

## Особенности комплексной автоматической оценки качества выполнения упражнений на компьютерном тренажере оператора производственно-технологической системы

Р.А. Файзрахманов<sup>1</sup>, И.С. Полевщиков<sup>1</sup>, А.С. Модышева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**Аннотация:** В статье предложена модель, отличительной чертой которой является возможность автоматически получить комплексную оценку уровня сформированности профессиональных умений операторами, называемую комплексным коэффициентом освоения и вычисляемую в завершении выполнения обучаемым упражнения как среднее взвешенное на основе весов показателей качества, используемых в этом упражнении, и коэффициентов освоения по данным показателям качества. Детально рассмотрены особенности применения метода анализа иерархий, с использованием которого вычисляются весовые коэффициенты, необходимые для расчета комплексного коэффициента освоения. В ближайшей перспективе планируется реализация алгоритмического, программного и информационного обеспечения автоматизированной обучающей системы в соответствии с предложенной моделью.

**Ключевые слова:** автоматизированная обучающая система, компьютерный тренажер, профессиональные умения, метод анализа иерархий, комплексная оценка, коэффициент освоения умений.

Известно, что высокий уровень освоения профессиональных умений и навыков необходим эксплуатационному персоналу предприятий для эффективного и безопасного выполнения работ с использованием сложного технологического оборудования.

В настоящее время разработаны различные модели и методы, позволяющие повысить эффективность освоения профессиональных умений и навыков операторами сложных производственно-технологических процессов за счет использования разнообразных компьютерных средств учебного назначения, главным образом компьютерных тренажеров и создаваемых на их основе автоматизированных обучающих систем (АОС) [1-5].

Однако, нерешенным является вопрос разработки моделей, методов и средств, позволяющих автоматически получить комплексную оценку [6]

---

уровня сформированности профессиональных умений операторами (в процессе выполнения упражнений с использованием АОС) на основе ряда показателей качества, имеющих различную физическую природу. Предлагаемая методика решения данной проблемы описана далее.

Разработана модель (рис. 1), позволяющая автоматически получить комплексную оценку уровня сформированности профессиональных умений операторами, названную комплексным коэффициентом освоения.

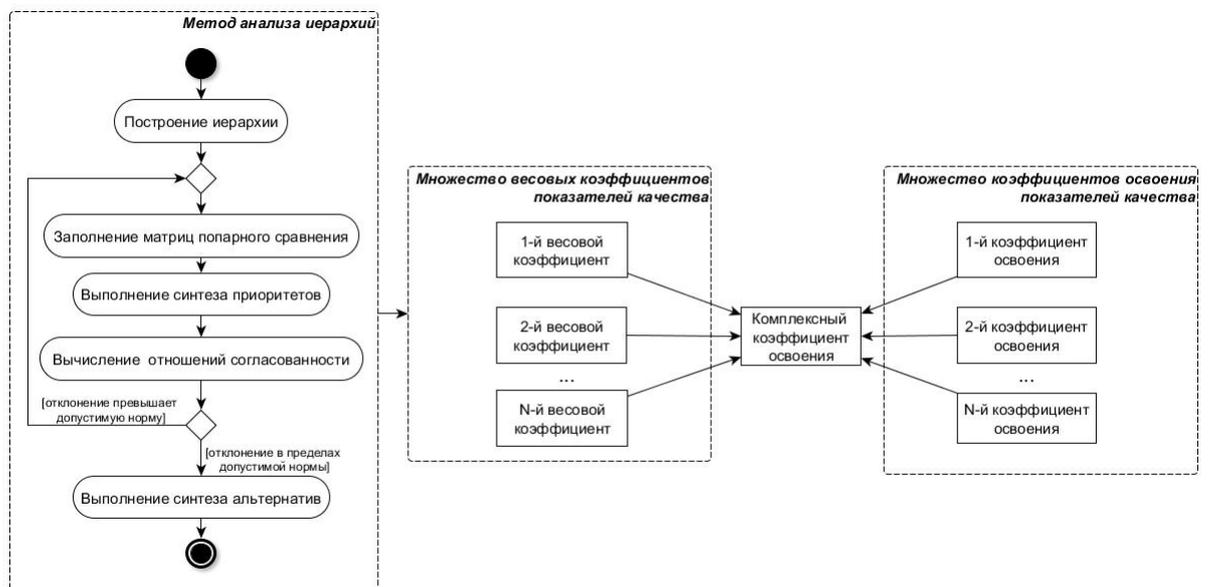


Рис. 1. – Процесс вычисления комплексной оценки на основе отдельных коэффициентов освоения

Комплексный коэффициент освоения вычисляется в завершении выполнения обучаемым упражнения как среднее взвешенное на основе весов показателей качества, используемых в этом упражнении, и коэффициентов освоения по этим показателям качества:

$$K_{osv} = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} W_i \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{N_k} W_i}, \quad (1)$$

где  $W_i$  - весовой коэффициент  $i$ -го показателя качества;

$K_i$  - коэффициент освоения, соответствующий  $i$ -му показателю качества;

$N_K$  – количество показателей качества, используемых в упражнении.

В свою очередь, отдельные коэффициенты освоения  $K_i$  из формулы (1) вычисляются с использованием нечетких множеств [7-10], а веса отдельных показателей качества  $W_i$  определяются с помощью метода анализа иерархий [4], особенности применения которого для данной задачи рассмотрим далее.

Процесс определения весового коэффициента показателя качества, используемого в некотором упражнении на тренажере, представляет собой многокритериальную задачу. Для решения подобных задач широко используется метод анализа иерархий (МАИ), отличительным преимуществом которого является наличие простых и хорошо обоснованных правил в ходе принятия решения [4].

На *первом этапе* использования данного метода рассматриваемая *проблема представляется в виде иерархии*, формируемой в настройках АОС. В первую очередь определяется общая цель, помещаемая в вершину иерархии. На промежуточных уровнях иерархии располагаются выбранные критерии. На самом низком уровне содержится перечень альтернатив, т.е. существующие варианты выбора.

Рассмотрим на примере особенности данного этапа применительно к задаче определения весовых коэффициентов показателей качества, используемых в упражнении на подъем и опускание крюка или груза.

Альтернативами будут отдельные показатели качества выполнения учебных задач, входящих в состав упражнения:

$A_1$  – время выполнения учебной задачи;

$A_2$  – точность установки груза;

$A_3$  – плавность установки груза;

$A_4$  – отклонение от оптимальной высоты подъема.

Альтернативы составляют третий (низший) уровень иерархии.

Частными целями (т.е. критериями), по отношению к которым будут оцениваться альтернативы, являются:

$K_1$  – сложность освоения относительно данного показателя качества;

$K_2$  – важность освоения относительно данного показателя качества.

Частные цели составляют второй уровень иерархии.

Общая цель – это значимость показателя качества в рамках конкретного практического модуля (упражнения).

Построенная иерархия представлена на рис. 2.

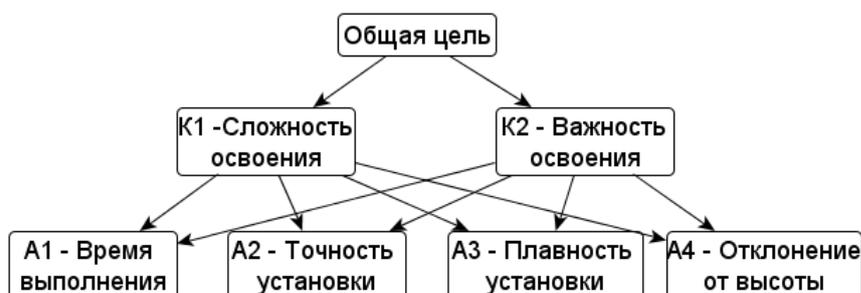


Рис. 2. – Построенная иерархия

Произведя иерархическое представление задачи, на *втором этапе* МАИ необходимо *установить приоритеты критериев и оценить каждую из альтернатив по критериям*, определив наиболее важную их них. Это делается с использованием матриц, заполняемых в настройках АОС.

Изначально составляется матрица для попарного сравнения критериев на втором уровне по отношению к общей цели, расположенной на первом уровне. Аналогичные матрицы строятся для попарных сравнений каждой альтернативы на третьем уровне по отношению к критериям второго уровня.

Рассмотрим пример выполнения этого этапа МАИ применительно к иерархии на рис. 2

Составим матрицу для попарного сравнения критериев на втором уровне по отношению к общей цели, расположенной на первом уровне (табл.

1) и матрицы для парных сравнений каждой альтернативы на третьем уровне по отношению к критериям второго уровня (табл. 2 и табл. 3).

Таблица № 1

Сравнение критериев по отношению к общей цели.

Цель	$K_1$	$K_2$
$K_1$	1	3
$K_2$	$1/3$	1

Таблица № 2

Сравнение альтернатив по отношению к критерию  $K_1$ .

$K_1$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	3	3	5
$A_2$	$1/3$	1	1	3
$A_3$	$1/3$	1	1	3
$A_4$	$1/5$	$1/3$	$1/3$	1

Таблица № 3

Сравнение альтернатив по отношению к критерию  $K_2$ .

$K_2$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	$1/3$	$1/3$	3
$A_2$	3	1	1	5
$A_3$	3	1	1	5
$A_4$	$1/3$	$1/5$	$1/5$	1

Матрицы, представленные в виде табл. 1-3, обратно симметричны. Главная диагональ матрицы состоит из единиц, поскольку при сравнении элемента с самим собой имеет место равная значимость. Клетки матрицы заполняются в соответствии с субъективными суждениями лиц, принимающих решение (например, мастером производственного обучения).

Для проведения парных сравнений критериев и альтернатив в методе анализа иерархий используется специальная шкала [4].

Затем следует *третий этап*, называемый *синтезом приоритетов*, в ходе которого на основе полученных матриц парных сравнений формируется набор локальных приоритетов, выражающих относительное влияние элементов на элемент, расположенный на уровне выше. Т.е. вычисляются локальные приоритеты альтернатив относительно каждого из критериев и локальные приоритеты критериев относительно общей цели.

Выполним этап синтеза приоритетов применительно к решаемой задаче.

Для данных, которые приведены в табл. 1, размерность матрицы  $n = 2$ .

Находим геометрическое среднее каждой строки табл. 1:

$$\omega_1 = \sqrt{a_{11} \cdot a_{12}} = \sqrt{1 \cdot 3} \approx 1.73$$

$$\omega_2 = \sqrt{a_{21} \cdot a_{22}} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 1} \approx 0.58$$

Для рассматриваемого примера нормирующий коэффициент равен:

$$r = \omega_1 + \omega_2 = 1.73 + 0.58 = 2.31$$

Вектор приоритетов равен:

$$q_{21} = \frac{\omega_1}{r} = \frac{1,73}{2,31} \approx 0,75$$

$$q_{22} = \frac{\omega_2}{r} = \frac{0,58}{2,31} \approx 0,25$$

В итоге получен вектор приоритетов  $q_2 = (0.75, 0.25)$ , где индекс 2 означает, что вектор приоритетов относится ко второму уровню иерархии.

Вектор локальных приоритетов альтернатив относительно критерия  $K_1$ , вычисленный аналогично, будет равен  $q_{31} = (0.52, 0.20, 0.20, 0.08)$ . А вектор локальных приоритетов альтернатив относительно критерия  $K_2$  будет равен  $q_{32} = (0.15, 0.39, 0.39, 0.07)$ .

На следующем, *четвертом этапе*, определяется *отклонение от согласованности локальных приоритетов*. В случае, если отклонение от согласованности превышает установленные пределы, то лицам, принимающим решения, необходимо пересмотреть матрицы и уточнить их значения.

Для того, чтобы оценить степень отклонения от согласованности, необходимо вычислить для каждой матрицы отношение согласованности.

Рассмотрим особенности этапа вычисления отклонения от согласованности локальных приоритетов для решаемой задачи.

Отношение согласованности для табл. 1 вычислять не нужно, поскольку сравниваются всего два критерия по отношению к общей цели.

Вычислим отношение согласованности для табл. 2.

Определяется сумма каждого столбца матрицы:

$$s_1 = 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} = 1,87$$

$$s_2 = 3 + 1 + 1 + \frac{1}{3} = 5,33$$

$$s_3 = 3 + 1 + 1 + \frac{1}{3} = 5,33$$

$$s_4 = 5 + 3 + 3 + 1 = 12$$

Затем полученный результат умножается на соответствующую компоненту нормализованного вектора приоритетов  $q_{3i}$ :

$$p_1 = s_1 \cdot q_{311} = 1,87 \cdot 0,52 = 0,97$$

$$p_2 = s_2 \cdot q_{312} = 5,33 \cdot 0,20 = 1,07$$

$$p_3 = s_3 \cdot q_{313} = 5,33 \cdot 0,20 = 1,07$$

$$p_4 = s_4 \cdot q_{314} = 12 \cdot 0,08 = 0,96$$

Далее вычислим сумму чисел  $p_j$ , которая отражает пропорциональность предпочтений (чем ближе эта величина к  $n$ , тем более согласованы суждения):

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^4 p_j = 0,97 + 1,07 + 1,07 + 0,96 = 4,07 .$$

Отклонение от согласованности выражается индексом согласованности:

$$I_{sogl} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4,07 - 4}{4 - 1} \approx 0,02 .$$

В результате вычисляется отношение согласованности, показывающее, насколько точно индекс согласованности  $I_{sogl}$  отражает согласованность суждений:

$$O_{sogl} = \frac{I_{sogl}}{I_{sred}} = \frac{0,02}{0,90} \approx 0,02 ,$$

где  $I_{sred}$  – среднее значение случайного индекса согласованности [4].

Значение  $O_{sogl} \leq 0,1$  считается приемлемым. В приведенном выше примере было получено приемлемое значение отношения согласованности, поскольку  $O_{sogl} \approx 0,02 < 0,1$ . Проведя аналогичные вычисления для табл. 3, также получаем приемлемое значение отношения согласованности.

Последним, *пятым этапом* метода анализа иерархий является *синтез альтернатив*, на котором вычисляются общие приоритеты альтернатив.

Рассмотрим особенности выполнения этапа синтеза альтернатив для решаемой задачи. Приоритеты альтернатив вычисляются следующим образом:

$$W_1 = q_{311}q_{21} + q_{321}q_{22} = 0,52 \cdot 0,75 + 0,15 \cdot 0,25 \approx 0,43 .$$

$$W_2 = q_{312}q_{21} + q_{322}q_{22} = 0,20 \cdot 0,75 + 0,39 \cdot 0,25 \approx 0,25 .$$

$$W_3 = q_{313}q_{21} + q_{323}q_{22} = 0,20 \cdot 0,75 + 0,39 \cdot 0,25 \approx 0,25 .$$

$$W_4 = q_{314}q_{21} + q_{324}q_{22} = 0,08 \cdot 0,75 + 0,07 \cdot 0,25 \approx 0,07 .$$

Полученные на этапе синтеза альтернатив результаты и будут являться весовыми коэффициентами для соответствующих показателей качества.

Следует отметить, что в некоторых упражнениях на компьютерном тренажере, которые являются сложными и состоят из нескольких учебных

задач, метод анализа иерархий применяется для вычисления весовых коэффициентов показателей качества каждой отдельной учебной задачи.

Таким образом, отличительной чертой разработанной модели является возможность автоматически получить комплексную оценку уровня сформированности профессиональных умений операторами, называемую комплексным коэффициентом освоения и вычисляемую в завершении выполнения обучаемым упражнения как среднее взвешенное на основе весов показателей качества, используемых в этом упражнении, и коэффициентов освоения по этим показателям качества.

В ближайшей перспективе планируется реализация алгоритмического, программного и информационного обеспечения АОС в соответствии с предложенной моделью.

### Литература

1. Файзрахманов Р.А., Полевщиков И.С. Анализ методов и средств автоматизации процесса обучения операторов производственно-технологических систем (на примере операторов перегрузочных машин) // Современные проблемы науки и образования. 2013. №5. URL: science-education.ru/111-10494.

2. Щемелева Т.К. Система подготовки крановщиков с применением тренажеров: 30 лет спустя // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2009. №3. С. 106-109.

3. Долгова Е.В., Файзрахманов Р.А., Курушин Д.С., Федоров А.Б., Хабибулин А.Ф., Шаронов А.А. Архитектура мобильного тренажера погрузочно-разгрузочного устройства // Инженерный вестник Дона. 2012. №4-1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1327.

4. Файзрахманов Р.А., Мехоношин А.С., Бакунов Р.Р., Федоров А.Б., Бикметов Р.Р. Особенности разработки и реализации мобильных пультов

---

тренажерного комплекса оператора порталного крана // Инженерный вестник Дона. 2012. №4-1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1267](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1267).

5. Файзрахманов Р.А., Бакунов Р.Р., Мехоношин А.С. Создание трехмерных моделей для системы визуализации тренажерного комплекса // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2011. №5. С. 62-69.

6. Новиков Д.А. Статистические методы в педагогических исследованиях (типовые случаи). М.: МЗ-Пресс, 2004. 67 с.

7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

8. Azarkasb S.O. An Efficient Intrusion Detection System Based on Fuzzy Genetic approaches // Life Science Journal. 2013. №10(8s). pp. 6-21. URL: [lifesciencesite.com/ljsj/life1008s/002\\_19226life1008s\\_6\\_21.pdf](http://lifesciencesite.com/ljsj/life1008s/002_19226life1008s_6_21.pdf).

9. Beiranvand A., Khodabakhshi M., Yarahmadi M., Jalili M. Making a Mathematical Programming in Fuzzy Systems with Genetic Algorithm // Life Science Journal. 2013. №10(8s). pp. 50-57. URL: [lifesciencesite.com/ljsj/life1008s/008\\_19232life1008s\\_50\\_57.pdf](http://lifesciencesite.com/ljsj/life1008s/008_19232life1008s_50_57.pdf).

10. Файзрахманов Р.А., Полевщиков И.С. Оценка качества выполнения упражнений на компьютерном тренажере перегрузочной машины с использованием нечетких множеств // Инженерный вестник Дона. 2012. №4-1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1265](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1265).

### References

1. Fayzrakhmanov R.A., Polevshchikov I.S. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. №5. URL: [science-education.ru/111-10494](http://science-education.ru/111-10494).

2. Shchemeleva T.K. Vestnik PGU. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya. 2009. №3. pp. 106-109.

3. Dolgova E.V., Fayzrakhmanov R.A., Kurushin D.S., Fedorov A.B., Khabibulin A.F., Sharonov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2012. №4-1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1327](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1327).
  4. Fayzrakhmanov R.A., Mekhonoshin A.S., Bakunov R.R., Fedorov A.B., Bikmetov R.R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2012. №4-1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1267](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1267).
  5. Fayzrakhmanov R.A., Bakunin R.R., Mekhonoshin A.S. Vestnik PGTU. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya. 2011. №5. pp. 62-69.
  6. Novikov D.A. Statisticheskie metody v pedagogicheskikh issledovaniyah (tipovye sluchai) [Statistical methods in educational research (typically)]. Moscow: MZ-Press, 2004. 67 p.
  7. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH]. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2005. 736 p.
  8. Azarkasb S.O. Life Science Journal. 2013. №10(8s). pp. 6-21. URL: [lifesciencesite.com/ljsj/life1008s/002\\_19226life1008s\\_6\\_21.pdf](http://lifesciencesite.com/ljsj/life1008s/002_19226life1008s_6_21.pdf).
  9. Beiranvand A., Khodabakhshi M., Yarahmadi M., Jalili M. Life Science Journal. 2013. №10(8s). pp. 50-57. URL: [lifesciencesite.com/ljsj/life1008s/008\\_19232life1008s\\_50\\_57.pdf](http://lifesciencesite.com/ljsj/life1008s/008_19232life1008s_50_57.pdf).
  10. Fayzrakhmanov R.A., Polevshchikov I.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2012. №4-1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1265](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1265).
-