

УДК 51-7

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ISM И MICMAC ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ФАКТОРОВ

Медведев В.А.¹, студент гр. ПМИ-231, II курс, Миллер В.В.², студент гр. ПМИ-231, II курс

Научный руководитель: Каган Е.С.¹, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой прикладной математики

Кемеровский государственный университет
г. Кемерово

Актуальность

При исследовании устойчивости различных процессов и формировании концептуальной основы для ее понимания нельзя игнорировать необходимость учета структурных изменений в исследуемых процессах, являющихся следствием различных вызовов. Такие проблемы могут возникать при исследовании устойчивости цепочек поставок в различных отраслях, стрессоустойчивости деятельности угольных и нефтяных компаний в периоды кризиса и т.п.

В этой связи необходимо своевременно распознать сбои и изменения, которые могут произойти в исследуемом процессе и адаптироваться к ним, путем выбора наилучшей стратегии, сохраняющей устойчивое функционирование исследуемого процесса.

Однако, при выборе той или иной стратегии, недостаточно только знания факторов, влияющих на успешность ее реализации, необходимо иметь информацию о прямых и косвенных связях факторов, их структуре и зависимости друг от друга. Это дает возможность расставлять приоритеты в отношении факторов, осуществляя отбор наиболее специфических для каждой стратегии.

Развитие вычислительной техники позволило внедрять в процессы принятия решений сложные математические алгоритмы.

Для решения описанных выше задач, в последние годы нашли широкое применение такие методы многокритериального принятия решения как ISM и MICMAC.

Методология ISM и MICMAC

ISM (interpretive structural modelling) – интерпретационное структурное моделирование используется для понимания взаимосвязей между отобранной группой показателей, разбиение этих связей на прямые и косвенные с целью дальнейшего их представления в виде многоуровневой иерархической или сетевой модели, отражающей движущие и зависимые факторы.

Группа факторов формируется путем интенсивного изучения литературы, касающейся этой проблемы. Чаще всего выбираются высоко рейтинговые (Q1 и Q2) журналы по данной тематики. Далее отобранная группа факторов корректируется группой экспертов.

Методология ISM включает несколько этапов [1-9]:

Используя данные экспертного опроса, осуществляется построение структурной матрицы взаимодействий (SSIM-structural self- interaction matrix). Для ее построения для каждой i -ой строки производится сопоставление i -ой переменной, со всеми остальными факторами данной строки по правилу:

V: Фактор i влияет на фактор j ;

A: фактор j влияет на фактор i ;

X: Факторы i и j взаимосвязаны;

O: связь между факторами i и j отсутствует.

Построение начальной бинарной матрицы достижимости IRM путем замены элементов матрицы SSIM на 0 и 1 по правилу:

если значение матрицы $SSIM_{i,j} = V$; тогда двоичное значение в IRM для $IRM_{i,j} = 1$, а для $IRM_{j,i} = 0$;

если значение матрицы $SSIM_{i,j} = A$; тогда двоичное значение в IRM для $IRM_{i,j} = 0$, а для $IRM_{j,i} = 1$;

если значение матрицы $SSIM_{i,j} = X$; тогда двоичное значение в IRM для $IRM_{i,j} = 1$, а для $IRM_{j,i} = 1$;

если значение матрицы $SSIM_{i,j} = O$; тогда двоичное значение в IRM для $IRM_{i,j} = 0$, а для $IRM_{j,i} = 0$;

После того как построена бинарная матрица IRM, она проверяется с позиции выполнения условия транзитивности. Если определяется, что для каких-то элементов это условие нарушается, то исходная матрица IRM по этим элементам корректируется.

Матрица IRM отражает только прямые связи между факторами. Чтобы получить матрицу FRM, отражающую все существующие косвенные связи между факторами, необходимо построить транзитивное замыкание отношения, описываемого матрицей IRM. $FRM = IRM^n$ [10].

Таким образом мы можем получить координаты матрицы FRM: до цикловых итераций $FRM = IRM$

$$FRM_{i,j} = FRM_{i,j} \cup FRM_{i,k} \cap FRM_{k,j} \quad k = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n$$

Следующий этап - этап разделения группы факторов на уровни достижимости с целью дальнейшего ее представления в виде иерархической структуры. На этом этапе для каждого фактора определяется набор достижимости и набор предшествующих ему факторов. Набор достижимости для рассматриваемого фактора составляют факторы, на которые он влияет. Предшествующий набор составляют факторы, влияющие на него. После того как для i -ого фактора определены эти наборы, определяется набор пересечений. Те факторы, для которых на первой итерации набор достижимости совпадает с набором пересечений будут составлять первый наивысший уровень иерархической модели. Данный

процесс является итерационным. На следующей итерации факторы первого уровня исключаются из рассмотрения и процесс повторяется. Факторы с одинаковой достижимостью и набором пересечений объединяются в один уровень. Процесс продолжается до тех пор, пока все факторы не будут распределены по уровням.

После того как произведено разделение факторов по уровням может быть построен, соответствующий им оргграф ISM, из которого удаляются все косвенные связи.

MICMAC (cross-impact matrix multiplication applied to classification) классификационная матрица перекрестного влияния и зависимости факторов [11-12]. Исследуемую группу факторов изображают в виде MICMAC графика, где ось абсцисс отражает «зависимость», ось ординат «влияние». Центр координат – это точка с координатами $(k/2; k/2)$, где k - количество факторов. Таким образом координатная плоскость разбивается на четыре квадранта, характеризующие четыре группы факторов:

Автономные (левый нижний квадрант, зона I). Это та группа факторов, которые обладают и слабым влиянием на другие факторы, и слабой зависимостью от остальных факторов.

Зависимые (правый нижний квадрант, зона II). Факторы, вошедшие в эту группу, имеют сильную зависимость от остальных, но уровень их влияния на другие факторы является несущественным.

Взаимосвязанные (верхний правый квадрант, зона III). Эту группу факторов составляют факторы с одной стороны сильно зависимые от некоторой группы факторов, с другой стороны способные оказывать сильное влияние на другие факторы.

Независимые факторы (верхний левый квадрант, зона IV): оказывающие высокое влияние на остальные факторы, при этом слабо зависящие от остальных.

Процедуры ISM и MICMAC были реализованы в виде программы на Python, кроссплатформенный пользовательский интерфейс разработан с применением библиотеки Tkinter.

Пример

Рассмотрим на конкретном примере этапы проведения процедур ISM и MICMAC. Пусть в результате решение некоторой проблемы, проведенного обзора литературы и опроса экспертов была отобрана группа из 10 факторов.

На рисунке 1 представлено главное меню интерфейса программы. На рисунках 2-6 представлены результаты основных этапов метода ISM: структурной матрицы взаимодействия SSIM, начальной бинарной матрицы достижимости IRM, окончательной матрицы достижимости FRM, результат разбиения факторов на уровни и оргграф ISM соответственно.

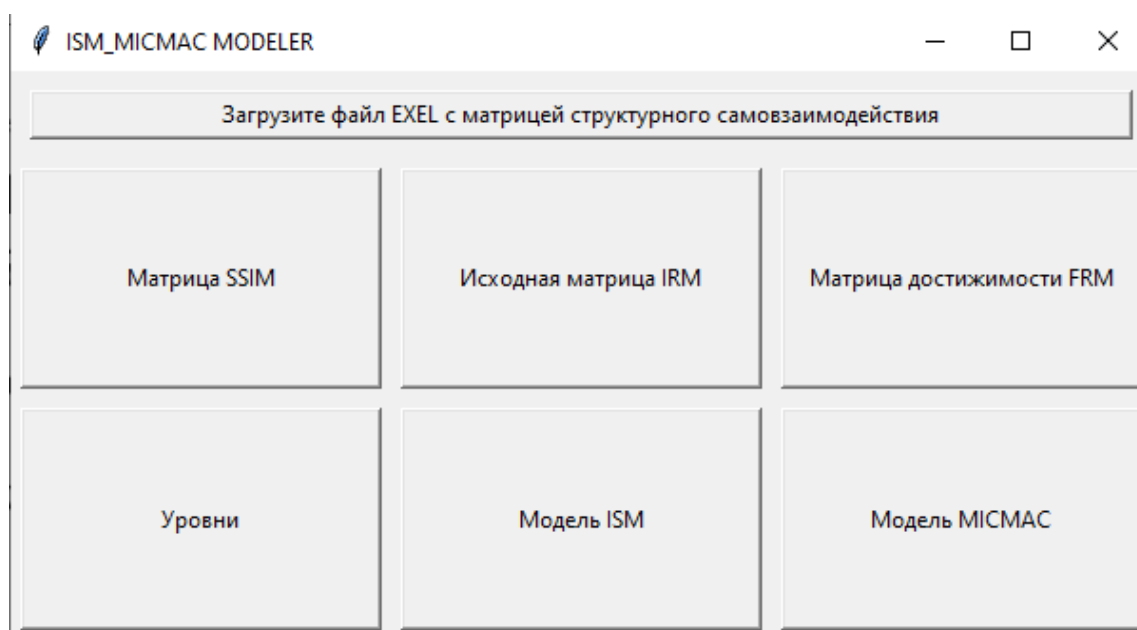


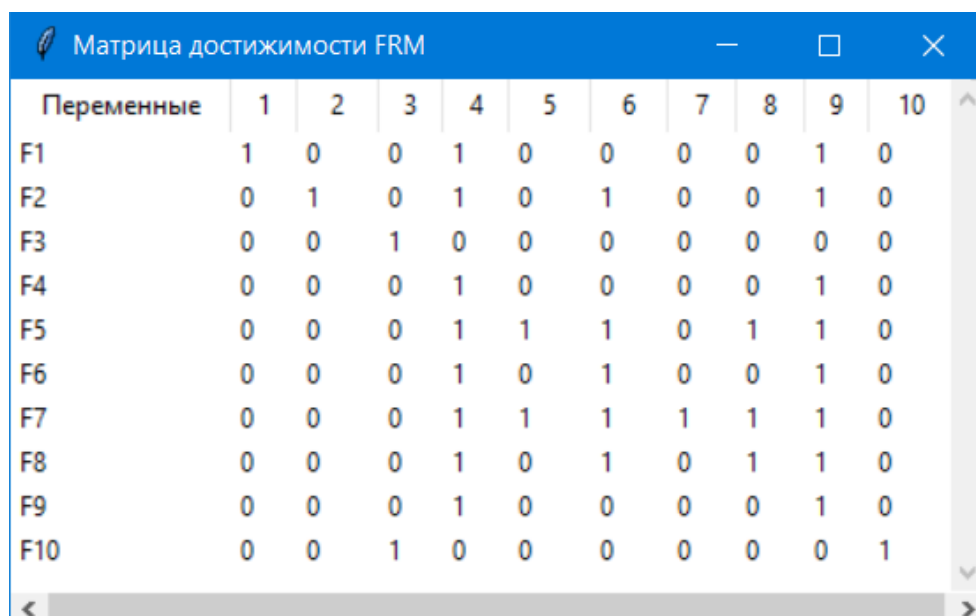
Рис. 1. Интерфейс главного меню программы

Переменные	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F1	nan	O	O	V	O	O	O	O	O	O
F2	nan	nan	O	O	O	V	O	O	V	O
F3	nan	nan	nan	O	O	O	O	O	O	A
F4	nan	nan	nan	nan	O	O	O	O	X	O
F5	nan	nan	nan	nan	nan	O	A	V	V	O
F6	nan	nan	nan	nan	nan	nan	O	A	V	O
F7	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	O	O	O
F8	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	V	O
F9	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	O
F10	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan

Рис. 2. Структурная матрица взаимодействия SSIM

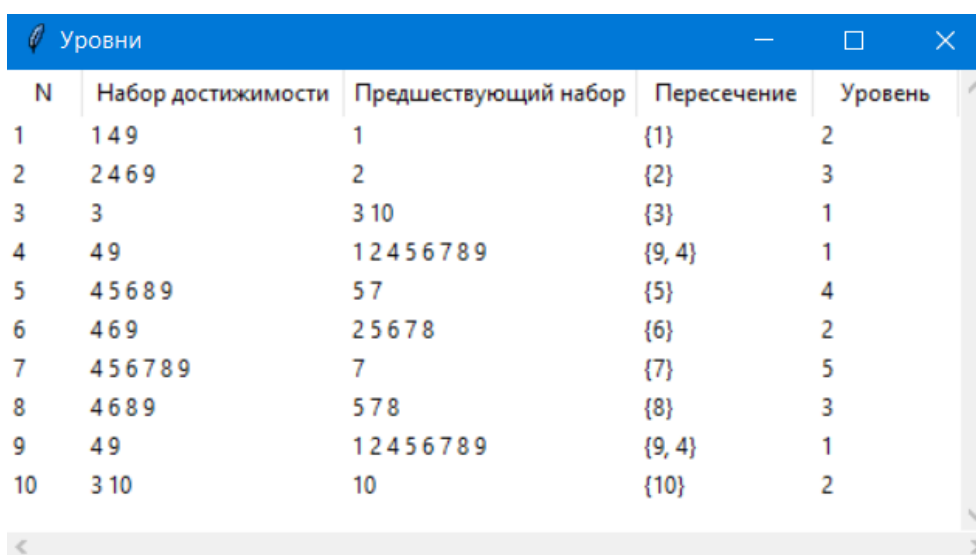
Переменные	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
F2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
F3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
F4	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
F5	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
F6	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
F7	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
F8	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
F9	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
F10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 3. Начальная бинарная матрица достижимости IRM



Переменные	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
F2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
F3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
F4	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
F5	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0
F6	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
F7	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
F8	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0
F9	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
F10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 4. Окончательная матрица достижимости FRM



N	Набор достижимости	Предшествующий набор	Пересечение	Уровень
1	1 4 9	1	{1}	2
2	2 4 6 9	2	{2}	3
3	3	3 10	{3}	1
4	4 9	1 2 4 5 6 7 8 9	{9, 4}	1
5	4 5 6 8 9	5 7	{5}	4
6	4 6 9	2 5 6 7 8	{6}	2
7	4 5 6 7 8 9	7	{7}	5
8	4 6 8 9	5 7 8	{8}	3
9	4 9	1 2 4 5 6 7 8 9	{9, 4}	1
10	3 10	10	{10}	2

Рис. 5. Разбиение факторов по уровням

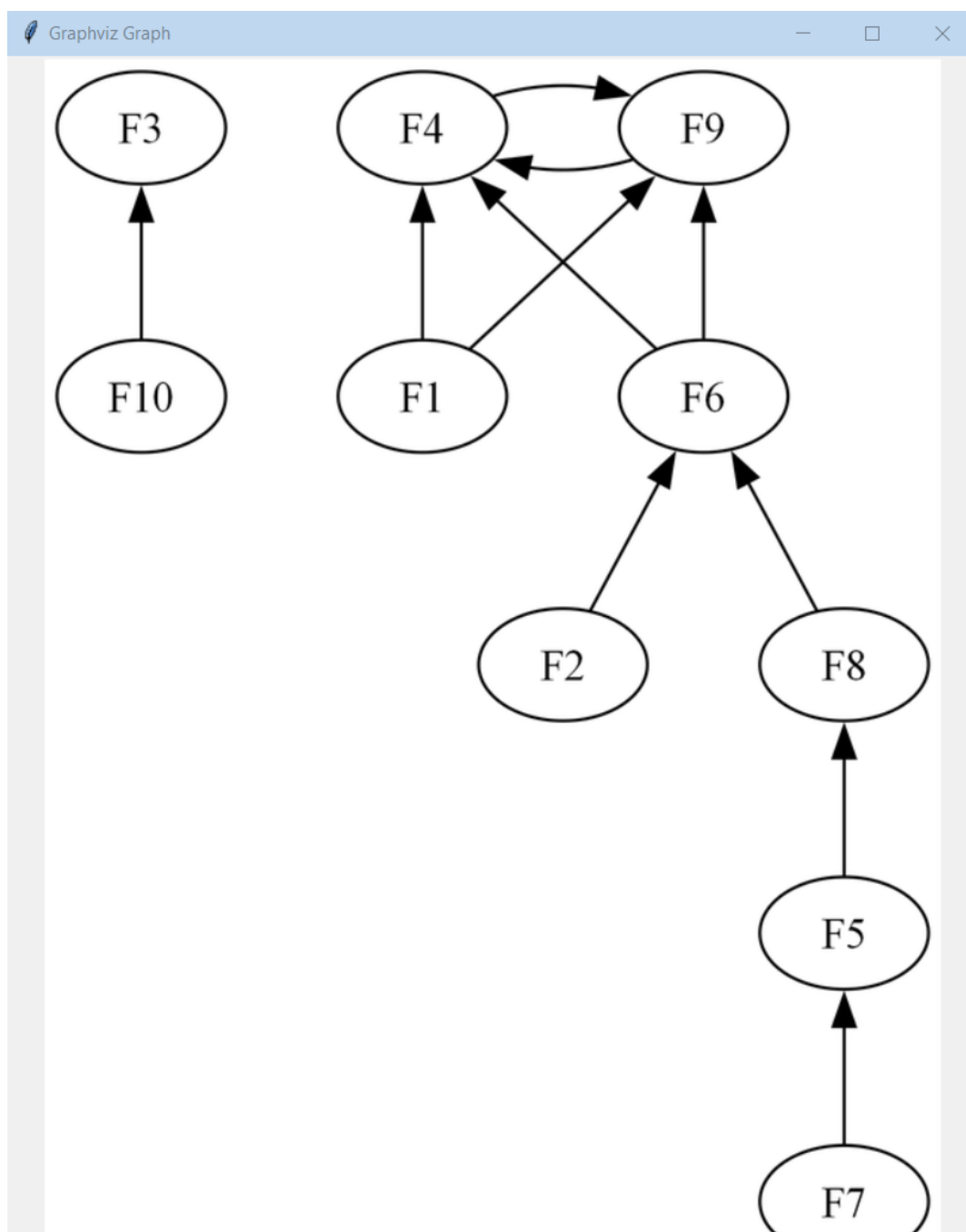


Рис. 6. Орграф ISM

Таким образом, исследуемая группа факторов была представлена в виде 5 - уровневой структуры. Факторы F3 и F10 образуют собственную иерархию.

На рисунке 7 представлены результаты графического разбиения исходной группы переменных на 4 кластера с помощью МІСМАС. Фактор F7 является движущей силой (независимым) и характеризуется высоким влиянием и низкой зависимостью. Факторы F4 и F9 характеризуются высокой зависимостью и низким влиянием. В III зону (взаимосвязанные факторы) ни один из группы факторов не попал.

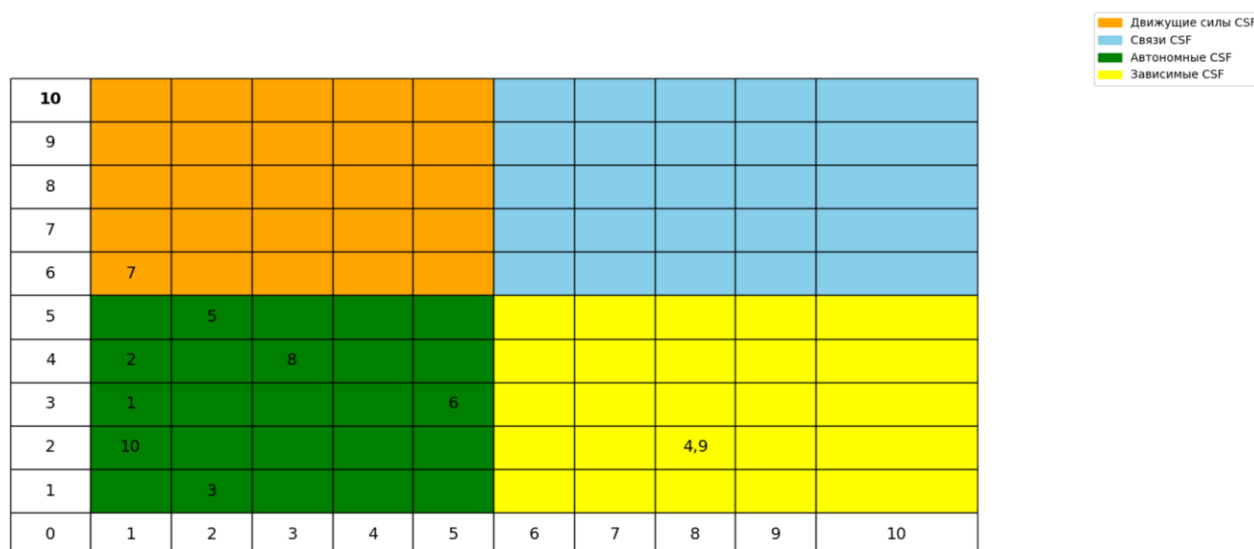


Рис. 7. Модель MICMAC

Заключение

Результаты ISM и MICMAC позволят исследователям выбрать наилучшую стратегию для решения поставленной перед ними задачи.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ "Разработка концептуальных подходов к обеспечению технологического суверенитета российской угольной промышленности на основе соуправления цепочками создания стоимости" - № 25-28-01232.

Список литературы

1. Али Р., Рухолла Б. Моделирование факторов, влияющих на функционирование сетей знаний //Форсайт. – 2018. – Т. 12. – №. 1. – С. 56-67.
2. Калиновская И. Н. Определение ядра компетенции hr-специалистов, траектории их профессионального роста на основе интерпретационного структурного моделирования //Социально-трудовые исследования. – 2022. – №. 4 (49). – С. 162-172.
3. Miruthu Bashini R., Suresh M. Modelling the ergonomics factors affecting the work system in hospital: an ISM approach //Int J Pure Appl Math. – 2018. – Т. 119. – №. 7. – С. 183-198.
4. Kumar R., Goel P. Exploring the domain of interpretive structural modelling (ISM) for sustainable future panorama: a bibliometric and content analysis //Archives of Computational Methods in Engineering. – 2022. – Т. 29. – №. 5. – С. 2781-2810.
5. Menon S., Suresh M. Total interpretive structural modelling: evolution and applications //Innovative Data Communication Technologies and Application: ICIDCA 2019. – Springer International Publishing, 2020. – С. 257-265.
6. Janssen M. et al. Trustworthiness of digital government services: deriving a comprehensive theory through interpretive structural modelling //Digital Government and Public Management. – 2021. – С. 15-39.

7. Alawamleh M. et al. Interpretive structural modelling of organizational innovation factors: An emerging market perspective //Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2023. – Т. 9. – №. 2. – С. 100067.
8. Singh S., Dhir S. Modified total interpretive structural modelling of innovation implementation antecedents //International Journal of Productivity and Performance Management. – 2022. – Т. 71. – №. 4. – С. 1515-1536.
9. Piya S., Shamsuzzoha A., Khadem M. An approach for analysing supply chain complexity drivers through interpretive structural modelling //International Journal of Logistics Research and Applications. – 2020. – Т. 23. – №. 4. – С. 311-336.
10. Кормен, Т. Х. Алгоритмы. Построение и анализ / Т. Х. Кормен, Ч. Е. Лейзерсон, Р. Л. Ривест, К. Штайн ; пер. с англ. — Москва : Вильямс, 2019. — 1328 с.
11. Arantes A., Ferreira L. M. D. F. Development of delay mitigation measures in construction projects: A combined interpretative structural modeling and MICMAC analysis approach //Production Planning & Control. – 2024. – Т. 35. – №. 10. – С. 1164-1179.
12. Barati A. A. et al. Determining key agricultural strategic factors using AHP-MICMAC //Sustainability. – 2019. – Т. 11. – №. 14. – С. 3947.