

УДК 519.81+004.7+004.891

DOI: 10.22213/2410-9304-2020-4-76-83

## Математическая модель и информационные технологии поддержки принятия решений для управления подготовкой кадров для строительных предприятий

О. Б. Гольцова, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия  
В. С. Клековкин, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия  
Е. В. Гольцова, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В данной статье представлена модель поддержки принятия решений для управления подготовкой кадров для строительных специальностей, реализованная через расчет интегральной оценки компетентности студента. Оценка компетентности рассчитывается посредством информационной системы, методом нечеткого вывода. Для студента данная оценка показывает реальный уровень навыков и знаний, что поможет ему оценить свои возможности при устройстве на работу и при поступлении в магистратуру; для вуза данная оценка компетентности студентов поможет повысить объективность результатов при оценке работы профессорско-преподавательского состава специальности, один из инструментов корректировки рабочей программы для следующих курсов под потребности работодателей. Объективность оценки реализована за счет применения алгоритма, который учитывает экспертные и математические методы при формировании требований к знаниям и навыкам студентов, а также использование комбинации вышеуказанных методов при итоговых результатах интегральной оценки компетентности. Данная модель была апробирована на базе инженерно-строительного факультета вуза, оценка производилась на студентах строительных специальностей. В качестве экспертов были привлечены эксперты из 12 строительных организаций Удмуртской Республики. Была создана информационная система «Компетенция», реализованная на сайте вуза. Данная информационная система позволила значительно сократить расходы на сбор и обработку данных. Данная модель также может быть реализована на других инженерных специальностях.

**Ключевые слова:** управление подготовкой кадров, математическая модель, информационные технологии, поддержка принятия решений.

### Введение

Современные тенденции развития информационного общества создают основу для возникновения и продвижения новых информационных технологий поддержки управленческой деятельности.

Возрастающий уровень сложности и информационной неопределенности практических задач принятия решений при управлении процессом подготовки кадров в высшей школе, высокая степень ответственности за результат и высокая цена неверно принятых решений – все это вынуждает лиц, принимающих решение, использовать в процессе подготовки принятия решений методы интеллектуального анализа данных [1].

Повышение объективности оценки подготовки специалистов при одновременном удовлетворении всех заинтересованных сторон, а именно работодателей, государства и студентов, многовариантная нелинейная задача, кото-

рая требует переработки больших объемов информации и принятия оптимальных решений [2]. В связи с этим становится важным создание концептуальной модели оценки процесса управления подготовкой кадров строительных специальностей, алгоритмов по реализации модели, реализация модели по средствам информационной системы.

### Материалы и методы

Рассмотрим задачу группового экспертного оценивания в распределенных экспертных сетях: концептуальная модель и ее особенности.

Способом решения сложной задачи принятия решений, наряду с задачами формирования целей и формирования долгосрочных прогнозов, поиска альтернативных решений, является задача группового экспертного оценивания критериев [3].

На рис. 1 выделены закономерности и свойства, присущие данной задаче.

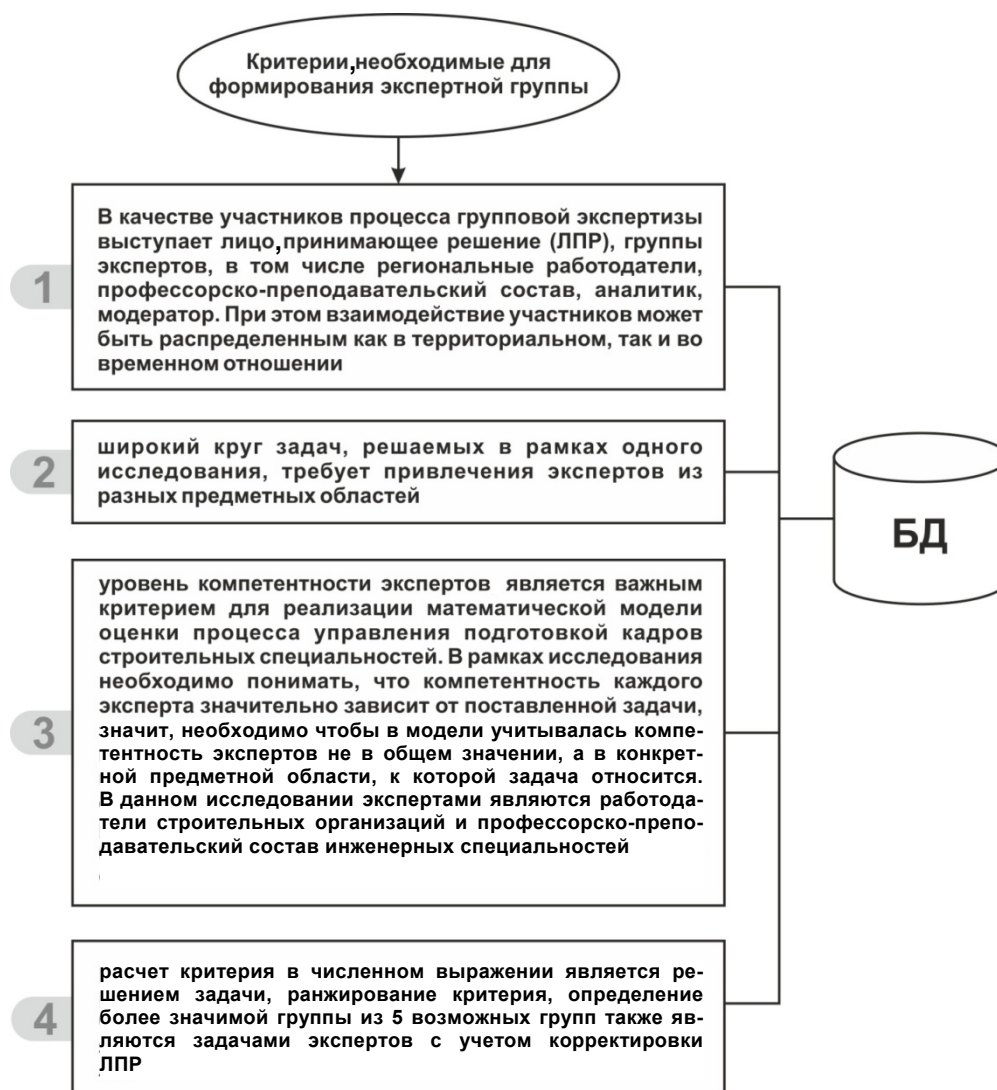


Рис. 1. Критерии и требования по формированию базы данных при согласовании компетенций с работодателями

Концептуальная модель задачи группового оценивания критериев для реализации математической модели можно представить следующим образом. Пусть  $N_b$  – множество базового набора компетенций  $N_b = \{N_{b1}, N_{b2}, \dots, N_{bn}\}$ ,  $n$  – количество компетенций [4].

Для удобства анализа работодателями набора компетентностных требований введем критерий значимости каждой компетенции  $R$ , рассчитанный по десятибалльной шкале:

$$R_{bi} = \frac{X_{bi}}{X_{\max bi}} \cdot 10, \quad i = 1 \dots n, \quad (1)$$

где  $X_{\max bi}$  – максимальное значение зачетных единиц, выделенное на освоение доминирующей компетенции согласно учебному плану.

После процедуры экспертной оценки с использованием информационной системы расчета оценки результатов получим следующий на-

бор компетенций, с учетом требований региональных работодателей:  $N'_v$  – множество набора компетенций с учетом требований работодателей [5].  $N'_v = \{N'_{v1}, N'_{v2}, \dots, N'_{vn}\}$ ,  $n$  – количество компетенций после экспертной оценки.

Сгруппируем компетенции по степени важности, согласно рейтингу работодателей  $R_v$  на 5 групп

$$K_p: K_1 = \{N'_v | R_v \geq 8\}; K_2 = \{N'_v | 6 \leq R_v < 8\}; \\ K_3 = \{N'_v | 4 \leq R_v < 6\};$$

$$K_4 = \{N'_v | 2 \leq R_v < 4\}; K_5 = \{N'_v | R_v < 2\}.$$

Расчет  $K_p$  производится по формуле

$$K_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l N'_{vi}, \quad (2)$$

где  $N'_{vi}$  – выборка из набора компетенций;  $l$  – число этих компетенций.

Работа экспертной системы, основанная на нечеткой логике, включает следующие этапы: вычисление степени уверенности посылок, фаззификация, аккумуляция, дефаззификация [6].

Входные переменные  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  рассматриваются как лингвистические и задаются соответствующими терм-множествами (множествами всех возможных значений лингвистической переменной: neud, ud и otl – неудовлетворительная, удовлетворительная и отличная оценка соответственно). Диапазон значений – от 0 до 1.

В качестве функции принадлежности к нечеткому множеству для всех входных лингвис-

тических переменных используем функцию Гаусса, как наиболее используемую при описании нечетких множеств [7]:

$$\mu(K_p) = \exp \left[ -\left( \frac{K_p - m}{2\sigma} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где  $K_p$  – сводная оценка или самооценка по компетенциям из разных дисциплин;  $m$  – математическое ожидание;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

Для расчета  $m$  и  $\sigma$  мы провели опрос экспертов, анализ опроса представлен в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Результаты опроса экспертов

Эксперт	Лингвистические переменные					
	neud	M	ud	m	otl	m
1	[0,1–0,4)	0,2	[0,4–0,7)	0,55	[0,7–1]	0,85
2	[0,1–0,3)	0,15	[0,3–0,8)	0,55	[0,7–1]	0,85
3	[0–0,4)	0,2	[0,4–0,8)	0,6	[0,6–1]	0,8
4	[0,1–0,4)	0,2	[0,5–0,8)	0,6	[0,7–1]	0,85
5	[0–0,3)	0,15	[0,3–0,7)	0,5	[0,7–1]	0,85
6	[0–0,3)	0,15	[0,3–0,7)	0,5	[0,7–0,9]	0,8

Таблица 2. Результаты обработки мнений экспертов

Показатель	Лингвистические переменные					
	neud	$\mu(\text{neud})$	ud	$\mu(\text{ud})$	otl	$\mu(\text{otl})$
[0–0,1)	3	0,5	0	0	0	0
[0,1–0,2)	6	1	0	0	0	0
[0,2–0,3)	6	1	0	0	0	0
[0,3–0,4)	3	0,5	3	0,5	0	0
[0,4–0,5)	0	0	5	0,8	0	0
[0,5–0,6)	0	0	6	1	0	0
[0,6–0,7)	0	0	6	1	1	0,3
[0,7–0,8)	0	0	3	0,3	6	1
[0,8–0,9)	0	0	0	0	6	1
[0,9–1]	0	0	0	0	5	0,8

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K_{p_i} - \bar{K}_p)^2}, \quad (4)$$

где  $K_{p_i}$  – оценка компетенции  $i$ -го студента;  $\bar{K}_p$  – среднее значение компетенции;  $n$  – число студентов в выборке.

Как показывают практические результаты исследования у студентов с низкими оценками компетентности  $K_p$ , наибольшая вероятность попадания результатов  $K_p$  в интервал (0,1; 0,3); у студентов со средними оценками компетентности  $K_p$  эта вероятность уже в интервале (0,5; 0,7); а у студентов с высокими оценками компетентности  $K_p$  – в интервале (0,7; 0,9). Среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 0,1$ . Поэтому нечеткие множества neud, ud и otl будут описаны двойками [neud = (0,2 0,1), ud = (0,6 0,1),

otl = (0,8 0,1)], их графики представлены на рис. 2.

В качестве вида функции принадлежности для выходной лингвистической переменной  $K$  выбрана трапецевидная функция:

$$\mu(K_f) = \begin{cases} 0, & K_f \leq a, K_f \geq d, \\ \frac{K_f - a}{b - a}, & a < K_f \leq b, \\ 1, & b < K_f \leq c, \\ \frac{d - K_f}{d - c}, & c < K_f \leq d, \end{cases} \quad (5)$$

где  $(a, d)$  – носитель нечеткого множества (пессимистическая оценка нечеткого числа);  $(b, c)$  – ядро нечеткого множества (оптимистическая оценка нечеткого числа).

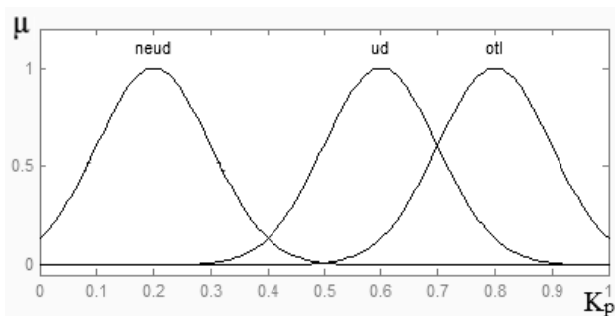


Рис. 2. Функция принадлежности входных переменных  $K_p$

Нечеткие множества описаны для выходной переменной следующим образом:

$neud=[0/1 \ 0,2/1 \ 0,4/0]$ ,  $ud=[0,3/0 \ 0,4/1 \ 0,6/1 \ 0,8/0]$   
 $otl=[0,7/0 \ 0,9/1 \ 1/1]$ .

Трапецевидная функция выбрана в связи с тем, что функция данного вида позволяет лучше иллюстрировать конечный результат моделирования, т. е. получение численного значения интегральной компетентности обучающихся [8].

Набор нечетких правил для рассматриваемой системы представлен в виде трех термов, обозначающих низкий, средний и высокий уровни значений параметров: если ( $x_i \in$  низкий), то ( $y_i \in$  низкий); если ( $x_i \in$  средний), то ( $y_i \in$  средний); если ( $x_i \in$  высокий), то ( $y_i \in$  высокий), где  $x_i, y_i$  — лингвистические переменные, соответственно, для левой и правой части условия. При трех терм-множествах в пяти входных переменных для полного описания необходимо  $3^5 = 243$  правила. Количество правил было сокращено до 42, так как наиболее значительными переменными являются  $K_1, K_2, K_3$ .

Для минимизации отклонений результатов от экспериментальных данных нечеткая модель

была обучена и были изменены входные параметры [9].

Обучающая выборка, связывающая входы с выходом исследуемой зависимости, представлена в виде следующих пар:

$$(E_r, G_r), \quad r = 1, \dots, X, \quad (6)$$

где  $E_r = (e_{r1}, e_{r1}, \dots, e_{rm})$  — входной вектор в  $r$ -й паре данных (оценки компетентности студентов);  $G_r$  — соответствующий выход (среднеарифметическая оценка по итоговой государственной аттестации и средней оценке по дисциплинам за весь период обучения);  $X$  — объем выборки (в эксперименте участвовало 220 студентов следующих профилей подготовки: «Системный анализ и управление» и «Мехатроника и робототехника», «Техносферная безопасность»).

Веса правил и параметры термов вычислены из условия минимума функции:

$$F(T, W) = \sqrt{\frac{1}{X} \sum_{r=1, X} (G_r - F(T, W, E_r))^2} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $T$  — набор коэффициентов функций принадлежности термов для входных и выходных переменных;  $W$  — набор весовых коэффициентов правил базы знаний;  $F(T, W, E_r)$  — результат вывода по нечеткой базе знаний Мамдани с параметрами  $(T, W)$  при значении входов  $E_r$ .

В результате находится набор коэффициентов функций принадлежности и весовые коэффициенты правил, которые имеют минимальное отклонение между экспериментальными и при использовании нечеткой модели значениями на обучающей выборке [10]. В результате настройки нечеткой модели изменились параметры функции принадлежности и веса правил (рис. 3).

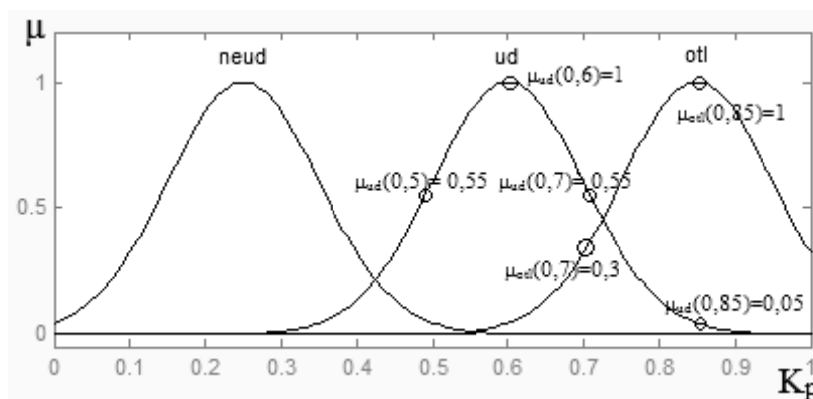


Рис. 3. График функции принадлежности  $\mu$  условных частей правил

Нечеткие множества  $\mu_{neud}$ ,  $\mu_{ud}$  и  $\mu_{otl}$  после обучения изменились следующим образом: для входных переменных –  $\mu_{neud} = (0,25 \ 0,1)$ ,  $\mu_{ud} = (0,6 \ 0,1)$ ,  $\mu_{otl} = (0,85 \ 0,1)$ ; для выходной переменной –  $\mu_{neud} = [0/1 \ 0,25/1 \ 0,4/0]$ ,  $\mu_{ud} = [0,3/0 \ 0,5/1 \ 0,7/1 \ 0,8/0]$ ,  $\mu_{otl} = [0,7/0 \ 0,8/1 \ 1/1]$ .

Проведем определение степени уверенности для простейших утверждений предпосылок, фаззификацию правил, а результат – в табличном и графическом видах (табл. 3, 4, рис. 4).

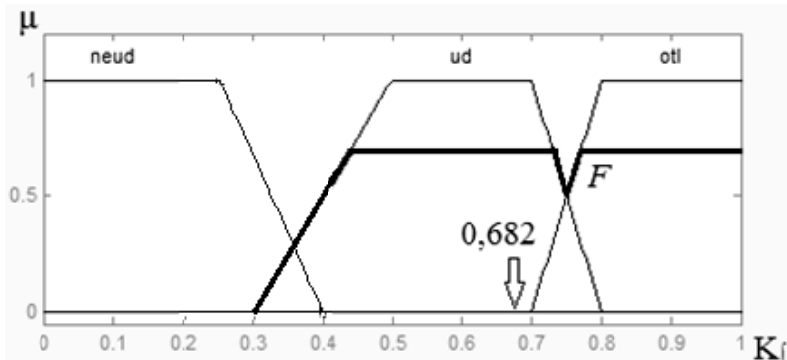


Рис. 4. График вывода результата этапов аккумуляции и дефаззификации:  $F$  – полученная в результате выполнения этапа аккумуляции функция принадлежности; 0,682 – численное значение оценки интегральной компетенции  $K_j$

Аккумуляцию выполним построением максимума функций принадлежности, т. е. объеди-

нив функции принадлежности, полученные на этапе фаззификации.

Таблица 3. Степень уверенности для простейших утверждений

$K_p$	Начальное множество термов		
	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Отлично
Степень уверенности простейших утверждений			
$K_1 = 0,85$	$\mu_{neud}(K_1) = 0$	$\mu_{ud}(K_1) = 0,05$	$\mu_{otl}(K_1) = 1$
$K_2 = 0,7$	$\mu_{neud}(K_2) = 0$	$\mu_{ud}(K_2) = 0,055$	$\mu_{otl}(K_2) = 0,3$
$K_3 = 0,6$	$\mu_{neud}(K_3) = 0$	$\mu_{ud}(K_3) = 1$	$\mu_{otl}(K_3) = 0,05$
$K_4 = 0,5$	$\mu_{neud}(K_4) = 0$	$\mu_{ud}(K_4) = 0,55$	$\mu_{otl}(K_4) = 0$
$K_5 = 0,5$	$\mu_{neud}(K_5) = 0$	$\mu_{ud}(K_5) = 0,55$	$\mu_{otl}(K_5) = 0$

Таблица 4. Степень уверенности для предпосылки правил

№	Условная часть правила	Степень уверенности предпосылки $\tilde{K}_i$
1	Если $K_1 = \langle\langle\text{otl}\rangle\rangle$ И $K_2 = \langle\langle\text{ud}\rangle\rangle$	$\text{Min}(1;0,55) = 0,55$
2	Если $K_1 = \langle\langle\text{otl}\rangle\rangle$ И $K_2 = \langle\langle\text{otl}\rangle\rangle$ И $K_3 = \langle\langle\text{ud}\rangle\rangle$ И $K_4 = \langle\langle\text{ud}\rangle\rangle$ И $K_5 = \langle\langle\text{ud}\rangle\rangle$	$\text{Min}(1;0,3;1;0,55;0,55) = 0,3$
3	Если $K_1 = \langle\langle\text{otl}\rangle\rangle$ И $K_2 = \langle\langle\text{otl}\rangle\rangle$ И $K_4 = \langle\langle\text{otl}\rangle\rangle$	$\text{Min}(1;0,3;0) = 0$

Результат этого этапа – обобщенная функция принадлежности нечеткого результата моделирования. Вычисление конкретного значения выполним по способу Мамдани, определив центр масс многоугольника:

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^N \tilde{K}_i \mu(\tilde{K}_i)}{\sum_{i=1}^N \mu(\tilde{K}_i)}, \quad (8)$$

где  $\tilde{K}_i$  – степень уверенности предпосылки для  $i$ -го правила;  $N$  – количество правил.

Применим эту формулу к полученной функции принадлежности, определим численное значение  $K_j = 0,682$  на примере одного студента, представленное на графике рис. 4.

Полученный интегральный показатель  $K_j$  сравниваем с  $K_T = 1$  и согласно табл. 5 принимаем решение.

Таблица 5. Типы решений по интегральной оценке

№ п/п	Требуемая оценка	Интегральная оценка по группе	Предикаты сравнения	Принимаемое решение
1	$K_T$	$K_j^{\text{mac}}$	$0,7 K_T \leq K_j^{\text{mac}} \leq 1 K_T$	Соответствует требованиям ОП
			$K_j^{\text{mac}} \leq 0,7 K_T$	Необходима корректировка ОП
2	$K_T$	$K_j$	$0,5 K_T \leq K_j \leq 1$	Формулируются рекомендации для ГАК – «Соответствует квалификации данной ОП»
			$K_j < 0,5 K_T$	Формулируются рекомендации для ГАК – «Не соответствует квалификации данной ОП»

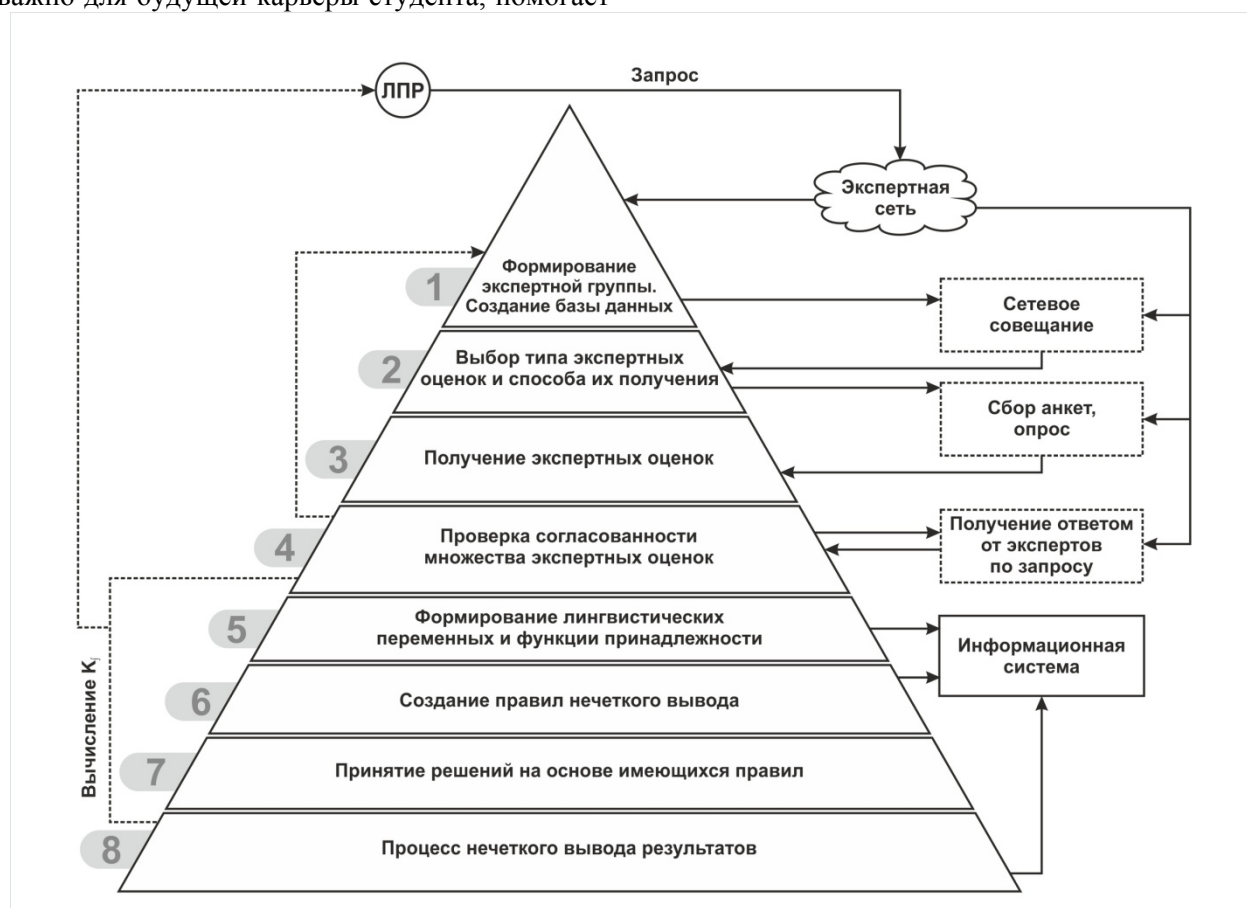
Общий алгоритм получения интегральной оценки представлен на рис. 5. Данный алгоритм показывает все этапы, необходимые для расчета итоговой оценки компетентности выпускника бакалавра. Интегральная оценка компетентности используется:

– для индивидуальной оценки студента. Это важно для будущей карьеры студента, помогает

в решении вопроса о необходимости поступления в магистратуру;

– оценки работы преподавательского состава специальности;

– комплексной оценки учебно-методического комплекса кафедры.

Рис. 5. Алгоритм получения интегральной оценки  $K_j$ 

### Выводы

Построена модель интегральной оценки компетенций студентов, показывающая не только оценку знаний студентов по основной профессиональной образовательной программе, но и оценку выработанных умений и навыков по решению профессиональных задач. Вышеуказанный алгоритм повышает объективность

оценки компетентности студентов, что особенно важно при расчете данной сложной структуры задачи.

Модель включает характеристику личностных качеств студентов, проявляющихся в процессе реализации компетенций.

## Библиографические ссылки

1. Molderez, I., Fonseca, E. (2018). The efficacy of real-world experiences and service learning for fostering competences for sustainable development in higher education. *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 4397-4410.
2. Gauvreau, P. (2018). Sustainable education for bridge engineers. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 5(6), pp. 510-519.
3. Mulder K.F., 2017. Strategic competences for concrete action towards sustainability: an oxymoron? *Engineering education for a sustainable future. Renew. Sustain. Energy Rev.* 68 (Part 2), pp. 1106-1111.
4. Исследование процесса освоения компетенций инженерами на основе инновационных методов их оценки : монография / В.С. Клековкин, В. П. Грахов, О. Б. Гольцова, Е. В. Гольцова, В. А. Цапок. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. С. 132.
5. Гольцова О. Б., Гольцова Е. В., Созонова Н. А. Разработка поэтапного математического и алгоритмического обеспечения модели управления по подготовке инженерных кадров // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. 2017. № 4. С. 100–103.
6. Нечеткая дескрипторная модель оценивания выраженности индикаторов достижения компетенций / А. Н. Полетайкин, А. Н. Подколзин, Н. В. Кулешова, Е. Ю. Кунц // *Управление и высокие технологии : Прикаспийский журнал*. 2019. № 3 (47). С. 55–69.
7. Маслюкова Е. В., Маскаев А. И. Институциональные изменения в высшем образовании и прекариат // *Журнал институциональных исследований*. 2019. Т. 11, № 4. С. 141–155.
8. Захарова И.В., Кузенков О.А. Опыт актуализации образовательных стандартов высшего образования в области ИКТ // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2017. Т. 13. С. 46–57.
9. Катасёв А.С., Книту-Кай. Методы и алгоритмы формирования нечетких моделей оценки состояния объектов в условиях неопределенности // *Вестник технологического университета*. 2019. Т. 22. С. 138–147.
10. Комплексная методика оценивания компетентности сотрудников отрасли связи на основе личностных и профессиональных характеристик / Л. Ф. Данилова, Н. Ю. Захаров, А. В. Никифорова, В. С. Канев, М. В. Облаухова, А. Н. Полетайкин, Ю. В. Шевцова // *Вестник СИБГУТИ*. 2019. № 1. С. 42–61.

## References

1. Molderez, I., Fonseca, E. (2018). The efficacy of real-world experiences and service learning for fostering competences for sustainable development in higher education. *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 4397-4410.
2. Gauvreau, P. (2018). Sustainable education for bridge engineers. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 5(6), pp. 510-519.
3. Mulder K.F., 2017. Strategic competences for concrete action towards sustainability: an oxymoron? *Engineering education for a sustainable future. Renew. Sustain. Energy Rev.* 68 (Part 2), pp. 1106-1111.
4. Gol'cova O.B., Gol'cova E.V., Sozonova N.A. [Development of step-by-step mathematical and algorithmic support of a management model for training engineering personnel]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2017. No. 4. Pp. 100-103 (in Russ.).
5. Klekovkin V.S., Grahov V. P., Gol'cova O. B., Gol'cova E. V., Capok V. A. *Issledovanie processa osvoeniya kompetencij inzhenerami na osnove innovatsionnykh metodov ih ochenki* [Research of the process of mastering competencies by engineers based on innovative methods of their assessment]. *Izhevsk, Izd-vo IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2018. P. 132 (in Russ.).
6. Poletajkin A.N., Podkolzin A.N., Kuleshova N.V., Kunc E.Y.U. [Fuzzy descriptor model for assessing the severity of indicators of achievement of competencies]. *Upravlenie i vysokie tekhnologii : Prikaspijskij zhurnal*. 2019. No. 3. Pp. 55-69 (in Russ.).
7. Maslyukova E.V., Maskaeve A.I. [Institutional change in higher education and the precariat]. *Zhurnal institucional'nykh issledovanij*, 2019. Vol. 11, no. 4. Pp. 141-155 (in Russ.).
8. Zaharova I.V., Kuzenkov O.A. [Experience in updating educational standards of higher education in the field of ICT]. *Sovremennye informacionnye tekhnologii i IT-obrazovanie*. 2017. Vol. 13. Pp. 46-57 (in Russ.).
9. Katasyov A.S., Knitu-Kai. [Methods and algorithms for the formation of fuzzy models for assessing the state of objects in conditions of uncertainty]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2019. Vol. 22. Pp. 138-147 (in Russ.).
10. Danilova L.F., Zaharov N.YU., Nikiforova A.V., Kaneev V.S., Oblauhova M.V., Poletajkin A.N., Shevcova YU.V. [Comprehensive methodology for assessing the competence of communications industry employees based on personal and professional characteristics]. *Vestnik SIBGUTI*. 2019. No. 1. Pp. 42-61 (in Russ.).

\* \* \*

**Mathematical Model and Information Technologies for Decision Support on Personnel Training Management for Construction Companies**

*O. B. Goltsova*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*V. S. Klekovkin*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*E. V. Goltsova*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*This paper presents a decision support model for managing the training of construction specialties personnel, implemented by calculating the integrated assessment of student competence. The assessment of competence is calculated by means of the information system, using the fuzzy inference method. For the student, this assessment shows the real level of skills and knowledge that will help him assess their capabilities when applying for jobs and admission to the Master's Degree. For the University, this assessment of competence will help increase the objectivity of the results of assessing the faculty staff. It is one of the tools to adjust the work program for the next courses to employers' needs. The objectivity of the assessment is realized through the use of an algorithm that takes into account expert and mathematical methods in forming the requirements for students' knowledge and skills and the use of a combination of the above methods in the final results of the integral assessment of competence. This model was tested at the Faculty of Civil Engineering of the University; the assessment was carried out for construction specialties students. Experts from 12 construction organizations of the Udmurt Republic were involved as experts. An information system "Competence" was created and implemented on the University website. This information system made it possible to reduce expenses on data collection and processing significantly. This model can also be implemented in other engineering specialties.*

**Keywords:** training management, mathematical model, information technology, decision support.

Получено: 09.10.2020