

МЕТОДИКА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ВАЖНЫХ КАЧЕСТВ ОПЕРАТОРОВ СЛОЖНЫХ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Чепурнов И.А., Черваков В.О.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), Москва, Россия
chepurnov@bmstu.ru, vchervakov@bmstu.ru*

Аннотация. Актуализирована проблема формирования перечня профессионально важных качеств операторов сложных военно-технических систем, необходимых для их успешной профессиональной деятельности. Предложена методика экспертной оценки и ранжирования профессионально важных качеств операторов сложных военно-технических систем.

Ключевые слова: экспертная оценка, сложные военно-технические системы, оператор, профессионально важные качества, метод весовых коэффициентов важности.

Введение

Технические системы, обеспечивающие выполнение сложных боевых задач и состоящие из различных взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, называют сложными военно-техническими системами (СВТС). Таким системам присущи следующие свойства: иерархичность, эмерджентность, целостность, интерэктность и целенаправленность [1, 2]. Примерами СВТС могут служить: системы вооружения противовоздушной обороны, включающие в свой состав радиолокационные станции и зенитные ракетные комплексы, ракетно-ядерные системы, состоящие из ракетных комплексов и средств управления и обеспечения, авиационные комплексы и т.п.

Особенностью СВТС по сравнению со сложными системами гражданского назначения, является то, что они, как правило, не используются сразу по прямому назначению после их производства, но должны сохранять свою готовность к применению в любых условиях обстановки и в любое время в течение длительного периода.

В настоящее время, в эпоху автоматизации и цифровизации СВТС, особое место занимает проблема человеческого фактора в этих системах. Основная особенность деятельности оператора СВТС заключается в том, что он в трудовом процессе взаимодействует с объектом своего труда (объектом управления) не непосредственно, а с помощью средств отображения информации и управления.

Наиболее адекватное описание профессиональной деятельности оператора СВТС дает профессиографический анализ, важнейшим этапом которого является формирование перечня профессионально важных качеств (ПВК), необходимых для успешной профессиональной деятельности [3].

Профессиональная психодиагностика представляет собой исследование и оценку свойств индивидуальности человека в целях проведения профессионального отбора, профессиональной ориентации и рационального распределения кандидатов по специальностям, совершенствования профессиональной подготовки, решения системы практических вопросов по оптимизации профессиональной деятельности.

Известно, что психологический отбор кандидатов для обучения операторским специальностям позволяет сократить отсев непригодных лиц в процессе подготовки с 23-30% до 5-8%, снизить аварийность СВТС из-за ошибок персонала на 40-70%, повысить боеготовность СВТС на 10-25%, уменьшить затраты на подготовку операторов на 30-40% [4].

Немаловажную роль психодиагностика играет и в процессе профессиональной подготовки операторов СВТС. Она является средством обратной связи, отражая промежуточный и итоговый уровни развития тех или иных ПВК.

Наиболее качественное исследование профессиональной деятельности в целях определения профессиональной пригодности оператора СВТС предполагает определение важности и значимости всех выделенных ПВК, а также их ранжирование по максимальному влиянию на выполнение основных функций операторской деятельности.

В настоящей работе предлагается методика экспертной оценки и ранжирования ПВК операторов СВТС.

1. Экспертная оценка и ранжирование ПВК операторов СВТС

Функции операторов СВТС определяются следующими основными этапами их деятельности:

- 1) приём информации;
- 2) оценка и переработка информации;
- 3) принятие решения;
- 4) реализация принятого решения.

При приёме информации оператор осуществляет обнаружение сигналов, выделение из их совокупности наиболее значимых, а также их расшифровку и декодирование. Оценка и переработка информации оператором заключается в сопоставлении заданных и текущих режимов работы СВТС, анализе и обобщении информации, выделении критических объектов и ситуаций. Принятие решения оператором основывается на результатах анализа и оценки информации, а также других известных сведений о целях и условиях работы СВТС. На этапе реализации принятого решения оператор приводит принятое решение в исполнение, осуществляет поиск нужного органа управления, движения руки или ноги к органу управления и манипуляция с ним.

Определим множество основных функций оператора СВТС как $F = \{f_1, \dots, f_m\}$. Совокупность всех ПВК, которыми должен обладать оператор СВТС, зададим множеством $X = \{x_1, \dots, x_n\}$. Необходимо определить степень влияния ПВК из множества X на каждую из основных функций оператора из множества F .

Решение подобных задач предполагает использование методов экспертной оценки. Суть таких методов заключается в организации проведения экспертами анализа проблемы, количественной оценки результатов и их обработки.

Важнейшим этапом при использовании методов экспертной оценки является подбор экспертов. На этом этапе необходимо учитывать то, что личная заинтересованность экспертов может стать существенным препятствием объективности их выводов. Рекомендуется в качестве экспертов задействовать специалистов в соответствующей области, имеющих опыт операторской деятельности не менее 5-7 лет. В военных вузах и учебных центрах, осуществляющих подготовку операторов СВТС, в качестве экспертов могут привлекаться преподаватели и инструкторы.

Минимальное число экспертов определяется количеством различных аспектов, направлений, которые необходимо учесть при решении проблемы. Достоверность оценок группы экспертов зависит от уровня знаний отдельных экспертов и их (экспертов) количества. Если предположить, что эксперты являются достаточно точными измерителями, то с увеличением числа экспертов достоверность экспертизы всей группы возрастает.

Необходимое количество экспертов на основе статистического подхода можно найти из следующей зависимости:

$$s = \frac{\gamma_{\alpha}^2}{\epsilon_0}$$

Здесь: γ_{α} – показатель достоверности для заданной доверительной вероятности α полученного результата; ϵ_0 – заданная до начала экспертного опроса предельно допустимая ошибка, выраженная в долях среднеквадратического отклонения σ :

$$\epsilon_0 = \frac{\epsilon}{\sigma},$$

где: ϵ – абсолютная погрешность.

Методы экспертных оценок являются частью обширной области теории принятия решений. Известно большое количество методов экспертной оценки: метод Дельфи, метод анализа иерархий, мозговой штурм и т.д. Однако, по мнению авторов, наименьшей неопределенностью и, в тоже время, наибольшим «психологическим» удобством для эксперта обладает метод весовых коэффициентов важности [5, 6].

Весовые коэффициенты важности (ВКВ) представляют собой числовые коэффициенты, отражающие значимость (относительную важность, «вес») данного фактора, показателя в сравнении с другими факторами, оказывающими влияние на изучаемый процесс. Большинство подходов к определению ВКВ можно разделить на качественные и количественные. Качественные подходы основаны на определении ВКВ с использованием информации от лиц, принимающих решения, или экспертов, включенных в процесс принятия решений. В качественных подходах лица, принимающие решения, влияют на процесс принятия решений. Количественные подходы определяют значения ВКВ на основе анализа данных, присутствующих в исходной матрице решений.

Использование метода ВКВ при экспертной оценке требует строгого соблюдения следующих основных правил:

1. Опрос экспертов проводится индивидуально с использованием электронных анкет (опросных листов).
2. Вопросы анкеты (опросного листа) должны предполагать однозначный ответ.
3. При обработке анкет (опросных листов) используются объективные методы с достаточно убедительным представлением результатов.

Опросный лист для проведения экспертного опроса представляет собой электронную таблицу, имеющую вид квадратной матрицы, строки (i) и столбцы (j) которой соответствуют каждому из n ПВК (таблица 1).

Таблица 1. Матрица опросного листа

ПВК	x_1	x_2	...	x_n
x_1	1	a_{12}	...	a_{1n}
x_2	a_{21}	1	...	a_{2n}
...
x_n	a_{n1}	a_{n2}	...	1

Количество опросных листов должно равняться: $s \times t$ (s – число экспертов; t – количество основных функций оператора СВТС). Каждому эксперту предлагается определить наиболее важные ПВК из множества X для каждой из t основных функций оператора СВТС.

Верхняя треугольная часть матрицы заполняется экспертом по следующему правилу:

$$a_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{ПВК } i \text{ важнее ПВК } j, \\ 1, & \text{ПВК } i \text{ равно по важности ПВК } j, \\ 0, & \text{ПВК } j \text{ важнее ПВК } i. \end{cases}$$

Заполнение нижней треугольной части матрицы опросного листа осуществляется автоматически по правилу:

$$a_{ji} = 2 - a_{ij}.$$

Ранжирование представляет собой процесс расположения объектов в порядке возрастания или убывания какого-либо присущего им свойства. Ранжирование позволяет выбрать из исследуемой совокупности факторов наиболее существенный.

Ранжирование ПВК производится по величине ВКВ k -го порядка [7]:

$$w_i(k) = \frac{p_i(k)}{\sum_{i=1}^n p_i(k)},$$

где $p_i(k)$ – итерированная важность k -го порядка для i -го ПВК.

Итерированные важности 1 и 2 порядков для i -го ПВК можно рассчитать, используя следующие выражения:

$$p_i(1) = \sum_{j=1}^n a_{ij},$$

$$p_i(2) = \sum_{u=1}^n \Psi_u p_u(1), \quad u = \overline{1, n},$$

где:

$$\Psi_u = \begin{cases} 2, & \text{если } p_u(1) < p_i(1), \\ 1, & \text{если } p_u(1) = p_i(1), \\ 0, & \text{если } p_u(1) > p_i(1). \end{cases}$$

Практика показывает, что условие стабильности ранжирования соблюдается уже при $k = 1$ и всегда при $k = 2$, поэтому рассчитывать итерированные важности более высоких порядков нецелесообразно.

Правильность заполнения матрицы проверяется по равенству:

$$\sum_{i=1}^n p_i(1) = n^2.$$

Одним из важных преимуществ метода ВКВ является возможность оценки непротиворечивости ответов экспертов. Так, для каждой таблицы, заполненной l -м экспертом, можно определить коэффициент внутренней непротиворечивости эксперта:

$$h_l = \frac{3(n^3 - \{\sum_{i=1}^n p_i(2)\}_l)}{n^3 - n}.$$

Если величина h_l меньше некоторого граничного значения $h_{гр}$, то мнение данного эксперта не учитываются в дальнейшей обработке, в связи с самопротиворечием.

В конечном итоге все ПВК ранжируются по усредненным значениям ВКВ 2-го порядка $w_{iср}(2)$.

2. Особенности обработки результатов экспертной оценки

После проведения экспертной оценки осуществляется обработка полученных результатов. Исходной информацией для такой обработки являются числовые данные, выражающие предпочтения экспертов, и содержательное обоснование этих предпочтений. Целью обработки является получение обобщенных данных и новой информации, содержащейся в скрытой форме в экспертных оценках.

Проверить правильность выводов экспертной оценки ПВК операторов СВТС позволяет вычисление коэффициента конкордации. Коэффициент конкордации W представляет собой суммарную величину отклонений ответов (мнений) экспертов от случая, когда эти ответы проставлены совершенно случайным образом и эта величина пронормирована с целью приведения её к интервалу $[0, 1]$, т.е. разделена на максимально возможное ее значение. Таким образом, коэффициент W характеризует степень согласованности мнений экспертов и может принимать значения от 0 до 1, причем 0 означает полную несогласованность мнений экспертов, а 1 – полную их согласованность.

Определить коэффициент конкордации при экспертной оценке ПВК операторов СВТС позволяет следующее выражение:

$$W = \frac{3 \sum_{i=1}^n [\sum_{l=1}^s p_{il}(1) - sn]^2}{\frac{1}{3} s [s(n^3 - n) - \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^s (t_{il}^3 - t_{il})]},$$

где t_{il} – количество повторений каждого ранга, сделанных l -м экспертом.

Для оценки значимости коэффициента конкордации целесообразно использовать критерий Пирсона. Критерий Пирсона позволяет оценить значимость различий между фактическим (выявленным в результате исследования) количеством исходов или качественных характеристик выборки, попадающих в каждую категорию, и теоретическим количеством, которое можно ожидать в изучаемых группах при справедливости нулевой гипотезы. Он позволяет оценить статистическую значимость различий двух или нескольких относительных показателей.

Согласно критерию Пирсона:

$$\chi^2 = s(n - 1)W.$$

Полученный результат сравнивается с табличным значением $\chi_{табл}^2(q; v = n - 1)$. Коэффициент конкордации W признается значимым, если $\chi^2 > \chi_{табл}^2$. В этом случае можно утверждать, что мнения экспертов непротиворечивы и полученное ранжирование можно считать окончательным.

Для определения ПВК оператора СВТС, вызвавших серьезные разногласия у экспертов, может быть использован G -критерий Кохрена, имеющий преимущества при сравнении трёх и более выборок одинакового объёма.

G -критерий Кохрена основан на сопоставлении сумм квадратов отклонений от среднего арифметического, что сближает его с однофакторным дисперсионным анализом. Данный критерий применяется для принятия решения об однородности результатов нескольких серий экспериментов.

Определение критерия Кохрена требует знания только выборочной дисперсии ВКВ, рассчитанной для всех s экспертов по каждому ПВК [6]:

$$V_i^2(k) = \frac{1}{s-1} \sum_{l=1}^s [b_{il}(k) - \bar{b}_i(k)]^2.$$

Тогда, выражение для нахождения критерия Кохрена запишем в виде:

$$G = \frac{\max\{V_i^2(k)\}}{\sum_{i=1}^n V_i^2(k)},$$

где $\max\{V_i^2(k)\}$ – максимальное значение одной из выборочных дисперсий, вычисленных для всех ПВК.

Таким образом, расчетное значение критерия Кохрена показывает, какую долю в общей сумме выборочных дисперсий занимает максимальная из них. В случае идеальной однородности выборочных дисперсий G стремится к значению $1/n$.

Расчитанное значение критерия Кохрена G сравнивается с табличным значением $G_{\text{табл}}(q; v_1 = s-1; v_2 = n)$. При $G > G_{\text{табл}}$ ПВК, которому принадлежит максимальная дисперсия $\max\{V_i^2(k)\}$, исключается из дальнейшего анализа. При невыполнении неравенства делается вывод об отсутствии противоречий в суждениях экспертов по всем ПВК.

3. Заключение

Профессиографическое исследование профессиональной деятельности операторов СВТС в целях совершенствования методик их отбора и профессиональной подготовки является достаточно актуальной задачей. Наиболее качественному решению данной задачи способствует определение важности и значимости соответствующих ПВК. Использование для экспертной оценки метода ВКВ обусловлено тем, что он обладает наименьшей неопределенностью и, в тоже время, наибольшим «психологическим» удобством для эксперта по сравнению с другими методами.

Предложенная методика экспертной оценки ПВК операторов СВТС может служить основой для построения математических моделей, алгоритмов и программных продуктов морфологического синтеза тренажерно-имитационной базы для подготовки операторов СВТС.

Литература

1. *Афонин В.П.* Основные вопросы эксплуатации сложных военно-технических систем / В.П. Афонин, В.Д. Быстряков, В.В. Истомина. – М.: ГУЗ, 2013. – 220 с.
2. *Чепурнов И.А., Ковалев Р.К.* Инженерно-психологические аспекты профессиональной деятельности операторов сложных технических систем // Образование, инновации, исследования как ресурс развития сообщества: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Чебоксары: ООО «Издательский дом «Среда», 2024. – С. 206–211.
3. *Чепурнов И.А.* Профессиографическое исследование профессиональной деятельности операторов зенитных ракетных комплексов // Психология и психотехника. 2023. № 3. – С. 97–107.
4. *Пухов В.А.* Основы профессионального психофизиологического отбора военных специалистов. – М.: МО СССР, 1981. – 428 с.
5. *Яцков Р.В.* Автоматизация диагностики и управления формированием профессионально важных качеств операторов энергосистем // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 2(63). – С. 58–65.
6. *Долгов Ю.А.* Статистическое моделирование. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2010. – 346 с.
7. *Козак Л.Я.* Преобразование исходных показателей технологического процесса выплавки стали для последующего моделирования // Компьютерные исследования и моделирование. 2017. Т. 9, № 2. – С. 187–199.