УДК 519.816
DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-111-115

УНАРНЫЕ ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Б. Х. Санжапов

Санжапов Булат Хизбуллович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Клиническая инженерия и технологии искусственного интеллекта», Волгоградский государственный медицинский университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (904) 424-11-15; e-mail: sbkh@mail.ru

В статье рассматривается подход к обработке унарной экспертной информации о характеристиках иерархической системы. Показана целесообразность использования аппарата теории нечетких множеств для описания признаков входящих в нее средств. В отличие от существующих подходов предложенный метод не предполагает осуществления каких-либо упрощений, усреднений и других операций преобразования исходных данных. В статье предложен метод поуровневой декомпозиции для анализа задач большой размерности со сложной структурой ограничений при неограничительном предположении о виде функций принадлежности. Эффективность предложенного подхода проиллюстрирована при решении модельного примера. Разработанный подход может быть также полезен для упорядочения объектов– определения весов входящих в систему средств – при ранжировании режимов функционирования действующих систем, таких как строительные, городские, экологические и др.

Ключевые слова: *иерархическая система, унимодальные экспертные оценки, нечеткое множество, функция принадлежности, метод декомпозиции.*

UNARY EXPERT EVALUATIONS IN HIERARCHICAL SYSTEMS

B. Kh. Sanzhapov

Sanzhapov Bulat Khizbullovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Clinical Engineering and Artificial Intelligence Technologies Department, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (904)424-11-15; e-mail: sbkh@mail.ru

The article discusses an approach to processing unary expert information about the characteristics of a hierarchical system. The expediency of using the apparatus of fuzzy set theory to describe the features of the means included in it is shown. Unlike existing approaches, the proposed method does not involve any simplifications, averages, or other operations for converting source data. The article proposes a method of level-by-level decomposition for the analysis of large-dimensional problems with a complex structure of constraints under the unrestricted assumption of the type of membership functions. The effectiveness of the proposed approach is illustrated by solving a model example. The developed approach can also be useful for ordering objects – determining the weights of funds included in a system when ranking operating modes of existing systems, such as construction, urban, environmental, etc.

Keywords: *hierarchical system, unimodal expert evaluation, fuzzy set, membership function, decomposition method.*

Введение

На ранней стадии анализа сложной системы становится актуальным оценить важность вариантов (объектов) ее реализации– определить значения их весовых коэффициентов (ранжировать по значимости). Предлагаемый подход позволит выявить наиболее приоритетный объект, который будет являться предметом более детального исследования. Как правило, на этой стадии информация об объектах не является полностью определенной. Поэтому рационально использовать знания высококвалифицированных специалистов – экспертов в своей предметной области. Использование таких неформальных оценок исследуемых объектов позволит повысить их адекватное описание, с целью применения полученного материала для выбора наиболее приемлемого.

В четком случае для обработки такой экспертной информации предложен метод решающих матриц (МРМ) [1, 2]. За рубежом этот метод носит название метод анализа иерархии (МАИ) [3–5]. В дальнейшем будем считать, что модель иерархической системы в виде дерева целей и задач построена.

Следующим этапом является оценка экспертами вклада рассматриваемых объектов в достижение цели. На этом этапе происходит экспертная оценка важности объектов каждого уровня для достижения целей смежного верхнего уровня. На ранней стадии анализа проекта сложной системы бывает затруднительным провести попарную оценку предпочтительности объектов по выбранному признаку, и применить МАИ [3–8]. Это может быть обусловлено тем, что некоторые объекты могут относиться к разным исследуемым группам, имеется неопределенность в описании их характеристик и др. Более того, для использования хорошо изученного математического аппарата необходимы дополнительные сведения об объектах, получение которых может быть затруднительным [9–12].

На последнем этапе необходимо исследовать в общем случае несогласованную экспертную информацию. Разработанный подход позволяет обрабатывать такую информацию без потери ее значимости, то есть без каких-либо упрощений, усреднений и др. операций преобразования полученных экспертных сведений. Разработанный метод декомпозиции позволит проанализировать задачи большой размерности при неограничительных предположениях о виде функций принадлежности.

Метод

В дальнейшем будем считать, что исследуемая система является иерархической [1, 2, 6], то есть рассматриваемые задачи разбиты на уровни значимости. Для математического описания такой системы будем использовать ориентированный граф $G=(X,E)$, в котором вершины образуют множество X, а множество дуг $E=\left(X_i,X_j\right)$ [13]. Здесь предполагается, что дуга направлена из вершины X_i в вершину X_j. В дальнейшем примем предположение, что в графе отсутствуют контуры. Это предположение не является ограничительным, таким свойством обладают многие реальные системы: городские, строительные, технические и др.

Таким образом, все вершины графа X могут быть разбиты на уровни иерархии $V_0,V_1,\dots,V_m$. Для установления связи между вершинами X графа $G=(X,E)$ построим имеющий следующий вид отображения F_i и F_i^{-1} :

$$F_i=\left\{X_j|(X_i,X_j)\in E\right\}, F_i^{-1}=\left\{X_j|X_i\in F_j\right\}.$$

Для таких отношений F_i и F_i^{-1} выполняются следующие соотношения:

$$X_i\epsilon V_0 \Leftrightarrow F_i^{-1}=\emptyset, X_i\epsilon V_m \Leftrightarrow F_i=\emptyset,$$

$$\left(X_i,X_j\right)\in E \Leftrightarrow \exists k: X_i\in V_k, X_j\in V_{k+1},$$
$$k=1,\dots,m-1.$$

Таким образом, построенные отношения F_i и F_i^{-1} обеспечивают выполнение следующих условий:

1) отсутствие дуг между несмежными уровнями графа $G=(X,E)$;

2) дуги в графе $G=(X,E)$ направлены из вершин, принадлежащих уровню с меньшим номером, в вершины нижележащего смежного уровня.

В качестве экспертной информации, оценивающей относительный вклад задач более низкого уровня для достижения целей смежного более высокого уровня, с целью применения МРМ, рассматривается ряд матриц [1, 2]:

$$G^{(k)}=\left(g_{ij}^k\right), k=0,\dots,m-1,$$
$$i=1,\dots,n_k, j=1,\dots,n_{k+1}, \quad (1)$$

где g_{ij}^k– численная оценка значимости решения задачи j, находящейся на $(k+1)$уровне иерархии, для достижения принадлежащему (k) уровню цели i; n_k– число вершин, принадлежащих уровню V_k.

Заметим: если цель верхнего уровня единственная, то есть V_0 состоит из одного элемента, то матрица $G^{(0)}$ представляет собой вектор – строку [1, 6]. Здесь предполагается, что представленные в (1) элементы матриц должны удовлетворять ограничениям [1]:

$$0\le g_{ij}^k\le 1, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n_{k+1}} g_{ij}^{(k)}=1, i=1,\dots,n_{k.} \quad (3)$$

Удовлетворяющее условиям (2)–(3) множество матриц $G^{(k)}, k=0,\dots,m-1$ обозначим как $\overline{G(k)}$.

Вектор значений приоритетов, находящихся на $(k+1)$ уровне объектов, определяется в МРМ как [1]:

$$x^{(k+1)}=G^{(0)}\times G^{(1)}\times\dots\times G^{(k)}, G^{(k)}\in\overline{G(k)}.$$
$$k=0,\dots,m-1. \quad (4)$$

На ранней стадии анализа характеристик системы довольно сложно дать точные количественные оценки этим матрицам. Обработка зачастую не полностью согласованных экспертных сведений представляет собой основную трудность, заключающаяся в построении матриц $G^{(k)}\in\overline{G(k)}$, элементы которых удовлетворяют ограничениям (2)–(3). Для решения этого вопроса как правило решаются сложные оптимизационные задачи по поиску усредненных показателей, огрубляющих исходную экспертную информацию, вводятся дополнительные условия, ограничения, с целью выполнения ограничений (2)–(3). Таким образом, на этапе предварительной обработки экспертной информации устраняется присущая ей неопределенность.

Поэтому будем рассматривать экспертные данные в явном виде как нечеткие оценки характеристик системы. Для этого будем использовать аппарат теории нечетких множеств [14, 15]. Заметим, использование такого математического аппарата актуально и на сегодняшний день, появляются новые подходы к решению как теоретических, так и прикладных задач [16–20].

Следует отметить, что хорошо известен подход к вычислению приоритетов объектов в иерархических системах при нечеткой исходной информации – МАИ [3–6]. В своей основе он включает дополнительный этап получения экспертной информации на основе попарного сравнения входящих в систему объектов.

В рассматриваемом методе исключен этап попарного сравнения объектов. В предлагаемой модели обработки экспертной информации веса дуг в дереве целей и задач считаются нечеткими множествами [14, 15]. Это связано с существованием субъективных и трудноформализируемых факторов, которые обуславливают неопределенность таких сведений при построении матриц $G^{(k)}$(1).

В связи с изложенным коэффициенты g_{ij}^k (1) будем считать принадлежащими соответствующим нечетким множествам

$$\widetilde{g_{ij}^k}=\left\{\left(t,\mu_{ij}^{(k)}(t)\right)|0\le t\le 1\right\}, \quad (5)$$

где полагается: значение функции принадлежности $\mu_{ij}^{(k)}(t)$ в формуле (5) имеет смысл достоверности того, что коэффициент g_{ij}^{k} принимает значение равное t.

Решение задачи определения коэффициентов важности объектов будет осуществляться при некотором предположении на вид функции принадлежности $\mu_{ij}^{(k)}$ в (5).

Предположение

Функции принадлежности $\mu_{ij}^{(k)}$ являются квазивогнутыми и отличными от нуля на конечных интервалах.

Данное предположение не является ограничительным. В основном экспертная информация соответствует этому предположению. Для вычисления значений коэффициентов относительной важности целей уровня m, согласно соотношению (4), представим вектор приоритетов $\boldsymbol{x}^{(m)}$ в следующем виде:

$$x^{(m)} = G^{(0)} \times G^{(1)} \times \ldots \times G^{(m-1)}. \qquad (6)$$

В общем виде матрицы $G^{(0)}, G^{(1)}, \ldots, G^{(m-1)}$ в уравнении (6) являются нечеткими, как следствие, вектор $x^{(m)}$ принадлежит нечеткому множеству коэффициентов

$$X^{(m)} = \{(x^{(m)}, \mu^{(m)}(x^{(m)}) | x^{(m)} = \\ = \left(x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, \ldots, x_{n_m}^{(m)}\right), 0 \le x_i^{(m)} \le 1, \\ i = 1, \ldots, n_m, \sum_i x_i^{(m)} = 1\}. \qquad (7)$$

Для определения значения функции принадлежности $\mu^{(m)}(x^{(m)})$, иными словами – достоверности вектора $x^{(m)}$, будем использовать принцип обобщения Л. Заде [14, 15]. При учете ограничений (2)–(3) он запишется в виде:

$$\mu^{(m)}\left(x^{(m)}\right) = maxmin\mu_{ij}^{(k)}\left(g_{ij}^{(k)}\right), \\ G^{(k)} \in \overline{G(k)}\ k = 0, \ldots, m-1, \\ i = 1, \ldots, n_k, j = 1, \ldots, n_{k+1}. \qquad (8)$$

Максимальное значение в уравнении (8) вычисляется при рассмотрении всех элементов матриц $G^{(k)}$, элементы которых удовлетворяют ограничениям (2), (3), (6). Поиск минимума происходит при переборе всех номеров элементов $\left(g_{ij}^{k}\right) \in G^{(k)}$.

Таким образом, достоверность вектора $x^{(m)}$ представляет собой вектор коэффициентов относительной важности целей, находящихся на уровне с номером m. Для его вычисления необходимо определить решение задачи нелинейного программирования (8). В некоторых случаях используются недифференцируемые функции, задачи могут иметь сложную структуру ограничений, большую размерность, что может затруднить применение разработанных методов решения таких задач нелинейного программирования [21].

Заметим: достоверность коэффициентов на уровне m – $\mu^{(m)}\left(x^{(m)}\right) = 0$ при условии того, что допустимая область в (8) является пустым множеством, вычисляемые значения векторов $x^{(k+1)}$ в уравнении (4) противоречивы.

Другая задача поиска наиболее достоверных значений коэффициентов вектора $x^{(m)}$ заключается в следующем:

$$x^{(m)} = argmax\mu^{(m)}\left(x^{(m)}\right), \qquad (9)$$

$\mu^{(m)}\left(x^{(m)}\right)$ вычисляется согласно выражению (8), а по $x^{(m)}$ определяется безусловный максимум.

Результаты и обсуждение

Метод вычисления весов вершин в иерархической системе

Введем определения, необходимые для решения задач (8)–(9), которые будут использоваться при исследовании дерева целей и задач.

Будем считать, что процесс вычисления функций принадлежности вектора приоритетов какого-то уровня только на основании сведений о смежном вышерасположенном уровне является поуровневой декомпозицией.

Тогда реализация метода поуровневой декомпозиции для вычисления весов вершин уровня k(k=1, ..., m)– $X^{(k)}$, как нечетких множеств, будет состоять из выполнения следующих этапов.

Для первого уровня необходимо вычислить нечеткое множество:

$$X^{(1)} = \{(x^{(1)}, \mu^{(1)}(x^{(1)}) | x^{(1)} = \left(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \ldots, x_{n_1}^{(1)}\right), \\ 0 \le x_i^{(1)} \le 1, \\ \mu^{(1)}\left(x^{(1)}\right) = min\mu_{ij}^{(k)}\left(\mathrm{x}_{\mathrm{i}}^{(1)}\right), \\ i = 1, \ldots, n_1, \sum_i x_i^{(1)} = 1. \qquad (10)$$

Далее, для определения функции принадлежности нечеткого множества $X^{(s)}$, характеризующего цели уровня $s(2 \le s \le m)$ вычислим:

$$\mu^{(s)}\left(x^{(s)}\right) = maxmin\mu_{ij}^{(k)}\left(g_{ij}^{(k)}\right), \\ G^{(k)} \in \overline{G(k)}\ k = s-1, \ldots, 0, i = 1, \ldots, n_k, \\ j = 1, \ldots, n_{k+1}. \qquad (11)$$

Приведенные выше построения указывают на то, что решение задачи (8), для вычисления нечеткого множества $X^{(s)}$, с числом переменных $N = n_1 + n_1 \cdot n_2 + \cdots + n_{s-1} \cdot n_s$ эквивалентно решению (s–1) задач меньшей размерности(11), причем размерность каждой такой задачи есть $n_{k-1} \cdot n_k, k = \overline{1, s}(n_0 = 1)$. Итеративный процесс определения $\mu^{(s)}\left(x^{(s)}\right)$ заключается в последовательном вычислении нечетких множеств $X^{(2)}, \ldots, X^{(s)}$ следующим образом:

$$\mu^{(k+1)}\left(x^{(k+1)}\right) = \\ = \max\min\left\{min\mu_{ij}^{(k)}\left(g_{ij}^{(k)}\right), \mu^{(k)}\left(x^{(k)}\right)\right\}, \qquad (12)$$

в уравнении (12) переменными являются элементы подчиняющихся условиям (11) матриц $G^{(k)}$.

Следует заметить, что отличную от нуля степень принадлежности к нечеткому множеству

$X^{(s)}$ имеют векторы $x^{(s)} = (x_1^s, \dots, x_{n_s}^{(s)})$, которые подчиняются условию

$$\sum_i x_i^{(s)} = 1, x_i^{(s)} \geq 0, i = 1, \dots, n_s.$$

Введенное предположение о функциях принадлежности позволяет построить эффективную схему вычислений для решения задач (8), (9). При этом на каждом этапе решается задача меньшей размерности, чем при использовании стандартных методов нелинейного программирования [21].

Приведем пример, иллюстрирующий работу разработанного метода. Пусть необходимо решить задачу (8) для определения принадлежащих нечетким множествам весов дуг, функции принадлежности которых заданы в виде треугольников(унимодальные функции), то есть $X_i = \{A_i, C_i, B_i\}$, где A_i – левая граница, B_i– правая граница носителя нечеткого множества, а C_i – ядро этого множества– табл. 1 (i = 1,2,3).

Введем $[a_i(\propto), b_i(\propto)]$, которые будут представлять собой четкие множества α – уровня нечетких множеств X_i[14, 15].

Алгоритм решения сформулированной задачи заключается в монотонном уменьшении значения α от 1 до 0 до тех пор, пока не будет выполнено одно из равенств:

$$S_{min} = \sum_i a_i(\alpha) = 1 \cup S_{max} = \sum_i b_i(\alpha) = 1.$$

Решение этой задачи– $\propto_0$=0,93, S_{min} =0,9, $S_{max} = 1$. В таблице 2 помещены значения соответствующих четких множеств $[a_i(\propto_0); b_i(\propto_0)]$. В нашем примере решение задачи – веса дуг при $\propto=\propto_0$ – образуют правые границы отрезков $[a_i(\propto_0); b_i(\propto_0)]$– четких множеств уровня $\propto_0$ – $b_i(\propto_0)$ нечетких множеств $X_i = \{A_i, C_i, B_i\}$(i = 1, 2, 3).

Таблица 1

Нечеткие унимодальные множества $X_i = \{A_i, C_i, B_i\}$

i	1	2	3
$X_i = \{A_i, C_i, B_i\}$	{0,05, 0,2, 0,4}	{0,1, 0,3, 0,55}	{0,15, 0,4, 0,7}

Таблица 2

Четкие множества уровня $\propto_0$ нечетких множеств X_i

i	1	2	3
$[a_i(\propto_0); b_i(\propto_0)]$	[0,19; 0,21]	[0,29; 0,32]	[0,42; 0,47]

Заключение

Вычисление коэффициентов важности задач (объектов) в иерархической системе, решение которых будет способствовать достижению целей более высокого уровня, является одним из этапов анализа сложных систем: городских, строительных, экологических и др. Разработанный в статье подход позволит произвести обработку нечеткой экспертной информации без каких-либо огрублений, усреднений, упрощений, понижающих значимость исходных сведений. Разработан декомпозиционный метод решения оптимизационных задач большой размерности со сложной структурой ограничений.

Список литературы

1. Поспелов Г. С. Программно- целевое планирование и управление / Г. С. Поспелов, В. А. Ириков. – Москва : Советское радио, 1976. – 440 с.
2. Поспелов Г. С. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ / Г. С. Поспелов, В. А. Ириков, А. Е. Курилов. – Москва : Наука, 1985. – 424 с.
3. Saaty T. L. Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process / T. L. Saaty, L. G. Vargas. – Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000. – 333 p.
4. Saaty T. L. Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks/ T. L. Saaty, L. G. Vargas. – New York : Springer, 2006. – 278 p.
5. Saaty T. L. Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks / T. L. Saaty. – Pittsburgh, PA : RWS Publications, 2005. – 352 p.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий : пер. с англ. / Т. Саати. – Москва : Радио и связь. 1993. – 320 с.
7. Sanzhapov B. Kh. Decision support based on the interval relation / B. Kh. Sanzhapov, R. B. Sanzhapov//ARPN Journal of Engineering and applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, № 15. – P. 4601–4607.
8. Sanzhapov B. Kh. Decision support based on the interval relation / B. Kh. Sanzhapov, R. B. Sanzhapov // ARPN Journal of Engineering and applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, № 15. – P. 4601–4607.
9. Yao Y. Three-way decision and granular computing, International Journal of Approximate Reasonin / Y. Yao. – 2018. – Vol. 103. – P. 107–123.
10. Liu D. Generalized three-way decisions and special three-way decisions / D. Liu, D. Liang // Journal of Frontiers of Computer Science and Technology. – 2017. – Vol. 11. – P. 502–510.
11. Wang P. Three-way k-means: integrating k-means and three-way decision / P. Wang, H. Shi, X. Yang, J. Mi // International Journal of Machine Learning and Cybernetics. – 2019. – Vol. 10, № 10. – P. 2767–2777.
12. Afridi M. K. Variance based three-way clustering approaches for handling overlapping clustering / M. K. Afridi, N. Azam, J. Yao // International Journal of Approximate Reasoning. – 2020. – Vol. 118. – P. 47–63.
13. Оре О. Графы и их применение : пер. с англ. / О. Оре. – Москва : Мир. 1965. – 175 с.

14. Zadeh L. A. The Linguistic Approach and its Application to Decision Analysis / L. A. Zadeh // Directions in Large – Scale Systems. – New York : Plenum Press, 1976. – P. 335–361.
15. Zadeh, L. A. Similarity relations and fuzzy orderings / L. A. Zadeh // Inf. Sci. – 1971. – Vol. 3, № 2. – P. 177–200.
16. Wang Y. Assessing organizational vulnerability of nuclear power plants using AHP-fuzzy sets method / Y. Wang, H. Wei, J. Wen, J. He, P. Li // Annals of Nuclear Energy. – February 2025. – Vol. 211. – P. 110896.
17. Sumera N. Decision-making model for selecting products through online product reviews utilizing natural language processing techniques / N. Sumera, A. Shafiq, S. A. Butt, R. Tasneem, D. Pamucar, Z. C. Gonzalez // Neurocomputing. – January 2025. – Vol. 611. – P. 128593.
18. Janani K. Ensemble feature selection via CoCoSo method extended to interval-valued intuitionistic fuzzy environment / K. Janani, S. S. Mohanrasu, Ardak Kashkynbayev, R. Rakkiyappan // Mathematics and Computers in Simulation. – 2025. – Vol. 229, № C. – P. 50–77.
19. Bollaert H. A novel algorithm for fuzzy-rough rule induction / H. Bollaert, M. Palangetić, C. Cornelis, S. Greco, R. Słowiński // Information Sciences. – January 2025. – Vol. 686. – P. 121362.
20. Yao M. A deep fuzzy hierarchical system for nonlinear system modeling / M. Yao, T. Zhao, J. Cao, P. Li // Information Sciences. – 2025. – Vol. 686, issue C. – P. 121197.
21. Моисеев Н. Н. Методы оптимизации / Н. Н. Моисеев, Ю. П. Иванилов, Е. М. Столярова. – Москва : Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978.– 352 с.

Ссылка для цитирования:
Санжапов Б. Х. Унарные экспертные оценки в иерархических системах // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 111–115.

УДК 658.5
DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-115-120

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ, КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М. С. Бодня, А. Г. Ратьева, Г. Б. Абуова

Бодня Максим Сергеевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры пожарной безопасности и водопользования, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (988) 069-69-66; e-mail: bodnya@mail.ru;
Ратьева Анастасия Григорьевна, студент, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (999) 646-36-71; e-mail: gunina01@inbox.ru;
Абуова Галина Бекмуратовна, кандидат технических наук, декан факультета инженерных систем и пожарной безопасности, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 093-16-27; e-mail: isipb@aucu.ru

Безопасность на рабочем месте представляет собой ключевое направление производственного процесса. В то время как существуют общие статистические данные по снижению уровня производственного травматизма, специфические особенности каждой отдельной организации могут порождать дополнительные риски и нередко приводить к сокрытию несчастных случаев. В этой связи также увеличиваются требования к деятельности служб охраны труда и техники безопасности, а также к модернизации систем мониторинга и предупреждения несчастных случаев. Основная цель исследования заключается в разработке предложений по внедрению цифровых технологий, которые могли бы способствовать снижению числа производственных травм в строительной сфере. В работе рассматриваются современные инновационные решения, такие как системы интеллектуального видеонаблюдения, технологии дополненной и виртуальной реальности (AR/VR), носимые устройства и интернет вещей (IoT), наряду с их потенциалом для предотвращения несчастных случаев на производстве. Рекомендации по внедрению данных технологий смогут определить возможность и эффективность их использования в системе охраны труда.

Ключевые слова: *охрана труда, безопасность, инновации, цифровизация, Интернет вещей, искусственный интеллект, виртуальная реальность, дополненная реальность, носимые устройства.*

THE INTRODUCTION OF MODERN TECHNOLOGIES AS A TOOL TO REDUCE OCCUPATIONAL INJURIES IN THE CONSTRUCTION INDUSTR

M. S. Bodnya, A. G. Ratyeva, G. B. Abuova

Bodnya Maksim Sergeyevich, Associate Professor of Fire Safety and Water Management Department, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (988) 069-69-66; e-mail: bodnya@mail.ru;
Ratyeva Anastasiya Grigoryevna, student, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (999) 646-36-71; e-mail: gunina01@inbox.ru;