

Интеллектуальная поддержка адаптивного построения траектории выполнения проекта

А.В. Ломазов¹, В.А. Ломазов^{2,3}, Н.А. Климова⁴, С.В. Пономаренко⁴,
А.И. Семенякин⁴

¹Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва,

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

³Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина,

⁴Белгородский университет кооперации, экономики и права

Аннотация: Статья посвящена проблематике управления реализацией многосценарных многоэтапных проектов в условиях неопределенности. Предлагаемый подход основан на представлении модели проекта в виде сценарной сети. Разработанная нечеткая лингвистическая модель этапа проекта представляет собой набор лингвистических переменных, соответствующих показателям этапа и внешним факторам, влияющим на последующую реализацию проекта. Решающие правила выбора дуги перехода к следующему этапу построены в виде нечетких продукций, левые части которых являются нечеткими высказываниями относительно предпочтения возможных вариантов. Построенная процедура поддержки принятия решений основана на использовании алгоритма нечеткого вывода Мамдани, обладающего высокой интерпретируемостью. Предложенный подход позволяет обеспечить многосценарное планирование и адаптивность управления реализацией многоэтапных проектов.

Ключевые слова: многосценарные многоэтапные проекты, адаптивное управление проектами, сценарная сеть, поддержка принятия решений, лингвистическая переменная, нечеткий логический вывод.

Введение

В современных условиях, характеризующихся высоким уровнем нестабильности и непредсказуемостью условий реализации проектов, все большее значение приобретает механизм адаптивного управления долгосрочными многоэтапными проектами [1]. Такой механизм может обеспечить возможность гибкого реагирования на различные изменения. В наибольшей степени это касается социально-экономических проектов, для которых характерна значительная размытость понятий и закономерностей предметной области [2], однако эффективная реализация инновационных технологических проектов также требует корректировок в ходе реализации [3,4].

Цель статьи – развитие теоретического аппарата интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в адаптивном управлении проектами за счет агрегирования инструментариев сетевого сценарного моделирования и нечеткой лингвистической поддержки принятия решений по выбору траектории проекта. Сетевые модели [5,6] позволяют учитывать многосценарность, что обеспечивает возможность рассмотрения различных вариантов реализации (траекторий на сценарной сети) проекта. Комбинирование моделей и методов нечеткого лингвистического анализа Л. Заде [7] и теории поддержки принятия решений [8,9] позволяет использовать общепринятую (в рассматриваемой предметной области) терминологию при оценке показателей эффективности проекта и факторов внешней среды в момент принятия решений, а также при построении нечетких продукций, связывающих варианты решений и нечеткие высказывания об условиях, в которых они принимаются.

Сценарная сеть реализации проекта

Рассмотрим проект как последовательность комплексов мероприятий, каждый из которых представляет собой этап реализации проекта. При этом мы считаем, что по окончании каждого (кроме последнего) этапа можно выбрать последующий комплекс мер в зависимости от общих результатов текущего этапа и нескольких предыдущих этапов проекта, а также от комплекса внешних факторов, влияющих на последующую реализацию проекта.

Таким образом, проект можно описать как сеть сценариев (см. рис. 1), представляющую собой ориентированный граф без петель, контуров и параллельных дуг с одной вершиной, имеющей нулевую степень входа и называемой источником (network source) и с одной вершиной, имеющей нулевую степень выхода и называемой стоком (network sink).

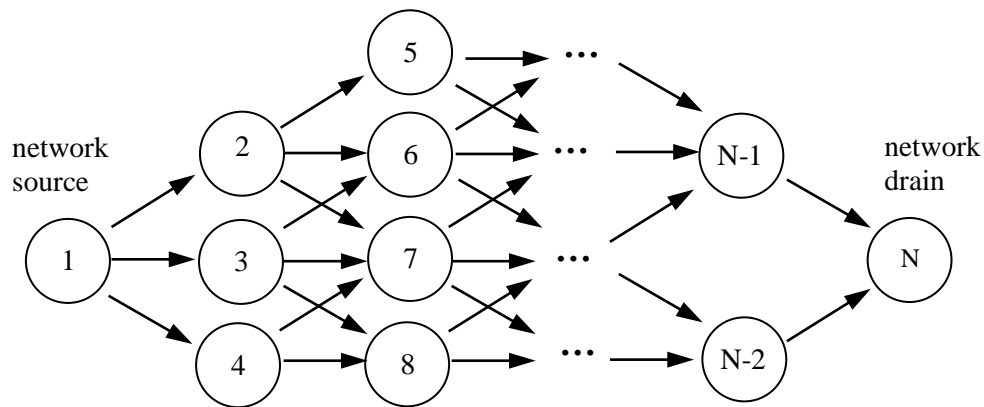


Рис.1. – Графическое представление сети сценариев проекта (пример)

В сети сценариев:

- вершины сети соответствуют комплексам мероприятий (этапам) проекта;
- дуги, соединяющие вершины сети, показывают последовательность выполнения комплексов мероприятий (этапов) проекта;
- источник сети соответствует начальному этапу;
- сток сети соответствует заключительному этапу.

Таким образом, траектория проекта – это путь от источника сети к стоку.

Нечеткое лингвистическое описание показателей проекта и внешних факторов

Рассмотрим систему текущих показателей эффективности проекта

$$IND = \langle Ind_{in}, i=1,2,\dots,I; n=1,2,\dots,N \rangle \quad (1)$$

и систему внешних факторов, влияющих на реализацию следующих этапов

$$FACT = \langle Fact_{jn}, j=1,2,\dots,J; n=1,2,\dots,N \rangle \quad (2)$$

где i – номер показателя, j – номер фактора, n – номер совокупности мероприятий, выполняемых на рассматриваемом этапе проекта.

Предполагается, что значения показателей и факторов получены в результате прямого измерения и/или экспертной оценки.

Далее, без ограничения общности, будем считать, что эти величины принимают значения в диапазоне от 0 до 1, чего всегда можно добиться, приведя эти величины к безразмерному виду, например, по формулам:

$$Ind'_{i,n} = Ind_{i,n} / \max Ind_{i,n}, \quad Fact'_{j,n} = Fact_{j,n} / \max Fact_{j,n} \quad (3)$$
$$i=1,2,\dots,I; j=1,2,\dots,J; n=1,2,\dots,N$$

где $\max Ind_{i,n}$, $\max Fact_{j,n}$ – максимально возможные значения показателей и факторов, а $Ind'_{i,n}$, $Fact'_{j,n}$ – безразмерные значения этих величин.

Однако использование числовых значений показателей проекта и внешних факторов не позволяет показать, насколько они значимы для последующей реализации проекта. Уровень значимости может быть определен экспертами на вербальном уровне с использованием термов *low*, *medium*, *high*. Таким образом, происходит переход от числовых характеристик $Ind_{i,n}$, $Fact_{j,n}$ из (1), (2) к соответствующим лингвистическим переменным $LingInd_{i,n}$, $LingFact_{j,n}$, формальное описание которых (в соответствии с [10]) имеет вид (4):

$$LingInd_{i,n} = \langle NameLingInd_{i,n}, Un, Tbase, G, MInd_{i,n} \rangle \quad (4)$$
$$LingFact_{j,n} = \langle NameLingFact_{j,n}, Un, Tbase, G, MFact_{j,n} \rangle$$
$$i=1,2,\dots,I; j=1,2,\dots,J; n=1,2,\dots,N$$

где $NameLingInd$ и $NameLingFact_{j,n}$ – имена лингвистических переменных, соответствующие наименованиям показателей и факторов; $Un = [0,1]$ – общее для всех построенных переменных универсальное множество, $Tbase = \{low, medium, high\}$ – общее базовое терм-множество, G – общее синтаксическое правило формирования множества термов T из термов базового терм-множества $Tbase$, а $MInd_{i,n}$ и $MFact_{j,n}$ – семантические правила, ставящие в соответствие термам нечеткие подмножества универсального множества Un . Функции принадлежности этих подмножеств могут быть, в частности, трапецевидного типа, как показано на рис.2.

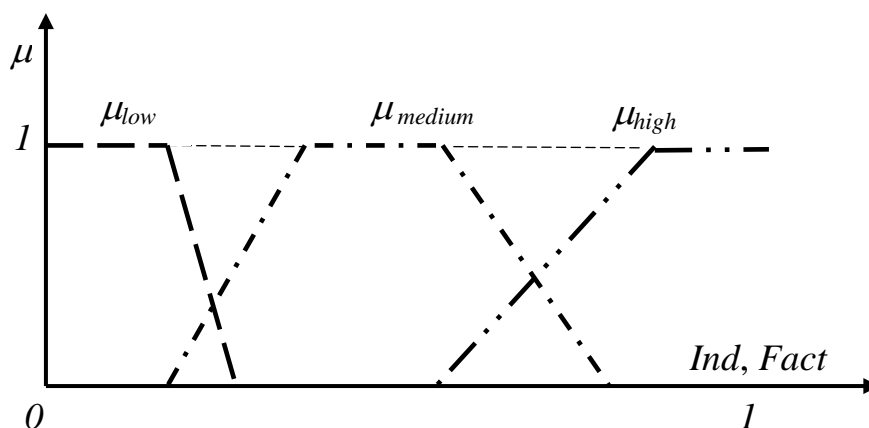


Рис. 2. – Графики функций принадлежности μ_{low} , μ_{medium} , μ_{high} , определяющие семантику термов низкий, средний, высокий *low*, *medium*, *high*

Модельное описание многосценарного проекта в виде сценарной сети и нечеткой лингвистической модели описания показателей завершенных стадий проекта, а также факторов внешней среды позволяет построить решающие правила и процедуру выбора последующего множества мероприятий после завершения очередного этапа, которая является основным результатом работы.

Решающие правила выбора последующего комплекса мероприятий

В дополнение к рассмотренным ранее показателям *IND* и факторам *FACT* построим интегральные показатели *Ind*, *Fact*, которые в целом отражают результат реализации очередного этапа проекта и прогнозируемые внешние условия для его последующей реализации. Будем считать, что числовые значения *Ind*, *Fact* также находятся в диапазоне $[0,1]$. Отметим, что значения интегральных показателей не могут быть непосредственно измерены, и для их определения необходимо выполнить вычислительные процедуры. Широко используемые для расчета интегральных показателей формулы средневзвешенного значения [11] имеют существенный недостаток, связанный со сложностью оценки погрешности определения весовых коэффициентов экспертами [12]. Поэтому, в соответствии с общей

методологией нечеткого лингвистического анализа, построим лингвистические переменные $LingInd$, $LingFact$, соответствующие Ind , $Fact$ (так же, как это было сделано для $Ind_{i,n}$, $Fact_{j,n}$ и представлено отношениями (4)). Затем построим зависимости между частными показателями (факторами) $Ind_{i,n}$, $Fact_{j,n}$ и интегральными показателями (факторами) Ind , $Fact$ в виде нечетких продукционных правил (5), (6):

$$if (FInd_{low}(Ind_{i,n}, i=1,2,\dots,I; n=1,2,\dots,N)) then (Ind - low) \quad (5)$$

$$if (FInd_{medium}(Ind_{i,n}, i=1,2,\dots,I; n=1,2,\dots,N)) then (Ind - medium)$$

$$if (FInd_{high}(Ind_{i,n}, i=1,2,\dots,I; n=1,2,\dots,N)) then (Ind - high)$$

$$if (FFact_{low}(Fact_{j,n}, j=1,2,\dots,J; n=1,2,\dots,N)) then (Fact - low) \quad (6)$$

$$if (FFact_{medium}(Fact_{j,n}, j=1,2,\dots,J; n=1,2,\dots,N)) then (Fact - medium)$$

$$if (FFact_{high}(Fact_{j,n}, j=1,2,\dots,J; n=1,2,\dots,N)) then (Fact - high)$$

где $FInd_{low}$, $FInd_{medium}$, $FInd_{high}$, $FFact_{low}$, $FFact_{medium}$, $FFact_{high}$ – are нечеткие пропозициональные формулы, элементами которых являются нечеткие высказывания относительно соответствия числовых значений показателей Ind_{in} и факторов $Fact_{jn}$ термам из множества T .

В рамках предложенного подхода прямое определение числовых значений может быть реализовано с помощью процедуры нечеткого вывода (например, с помощью алгоритма Мамдани [13], обладающего высоким уровнем интерпретируемости, что важно при обосновании решений).

Будем считать, что каждый из этапов проекта может иметь только три варианта своего продолжения:

- оптимистический вариант, предполагающий хорошие результаты реализации мероприятий рассматриваемого этапа и благоприятные условия для дальнейшей реализации проекта;

- базовый вариант, предполагающий удовлетворительные результаты реализации мероприятий рассматриваемого этапа и нормальные условия для дальнейшей реализации проекта;

- пессимистический вариант, предполагающий не совсем удовлетворительные результаты реализации мероприятий рассматриваемого этапа и неблагоприятные условия для дальнейшей реализации проекта.

Решающие правила выбора варианта продолжения после k -го этапа реализации проекта представим в виде нечетких продукционных правил (7):

$$\begin{aligned} & \text{if } (F_{k,pessim}(Ind_p, Fact_p, p=1,2,\dots,k) \text{ then } (Solution_k - pessimistic) & (7) \\ & \text{if } (F_{k,base}(Ind_p, Fact_p, p=1,2,\dots,k) \text{ then } (Solution_k - base) \\ & \text{if } (F_{k,optim}(Ind_p, Fact_p, p=1,2,\dots,k) \text{ then } (Solution_k - optimistic), \\ & k \in \{1,2,\dots,N\} \end{aligned}$$

где $F_{k,pessim}$, $F_{k,base}$, $F_{k,optim}$ – нечеткие пропозициональные формулы, элементами которых являются нечеткие высказывания о соответствии числовых значений показателей Ind_{in} и факторов $Fact_{jn}$ значениям термов из множества T . Частный вид этих формул зависит от специфики предметной области проекта и определяется экспертами.

Процедура поддержки принятия решения по выбору следующего комплекса мероприятий

Для выбора варианта продолжения проекта на основе системы продукционных решающих правил была разработана итерационная процедура, основанная на использовании алгоритма Мамдани без выполнения последнего шага (дефаззификации). Схема процедуры представлена на рисунке 3.

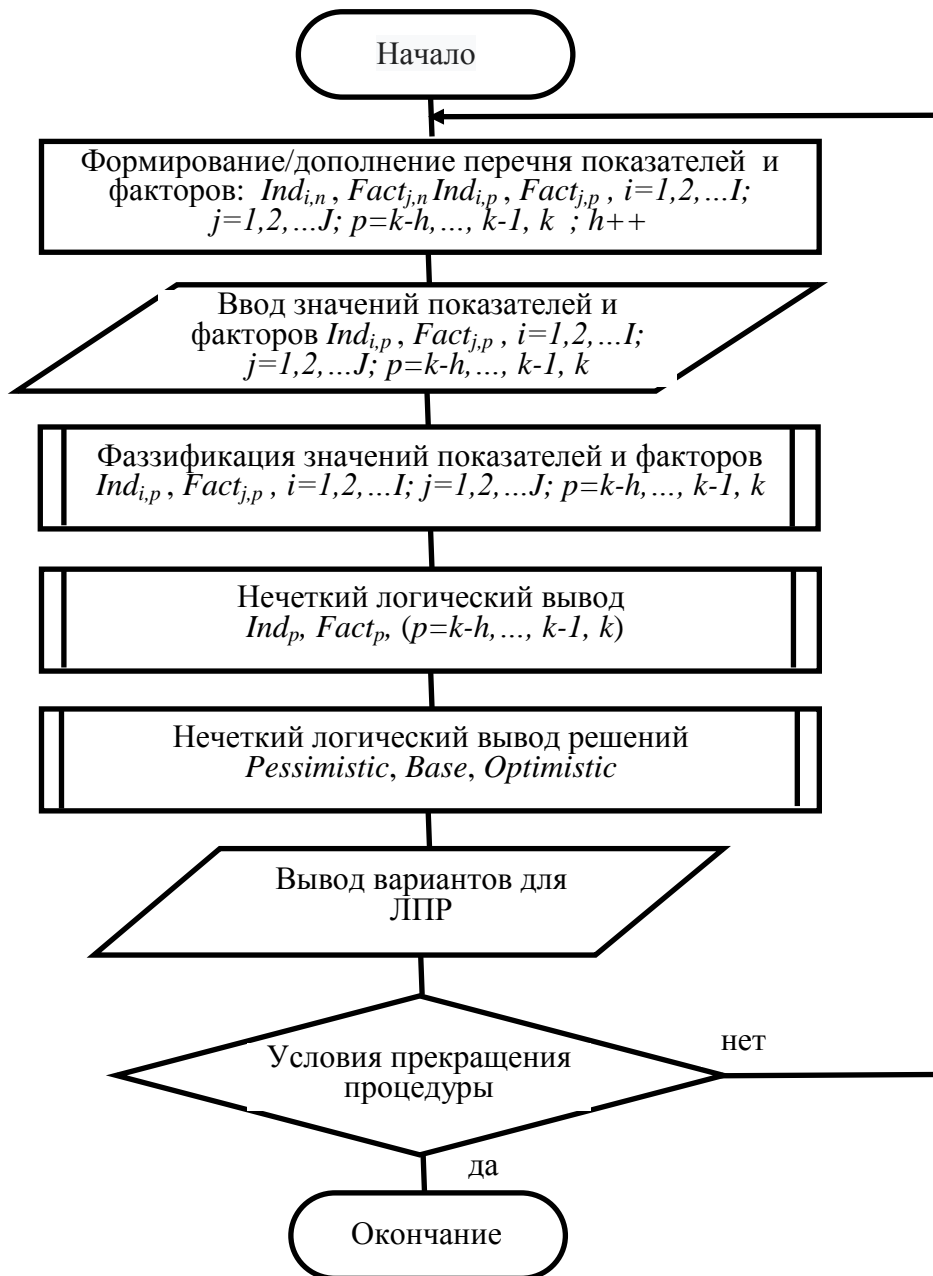


Рис.3. – Итерационная процедура определения рекомендуемых вариантов продолжения проекта

Итеративный характер процедуры связан с желанием использовать, чтобы найти решение, не всю историю реализации проекта ($Ind_p, Fact_p, p=1,2,\dots,k$), а только ее часть ($p=k-h,\dots, k-1, k$), что уменьшает накопление ошибок. Процедура завершается лицом, принимающим решение (если

результат его удовлетворяет) или при достижении максимально возможной глубины памяти ($h = k-1$).

Окончательный выбор дуги перехода (реализуемый в рамках адаптивного построения траектории выполнения проекта), а, следовательно, и выбор комплекса мероприятий, выполняемых на следующем этапе проекта, производится ЛПР, исходя из результатов процедуры и личных предпочтений.

Заключение

Адаптивное управление проектом (позволяющее гибко реагировать на возможные изменения внешних факторов с учетом полученных ранее результатов) требует инструментов поддержки принятия решений по выбору варианта продолжения на каждом этапе проекта. Предлагаемый в статье подход основан на представлении проекта в виде сценарной сети, узлы которой соответствуют наборам мероприятий, выполняемых/подлежащих выполнению на рассматриваемой стадии проекта. В рамках поддержки управленческих решений при адаптивном управлении проектами в работе построены:

- набор нечетких лингвистических переменных, соответствующих показателям проекта и внешним факторам на рассматриваемой стадии проекта;

- система нечеткого продуцирования правила, связывающая лингвистически описанные показатели/факторы с интегральными (в пределах рассматриваемого этапа) показателями/факторами;

- система решающих правил выбора варианта продолжения реализации проекта на основе лингвистических значений интегральных показателей/факторов предыдущих этапов;

- итерационная процедура выбора варианта продолжения проекта, основанная на использовании алгоритма нечеткого вывода Мамдани.

Предложенный подход позволяет обеспечить многосценарное планирование и адаптивность управления реализацией многоэтапных проектов. Предварительные результаты применения исследовательского прототипа интеллектуальной экспертной системы для анализа результатов этапов и адаптивного построения траектории проекта могут свидетельствовать об эффективности предложенного подхода. Одним из направлений дальнейшего развития и использования подхода может стать его применение при решении задач синтеза многосценарных проектов (в сочетании с эволюционными методами выбора параметров [14]).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 24-21-00059.

Литература

1. Pellerin R., Perrier N. A review of methods, techniques and tools for project planning and control// Int. J. Prod. Res. 2019. 57, 2160-2178.
2. Ломазов А.В., Иващук О.А., Ломазов В.А., Нестерова Е.В. Информационно-аналитическая система мониторинга и анализа выполнения региональных социально-экономических программ // Инженерный вестник Дона. 2021. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6939.
3. Чернышев Ю.О., Требухин А.В., Панасенко П.А., Белоножко Д.Г. Существующие способы формализации нечеткостей в транспортных процессах // Инженерный вестник Дона. 2021. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7108.
4. Вовченко А.И., Ломазов В.А. Автоматизация оценки и прогнозирования технического состояния железнодорожных колесных пар // Информационные системы и технологии. 2010. № 4(61). С. 95-99.
5. Latora V., Nicosia V., Russo G. Complex networks: principles, methods and applications. Cambridge: Cambridge University Press. 2017. 594 p.

6. Diestel R. Graph Theory, 5th Edition. Springer-Verlag GmbH, Germany. 2017. 448 p.
 7. Zadeh L.A. Computing with words: principal concepts and ideas. Studies in fuzziness and soft computing. Vol.277. Springer, Germany. 2012. 142 p.
 8. Encyclopedia of decision-making and decision support technologies / Ed. by F.Adam, P.Humphreys. Vol.1, 2. IGI Global, USA. 2008. 1019 p.
 9. Тимохин М.Ю., Шаранин В.Ю. Искусственный интеллект и теория принятия решений: современные тенденции// Инженерный вестник Дона. 2023. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8746.
 10. Monte-Serrat D.M., Cattani C. The natural language for artificial intelligence (cognitive data science in sustainable computing). AP-Elsevier. 2020. 239 p.
 11. Saaty T.L. Relative measurement and its generalization in decision-making: why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors – the analytic hierarchy/network process// Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics. 2008. 102 (2). Pp. 251-318.
 12. Дмитриев М.Г., Ломазов В.А. Оценка чувствительности линейной свертки частных критериев при экспертном определении весовых коэффициентов // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 1. С. 52-56.
 13. Mamdani, E.H. Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant//Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. 1974. 121(12). Pp. 1585-1588.
 14. Petrosov D.A., Lomazov V.A., Dobrunova A.I., Matorin S.I., Lomazova V.I. Evolutionary synthesis of large discrete systems with dynamic structure // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Vol. 12. No 3. pp. 2971-2981.
-

References

1. Pellerin R., Perrier N. *Int. J. Prod. Res.* 2019. 57, pp. 2160-2178.
 2. Lomazov A.V., Ivashchuk O.A., Lomazov V.A., Nesterova Ye.V. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2021. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6939.
 3. Chernyshev YU.O., Trebukhin A.V., Panasenko P.A., Belonozhko D.G. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2021. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7108.
 4. Vovchenko A.I., Lomazov V.A. *Informatsionnyye sistemy i tekhnologii*. 2010. № 4(61). Pp. 95-99.
 5. Latora V., Nicosia V., Russo G. *Complex networks: principles, methods and applications*. Cambridge University Press, UK. 2017. 594 p.
 6. Diestel R. *Graph Theory*, 5th edition. Springer-Verlag GmbH, Germany. 2017. 448 p.
 7. Zadeh L.A. *Computing with words: principal concepts and ideas. Studies in fuzziness and soft computing*. Vol. 277. Springer, Germany. 2012. 142 p.
 8. *Encyclopedia of decision making and decision support technologies* / Ed. by F.Adam, P.Humphreys. Vol.1, 2. IGI Global, USA. 2008. 1019 p.
 9. Timokhin M.YU., Sharanin V.YU. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2023. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8746.
 10. Monte-Serrat D.M., Cattani C. *The natural language for artificial intelligence (cognitive data science in sustainable computing)*. AP-Elsevier. 2020. 239 p.
 11. Saaty T.L. *Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics*. 2008. 102 (2). Pp. 251-318.
 12. Dmitriyev M.G., Lomazov V.A. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy*. 2014. № 1. Pp. 52-56.
-



13. Mamdani, E.H. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. 1974. 121(12). Pp. 1585-1588.

14. Petrosov D.A., Lomazov V.A., Dobrunova A.I., Matorin S.I., Lomazova V.I. Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Vol. 12. No 3. Pp. 2971-2981.

Дата поступления: 9.12.2023

Дата публикации: 14.01.2024