

УДК 159.9:316.344.24

ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОФЕССИОНАЛИЗМА ИСПЫТУЕМЫХ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ НОРМЫ

С.В. Микони (Санкт-Петербург)

Введение

Одной из востребованных практических задач является оценивание профессионализма оператора как способности выполнять профессиональные задачи в условиях воздействия окружающей среды. С этой целью оператор подвергается испытаниям, имитирующим среду, в которой он работает. В качестве примера выбрана задача испытаний пилотов на статокINETическую устойчивость [1].

Результаты испытаний характеризуются большим объёмом информации, по которой нужно определить уровень профессионализма оператора. Обычной градацией уровней качества является его низкое (НК), среднее (СК) и высокое (ВК) значение, применимое к любому оцениваемому показателю состояния оператора. Каждому из них присуждается одно из этих значений. В связи с этим возникает проблема определения уровня качества оператора (далее испытуемого) по всем измеряемым показателям. Она решается обобщением частных оценок по каждому показателю с учётом его важности.

Конечным результатом обобщения всех частных оценок является индикатор состояния испытуемого [2]. Он отражает различие состояния испытуемого до и после испытаний. Однако сама по себе точечная оценка состояния испытуемого не информативна, если её не с чем сравнивать. Нужна шкала индикатора состояния с градацией уровней качества профессионализма оператора.

Для того, чтобы определить градации качества профессионализма, требуется информация об испытаниях других операторов данной профессии. Чем представительнее выборка операторов, тем точнее будет сформирована шкала индикатора состояния оператора с градациями качества профессионализма. Другим требованием к шкале является устойчивость оценок.

Отсюда возникает проблема вариации параметров модели оценивания с целью выбора варианта свёртки информации об испытаниях в качестве эталона определения качества профессионализма. Эта проблема решается путём имитационного моделирования. Целью настоящего исследования является описание технологии имитационного моделирования модели оценивания испытуемых.

1. Исходные данные задачи

За исходную информацию для построения модели оценки качества профессионализма испытуемых приняты экспериментальные данные, полученные С.П. Ляшедько в процессе профессиональных испытаний пилотов на статокINETическую устойчивость [3].

Испытания были проведены на представительной выборке испытуемых в количестве 25 человек. Оцениванию подлежали три свойства испытуемого:

- оптокинетический рефлекс, как способность зрительного аппарата стабилизировать изображение внешних предметов;
- вестибулярный аппарат, управляющий устойчивостью положения тела в пространстве и пространственной ориентацией человека;
- качество пространственной ориентировки.

Для оценивания указанных свойств испытуемого измерению выделены три группы показателей:

- физиологические (Ф);
- психофизиологические (ПФ);
- качество пространственной ориентировки (КПО).

К физиологическим показателям отнесены систолическое и диастолическое давление и пульс. Измеренные до и после испытания они составляют 6 показателей. Психофизиологические показатели разделены на 4 группы:

- ПЗМР в составе 6-ти показателей;
- реакция выбора (РВ) в составе 14-ти показателей;
- КЧСМ в составе 4-х показателей;
- РДО в составе 8-ми показателей.

Качество пространственной ориентировки оценивается обобщённой ошибкой пилотирования и временем приведения в готовность. Измеренные до и после испытания они составляют 4 показателя.

Каждый из показателей, входящих в эти группы, измеряется в своей шкале до и после проведения испытания. Результаты измерений сводятся в три таблицы «Объекты-Показатели» по трём видам испытаний (experiment):

$$E = \{\text{Опто, Вестибуло, Комбин}\},$$

где: Опто или О – оптокинетическое;

Вестибуло или В – вестибулярное;

Комбин или К – опто-вестибулярное или комбинированное.

2. Условия задачи

Оценивание состояния испытуемого до и после каждого испытания предполагает наличие нормы [4] для каждого оцениваемого показателя. О качестве состояния испытуемого судят по направленности и величине отклонения от нормы по каждому оцениваемому показателю и по всем вместе.

Для развивающихся объектов отклонения от нормы не обязательно нежелательны. По этому признаку показатели делятся на две группы. К первой группе относятся показатели, отклонения значений которых в любую сторону от нормы (меньше или больше) нежелательны. Эти показатели отражают свойство стабильности объекта при воздействии на него различных факторов. В [1] они названы нейтральными. В решаемой задаче к ним относятся физиологические показатели испытуемых.

Для другой группы показателей отклонения от нормы в одну из сторон являются желательными. Они называются улучшаемыми. Улучшение нормы отражает способность объекта к развитию. В решаемой задаче ко второй группе показателей относятся физиологические показатели испытуемых. Примером улучшаемого показателя является «Количество ошибок оператора». Уменьшение числа ошибок относительно нормы повышает оценку качества оператора.

Таким образом, оценивание состояния испытуемого до и после испытания требует наличия трёх диапазонов оценок: «Норма», «Хуже нормы», «Лучше нормы». По мере принадлежности всех оцениваемых показателей этим классам можно судить о качестве профессионализма испытуемого, сопоставляя обобщённую оценку его принадлежности этим классам с градациями шкалы индикатора качества.

Формирование шкалы индикатора качества требует сопоставления оценок состояния представительной выборки испытуемых по всем видам испытаний. Устойчивость градаций этой шкалы требует, в свою очередь, моделирования

различных вариантов состояния испытуемых путём варьирования параметров модели оценивания.

3. Модель исходных данных

Моделью исходных данных является таблица «Объекты / Показатели». Пустая таблица ОП описывается декартовым произведением:

$$R_{OP} = X \times P, \quad (1)$$

где: X – множество испытуемых, $|X| = N$;

P – множество показателей, отражающих различные свойства испытуемых, $|P| = n$.

Содержимое Y таблицы «Объекты / Показатели» формируется функцией ввода данных (ВД):

$$f_{ВД}: X \times P \rightarrow Y. \quad (2)$$

Здесь Y – множество значений показателей, $Y \subseteq \mathbb{Z}$, $Y \subseteq \mathbb{R}$ ($\mathbb{Z}$ – целые числа, $\mathbb{R}$ – вещественные числа).

Таким образом, описательной моделью M_{CD} «сырых» данных – таблицы «Объекты / Показатели» с введёнными данными является кортеж множеств:

$$M_{CD} = \langle X, P, Y, R_{OP}, f_{ВД} \rangle \quad (3)$$

с сигнатурой $\langle R_{OP}, f_{ВД} \rangle$.

Для удобства умозрительного анализа модели данных и уменьшения их локальной размерности на множестве оцениваемых показателей P устанавливается отношение частичного порядка «общее – частное» (иерархия показателей):

$$R_P \geq \subseteq P \times P. \quad (4)$$

С учётом выполнения условий сопоставимости объектов и группировки показателей модель M_{CD} расширяется в модель готовых данных (ГД) для решения задач многомерного оценивания (ММО) испытуемых:

$$M_{GD} = \langle M_{CD}, Y_{\text{ч}}, \Sigma_{\text{Соп}}, R_P \geq \rangle. \quad (5)$$

Здесь $Y_{\text{ч}}$ – множество всех численных значений показателей, а $\Sigma_{\text{Соп}}$ – сигнатура, включающая функции, реализующие сопоставимость испытуемых.

Поскольку при создании модели (5) не уточнялась задача многомерного оценивания испытуемых, она применима к решению задач и классификации, и упорядочения испытуемых.

Как отмечено выше, множество всех показателей P делится на три группы $P = \{P_{\text{Ф}}, P_{\text{ПФ}}, P_{\text{КПО}}\}$. Психофизиологические показатели представляются на этом же уровне иерархии четырьмя группами: ПЗМР, РВ, КЧСМ, РДО.

Структура показателей одинакова для всех видов испытаний. На рис. 1 она показана для испытания Опто.

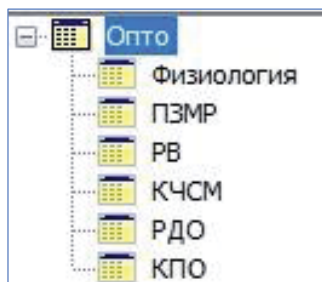


Рис. 1. Структура показателей для испытания Опто

В том случае, если существует статистическая или явная функциональная зависимость j -го показателя от остальных $y_j = f(y_1, \dots, y_s)$, он исключается из процедуры оценивания.

4. Метод решения задачи

Метод решения задачи совмещает классификацию испытуемых с их упорядочением. Классификация нужна для определения направления и величины отклонений испытуемых от нормы. Определение принадлежности испытуемого одному из классов требует вычисления средневзвешенной оценки его принадлежности классам по всем показателям. Для этого задаются весовые коэффициенты показателей.

Упорядочение испытуемых нужно для сопоставления качества их профессионализма относительно отклонения от норм. Упорядочение требует скаляризации оценок принадлежности испытуемых классам Н, ХН, ЛН. Для получения средневзвешенной оценки испытуемого по принадлежности этим классам им задаются весовые коэффициенты.

Согласно вышеизложенным условиям задачи метод её решения представляет собой последовательность следующих этапов:

1. каждому оцениваемому показателю задаётся шкала и интервальная норма на этой шкале;
2. для классифицирования испытуемых каждому показателю задаётся функция принадлежности классу «Норма» (Н);
3. относительно класса «Норма» строятся функции принадлежности классам «Меньше нормы» и «Больше нормы»;
4. на основе классов «Меньше нормы» (МН) и «Больше нормы» (БН) формируются классы «Хуже нормы» (ХН) и «Лучше нормы» (ЛН);
5. экспертом задаются веса показателей для вычисления функции принадлежности каждому классу по всем показателям иерархии;
6. выполняется классификация испытуемых с целью определения их принадлежности классам «Норма», «Меньше нормы», «Больше нормы», «Хуже нормы», «Лучше нормы» по всем оцениваемым показателям по каждому виду испытаний;
7. каждый испытуемый относится к одному из классов по наибольшей величине принадлежности классу;
8. экспертом задаются веса классов для вычисления индикаторов состояния испытуемых;
9. вычисляются индикаторы состояния испытуемых на основе их принадлежности классам «Норма», «Хуже нормы» и «Лучше нормы» по каждому виду испытаний;
10. выполняется упорядочение испытуемых по величине индикатора состояния «Норма», «Хуже нормы», «Лучше нормы» по каждому виду испытаний;
11. вычисляется усреднённый рейтинг испытуемых по всем видам испытаний;
12. выполняются эксперименты над моделью задачи с целью нахождения устойчивой принадлежности индикаторов состояния испытуемых категориям качества «Низкое», «Среднее» или «Высокое»;
13. Принимается решение по выбору модели задачи, по которой определяется категория качества испытуемого.

Решение задачи выполняется в системе выбора и ранжирования СВБРЬ-М [5].

5. Решение задачи в системе СВБРЬ-М

Первые две составляющие метода решения задачи выполняются в табличном процессоре MS Excel. Он удобен для формирования и хранения исходных данных.

Более того, он органичен для работы с табличными данными, к которым относится таблица «Объекты / Показатели».

Для задания границ, норм и оценочных функций показателей используются шаблоны таблицы «Признаки – Показатели» для каждой разновидности задачи ММО. При вводе таблицы в систему выбора и ранжирования СВБРЬ-М автоматически создаются оценочные функции всех показателей. Применительно к задаче классификации ими являются функции принадлежности (ФПр) классам.

В задаче отклонения от нормы в таблице «Признаки – Показатели» функция принадлежности задаётся только для класса «Норма». Функции принадлежности классам «Меньше нормы», «Больше нормы», «Хуже нормы» и «Лучше нормы» строятся автоматически, повторяя функцию принадлежности классу «Норма».

На начальном этапе моделирования были выбраны простейшие кусочно-линейные функции принадлежности классам МН, Н, БН, изображённые на рис. 2.

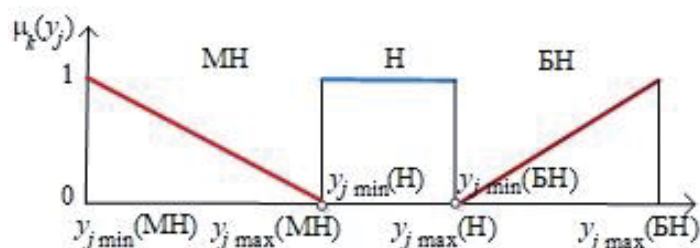


Рис. 2. Кусочно-линейные функции принадлежности классам МН, Н, БН

В решаемой задаче веса показателей назначались сверху вниз по иерархии. Из групп показателей (Ф, ПФ, КПО) целевым является комплекс показателей КПО, а Ф и ПФ – обеспечивающие его комплексы показателей. Ему задано 50% важности всех показателей. Остальные 50% распределены между составным показателем Ф и четырьмя составляющими показателя ПФ. В соответствии с этим соотношение важности показателей (КП, Ф, ПФ) определяется вектором $w_1 = (0,5; 0,1; 0,4)$. Учитывая, что в состав комплекса ПФ входят 4 подгруппы (ПЗМР, РВ, КЧСМ, РДО), их равным весом соответствует вектор $w_{0,5} = (0,5; 0,1; 0,1; 0,1; 0,1; 0,1; 0,1)$.

Пункты 6 и 7 метода вычисляют величину принадлежности объектов всем классам по всем показателям. В качестве обобщающей функции используется средневзвешенная аддитивная свёртка. По максимальной величине ФПр назначается класс, которому принадлежит испытуемый в наибольшей степени.

Вычисление индикаторов состояния (ИС) испытуемых выполняется методом трёхкритериальной оптимизации. В качестве оцениваемых показателей берутся функции принадлежности классам классы Н, ЛН, ХН. Для них формируются критерии:

$$\mu_{ХН}(x) \rightarrow \min, \mu_{Н}(x) \rightarrow \max, \mu_{ЛН}(x) \rightarrow \max.$$

Принадлежности классу «Норма» присуждается максимальная важность в 50%. Остальные 50% распределяются поровну между двумя другими классами:

$$w_{ис} = (w(\mu_{Н}(x)); w(\mu_{ЛН}(x)); w(\mu_{ХН}(x))) = (0,5; 0,25; 0,25).$$

Индикаторы состояния испытуемых вычисляются для каждого вида испытаний: Опто (О), Вестибуло (В) и Комбинированное (К).

Усреднённые ИС испытуемых вычисляется как среднеарифметическое общих оценок (ОО) по всем видам испытаний (ОВК).

Упорядочение испытуемых выполняется по критерию ОО ОВК (И) $\rightarrow \max$ в выборочной шкале ИС $[y_{\min}, y_{\max}]$.

Оценки, упорядоченные по всем видам испытаний, образуют итоговый рейтинг испытуемых.

6. Моделирование вариантов

Любая свёртка информации по своей природе субъективна. На её результат влияют параметры модели многомерного оценивания, назначаемые человеком. К ним относятся:

- 1) состав и взаимозависимость показателей;
- 2) границы шкалы $[y_{j,\min}, y_{j,\max}]$ j -го показателя, $j = \overline{1, n}$;
- 3) оценочная функция j -го показателя;
- 4) структура показателей $R \subseteq J \times J$;
- 5) важность (вес) w_j j -го показателя;
- 6) вид обобщающей функции.

Наибольшее влияние на результаты моделирования влияет выбор оценочной функции. Поэтому оценочные функции показателей являются первыми кандидатами на изменение модели ММО. Невысокая достоверность назначения весовых коэффициентов экспертами побуждает варьировать их величину.

В задаче упорядочения объектов Н.В. Ховановым [6] было предложено производить оценивание устойчивости рейтинга путем изменения весов критериев с применением *метода сводных показателей*. Его суть заключается в последовательном изменении весов критериев в заданных пределах на определенную величину с сохранением их соотношения и вычисления нового рейтинга объектов. Окончательный рейтинг объектов получается усреднением рейтингов, полученных в процессе итеративного изменения весовых коэффициентов критериев, а усреднённый вектор весовых коэффициентов обобщённо описывает веса критериев, подходящие под описание их количественной важности, данное экспертами.

В процессе имитационного моделирования менялись все параметры модели задачи. Рассмотрим два из них.

6.1. Изменение оценочной функции

Простейшие кусочно-линейные функции дали малую величину принадлежности классам МН и БН. Поэтому на следующем этапе моделирования была выбрана нелинейная функция принадлежности классу «Норма» с меняющейся крутизной в начале и конце области границ между классами. Её фронты наиболее адекватно моделируется логистической функцией (см. рис. 3).

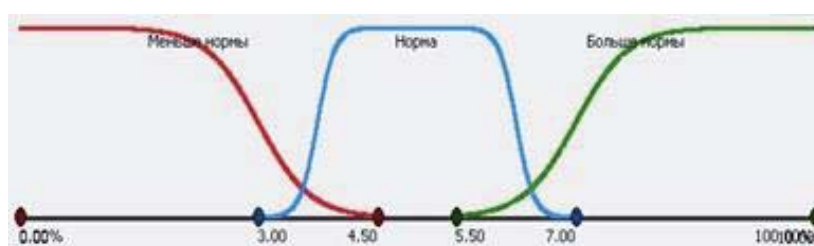


Рис. 3. Нелинейные функции принадлежности классам МН, Н, БН

Для её построения используются допустимые отклонения от нормы к меньшим и большим значениям $c_{\text{дом } j}$ и $c_{\text{доб } j}$. В них и пересекаются нелинейные ФПр смежных классов. Применение нелинейных ФПр позволило увеличить меру принадлежности классам «Меньше нормы», «Больше нормы».

6.2. Изменение важности показателей

Для определения устойчивости ИС испытуемых была снижена важность комплекса КП в сторону равномерного распределения весов с 0,5 до 0,33. Веса комплексов показателей перераспределяются следующим образом:

$$w_{0,33} = (0,33; 0,133; 0,133; 0,133; 0,133; 0,133).$$

6.3. Изменение важности классов

Для определения устойчивости ИС испытуемых была снижена важность класса Н в сторону равномерного распределения весов с 0,5 до 0,33. Веса комплексов показателей перераспределяются следующим образом:

$$w_{ис} = (w(\mu_H(x)); w(\mu_{ЛН}(x)); w(\mu_{ХН}(x))) = (0,33; 0,33; 0,33).$$

В табл.1 представлены в двух вариантах ($w_{кпо} = 0,5$ и $w_{кпо} = 0,33$) общие оценки и рейтинги испытуемых по индикаторам состояния и рейтинги по принадлежности норме.

Таблица 1. Численные оценки и рейтинги испытуемых

	ОО 0,5	Ранг ОО М 0,5	Ранг Н 0,5	ОО 0,33	Ранг ОО М 0,33	Ранг Н 0,33
Испытуемый 1	1,00	1	1	0,88	2	3
Испытуемый 2	0,43	9	9	0,49	8	10
Испытуемый 3	0,00	21	21	0,11	17	20
Испытуемый 4	0,26	14	14	0,42	10	18
Испытуемый 5	0,04	20	20	0,11	17	20
Испытуемый 6	0,81	3	3	0,79	3	5
Испытуемый 7	0,26	14	14	0,32	13	15
Испытуемый 8	0,09	17	17	0,15	16	14
Испытуемый 9	0,46	8	8	0,52	7	11
Испытуемый 10	0,41	10	10	0,52	7	9
Испытуемый 11	0,54	7	7	0,70	5	12
Испытуемый 12	0,54	7	7	0,47	9	16
Испытуемый 13	0,29	13	13	0,22	14	17
Испытуемый 14	0,91	2	2	1,00	1	2
Испытуемый 15	0,36	12	12	0,40	11	22
Испытуемый 16	0,58	6	6	0,73	4	4
Испытуемый 17	0,07	18	18	0,18	15	12
Испытуемый 18	0,38	11	11	0,47	9	6
Испытуемый 19	0,72	4	4	0,88	2	1
Испытуемый 20	0,70	5	5	0,73	4	8
Испытуемый 21	0,54	7	7	0,59	6	13
Испытуемый 22	0,58	6	6	0,70	5	5
Испытуемый 23	0,25	15	15	0,32	13	21
Испытуемый 24	0,06	19	19	0,00	18	19
Испытуемый 25	0,20	16	16	0,37	12	7

Несмотря на различие рангов испытуемых И1, И6, И14, И19, И20 они вошли в первую пятёрку мест, соответствующих диапазону ВК на шкалах оценок ОО 0,5 и ОО 0,35. Устойчивость лучших оценок позволяет использовать диапазоны численных оценок ОО 0,5 и ОО 0,35 для присвоения испытуемому, прошедшему комплекс испытаний ОВК категории качества. Из шкал общих оценок предпочтение отдаётся

шкале ОО 0,5, ввиду сходства рангов испытуемых по ИС и по принадлежности норме. Соответствующий способ свёртки всей информации об испытуемых был принят за эталон ИС с градациями качества шкалы профессионализма: 0 – 0,33 (НК), 0,34 – 0,66 (СК), 0,67 – 1,0 (ВК).

Заключение

Показано применение имитационного моделирования к новому классу задач, а именно, к способу выбора индикатора состояния испытуемых, на шкале которого задаются категории качества. Путём серии экспериментов с параметрами модели многомерного оценивания объектов выбирается наиболее предпочтительный вариант синтеза индикатора состояния испытуемых. Предложенный метод может быть применён для любой задачи, связанной с отнесением объекта к одной из заданных категорий качества на основании характеризующей его информации.

Предложенный метод применения имитационного моделирования к новому классу задач отражает научную новизну работы. Практическая значимость работы следует из применения инструментальной системы выбора и ранжирования СВирЬ в качестве среды имитационного моделирования предпочтений ЛПР. В докладе рассматривается конкретная задача, решённая в системе СВирЬ-М.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились в рамках бюджетной темы № FFZF-2025-0020.

Литература

1. **Копанев В.И.** Проблема статокINETической устойчивости человека в авиационной и космической медицине // Известия АН СССР. Серия Биология. 1974. № 4. С. 476-498.
2. **Микони С.В.** Моделирование отклонений показателей качества объекта от нормы // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №2(52). С.167-180. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-2-167-180.
3. **Микони С.В., Соколов Б.В., Ляшедько С.П.** Оценивание профпригодности испытуемых по результатам физиологических воздействий на организм // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2025. №3. С. 10-19.
4. **Карпович В.Н.** Норма и описание как категории эпистемологии: рациональность как вид и основание нормативности // Сибирский философский журнал. 2013. Т.11. №4. С.5-11. EDN: PZJFER.
5. **Микони С.В., Соколов Б.В., Бураков Д.П.** Система выбора и ранжирования альтернатив СВирЬ-М: теоретические основы и практика применения // Онтология проектирования. 2024. Т.14, №3(53). С. 440-456. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-3-440-456.
6. **Хованов Н.В.** Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996. 195 с.