

9. Горбатенко Д. С. Методические основы создания многофакторных регрессионных моделей аварийности на автомобильных дорогах / Д. С. Горбатенко, А. И. Рябчинский // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2007. – № 2 (9). – С. 90–95.
10. Домнина С. В. Инновационная составляющая в системе менеджмента качества автомобильных дорог / С. В. Домнина, Е. В. Савоскина, О. А. Гужова // International Journal of Advanced Studies. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 86–109.
11. Караулова А. В. Оценка степени нелинейности парных квазилинейных регрессий на примере моделирования грузооборота железнодорожного транспорта России / А. В. Караулова, М. П. Базилевский // Прикладная математика: современные проблемы математики, информатики и моделирования : материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – 2020. – С. 61–66.
12. Носков С. И. Реализация конкурса регрессионных моделей с применением критерия согласованности поведения / С. И. Носков // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. – 2021. – № 2. – С. 153–160.
13. Носков С. И. Диалоговая система реализации «конкурса» регрессионных зависимостей / С. И. Носков, Н. А. Потороченко // Управляющие системы и машины. – 1992. – № 2–4. – С. 111–116.
14. Носков С. И. Анализ регрессионной модели грузооборота железнодорожного транспорта / С. И. Носков, И. П. Врублевский // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 1 (79). – С. 86–90.
15. Носков С. И. Математическая модель оценки безопасности перевозочного процесса на региональном уровне / С. И. Носков, В. А. Оленцевич, М. П. Базилевский // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2014. – Т. 1. – С. 537–542.
16. Официальный портал Федеральной службы государственной статистики. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 23.09.2022), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
17. Витрина статистических данных статистики. – Режим доступа: <https://showdata.gks.ru/finder> (дата обращения: 23.09.2022), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
18. Официальный портал Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС). – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения: 23.09.2022), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
19. Интернет-портал статистики STATISTA. – Режим доступа: <https://www.statista.com/> (дата обращения: 26.09.2022), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022616291, Российская Федерация. Программа построения линейных многофакторных регрессионных моделей с заданными характеристиками: № 2022615538: заявл. 29.03.2022; опубл. 18.04.2022 / С. И. Носков, Д. В. Пашков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».
21. Носков С. И. Применение функции риска для модельного описания колебания цен на рынке недвижимости / С. И. Носков, А. А. Хоняков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 3 (37). – С. 77–82.
22. Носков С. И. Применение метода максимальной согласованности для построения многофакторной регрессионной модели ввода жилья на региональном уровне / С. И. Носков, Ю. А. Бычков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 2 (40). – С. 141–145.

© С. И. Носков, Н. И. Глухов, Т. К. Кириллова, Е. С. Попов

Ссылка для цитирования:

Носков С. И., Глухов Н. И., Кириллова Т. К., Попов Е. С. Математическая модель динамики дорожного строительства в Российской Федерации // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 4 (42). С. 95–99.

УДК 519.688
DOI 10.52684/2312-3702-2022-42-4-99-104

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА РАННЕЙ СТАДИИ АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

Б. Х. Санжапов, Р. Б. Санжапов, К. В. Катеринин

Санжапов Булат Хизбуллович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: 8 (844) 96-99-29; e-mail: sbkh@mail.ru;

Санжапов Ринат Булатович, кандидат технических наук, разработчик информационных систем, ООО «Озон Технологии», г. Москва, Российская Федерация, тел.: 8 (8442) 96-99-29; e-mail: rinatsan-zharov5310@gmail.com;

Катеринин Константин Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: 8 (8442) 96-99-24; e-mail: miit.vgasu@mail.ru

В статье рассматривается подход к анализу вариантов реализации проекта развития сложной системы (объектов) в условиях не полностью определенной количественной информации, характерных для ранней стадии их исследования. Для оценки значимости объектов в работе используется их унарная оценка по линейно упорядоченным градациям дискретной шкалы, причем знание количественной ценности каждой градации не является необходимым. На основании разработанного метода вычисляется нечеткое обратимое бинарное отношение на множестве исследуемых объектов. Для окончательной упорядоченности исследуемых альтернативных вариантов – определения их количественной оценки – используется метод аппроксимации бинарного нечеткого обратимого отношения потенциальным нечетким отношением. Приведенный численный пример иллюстрирует эффективность предложенного подхода.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, экспертная оценка, потенциальное нечеткое отношение, ранжирование, дискретная шкала, аппроксимация.

DECISION SUPPORT AT AN EARLY STAGE OF OPTIONS ANALYSIS IMPLEMENTATION OF A COMPLEX SYSTEM PROJECT

B. Kh. Sanzhapov, R. B. Sanzhapov, K. V. Katerinin

Sanzhapov Bulat Khizbullovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Mathematical and Natural Science Disciplines, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: 8 (844) 96-99-29; e-mail: sbkh@mail.ru;

Sanzhapov Rinat Bulatovich, Candidate of Technical Sciences, Information Systems Developer, Ozon Technologies LLC, Moscow, Russian Federation, phone: 8 (8442) 96-99-29; e-mail: rinatsanzhapov5310@gmail.com;

Katerinin Konstantin Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical and Natural Science Disciplines, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, tel.: 8 (8442) 96-99-24; e-mail: miit.vgasu@mail.ru

The article considers an approach to the analysis of options for the implementation of a project for the development of a complex system (objects) in conditions of not fully defined quantitative information characteristic of the early stage of their research. In the work, to assess the significance of objects, their unary evaluation is used according to linearly ordered gradations of a discrete scale, and knowledge of the quantitative value of each gradation is not necessary. Based on the developed method, a fuzzy reversible binary relation is calculated on a set of objects under study. For the final ordering of the studied alternatives – determining their quantitative evaluation – the method of approximation of a binary fuzzy reversible relation by a potential fuzzy relation is used. The given numerical example illustrates the effectiveness of the proposed approach.

Keywords: decision support, expert assessment, potential fuzzy relation, ranking, discrete scale, approximation.

Введение

Ранняя стадия анализа проектов развития сложных систем в некоторых случаях характеризуется отсутствием количественной информации об их реализации. Одной из основных задач является выделение наиболее приоритетных проектов по сложности их реализации, степени проявления важных свойств и другим условиям. Анализ таких проблем предшествует основной стадии исследования технических, экономических, социальных и иных систем. На этой стадии становится значимым определение основных факторов, оказывающих влияние на качество работы системы. Данные факторы будут в дальнейшем учитываться в математических моделях подобных систем.

Для лица, принимающего решения, зачастую также необходима количественная оценка значимости каждого альтернативного варианта реализации проекта. Как правило, исходная информация о возможных показателях функционирования системы не всегда может быть определена количественно, поэтому их оценка основывается на основе экспертной информации. Существуют

методы обработки такой информации на основе бинарных оценок [1–4]. Следует заметить, что в ряде случаев довольно сложно построить бинарное отношение на множестве рассматриваемых объектов ввиду несравнимости некоторых из них. Использование других подходов для решения указанной проблемы может быть не столь эффективным по причине отсутствия необходимой достоверной информации [5–12].

В статье для оценки значимости объектов – альтернативных вариантов реализации сложных систем – используется их унарная оценка. Каждый объект определяется по дискретной шкале, которая имеет несколько градаций. Все градации линейно упорядочены по важности, причем знание количественной ценности каждой из них не является необходимым. Оценка альтернатив представляется нечеткой, задается в виде распределения и их сумма равна единице [13].

Использование методов решения многокритериальных задач [1–3] для исследования обозначенной проблемы требует информации о парных оценках ценности градаций. В некоторых случаях такая информация отсутствует,

поскольку возможна только линейная упорядоченность этих градаций. Все это способствовало разработке нового подхода для ранжирования (упорядочивания) вариантов развития сложных систем на ранней стадии их исследования.

На основании разработанного метода вычисляется нечеткое обратимое бинарное отношение на множестве альтернатив. Данное отношение построено на основе экспертных оценок и в общем случае не является транзитивным [14]. Для окончательной упорядоченности объектов (альтернатив) используется разработанный метод [15]. Приведенный численный пример иллюстрирует эффективность предложенного подхода.

Материалы и методы

Математическая постановка задачи

Пусть рассматриваемые варианты реализации проекта сложной системы образуют конечное множество $X = \{1, 2, \dots, N\}$.

Каждая альтернатива оценивается по порядковой шкале $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$, где $\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – множество градаций шкалы. Все градации порядковой шкалы линейно упорядочены:

$$e_1 > e_2 > \dots > e_m. \quad (1)$$

Знак $>$ означает, что градация j шкалы E лучше градации $j + 1, j = 1, 2, \dots, m - 1$.

Если ввести численные значения «ценности» каждой градации $\alpha_j, j = 1, 2, \dots, m$, то условие линейной упорядоченности градаций (1) будет представлено как:

$$\alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_m. \quad (2)$$

В дальнейшем для значений $\alpha_j, j = 1, 2, \dots, m$ должно выполняться условие (2). Существенным моментом в задаче ранжирования альтернатив выступает то, что знание значений «ценности» градаций $e_j - \alpha_j, j = 1, 2, \dots, m$ не является необходимым.

Оценка альтернативы $a \in X$ по принятой порядковой шкале представляется как:

$$\gamma_a = \{p_1^a, p_2^a, \dots, p_m^a\}. \quad (3)$$

Причем должно выполняться условие:

$$\sum_{j=1}^m p_j = 1.$$

На основе такой информации необходимо упорядочить по важности исходное множество объектов.

Метод решения задачи

Сформулированная выше задача будет решаться при следующих предположениях.

Предположение 1. Оценки γ_a являются распределенными, то есть величины $p_1^a, p_2^a, \dots, p_m^a$ не зависят друг от друга.

Предположение 2. Предпочтительность оценок на выбранной шкале описывается аддитивной функцией ценности:

$$U_a = \alpha_1 \cdot p_1^a + \dots + \alpha_m \cdot p_m^a, \quad (4)$$

$$\alpha_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Заметим, что используемое обычно условие значения коэффициентов α_i :

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m = 1 \quad (6)$$

не является обязательным, но для удобства будет применяться в дальнейшем.

На основании ограничения (1) и предположений 1 и 2 можно сделать вывод о том, что на множестве всех градаций порядковой шкалы $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ определяется отношение " $>$ ", образующее линейный порядок на рассматриваемых градациях шкалы:

$$e_i > e_j \Leftrightarrow \alpha_i > \alpha_j, i, j \in \{1, 2, \dots, m\}.$$

Существует достаточное количество методов, основанных на вычислении коэффициентов $\alpha_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m$, подчиняющихся условиям (5), (6) [1–3].

Применение данных методов не всегда эффективно, так как значения α_j , подчиняющиеся условию (2), вычисляются на основе экспертной информации. Указанные значения влияют на оценки альтернатив и, как следствие, их упорядоченность. Поэтому предлагается подход к упорядочению альтернатив, не использующий численные значения коэффициентов α_j , достаточно выполнение только ограничения (2). Этот подход требует парное сравнение распределенных оценок альтернатив.

Пусть для альтернатив $a, b \in X$ получены их распределенные оценки $\gamma_a - (3)$ и

$$\gamma_b = \{p_1^b, p_2^b, \dots, p_m^b\}. \quad (7)$$

Для построения $R_{ab}, R_{ba}, R_{a \sim b}$ – степеней предпочтения a перед b, b перед a и равноценности a и b , соответственно, на основании распределений (3) и (7), воспользуемся результатами работы [13]. Согласно этой работе, такие оценки $R_{ab}, R_{ba}, R_{a \sim b}$ определяются как:

$$R_{a \sim b} = \sum_{s=1}^m \tau_{ss}^*, R_{ab} = \sum_{s < l} \tau_{sl}^*, R_{ba} = \sum_{s > l} \tau_{sl}^*. \quad (8)$$

В выражении (8) элементы матрицы:

$$\tau^* = (\tau_{sl}^*)_{m \times m} \quad (9)$$

являются оптимальным решением задачи:

$$\sum_{s=1}^m \sum_{l=1}^m \tau_{sl} \cdot |\alpha_s - \alpha_l| \rightarrow \min, \quad (10)$$

$$\sum_{l=1}^m \tau_{sl} = p_s^a, \sum_{s=1}^m \tau_{sl} = p_l^b, \tau_{sl} \geq 0, s, l = \overline{1, m}, \quad (11)$$

$$\tau_{ss} = \min(p_s^a, p_s^b), s = \overline{1, m}. \quad (12)$$

Задача (10)–(12) относится к классу линейных транспортных задач линейного программирования.

Специальный вид коэффициентов (2), (5), (6) позволил разработать эффективный алгоритм для решения задачи (2), (5), (6), (10), (11) [13]. Первоначально происходят вычисления по формулам (12), затем – пересчет коэффициентов следующим образом:

$$(p_s^a)' = p_s^a - \tau_{ss}, (p_s^b)' = p_s^b - \tau_{ss}, s = \overline{1, m},$$

Далее для полученной задачи используется метод северо-западного угла [13].

Распределенные оценки γ_a (3) и γ_b (7) можно рассматривать как вероятностные распределения на дискретной шкале. В этом случае содержание задачи (10)–(12) состоит в определении условных вероятностей τ_{sl}^* – (9) того, что альтернатива a имеет оценку e_s , при условии, что альтернатива b имеет оценку e_l .

Целевая функция (10) представляет математическое ожидание абсолютной величины разности ценности распределений γ_a и γ_b . Ее минимизация при условиях (11), (12) показывает, что оценки (8) получены за счет минимизации различия по ценности альтернатив и являются «гарантированными».

Действительно, функционал (10) представляет собой суммарное различие альтернатив a и b с точки зрения их ожидаемой ценности, поэтому мера превосходства R_{ab} альтернативы a над b устанавливается для самой минимальной степени различия между a и b , которые только возможны при заданных значениях γ_a и γ_b . По той же причине, согласно формуле (12), определяется максимальное значение τ_{ss} – вероятность того, что на градации e_s реализуется одно и то же значение ценности.

Для этой задачи при фиксированных значениях коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, подчиняющихся условию (12), верна следующая теорема.

Оценки $R_{ab}, R_{ba}, R_{a\sim b}$ не зависят от конкретных значений $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, подчиняющихся условию (2) [13].

После вычисления оптимального решения $\tau^* = (\tau_{sl}^*)_{m \times m}$ и оценок $R_{ab}, R_{ba}, R_{a\sim b}$ определим нечеткое отношение предпочтения:

$$\mu = (\mu_{ab})_{N \times N} \quad (13)$$

как

$$\mu_{ab} = R_{ab} + R_{a\sim b}/2, \quad \forall a, b \in X = \{1, 2, \dots, N\}. \quad (14)$$

Это нечеткое бинарное отношение является обратимым, то есть:

$$\mu_{ab} + \mu_{ba} = 1, \quad \forall a, b \in X = \{1, 2, \dots, N\}.$$

Вычисленное нечеткое отношение μ – (13), (14) в основном нетранзитивное, так как построено на основе экспертных оценок, и не может использоваться для окончательного ранжирования альтернатив. Поэтому предлагается аппроксимировать его транзитивным отношением, максимально близким к исходному. Выбрано потенциальное нечеткое отношение (ПНО) [14].

Определение [14]. ПНО R является ПНО, если существует функция $v_R : X \rightarrow (-\infty, \infty)$, что

$$\mu_R(i, j) - \mu_R(j, i) = v_R(i) - v_R(j), \quad \forall i, j \in X. \quad (15)$$

Величина $v_R(i)$ называется потенциалом объекта $i \in X$, множество их значений $V_R = \{v_R(i) | i \in X\}$ – системой потенциалов ПНО. Соотношение (15) определяет систему потенциалов неоднозначно, с точностью до произвольной константы. Иными словами, добавляя ко всем потенциалам $v_R(i)$ произвольное число, можно получить новую систему потенциалов того же

ПНО. Значение этой константы может быть найдено таким образом, что потенциалы будут лежать в интервале:

$$0 \leq v_R(i) \leq 1, \quad i \in X. \quad (16)$$

Следует заметить, что для любой системы потенциалов, удовлетворяющей ограничениям (16), существует единственное обратимое ПНО R , на основании которого можно вычислить меру превосходства объекта i над объектом j , то есть определить значения функции принадлежности:

$$\mu_R(i, j) = [1 + v_R(i) - v_R(j)]/2, \quad \forall i, j \in X.$$

В дальнейшем будем считать, что каждое ПНО или ПНО на множестве X , например A, T будут отождествляться с $N \times N$ матрицами $A = (a_{ij}), T = (t_{ij})$. Вычислим матрицу:

$$A = (a_{ij}), \quad a_{ij} = \mu_{ij} - \mu_{ji}, \quad i, j \in X. \quad (17)$$

В качестве ПНО выберем матрицу:

$$T = (t_{ij}), \quad t_{ij} = v(i) - v(j), \quad -1 \leq t_{ij} \leq 1, \quad i, j \in X. \quad (18)$$

Тогда задача аппроксимации ПНО (13), (14) ПНО будет сведена к поиску матрицы T (18), максимально близкой к матрице A (17). Вычисленные значения потенциалов при этом будут определены с точностью до произвольной константы. Для удобства выберем ее так, чтобы выполнялись условия (16) и максимальное значение потенциала было равно единице.

Таким образом, необходимо решить задачу аппроксимации нечеткого отношения (матрицы A) ПНО, представленной матрицей T :

$$\lambda = \max_{i, j \in X} |a_{ij} - t_{ij}| \rightarrow \min, \quad T \in \Omega \quad (19)$$

где Ω – множество матриц $T = (t_{ij})$, удовлетворяющих ограничениям (18). Запишем задачу (19) в виде:

$$\lambda \rightarrow \min, \quad (20)$$

$$a_{ij} - \lambda \leq t_{ij} \leq a_{ij} + \lambda, \quad \forall i, j \in X, \quad (21)$$

$$t_{ik} = t_{ij} + t_{jk}, \quad \forall i, j, k \in X. \quad (22)$$

Заметим, что условие (22) эквивалентно $T \in \Omega$.

Для решения задачи (20)–(22) разработан эффективный метод [15], позволяющий проранжировать исходное множество альтернатив.

Результаты и обсуждение

Пусть необходимо оценить пять возможных вариантов реализации проекта на ранней стадии исследования, то есть $X = \{1, 2, \dots, 5\}$. Эти альтернативы оцениваются по шкале $E = \{e_1, e_2, \dots, e_4\}$, которая имеет следующие градации:

- e_1 – реализацию проекта можно полностью осуществить на базе имеющихся технологий,
- e_2 – реализация проекта требует незначительной доработки существующих технологических процессов,
- e_3 – реализация проекта предполагает значительные доработки технологических процессов,
- e_4 – реализация проекта требует проведения исследований, направленных на разработку новых технологических процессов.

Экспертная информация оценки множества альтернатив X по шкале E представлена в таблице 1.

Таблица 1

Экспертные оценки

X \ E	e_1	e_2	e_3	e_4
1	0,1	0,3	0,5	0,1
2	0,6	0,2	0,1	0,1
3	0,1	0,3	0,4	0,2
4	0,7	0,2	0,1	0
5	0	0,7	0,3	0

В таблице 2 находится вычисленное нечеткое обратимое отношение.

Таблица 2

Нечеткое обратимое отношение

X	1	2	3	4	5
1	0,5	0,25	0,55	0,2	0,4
2	0,75	0,5	0,75	0,45	0,75
3	0,45	0,25	0,5	0,2	0,4
4	0,8	0,55	0,8	0,5	0,85
5	0,6	0,25	0,6	0,15	0,5

В таблице 3 представлено вычисленное потенциальное нечеткое отношение.

Таблица 3

Потенциальное нечеткое отношение

X	1	2	3	4	5
1	0,5	0,225	0,5	0,15	0,45
2	0,775	0,5	0,775	0,425	0,725
3	0,5	0,225	0,5	0,15	0,45
4	0,85	0,575	0,85	0,5	0,8
5	0,55	0,275	0,55	0,2	0,5

Потенциалы объектов следующие: $V = \{v_4 = 1, v_2 = 0,85, v_5 = 0,4, v_3 = 0,3, v_1 = 0,3\}$, причем произвольная аддитивная константа выбрана так, чтобы максимальное значение потенциалов объектов было равно единице.

Окончательное ранжирование альтернативных вариантов примет следующий вид:

$$\{4\} > \{2\} > \{5\} > \{3,1\}.$$

Выводы

Важной задачей при анализе вариантов реализации проекта сложной системы на ранней стадии исследования представляется обработка информации об их характеристиках. В некоторых случаях подобная информация является унарной. Она задается в виде распределения по градациям дискретной шкалы. В отличие от существующих методов поддержки принятия решений, предложенный подход не требует знания численных значений ценности градаций. Разработанный подход к обработке экспертной информации дает возможность получить численную оценку (потенциал) каждого проекта реализации сложной системы. Такая информация важна для поддержки принятия решений на основе ранжирования объектов в соответствии с их значимостью.

Список литературы

1. Saaty T. L. Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process / T. L. Saaty, L. G. Vargas. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
2. 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.
3. Saaty T. L. Theory and Applications of the Analytic Network Process / T. L. Saaty. – Pittsburgh : RWS Publications, 2005.
4. Sanzhapov B. Kh. Decision support based on the interval relation / B. Kh. Sanzhapov, R. B. Sanzhapov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – № 12 (15). – Pp. 4601–4607.
5. Pawlak Z. Rough sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data / Z. Pawlak. – Dordrecht ; Boston ; London : Kluwer Academic Publishers, 1991. – 229 p.
6. Shafer G. A mathematical theory of evidence / G. Shafer. – Princeton : Princeton University Press, 1976. – 297 p.
7. Advances and Applications of DSMT for Information Fusion / ed. by : F. Smarandache, J. Dezert. – Rehobolth : American Research Press, 2004. – Vol. 1. – 438 p.
8. Smarandache F. Advances and applications of DSMT for Information Fusion / F. Smarandache, J. Dezert. – Rehobolth : American Research Press, 2006. – Vol. 2. – 461 p.
9. Yao Y. Three-way decision and granular computing, International Journal of Approximate Reasonin / Y. Yao. – 2018. – Vol. 103. – Pp. 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. – Pp. 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, no. 10. – Pp. 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. – Pp. 47–63.
13. Jacquet-Lagrange E. Modelling Preferences among Distributions using Fuzzy Relations / E. Jacquet-Lagrange // The Fifth Research Conference on Subiective Probability, Utility and Decision Making (Sept. 1–4 1975). – Darmstadt, 1975.
14. Жуковин В. Е. Потенциальные нечеткие отношения и их использование в задачах принятия решений / В. Е. Жуковин, С. П. Макеев, И. Ф. Шахнов // Известия АН СССР. Сер.: Техническая кибернетика. – 1989. – № 5. – С. 25–31.
15. Sanzhapov B. Kh. Ordering objects on the basis of potential fuzzy relation for group expert evaluation / B. Kh. Sanzhapov, R. B. Sanzhapov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – № 11 (13). – Pp. 8544–8548.

Ссылка для цитирования:

Санжапов Б. Х., Санжапов Р. Б., Катеринин К. В. Поддержка принятия решений на ранней стадии анализа вариантов реализации проекта сложной системы // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 4 (42). С. 99–104.

УДК 628.812.34:620.9

DOI 10.52684/2312-3702-2022-42-4-104-108

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ
В РАМКАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА***Нань Фэн, З. А. Агаларов, О. М. Шиккульская*

Нань Фэн, кандидат технических наук, штатный администратор отдела по инновационному развитию, Шандунский транспортный университет, г. Шандунь, Китайская Народная Республика; e-mail: nanfeng@yandex.ru;

Агаларов Заур Аскерович, магистрант, Астраханский государственный архитектурно-строительный, г. Астрахань, Российская Федерация, тел. +7-967-824-09-99; e-mail: zaurbey82@mail.ru;

Шиккульская Ольга Михайловна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пожарной безопасности и водопользования, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: +7-927-559-14-74; e-mail: shikul@mail.ru

Предметом исследования является организация и проведение ремонтных работ водопроводных и канализационных систем. Объект исследования – методы функционального моделирования этих процессов. Актуальность работы заключается в том, что состояние трубопроводных систем жилищно-коммунального хозяйства достигло критической отметки. Физический и моральный износ существующих трубопроводов требует их модернизации на основе учета отечественного и зарубежного опыта, что является долгосрочной задачей. Однако уже сегодня необходимо повышать эффективность и качество работы жилищно-коммунального хозяйства на основе повышения уровня информатизации и цифровизации. Цель работы состоит в системном анализе и моделировании процессов организации и проведения ремонтных работ трубопроводных систем. Для достижения поставленной цели разработана функциональная модель процессов, представленная диаграммой дерева узлов, контекстной диаграммой и тремя диаграммами декомпозиции. Применение разработанной модели позволяет анализировать и выявлять наиболее неэффективные процессы организации и проведения ремонта трубопроводных систем и модернизировать их.

Ключевые слова: системный анализ, трубопроводные системы, цифровизация жилищно-коммунального хозяйства, ремонт, функциональная модель, процесс, диаграмма, декомпозиция, дерево узлов.

MODELING OF PIPELINE SYSTEMS ORGANIZATION AND REPAIR PROCESSES*Nan Feng, Z. A. Agalarov, O. M. Shikulskaya*

Nan Feng, Ph.D., Staff Administrator, Innovation Development Department, Shandong Transportation University, Shandong, People's Republic of China; e-mail: nanfeng@yandex.ru;

Agalarov Zaur Askerovich, undergraduate, Astrakhan State Architectural and Construction Institute, Astrakhan, Russian Federation, tel. +7-967-824-09-99; e-mail: zaurbey82@mail.ru;

Shikulskaya Olga Mikhaylovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Fire Safety and Water Use, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: +7-927-559-14-74; e-mail: shikul@mail.ru

The subject of the study is the organization and repair of water supply and sewage systems. The object of the study is methods of functional modeling of these processes. The relevance of the work lies in the fact that the state of the pipeline systems of housing and communal services has reached a critical level. The physical and moral deterioration of existing pipelines requires their modernization based on accounting for domestic and foreign experience, which is a long-term task. However, today it is necessary to improve the efficiency and quality of housing and communal services by increasing the level of informatization and digitalization. The purpose of the work is a system analysis and modeling of the processes of organizing and carrying out repair work of pipeline systems. To achieve this goal, a functional process model has been developed, represented by a node tree diagram, a context diagram and three decomposition diagrams. The use of the developed model allows you to analyze and identify the most inefficient processes of organizing and carrying out repairs of pipeline systems and modernize them.

Keywords: system analysis, pipeline systems, digitalization of housing and communal services, repair, functional model, process, diagram, decomposition, node tree.