

МОДЫ КАРУНЕНА-ЛОВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СТАТУСНЫХ ФУНКЦИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

Ключевые слова: статусные функции, компетенции, качество, качество образования, моды Карунена-Лова.

Предложен метод анализа сложных социальных объектов, основанный на введении статусных функций, которые можно использовать для проведения оценки состояния системы, также как и функции принадлежности в теории нечетких множеств. На основе результатов тестирований получены комплексные поля распределения оценок профессиональных компетенций менеджеров коммерческой компании. Представлены корреляционные функции оценок профессиональных компетенций менеджеров коммерческой компании, полученные в результате тестирований. Для их анализа применен метод мод Карунена-Лова.

Keywords: status functions, competence, quality, quality of education, modes Karhunen-Lova.

A method for the analysis of complex social objects, based on the introduction of status functions that can be used to assess the state of the system, as well as the membership function of fuzzy set theory. On the basis of test results obtained by the complex field distribution of the assessments of professional competence of managers of commercial companies. We present estimates of the correlation functions of professional competencies of managers of commercial companies, the resulting tests. For their analysis, the method of modes Karhunen-Lova.

Введение

В традиционно считавшихся гуманитарными областях исследования в последнее время все более востребованным является применение методов, разработанных в физике, химии, биологии [1, 2]. В настоящее время бурно развивается область экономики, названная «экономифизика» [3, 4]. Проводятся исследования по проектированию динамических моделей социальных процессов [5]. Чрезвычайно актуальной задачей является построение моделей для описания принципов интеллектуальной деятельности человека [6]. Многие объекты, изучаемые в науках о человеке, могут рассматриваться как динамические системы. Для изучения когнитивной деятельности одной из сложных систем – человеческого мозга – применены методы синергетики [7].

С другой стороны следует отметить высокий интерес к внедрению математических методов и шкал оценок исследователями психологии личности. Например, в работе [8] проводится изучение коррелированности интеллектуальных способностей личности и общих знаний, при этом вычислены корреляты аспектов личностных характеристик. Мета-аналитические исследования предполагают, что существуют фундаментальные чувства общности среди особей мер познания, аффекта, и способность к волевому движению [9]. Эти чувства общности, в свою очередь, приводят к относительно небольшому набору черт, которые взаимосвязаны и дифференцированно влияют на интеллектуальное развитие.

Сложность применения математических методов исследования обусловлена отсутствием измерительных шкал, что может быть преодолено с введением базовых переменных для лингвистических оценок исследуемых объектов, как это принято в теории нечетких множеств (ТНМ) [10]. Оценка восходящих уровней компетенций может

быть выполнена с использованием методов ТНМ [11], позволяющей использовать понятие нечеткой и лингвистической переменных.

Это очень перспективная и научно обоснованная методика, т. к. использование ТНМ позволяет ввести измерительную шкалу и четко регламентировать правила принятия решений. Следует отметить, что возможности применения ТНМ ограничены. Во-первых, большое количество информации содержится в трудно формализуемых интуитивных предпочтениях лица, формирующего списки оцениваемых параметров и конструирующего функции принадлежности. Во-вторых, вводимые нечеткие коридоры оценки статичны [12, 13, 14]. В физике микромира в основе вероятностных оценок находятся комплекснозначные функции – волновые, а плотность вероятности определяется как квадрат модуля волновой функции. Тогда практически измеряемые оценки, для которых удастся ввести измерительные шкалы, лежащие в основе лингвистических трактовок, могут быть представлены такими функциями, названными в работе [15] *статусными*. Комплексность позволяет включить в функции большую информацию, влияющую на принятие управленческих решений. Эти две компоненты положены в основу разделения статусной функции на амплитудную и фазовую часть, подобную фазе колебания [16, 17, 18].

Кроме того, моделирование социальных и экономических процессов ограничено сложностью и перекрестностью процессов, происходящих в этих структурах, приводящую к необходимости формирования поля состояния объекта, подобного полям в естественно-научных исследованиях [19]. Попытки такого представления применялись в психологии начала прошлого века [20]. При этом совершен переход от понимания невозможности телеологического выведения поведения личности к «галилеевской психологии», и стремлению вывести законы психики лаконичные и всеобъемлющие, как

и законы ньютоново-галилеевской физики. При этом, на основе психологических экспериментов, обосновывается и вводится необходимость формирования понятия «психологического поля» субъекта и формируется теория поля в социальных науках. Проводятся попытки описания взаимодействия субъект-социум с помощью аналогии электромагнитных взаимодействий. Развитие данного направления легло в основу многих современных психологических и социологических практик, таких как, например, социологические тренинги. При этом исследователи оказались не в состоянии сформировать законы психики лаконичные и всеобъемлющие, как и законы ньютоново-галилеевской физики, что в большой степени обусловлено отмеченным ранее отсутствием измерительных шкал, подобных естественно-научным. Данная проблема также может быть решена с применением статусных функций.

Заметим, что, преодолевая указанные сложности отсутствия измерительных шкал применением теории нечетких множеств, ее статичность – введением комплекснозначных статусных функций, перекрестность описываемых процессов – формированием полей, приходим к проблеме распознавания сложных структур, соответствующих исследуемым объектам. В динамических системах сложные пространственные структуры получаются из отдельных, более простых структур – паттернов. При анализе пространственно-временных структур, наблюдаемых в природе приходится встречаться с другой проблемой: на практике измеряется сложная структура и проводится ее анализ [21, 22]. В работе [23] показаны способы анализа пространственно-временных структур электрических полей человеческого мозга таких, как электроэнцефалограммы, магнитоэнцефалограммы, позволяющие выявить основные паттерны, находящиеся в основе измеряемых структур. Аналитический анализ собственных функций на основе непрерывного преобразования Карунена-Лоэва проведён в [24]. Описываются способы выявления основных параметров, с помощью которых можно управлять системой – параметры порядка. Параметры порядка играют доминирующую роль в концепции синергетики [6]. Они «подчиняют» отдельные части, т. е. определяют поведение этих частей. С определением параметров порядка практически описывается поведение системы.

В данной статье рассмотрены результаты эксперимента, в котором наблюдаемые структуры основаны на их моделировании в форме заданных статусных функций. При этом вводятся некоторые переменные, которые являются лингвистическими [20], для которых вводится базовая переменная (интервал оценок) в лингвистических терминах и их функций принадлежности. Понятие принадлежности в принципе отлично от понятия вероятности и представляется мерой степени соответствия значения базовой переменной

лингвистической. Это соответствие определяется принятой моделью реальной описываемой системы, что позволяет конструировать функции принадлежности в форме наиболее пригодной для разрабатываемой или принятой модели, а также определяет различие в операциях с вероятностями и функциями принадлежности, используемыми в теории нечетких множеств (ТНМ) [25]. В работе использованы введенные ранее в работах авторов комплексные функции принадлежности для лингвистической оценки компетенций индивидуумов, названные статусными функциями. Они включают амплитудный и фазовый множители. Для амплитудной части введены ортогонализированные знакопеременные базисные функции. Конструирование фазовых множителей проводится с учетом личностно-мотивационной части компетенции. При этом сформированные структуры оценок на стадии определения статусных функций и являются в некотором смысле базовыми для получения возможных последующих структур.

В данной работе представлен пример применения статусных функций для математического описания многоаспектной оценки формируемых компетенций индивидуума и его способности к повышению профессионального уровня, как со стороны внешней социальной роли, так и внутренней готовности к ее изменению. Заметим, что подобное разделение направленности на собственные и общественные интересы положено в основу известной модели Томаса-Киллмена [26], а также используется для анализа и структурирования результатов обширных социальных исследований [27]. Кроме того, проводится применение анализа сложных полей двухаспектных оценок набора компетенций индивидуума и его способности к повышению профессионального уровня, как со стороны внешней социальной роли, так и внутренней готовности к ее изменению. Поля получены с применением введенных ранее статусных функций. Для анализа используется метод вычисления пространственно-временных корреляций, называемый модами Карунена-Лоэва.

I. Подход к решению проблемы

Развитие предложенного метода оценки состояния компетенций рассмотрим на примере процесса формирования профессиональных компетенций менеджеров коммерческой компании, занимающейся предоставлением телекоммуникационных услуг населению. Использовались два аспекта набора оценок набора компетенций, полученные в результате самооценки и оценки руководителем. Эти две оценки задали два измерения в пространстве состояний исследуемого субъекта. В результате сформировано поле, соответствующее набору заданных компетенций исследуемого субъекта. Изменение компетенций отслеживалось в течение двух месяцев. В качестве основных групп компетенций для оценки эффективности менеджеров в наши тесты включены следующие: ПК1 – анализ ситуации; ПК2 – концептуальность мышления; ПК3 –

консервативность; ПК4 – способ обработки информации; ПК5 – уверенность в себе; ПК6 – способ оказания влияния на людей; ПК7 – сотрудничество в команде; ПК8 – развитие подчиненных; ПК9 – восприятие информации от окружающих.

Данное количество групп компетенций ограничено сверху для возможности оперативно быстро получать ответы на опросы в закрытой форме. При меньшем количестве получаемой информации может быть недостаточно. Для каждой из этих 9 групп компетенций сформулировано по три ответа, соответствующих разной степени владения заданной компетенцией. Тесты разработаны для оценки компетенций менеджеров по продажам телекоммуникационных услуг с учетом их специфики. Наличие развернутых ответов в тестах облегчает их заполнение интервьюируемыми и позволяет получить более объективную картину. Чтобы исключить субъективное влияние испытуемых на результаты тестирования, последовательность из трех ответов по степени выраженности располагалась для разных вопросов в случайном порядке.

В тестировании участвовали 20 менеджеров, анкетирование проводилось четырехкратно с интервалом 2 недели. За временной промежуток между анкетированием каждый менеджер проходил серию обучающих тренингов со специалистами компании и стажировок непосредственно на рабочем месте. Каждый испытуемый давал ответы на вопросы тестов отдельно как оценку существующего положения вещей, так и указывал желаемый для него вариант развития ситуации, что необходимо для оценки мотивации.

Референтная группа менеджеров состояла из двух подгрупп по 10 человек. В первую подгруппу входили начинающие менеджеры со сроком работы менее двух месяцев. Во вторую подгруппу – менеджеры со сроком работы в данной области от полугода и больше. Помимо собственной оценки испытуемых, получена оценка по предлагаемой шкале для каждого испытуемого, выставленная его непосредственным руководителем (супервайзером). В позициях «сегодня» и «завтра» участник оценивает состояние на сегодняшний день и которое хотел бы достичь в ближайшие месяцы или год. Таким образом, проводится формирование «вектора развития» компетенции. В табл. 1 приведен фрагмент данных по степени выраженности для каждой из 9 компетенций. Система оценки спроектирована для трех уровней оценки – низкий (Н), средний (С), высокий (В). Первая колонка в каждом столбце компетенций соответствует ответу по оценке реальной ситуации, вторая колонка – желаемая для менеджера ситуация (в анкете позиция «завтра»). Такие анкеты заполняются супервайзером для каждого участника. Следует обратить внимание, что меняются не только оценки текущего состояния, как менеджером, так и супервайзером, а также уровень, который менеджер желает достичь в будущем.

Для математической формулировки набора компетенций, определимся с лингвистическим пониманием категории компетенции. Отмечая отсутствие четко установившейся терминологии в определении понятия компетенции, подчеркнем, что оно значительно шире традиционной триады знания-умения-навыки, т. к. включает знания и опыт применения как часть и еще личностную (или мотивационную) составляющую владеющего компетенцией человека. При этом первая часть является измеримой в виде оценки (тесты, анкеты и т.п.) – это вспомогательные инструменты измерения компетенции. Вторая часть – готовность реализации соответствующей компетенции – представляется трудно измеримой, т. к. «могу сделать что-либо» и «хочу сделать что-либо» могут находиться в некоторых взаимоотношениях типа «могу, но не хочу». Личностная составляющая компетенции при измерениях является в достаточной мере условной (кажущейся или мнимой) должна проявляться в действии. Такие соображения позволяют выделить две основные составляющие части компетенции – измеримую в виде оценок ЗУН и личностную, проявляемую в некоторых прецедентах, и только в них измеримую.

При проведении данного социологического эксперимента учет второй – мотивационной части компетенции проводится отметкой желаемого для достижения в скором будущем уровня заданной компетенции. Заметим, что в идеализированном случае человек стремится повысить свой уровень [28, 29]. Однако возможно нахождение в условиях типа «инициатива наказуема», тогда целесообразным следует считать понижение активности для максимального самосохранения. Желаемый для достижения уровень не оказывает влияния на текущую ситуацию, однако будет его оказывать в будущем. В таком случае это воздействие подобно фазе колебания, т. к. набор компетенций представляет изменяющуюся во времени и пространстве оценок-измерений функцию, ее можно представить некоторым аналогом волновой функции, содержащей измеримую в тестах амплитуду и оказывающую влияние на последующее значение амплитуды – фазу. Такая функция описывает некоторый эквивалент внешнего социального статуса и внутренней личностной готовности принять этот статус или изменить его. Тогда построим функции, в некотором смысле подобные лингвистическим вероятностям ТНМ, описываемые функциями принадлежности, и назовем их статусными.

Оценка человека может быть многоаспектной, т. к. самопозиционирование человека по заданным сферам деятельности может существенно отличаться от восприятия его достижений и возможностей окружающими людьми. Разные люди воспринимают одни и те же позиции по-разному, с собственных субъективных позиций. Таким образом, оценки компетенций могут быть, во-первых, многомерными, во-вторых, в них может быть включена мнимая часть – в виде фазы. Все это включено в статусные функции, что

позволяет в новой форме применять факторный анализ, komponуя структуры для анализа по более укрупненным показателям.

Таблица 1 – Подгруппа начинающих менеджеров (начало декабря)

Менеджер	Стаж (мес.)	ПК1			ПК 2			...
		С	В	Н	Н	В	С	
О	0	С	В	Н	Н	В	С	
С	3	Н	В	С	С	Н	Н	

Для конструирования статусных функций реализуем следующую процедуру. На первом этапе задали наборы компетенций и провели их оценку по внешней и самооценке, а также по вектору тенденции изменения.

На втором этапе вычислим весовые коэффициенты значимости каждой компетенции в общей оценке. Для расчета коэффициента корреляции используется следующая методика [30, 33]. Сначала находится сумма квадратов отклонений баллов студентов от среднего арифметического балла по интересующему критерию K_j :

$$SS_j = \sum_{i=1}^n K_{ij}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n K_{ij})^2}{n}, \quad (1)$$

где K_{ij} – баллы i -го студента по j -ой компетенции, n – количество тестируемых студентов.

Затем находится сумма квадратов отклонений итоговых тестовых баллов студентов от среднего арифметического балла по всему тесту:

$$SS_y = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n}, \quad (2)$$

На следующем шаге вычисляется скорректированная на средние значения сумма попарных произведений баллов по j -ой компетенции и итоговых тестовых баллов каждого студента:

$$SP_{jy} = \sum_{i=1}^n K_{ij} Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n K_{ij}) \cdot (\sum_{i=1}^n Y_i)}{n}, \quad (3)$$

Первая часть формулы (3) представляет собой сумму произведений баллов каждого студента по j -ой компетенции и по итоговому тестовому баллу. Вторая часть формулы (3) представляет собой коррекцию на средние значения произведений баллов каждого студента по j -ой компетенции на его итоговый балл.

На последнем шаге рассчитывается коэффициент корреляции j -ой компетенции с итоговой суммой баллов:

$$r_{jy} = \frac{SP_{jy}}{\sqrt{SS_j \cdot SS_y}}, \quad (4)$$

Чем выше значение r_{jy} , тем больше потенциальный вклад j -ой компетенции в итоговый тестовый балл. Вес компетенции определяется как

отношение ее коэффициента корреляции к сумме всех коэффициентов.

Третий этап. Введем систему ортогональных функций $f_i(r)$. Для представления мотивационной характеристики участника используются три уровня оценки, однако их влияние учитывается по другому и формирует «фазу» статусной функции, определяющей значения компетенций исследуемого участника.

Для представления мотивационной характеристики участника мы ввели три уровня оценки $k=-1,0,1$. Эти уровни характеризуют требование компании к уровню соответствующей компетенции. Полное соответствие характеризуется значением $k=1$, частичное соответствие $k=0$, состояние, противоположное требуемому компанией, $k=-1$.

Самооценка и оценка супервайзера представляют собой вид одного состояния компетенций в различных проекциях. Эти оценки положены в основу двумерного «поля компетенций» в осях абсцисс и ординат. Оценка состояния, намеченного для достижения, формирует значение фазы соответствующей сформированной статусной функции [24].

$$\psi_{ijk}(x, y) = f_i(x) f_j(y) \exp(i2\pi k(x + y)), \quad (5)$$

где оценки $k=-1,0,1$. Для самого низкого уровня $k=-1$ отслеживается тенденция на понижение оценки, при $k=0$ – наблюдается соответствие желаемого и достигнутого уровня, $k=1$ – наиболее высокий уровень в веденной системе оценок, ориентированный на повышение уровня. $f_i(x)$ – знакопеременная функция принадлежности самооценки, полученная в результате процедуры ортогонализации по процедуре Грамма-Шмидта введенных трех возможных гауссовых распределений на интервале $[-0.5; 0.5]$. Максимумы функций располагаются при $x=-0.18, x=0, x=0.18$. если рассчитывать результирующую лингвистическую оценку по математическому ожиданию распределения, то базовая переменная будет меняться в интервале $[-0.18; 0.18]$. $f_i(y)$ – аналогичная функция оценки супервайзера.

В отличие от [11] в формировании оценки личностной характеристики участника изменена использованная ранее процедура, в которой введены три уровня оценки $k=-1,0,1$. Для наиболее низкого уровня $k=-1$ использовалась оценка – пассивный, для следующего уровня при $k=0$ – декларационный, для высокого уровня $k=1$ – активный. В данной работе с профессиональными менеджерами такая оценка оказалась затруднительной. Поэтому использована терминология «восходящих» компетенций. Для определения значения $k=-1,0,1$ оценивалось соответствие действующей оценки компетенции и ее желаемой оценки. Все оценки сформулированы в лингвистических позитивно окрашенных утверждениях. Например, вместо утверждения «игнорирует возможности групповой работы и противопоставляет себя коллективу» используется лингвистический терм «имею свое мнение, если оно противоречит интересам группы отстаиваю и в конечном счете реализую». При

$k=0$ отмечается сохранение имеющейся оценки и желаемого состояния. При $k=1$ желаемое состояние соответствует более высокой оценке, при $k=-1$ – более низкой.

Для каждого из участников из набора входных и выходных оценок сна основе введенных базисных функций (3) составлялась статусная функция:

$$\Psi_i^n(x, y) = \sum_{l=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=-1}^1 w_{lk}^i \Psi_{ijk}(x, y), \quad (6)$$

Здесь w_{lk}^i – матрица 3×3 в которой положение ненулевых значений определяется оценкой. Затем проводится сборка результирующей статусной функции:

$$\Psi(x, y) = \sum_{i=1}^9 \sqrt{w_i} \Psi_i^{\text{ex}}(x, y), \quad (7)$$

Здесь w_i – весовые коэффициенты соответствующих компетенций. В результате применения описанной процедуры будут получены комплексные поля оценок.

II. Преобразование Карунена-Лова

Сформируем статусную функцию поля оценок профессиональных компетенций в некоторый момент времени t , которое может быть представлено следующим образом:

$$\Psi(x, y, t) = \sum_{i=1}^n w_i(t) \Psi_i(x, y), \quad (8)$$

где n – число оцениваемых компетенций. «Координаты» x и y представляют собой непрерывные переменные, над множеством которых определены статусные функции. Значениям этих координат могут быть поставлены в соответствие традиционные оценки (например, при $x_0 < x < x_1$ оценка «удовлетворительно», и т.д.). Переменная x характеризует оценки данные экспертами, y – самооценки. Размеры матрицы w_{lk}^i определяется заданным числом базовых статусных функций. Статусная функция для каждого из участников составлялась из набора входных и выходных оценок на основе введенных базисных функций (5).

Для описания пространственно-временной динамики поля оценок компетенций используем преобразование Карунена-Лова (КЛ). В случае непрерывного преобразования КЛ собственные вектора $\Psi_q(x, y)$ интегрального уравнения

$$\iint \hat{K}(x, y, x', y') \Psi^*(x', y') dx dy = \lambda_j \Psi_j(x, y), \quad (9)$$

называются модами Карунена-Лова с собственными значениями λ , при этом ядро представляется нормализованной корреляционной матрицей, полученной путем усреднения по времени произведения значений нормированных компонент

поля в двух различных точках поперечной плоскости:

$$\hat{K}(x, y, x', y') = \frac{\langle \Psi(x', y', t) \Psi^*(x, y, t) \rangle_t}{W}, \quad (10)$$

где $W = \left\langle \iint dx dy |\Psi(x, y, t)|^2 \right\rangle_t$ – условие нормировки.

Работать с матричным уравнением часто более удобно, чем с интегральным. При этом сигнал нужно представить в форме дискретного набора некоторых признаков, например, может быть использована декомпозиция поля в терминах мод Гаусса-Лагерра [21].

Определение собственных значений предоставляет возможность оценить качество приближения модели исследуемого объекта. Оказывается, что во многих случаях, возникающих на практике достаточно ограничиться только несколькими собственными числами. Основная динамика системы описывается модами, сумма собственных значений которых близка к единице. Для стационарного поля, очевидно, получается одна мода Карунена-Лова с собственным значением $\lambda=1$.

Для случаев с большим количеством мод КЛ моды с собственными значениями $\sum_i \lambda_i < 0,95$ определяют динамику системы и играют решающее влияние в ограничении числа управляющих параметров системы [17, 18].

Зададим временную модель динамики основываясь на четырех функциях, полученных в результате тестирования в различные моменты времени через равные интервалы. Примем весь описываемый промежуток времени за единицу и будем использовать интерполяционный многочлен Лагранжа [32]. Исследуемая ситуация описывается следующей функцией:

$$\begin{aligned} \psi(x, y, t) = & \frac{(t-t_2)(t-t_3)(t-t_4)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)(t_1-t_4)} f_1(x, y) + \\ & + \frac{(t-t_1)(t-t_3)(t-t_4)}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)(t_2-t_4)} f_2(x, y) + \\ & + \frac{(t-t_1)(t-t_2)(t-t_4)}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)(t_3-t_4)} f_3(x, y) + \frac{(t-t_1)(t-t_2)(t-t_3)}{(t_4-t_1)(t_4-t_2)(t_4-t_3)} f_4(x, y) \end{aligned} \quad (11)$$

При этом ядро \hat{K} представляется нормализованной корреляционной матрицей, полученной путем усреднения по времени произведения значений нормированных компонент поля в двух различных точках поперечной плоскости:

$$\hat{K}(x, y, x', y') = \int_0^1 \psi(x', y', t) \psi^*(x, y, t) dt, \quad (12)$$

Усреднение по времени вычисляется по выражению, полученному на основе интерполяционного многочлена Лагранжа:

$$\langle \psi(x, y, t) \psi^*(x', y', t) \rangle_t = \sum_{k, k'} \int_0^1 dt \frac{(t-t_k)(t-t_{k'})}{(t_k-t_l)(t_{k'}-t_l)} \psi_k(x_i, y_j) \psi_{k'}^*(x_j', y_i'), \quad (13)$$

Решая уравнение (9) с ядром (13), получим КЛ. Поле распределения оценок заменяется набором переменных, имеющих различные статистические веса. Отбрасывая переменные с малым статистическим весом, и сохраняя остальные, можно достигнуть многократного сжатия. В процессе отбрасывания переменных возникает среднеквадратичное отклонение от оригинала. Особенность КЛ-преобразования состоит в том, что из всех линейных преобразований именно оно обеспечивает минимальную величину такого отклонения.

III. Результаты эксперимента

Для верификации предлагаемой модели проведен эксперимент в группе менеджеров, работающих с клиентами коммерческой компании различного срока. Тестирование проводилось в течение 3 месяцев. За это время некоторые менеджеры, ушли из компании, не достигнув хороших результатов работы. В данном случае количество независимых параметров, необходимых для описания состояния субъекта равно двум – это самооценка и оценка эксперта. Оценивание компетенций проводилось руководителем отдела, представляющим компанию и самим участником эксперимента. Данные оценки сформировали две переменные, задающие «поле» компетенций. В качестве эксперта выступил супервайзер. В наборах девяти входных и девяти выходных компетенций [31] каждая оценена по двум значениям – текущее состояние и желаемое. Желаемое значение формирует фазовую часть оценки. Получены результаты, подтверждающие адекватность математической модели здравому смыслу и экспертным оценкам.

На рис. 1 представлен квадрат амплитуды статусной функции оценки всех компетенций опытного менеджера компании, обозначим его «М». Согласно характеристике супервайзера, он работает хорошо по всем заданным требованиям компании, достигает неплохого результата, не имеет склонности к серьезным прорывным действиям. Работает стабильно ради финансовых результатов, не имеет внутреннего интереса к работе. Первую половину дня посвящает отличной учебе, вторую – работе.

В данной структуре заключено больше информации о состоянии объекта, чем смогли извлечь на данном этапе. Рассматривая распределение значений характеристики в пространстве, принято вычислять коэффициент корреляции. Теперь следует определить статистическую взаимосвязь величин оценок компетенций, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать случайными. При этом изменения значений одной или нескольких из этих величин сопутствуют систематическому изменению значений другой величины. Символично подчеркнем социальный смысл корреляции для заданного «поля» компетенций. Известное высказывание «Хочешь быть успешным человеком – веди себя как

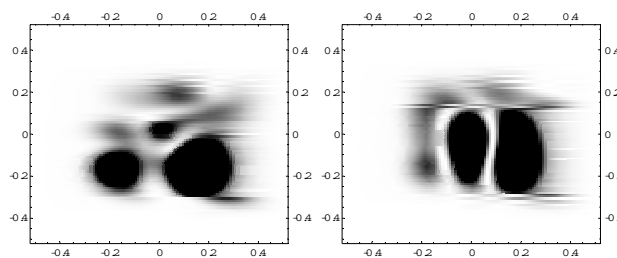


Рис. 1 – Распределение оценок для опытного менеджера М, полученное по результатам четырех тестирований с интервалом две недели

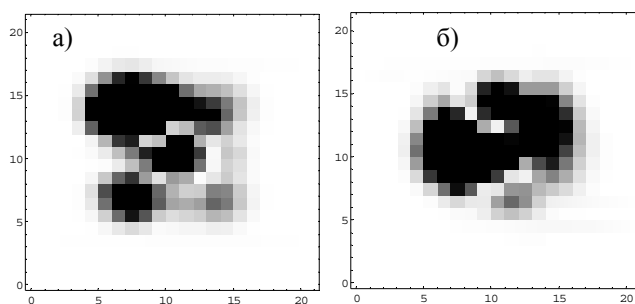


Рис. 2 – Две первые КЛ моды $\lambda_1=0,74$ $\lambda_2=0,22$ для распределения оценок профессиональных компетенций опытного менеджера «М» на рис. 1

успешный человек» в нашем случае интерпретируется как изменение самооценки по заданным компетенциям будет приводить к систематическому изменению оценок супервайзера (руководителя отдела). В этом смысле такое формирование «полей» компетенций выглядит соответствующим традиционно признанным представлениям в менеджменте.

В проведенном эксперименте получены распределения оценок в 4 момента времени, разнесенные на равные интервалы времени. Для поиска КЛ мод уравнение (9) решалось численно методом дискретизации. Использовалось разбиение области оценок на 21×21 точек. Решения получившегося матричного уравнения для менеджеров «М», дает моды Карунена-Лоэва, показанные на рис. 2. Для опытного менеджера «М» динамика описывается двумя модами КЛ с собственными значениями $\lambda_1 = 0.74$ и $\lambda_2 = 0.22$. $\lambda_1 + \lambda_2 = 0.96$. Для начинающего менеджера «В», с активно изменяющейся структурой поля компетенций наблюдается незначительное изменение числа мод Карунена-Лоэва, их всего 3: $\lambda_1 = 0.606$, $\lambda_2 = 0.237$ и $\lambda_3 = 0.097$. $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 0.94$. Таким образом, можно предположить, что в формировании распределения оценок профессиональных компетенций участвуют всего не более трех КЛ мод, которые определяют около 95% всей динамики системы. При этом остальные определяющие динамику компоненты определяют 4% – 6% динамики процесса формирования

компетенций. Создавая модель, использовали матрицу 3×3 возможных значений и вводили сложные переменные, полученные в результате многократных тестирований. Дополнительное исследование может позволить снизить количество базовых оценок и определить число возможных векторов состояния исследуемой системы. Сами КЛ моды должны стать вводимыми базовыми оценками. Однако ограничение их численности и непосредственное определение соответственно уровням оценки должно исследоваться дополнительно.

В представленном в статье эксперименте используется большее число тестов. Кроме того, статусные функции более сложны, так как базисных функций больше, и они рассчитываются с использованием весовых коэффициентов значимости каждой компетенции в общей оценке [33].

Заключение

Таким образом, для оценки компетенций применены комплекснозначные функции, аналогичные волновой функции в квантовой механике. В отличие от использованных в предыдущих работах статусных функций здесь применены три, а не пять базисных функции. На их основе сформированы комплексные функции принадлежности полного набора заданных компетенций. Предложен способ формирования комплексного «поля» оценок компетенций по двум аспектам: самооценка и внешняя оценка управляющего процессом адаптации управляющего менеджера компании (супервайзера).

При проведении эксперимента выявлено наличие устойчивых структур для полей двумерных оценок у опытных менеджеров, не изменяющихся в процессе работы. У начинающих менеджеров получены сильно изменяющиеся поля состояния оценок профессиональных компетенций. Для них проведены вычисления интегральных моментов распределений, как математическое ожидание, ширина распределения, асимметрия и эксцесс. Приведена трактовка их значений, свидетельствующая о недостаточном управленческом вмешательстве в процесс формирования компетенций.

Применение статусных функций позволяет получить достаточно много информации о состоянии субъекта, и исследовать динамику изменения статусной функции. При описании динамики полезно использование преобразования Карунена-Лоэва для выяснения числа существенных параметров, определяющих процесс.

В статье впервые предложен метод построения поля пространственного распределения оценок профессиональных компетенций, подобного физическим полям, основанный на комплексных статусных функциях. Новым в работе является формирование комплексного поля, содержащего больше информации об исследуемом объекте, и представляющее собой основу для проектирования динамической модели процесса формирования

компетенций. Поля, используемые в ранних работах в области психологии [20], подобны полям, используемым в настоящей работе. Для введенных полей проведено вычисление пространственно-временных корреляций распределения статусных функций оценок профессиональных компетенций в форме мод КЛ. Представлены два примера для опытного и начинающего менеджера. Для опытного менеджера наблюдается более сложное пространственное распределений, что объяснимо заданной структурой оценок, усложнения распределения для более высокого набора оценок. Для двух менеджеров получено две моды КЛ с суммой соответствующих собственных значений $\geq 0,95$, что позволяет утверждать, что они определяют кинематику результирующих структур, и следовательно, кинематику оценок. При этом КЛ моды могут быть использованы в качестве статусных функций, что позволяет заметно упростить описание процесса, хотя оценка компетенций в терминах КЛ мод трудновыполнима. Тем не менее, основная цель работы – определить число «параметров порядка» – или числа управляющих параметров системы, которое определяется числом КЛ мод с наибольшими собственными значениями. В данном эксперименте оказалось, что число таких мод мало. Применение КЛ мод может быть положено в основу метода, позволяющего определять параметры порядка и амплитуды подчиненных мод по экспериментально полученным пространственно-временным структурам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ 12-07-00598-а)

Литература

1. Xie J., Sreenivasan S., Korniss G., Zhang W., Lim C., and Szymanski B. K.. Social consensus through the influence of committed minorities // *Phys. Rev. E*. 2011 (http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/1102/1102.3931v2.pdf)
2. Островский Г.М., Оптимизация технических систем / Островский Г.М., Зиятдинов Н.Н., Лаптева Т.В. – Москва: Кронус, 2012. – 424 с.
3. Yakovenko V. M. and J. B. Rosser, Jr. Colloquium: Statistical mechanics of money, wealth, and income // *Rev. Mod. Phys.* 2009. V. 81, P. 1703.
4. Стриелковски В., Шах П. Экономика иммигрантских кластеров, общественные связи и международная миграция в рамках динамической сетевой модели Эрдоса-Реньи // *Экономика и управление*. 2011. Т. 71. 9. с 18-31
5. Высшая школа России с позиции нелинейной динамики (проблемы, оценки, модели) / Стриханов М.Н., Трубецков Д.И., Короновский А.А., Шараевский Ю.П., Храмов А.Е. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 192 с.
6. Г. Хакен Можем ли мы применить синергетику в науках о человеке? // *Синергетика и психология*. Выпуск 2. Социальные процессы. / Под ред. И.Н. Трофимовой. М., «Янус-К», 1999. с. 11
7. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности. М.: ПЕР СЭ. 2001. 351 с.

8. Furnham A., Chamorro-Premuzic T. Personality, intelligence and general knowledge // *Learning and Individual Differences* 2006. V. 16. P. 79–90
9. Ackerman P.L., Beier M.E. Intelligence, Personality, and Interests in the Career Choice Process // *Career choice*. May 2003. p. 205-218
10. Вешнева И.В., Большаков А.А., Мельников Л.А., Перова Л.Г. Применение математического аппарата теории нечетких множеств к задачам управления вузом на основе сбалансированной системы показателей // *Системы управления и информационные технологии*, 2011. Т. 1.1. №43. С. 117-121
11. Берестнева О.Г. Моделирование интеллектуальной компетентности студентов // *Известия Томского политехнического университета*. 2005. Т. 308. № 2. С. 152–156
12. Хисматуллина З.Н. Эволюция стандартов высшего образования от ориентации на знания, умения и навыки к оценке компетенций // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 22. С. 397-401.
13. Гареев Т.Ф. Нечетко-интервальные описания при оценке эффективности инновационных проектов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2006. № 4. С. 256-265.
14. Хайбуллин Р.Р., Мухутдинова Т.З., Храпаль Л.Р., Камалеева А.Р. Стратегия создания интеллектуально-мотивационной среды в общеобразовательном учреждении // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 1. С. 358-362.
15. Вешнева И.В., Большаков А.А., Мельников Л.А. Комплексные функции принадлежности для оценки предметных компетенций студентов вуза // *Вестник СГТУ*. 2011. Т. 62. № 4. Выпуск 4. С. 200-207
16. Большаков А.А. Вешнева, И.В., Мельников Л.А., Перова Л.Г. Метод оценки профессиональных компетенций, основанный на лингвистическом подходе для системы управления вузом // *Системы управления и информационные технологии* (рубрика «Перспективные исследования»). – 2013. – Т. 52. № 2.1. – С. 116-120.
17. Вешнева И.В., Большаков А.А., Мельников Л.А. Метод оценки предметных компетенций студентов вуза на базе комплексных функций принадлежности // *Сб. трудов Междун. научн. конф. «ММТТ-24»*, Саратов, 2011, Т. 12, С. 102 – 108.
18. Вешнева И.В., Попков В.М., Прокофьева Л.П. Модели управления процессом формирования общекультурных и профессиональных компетенций: монография. Саратов: Изд-во Саратов. гос. медицинского университета, 2013. – 156 с.
19. Вешнева И.В. Оценка Качества социального объекта, основанная на построении многомерного «поля качества» сбалансированной системы показателей с использованием теории нечетких множеств // *Вестник СГТУ*. 2011. Т. 57. № 3. Вып. 1. с. 227-234
20. Левин К. *Динамическая психология: Избранные труды / М.:Смысл* 2001. 572 с.
21. Veshneva I.V., Konukhov A.I., Ryabinina M.V., Melnikov L.A. Vectorial Karhunen-Loewe modes for the description of the polarization transverse pattern dynamics in lasers and their classification based on the characterization of its singular points // *J.Opt.B.:Quantum semiclass.Opt*. 2001. vol. 3. S209-S214.
22. Ахметшин Д.А., Печеный Е.А., Нуриев Н.К. Математическое моделирование системы аппаратно-программного комплекса промежуточной сети передачи данных // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 3. С. 283-287.
23. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности. – М.: ПЕР СЭ, 2001, 351 с.
24. Солодовщиков А. Ю. Исследование метода Карунена-Лозва / А. Ю. Солодовщиков // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2007. N 4. С. 122-128
25. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Заде Л.А.. – М.: Мир, 1976. 320 с.
26. Гришина Н. В. Психология конфликта. 2-е изд., перераб. – СПб.: Питер, 2006.
27. Магун В., Руднев М. Базовые ценности россиян и других европейцев // *Вопросы экономики* 2010 № 12 с. 107-130
28. Нуриев Н.К., Журбенко Л.Н., Старыгина С.Д. Ключевые способности поддержки деятельности и формализованные условия потенциальной компетентности специалиста // *Вестник Казанского технологического университета*. 2007. № 5. С. 199-205.
29. Дмитриева Л. М., Зиятдинов Н. Н. Роль ФПКП вузов в становлении и развитии педагогического направления в КГТУ // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. № 12. С. 132-134.
30. Аванесов, В.С. Композиция тестовых заданий. Учебная книга для преподавателей вузов, учителей школ, аспирантов и студентов педвузов / В.С. Аванесов – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Адепт, 1998 – 217 с.
31. Вешнева И.В., Травина Т.Л. Управление формированием профессиональных компетенций на основе комплексных полей Статусных функций: новый подход к проблеме // *Вестник СГТУ*. 2011. Т. 62. № 4. Выпуск 4. С. 194-200
32. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и таблицами. Под ред. Абрамовиц М., Стиган М.: «Наука» 1979, 832 с.
33. Большаков, А.А. Новые методы математического моделирования динамики и управления формированием компетенций в процессе обучения в вузе: монография / А.А.Большаков, И.В.Вешнева, Л.А.Мельников, Л.Г.Перова. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2013. – 250 с.

© **И. В. Вешнева** – канд. физ.-мат. наук, доцент, докторант кафедры приборостроения Саратовского государственного технического университета, veshnevaiv@mail.ru.

© **I. V. Veshneva** – Ph.D. in physics and mathematics, associate professor, post graduate student of Instrumentation chair in Saratov State Technical University, veshnevaiv@mail.ru.