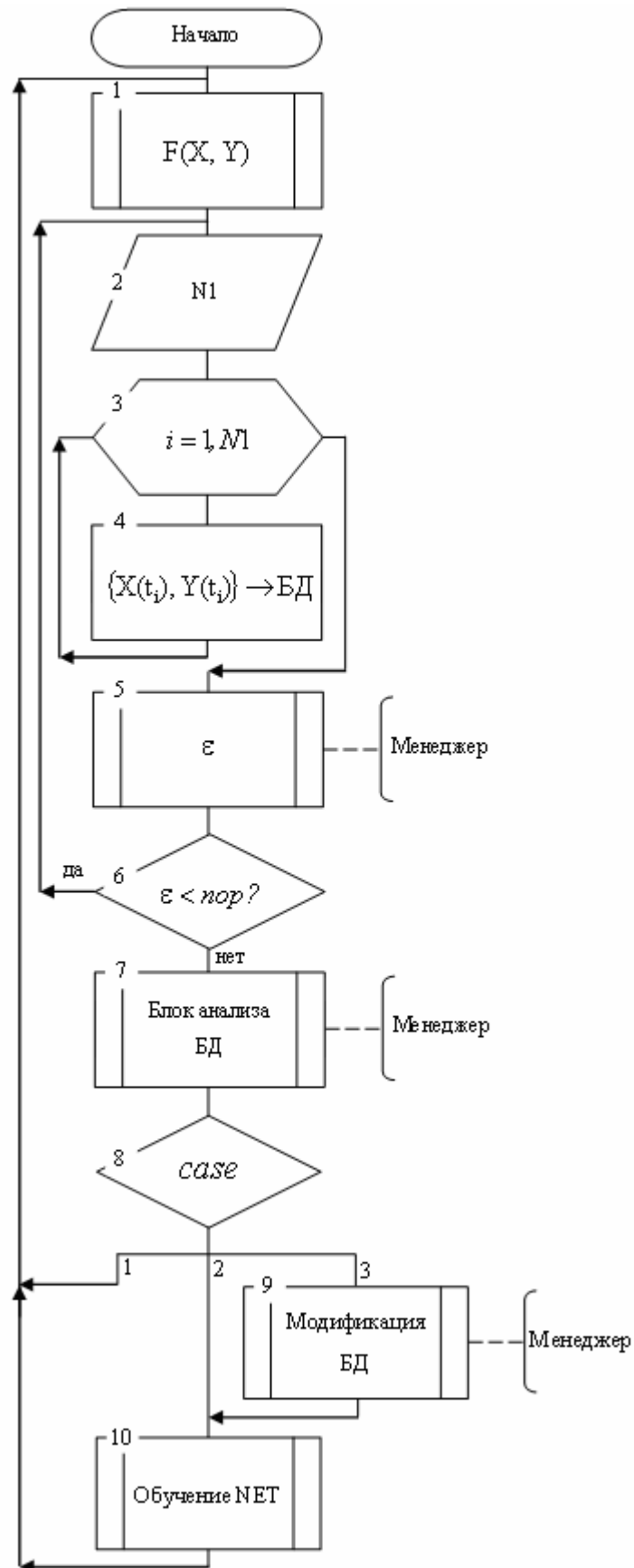


Рисунок 2 – Схема алгоритма формирования модели функциональной системы

Трехфазный эксперимент по определению адаптационных возможностей организма. При оценке профессиональной пригодности для работы в экстремальных ситуациях важна потенциальная возможность кандидата в отношении перестройки ФС в случае смены стимула. Оценку перестройки ФС осуществляем согласно следующей гипотезе. В блоке 7 (рис. 2) после анализа данных в БД Менеджер обнаружил изменения в параметрах стимула. В этом случае старые параметры нейронной сети он отправляет в базу знаний (БЗ), а для нейронной сети устанавливает новые параметры – согласно представленному на рисунке 2 алгоритму. Время, затраченное Менеджером на перестройки параметров нейросети, будет определять потенциальные возможности системы в отношении возможностей работы в экстремальных условиях.

Исходя из представленной модели адаптации, можем сделать заключение, что адаптационный потенциал зависит как от функционального состояния Менеджера, так и от имеющихся ресурсов системы формирования и перестройки NET. В связи с этим возникает проблема поиска и определения суррогатных маркеров (информативные признаки, которые не определяют ФС сложной системы, но на которые ФС оказывает влияние). Классификационные модели, построенные на основе суррогатных маркеров, позволяют оценить адаптационные возможности организма.

В теории систем автоматического управления хорошо известно, что наибольшую информацию о надежности функционирования той или иной системы можно извлечь лишь при исследовании состояния переходных процессов в ней. Сделать это с помощью многих методов, используемых в медицинской практике, весьма затруднительно, а зачастую и просто невозможно. Поэтому суррогатные маркеры будем искать среди параметров переходных процессов (при перестройке ФС). Для оценки таких параметров был предложен метод многофазного эксперимента. Проиллюстрируем этот метод на примере трехфазного эксперимента. В качестве теста выбирается функциональная проба («физическая» или «интеллектуальная»), имеющая несколько уровней сложности, которые мы назовем фазами. Эксперимент состоит из трех фаз. В первой фазе испытуемому предлагают задания с низким уровнем нагрузки (физической или интеллектуальной). Результаты выполнения заданий (рейтинг) записываются в таблицу экспериментальных данных (ТЭД).

Во второй фазе экспериментатор незаметно для испытуемого переключает уровень сложности заданий, число которых остается таким же, как и в первой фазе.

В третьей фазе эксперимента экспериментатор возвращает уровень сложности заданий в исходное состояние и опять предлагает испытуемому выполнить столько же заданий, что и в каждой из предыдущих двух фаз.

Для описания полученного трехфазного ряда используем аддитивную модель:

$$x_{ij}^{\ell} = a_{ij} + e_{ij}^{\ell}, \quad (2)$$

где x_{ij}^{ℓ} – «рейтинг» i -го индивидуума в j -ой фазе ℓ -го эксперимента; a_{ij} – неслучайные неизвестные величины, являющиеся характеристикой потенциала (способности, таланта) индивидуума и его реактивности; e_{ij}^{ℓ} – неизвестные, одинаково распределенные случайные величины, определяемые адаптационными возможностями ФС испытуемого.

Уравнение (2) является классификационной моделью, позволяющей связать суррогатные маркеры x_{ij}^{ℓ} с латентными переменными, характеризующими адаптационный потенциал организма.

Представим a_{ij} как

$$a_{ij} = \mu_i + v_j, \quad (3)$$

где величина $\mu_i = \frac{1}{3N} \sum_{j=1}^3 \sum_{\ell=1}^N x_{ij}^{\ell}$ определяет тренд «рейтинга» индивидуума и не связана с внешним возмущающим воздействием; N – число экспериментов в фазе.

Величина v_j определяет экзогенный фактор. Следовательно, она может быть определена как

$$v_j = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{\ell=1}^N x_{ij}^{\ell}, \quad (4)$$

где M – число индивидуумов, участвующих в эксперименте.

На рисунке 3 представлен пример распределение «рейтинга» в фазах для отдельного индивидуума.

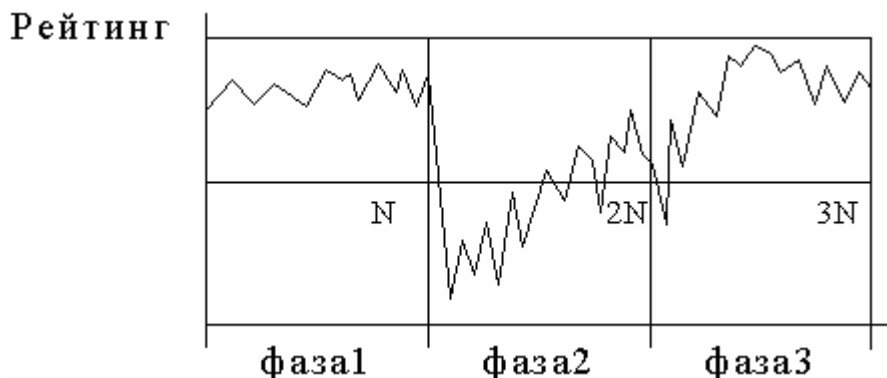


Рисунок 3– Распределение «рейтинга» в фазах трехфазного эксперимента

Тогда для ℓ -го эксперимента трехфазная модель временного ряда будет представлена следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{i1}^{\ell} &= \theta_{i1} + e_{i1}^{\ell}; \\ \tilde{x}_{i2}^{\ell} &= \theta_{i2} + e_{i2}^{\ell}; \\ \tilde{x}_{i3}^{\ell} &= \theta_{i3} + e_{i3}^{\ell}; \end{aligned} \tag{5}$$

где $\theta_{ij} = \mu_i + v_j$.

Классификационные модели на основе трехфазного эксперимента. Для классификации адаптационного потенциала введем векторную латентную переменную A , определенную в единичном квадрате в декартовой системе координат. Первая проекция a_x вектора адаптации A определяет реакцию первичного ответа, а вторая проекция a_y – реакция «платы» [5]. Такое представление адаптации позволит разделить индивидуумов на 5 классов, как это показано на рисунке 4.



Рисунок 4 – Классификация адаптационных возможностей в двумерном пространстве «ответ – плата»

Прежде всего, выделим три зоны, в которых адаптационные возможности не подлежат оценке посредством выбранного стимула или функциональной пробы. Первая зона – это зона индифферентности, в которой отсутствует первичный ответ на стимул. Если вектор адаптации попадает в эту зону, то это говорит о том, что необходимо сменить стимул или исследуемого кандидата. Следующие пять зон, соответствуют пяти уровням адаптации. Наиболее высокий уровень адаптации соответствует векторам, попавшим в область нулевой зоны – первый класс. Это зона с низким первичным ответом и с низкой «платой».

Второй класс соответствует низкой «плате» и среднему ответу или низкому ответу и средней «плате»; третий класс: высокая «плата» – низкий ответ; средняя «плата» – средний ответ; низкая «плата» – высокий ответ; четвертый класс: средняя «плата» – высокий ответ; высокая «плата» – средний ответ; пятый класс: высокая «плата» – высокий ответ.

Реакцию первичного ответа (a_x) и реакцию «платы» (a_y) для i -го индивидуума представим в виде аддитивной модели:

$$\begin{aligned} a_{xi} &= c_1\alpha_{1i} + c_2\alpha_{2i}; \\ a_{yi} &= c_3\beta_{1i} + c_4\beta_{2i}; \end{aligned} \tag{6}$$

где α_{ki} и β_{ki} – статистические характеристики фаз индивидуума; c_h – масштабирующие коэффициенты, которые подбираются эмпирически.

Параметр α_1 определяет величину сдвига между первой и второй фазой, то есть

$$\alpha_{1i} = \frac{1}{N} \sum_{\ell=1}^N e_{i1}^{\ell} - \frac{1}{N} \sum_{\ell=1}^N e_{i2}^{\ell}. \quad (7)$$

Параметр α_2 характеризует изменение дисперсии в 1-ой и 2-ой фазах, то есть

$$\alpha_{2i} = -\sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{\ell=1}^N \left(\frac{1}{N} \left(\sum_{\ell=1}^N e_{i1}^{\ell} \right) - e_{i1}^{\ell} \right)^2} + \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{\ell=1}^N \left(\frac{1}{N} \left(\sum_{\ell=1}^N e_{i2}^{\ell} \right) - e_{i2}^{\ell} \right)^2}. \quad (8)$$

Параметр β_1 определяет величину сдвига между первой и третьей фазами, то есть

$$\beta_{1i} = \frac{1}{N} \sum_{\ell=1}^N e_{i1}^{\ell} - \frac{1}{N} \sum_{\ell=1}^N e_{i3}^{\ell}. \quad (9)$$

Параметр β_2 характеризует изменение дисперсии первой и третьей фазы, то есть

$$\beta_{2i} = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{\ell=1}^N \left(\frac{1}{N} \left(\sum_{\ell=1}^N e_{i3}^{\ell} \right) - e_{i3}^{\ell} \right)^2} - \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{\ell=1}^N \left(\frac{1}{N} \left(\sum_{\ell=1}^N e_{i1}^{\ell} \right) - e_{i1}^{\ell} \right)^2}. \quad (10)$$

При построении модели адапционного потенциала (6) мы оставили неопределенными коэффициенты c_h ($h = 1...4$). Для эмпирического определения этих коэффициентов из множества тестируемых лиц (студентов) выделены подмножества «интеллектуалов» и «аутсайдеров». Для формирования этих подмножеств воспользуемся методом омега-потенциалов (объективной оценкой) и результатами экзаменационной сессии (субъективной оценкой). Корреляция между объективной и субъективной оценками составила около 0,75 [1, 8].

Классификация по омега-потенциалу на 5 классов адаптации (согласно методике [1, 8]), представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация адаптивных возможностей по омега-потенциалу

Класс	Омега-потенциал (мВ)	Уровень адаптации
0	> 40	Очень высокий
1	30...40	Высокий
2	15...29	Удовлетворительный
3	1...14	Низкий
4	≤ 0	Очень низкий

Для множества «интеллектуалов» (класс 1) на основе уравнений (6, 7) и рисунка 4 можем записать следующие уравнения:

$$\begin{aligned} c_1 \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\alpha}_{1i} + c_2 \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\alpha}_{2i} &= 0,166, \\ c_3 \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\beta}_{1i} + c_4 \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\beta}_{2i} &= 0,166, \end{aligned} \quad (11)$$

где L – число индивидуумов в подмножестве интеллектуалов, значок \sim соответствует параметрам, определяемым для множества «интеллектуалы».

Для множества аутсайдеров (класс 5) на основе уравнений (6, 7) и рисунка 4 можем записать следующие уравнения:

$$\begin{aligned} c_1 \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \alpha_{1i}^* + c_2 \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \alpha_{2i}^* &= 0,834, \\ c_3 \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \beta_{1i}^* + c_4 \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \beta_{2i}^* &= 0,834, \end{aligned} \quad (12)$$

где Q – число индивидуумов в подмножестве интеллектуалов, значок $*$ соответствует параметрам, определяемым для множества «аутсайдеры».

Решая систему линейных алгебраических уравнений (11) и (12) определяем контрастирующие коэффициенты по таким формулам:

$$c_1 = \frac{(\frac{1}{Q} \cdot \sum_{i=1}^Q \alpha_{2i}) \cdot 0,166 - (\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\alpha}_{2i}) \cdot 0,834}{(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\alpha}_{1i})(\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \alpha_{2i}) - (\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \alpha_{1i})(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\alpha}_{2i})}$$

$$c_2 = \frac{(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\alpha}_{1i}) \cdot 0,834 - (\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \alpha_{1i}) \cdot 0,166}{(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\alpha}_{1i})(\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \alpha_{2i}) - (\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \alpha_{1i})(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\alpha}_{2i})}$$

$$c_3 = \frac{(\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \beta_{2i}) \cdot 0,166 - (\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\beta}_{2i}) \cdot 0,834}{(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\beta}_{1i})(\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \beta_{2i}) - (\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \beta_{1i}) \cdot (\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\beta}_{2i})}$$

$$c_4 = \frac{(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\beta}_{1i}) \cdot 0,834 - (\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \beta_{1i}) \cdot 0,166}{(\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\beta}_{1i})(\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \beta_{2i}) - (\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \beta_{1i}) \cdot (\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \tilde{\beta}_{2i})}$$

Масштабирующие (контрастирующие) коэффициенты для данного эксперимента имеют следующие значения: $c_1 = -0,007$; $c_2 = 0,015$; $c_3 = -0,008$; $c_4 = 0,013$.

Некоторые полученные экспериментальные модели и соответствующие им классы представлены в табл. 2. Для проверки адекватности моделей использовалась классификация по омега-потенциалам и по заключениям экспертов.

Таблица 2 – Параметры трехфазной модели (фрагмент)

№№ п/п	α_{1i}	α_{2i}	β_{1i}	β_{2i}	a_{xi}	a_{yi}	Класс по выбранной модели	Класс по омега-потенциалам	Класс по заключению экспертов
1	20	59	-13	-1	0,725	0,091	2	2	2
2	-4	27	-21	1	0,430	0,181	1	1	2
3	-18	29	1	74	0,551	0,978	3	3	2
4	-14	7	-3	15	0,191	0,222	0	0	1
5	-5	54	0	63	0,834	0,834	4	3	4
6	110	70	83	75	0,275	0,342	1	1	1
7	-31	-6	-23	-6	0,124	0,102	0	0	1
8	-35	-4	-24	-1	0,183	0,173	0	0	0
9	-26	24	-32	25	0,537	0,591	2	2	2
10	20	48	31	54	0,569	0,477	2	2	1

Коэффициент корреляции между классами по выбранной модели и соответствующими классами по омега-потенциалам составил 0,86. Коэффициент корреляции между классами по выбранной модели и соответствующими классами по заключению эксперта составил 0,89.

Выводы. В зависимости от вида деятельности (физический труд, решение интеллектуальных задач и т.д.) процессы адаптации и изменения функционального состояния происходят преимущественно в подсистемах, наиболее активно участвующих в выполнении рабочих действий. Для активизации этих систем предложен трехфазный эксперимент, позволяющий получить двухпараметрическую модель адаптации. Параллельное использование альтернативных методов классификации, например, с использованием омега-потенциалов, позволяет ввести в модели масштабирующие коэффициенты. В свою очередь это позволяет получить более компактное расположение классов в пространстве двух параметров и использовать в качестве объектов, разделяющих эти классы, линейные функции нулевого порядка. Кроме того, полученные модели трехфазного эксперимента позволяют исключить фон, обусловленный разными интеллектуальными и физическими способностями индивидуумов.

Список литературы

1. Аввад Насер. Многофазные функциональные пробы в оценке интегральной адаптационной возможности человека / Насер Аввад // Медико-экологические информационные технологии – 2002 : сборник материалов V Международной научно-технической конференции. – Курск, 2002. – С. 126–132.
2. Анохин П. К. Избранные труды: Кибернетика функциональных систем / П. К. Анохин ; под ред. К. В. Судаква, сост. В. А. Макаров. – Москва : Медицина, 1998. – 400 с.
3. Брумштейн Ю. М. Несиловое тренажерно-диагностическое оборудование для пальцев рук / Ю. М. Брумштейн, Ю. Ю. Аксенова, Ю. Н. Неживая // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине : материалы Всероссийской молодежной конференции / под ред. проф. Д. А. Усанова. – Саратов : Саратовский ун-т, 2012. – С. 249–252.
4. Брумштейн, Ю.М. Компьютеризованные методы исследования скорости реакций и точности моторики пальцев рук / Ю.М. Брумштейн, Ю.Ю. Аксенова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 9. – С. 77–83.
5. Медведев В. И. Устойчивость физиологических и психологических функций человека при действии экстремальных факторов / В. И. Медведев. – Ленинград : Наука, 1982. – 104 с.
6. Мохаммед А. А. Моделирование импеданса биоматериалов в среде MATLAB / А. А. Мохаммед, С. А. Филист, О. В. Шаталова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – № 4. – С. 73–78.
7. Редько В. Г. Нейросетевые адаптивные критики / В. Г. Редько, Д. В. Прохоров // Научная сессия МИФИ – 2004. Нейроинформатика-2004 : сборник научных трудов VI Всероссийской научно-технической конференции. – Москва : МИФИ, 2004. – Часть 2. – С. 77–84.
8. Стобород Б. С. Исследование состояния умственной работоспособности и здоровья студентов по постоянным потенциалам кожи головы и рук / Б. С. Стобород, В. П. Башмаков, Н. К. Дворяшина, В. А. Черепов // Работоспособность и функциональное состояние организма студентов : сборник научных трудов / под ред. О. П. Добромылова. – Ленинград : ЛСГМИ, 1987. – С. 66–70.
9. Судаков К. В. Теория функциональных систем / К. В. Судаков. – Москва : Мед. музей, 1996. – 95 с.
10. Суржикова С. Е. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных признаков / С. Е. Суржикова, С. А. Филист, В. В. Жилин, А. Г. Курочкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3. – С. 85–95 ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/3\(31\)/85-95.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/3(31)/85-95.pdf)).
11. Суржикова С. Е. Исследование проводимости биоматериалов в биоактивных точках при циклических воздействиях токами различной полярности / С. Е. Суржикова, Ю. Б. Мухатаев, О. В. Шаталова и другие // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2016. – № 9. – С. 32–37.
12. Филист С. А. Структурно-функциональная модель мета-анализа медико-экологических данных / С. А. Филист, В. В. Уварова, А. Н. Шуткин // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Общетеchnическая». – 2015. – Вып. 7. – С. 102–110.
13. Шуткин А. Н. Структурно-функциональная модель для мониторинга влияния управляющих воздействий на функциональное состояние самоорганизующихся систем / А. Н. Шуткин, П. С. Кудрявцев, В. В. Протасова и другие // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 2 (30). – С. 105–119. ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/2\(30\)/150-161.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/2(30)/150-161.pdf)).

References

1. Avvad Naser. Multifaznye funktsionalnye proby v otsenke integralnoy adaptatsionnoy vozmozhnosti cheloveka [Multiphase functional tests in the assessment of integrated adaptive capabilities of a person]. *Mediko-ekologicheskie informatsionnye tekhnologii – 2002 : sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Medical and Ecological Information Technologies – 2002. Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference], Kursk, 2002, pp. 126–132.
2. Anokhin P. K. *Izbrannye trudy: Kibernetika funktsionalnykh system* [Selected works: Cybernetics of functional systems], Moscow, Meditsina Publ., 1998. 400 p.
3. Brumshteyn Yu. M., Aksenova Yu. Yu., Nezhivaya Yu. N. Nesilovoe trenazherno-diagnosticheskoe oborudovanie dlya paltsev ruk [Aerobic exercise equipment for fingers]. *Metody kompyuternoy diagnostiki v biologii i meditsine : materialy Vserossiiskoy molodezhnoy konferentsii* [Methods of Computer Diagnostics in Biology and Medicine. Proceedings of the All-Russian Youth Conference], Saratov, Saratov University Publ. House, 2012, pp. 249–252.
4. Brumshteyn Yu. M., Aksenova Yu. Yu. Kompyuterizovannyye metody issledovaniya skorosti reaktsii i tochnosti motoriki paltsev ruk [Computerized research methods reaction speed and accuracy of motor skills of the fingers]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the SFedU. Engineering Sciences], 2012, no. 9, pp. 77–83.
5. Medvedev V. I. *Ustoychivost fiziologicheskikh i psikhologicheskikh funktsiy cheloveka pri deystvii ekstremalnykh faktorov* [Stability of the physiological and psychological human functions under the action of extreme factors], Leningrad, Nauka Publ., 1982. 104 p.
6. Mokhammad, A.A. Modelirovanie impedansa biomaterialov v srede MATLAB [Modeling of impedance of biomaterials in MATLAB] / A.A. Mokhammad, S.A. Filist, O.V. Shatalova // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* [Proceedings of southwest state university. Series Control, computer engineering, information science. Medical instruments engineering]. - 2013. – No. 4. - Pp. 73-78.
7. Red'ko, V.G. Neirosetevyye adaptivnyye kritiki [Neural network adaptive critics] / V.G. Red'ko, D.V. Prokhorov // *Nauchnaya sessiya MIFI – 2004. Neiroinformatika-2004: sbornik nauchnykh trudov VI Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Scientific session MEPhI – 2004. Neuroinformatics-2004: collection of scientific works of the VI all-Russian scientific-technical conference]. - Part 2. - Moscow: Publ. MIFI, 2004. - Pp. 77-84.

8. Stoborod, B.S. Issledovanie sostoyaniya umstvennoi rabotosposobnosti i zdorov'ya studentov po postoyannym potentsialam kozhi golovy i ruk [A study of the state mental health and health students at the constant potential of the skin of the head and hands] / B.S. Stoborod, V.P. Bashmakov, N.K. Dvoryashina, V.A. Cherepov // *Rabotosposobnost' i funktsional'noe sostoyanie organizma studentov: sbornik nauchnykh trudov* [The health and functional state of organism of students: collection of scientific papers]; Leningr. sanit.-gigien. med. in-t ; pod red. O. P. Dobromyslova. – Leningrad: Publ. LSGMI, 1987. – Pp. 66-70.

9. Sudakov, K.V. Teoriya funktsional'nykh sistem [The theory of functional systems] / K.V. Sudakov. – Moscow: Publ. Med. muzei, 1996. – 95 p.

10. Surzhikova, S.E. Ispol'zovanie gibridnykh neirosetevykh modelei dlya mnogoagentnykh sistem klassifikatsii v geterogennom prostranstve informativnykh priznakov [The use of hybrid neural network models for multi-agent classification systems in a heterogeneous space of informative features] / S.E. Surzhikova, S.A. Filist, V.V. Zhilin, A.G. Kurochkin // *Prikaspiiskii zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian journal: control and high technologies]. – 2015. – No. 3. – Pp. 85-95. ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/2\(30\)/150-161.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/2(30)/150-161.pdf))

11. Surzhikova, S.E. Issledovanie provodimosti biomaterialov v bioaktivnykh tochках pri tsiklicheskiх vozdeistviyakh tokami razlichnoi polyarnosti [A study of the conductivity of biomaterials to bioactive points under cyclic impact with currents of different polarity] / S.E. Surzhikova, Yu.B. Mukhataev, O.V. Shatalova i dr. // *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical radioelectronics]. – 2016. – No. 9. – Pp. 32-37.

12. Filist, S.A. Strukturno-funktsional'naya model' meta-analiza mediko-ekologicheskikh dannykh [Structural-functional model of the meta-analysis of medico-ecological data] / S.A. Filist, V.V. Uvarova, A.N. Shutkin // *Voprosy radioelektroniki. Seriya «Obshchetekhnicheskaya»* [Questions of radioelectronics. Series: "General technical"]. – 2015. – No. 7. – Pp. 102-110.

13. Shutkin, A.N. Strukturno-funktsional'naya model' dlya monitoring vliyaniya upravlyayushchikh vozdeistvii na funktsional'noe sostoyanie samoorganizuyushchikhsya sistem [Structural-functional model for monitoring the impact of control actions on the functional state of self-organizing systems] / A.N. Shutkin, P.S. Kudryavtsev, V.V. Protasova [i dr.] // *Prikaspiiskii zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii. Nauchno-tekhnicheskii zhurnal* [Caspian journal: control and high technologies]. – 2015. – No. 2 (30). – Pp. 105-119. ([http://hi-tech.asu.edu.ru/files/2\(30\)/150-161.pdf](http://hi-tech.asu.edu.ru/files/2(30)/150-161.pdf)).

РЕДАКЦИОННЫЙ КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ

Работа посвящена актуальной теме, т.к. подготовка специалистов экстремальных профессий обходится достаточно дорого, а цена допускаемых ими ошибок может быть еще выше. Поэтому рассматриваемая в статье проблематика важна не только при профотборе кандидатов на должности, но и оценках характеристик уже работающего персонала (эти характеристики могут со временем меняться, в т.ч. и под воздействием каких-то заболеваний, негативных внешних воздействий и пр.). Использование математического аппарата и информационных технологий (в т.ч. нейросетевых структур) отражено в статье достаточно подробно. В работе используются в основном известные модели, но применительно к специфической предметной области.

Однако по статье целесообразно сделать некоторые замечания. Название статьи смотрится как слишком общее. Фактическое содержание статьи существенно уже и оно становится понятным лишь из аннотации к работе. В целом работа носит преимущественно теоретический характер. Хотя в ней и приводятся результаты некоторых экспериментов, но этот материал смотрится как вспомогательный. При этом характеристика конкретных «объектов экспериментов» фактически не приведена.

УДК 004.023

ВЫБОР МАРШРУТНОЙ СЕТИ АУДИТА ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТОРГОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Милихин Михаил Михайлович, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, 40, аспирант, ORCID 0000-0003-2751-2041, e-mail: milikhin@gmail.com

Гриценко Юрий Борисович, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, 40, кандидат технических наук, доцент, ORCID 0000-0002-6454-0992, e-mail: ubg@tusur.ru

Шурыгин Юрий Алексеевич, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, 40, доктор технических наук, профессор, e-mail: aem@tusur.ru

В статье рассмотрены проблемы, с которыми сталкиваются организации, занимающиеся обследованием подконтрольной сети торговых и промышленных объектов. Исследованы вопросы оптимизации маршрута следования аудиторов при организации полевых работ с использованием множественной задачи коммивояжера (МЗКВ) в качестве математической модели. Проведен анализ существующих публикаций, на основании которого выполнена классификация возможных формулировок МЗКВ. Проанализированы существующие подходы и методы решения МЗКВ для различных вариантов постановок задач. На основе анализа сделан вывод о целесообразности разработки дополнительных методов. Предложена оригинальная математическая модель, учитывающая выявленные особенно-