УДК 004.89
DOI: 10.53015/18159958_2024_20_1_71

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ВОЗДУХООБЕСПЕЧЕНИЯ

METHOD OF CONSTRUCTING INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES OF AIR SUPPLY

©2024

Босиков Игорь Иванович[1], кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой нефтегазового дела
Силаев Иван Вадимович[2], кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой физики и астрономии
Bosikov Igor Ivanovich[1], Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Oil and Gas Business
Silaev Ivan Vadimovich[2], Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physics and Astronomy

[1]Северо-Кавказский горно-металлургический институт, Владикавказ (Россия)
[2]Северо-Осетинский государственный университет имени К. Л. Хетагурова, Владикавказ (Россия)
[1]North-Caucasus Mining and Metallurgical Institute, Vladikavkaz (Russia)
[2]K. L. Khetagurov North Ossetian State University, Vladikavkaz (Russia)

E-mail: igor.boss.777@mail.ru
[1]ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8930-4112
[2]ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2490-1578

Аннотация: Глобальная характеристика структуры предпочтения лица, принимающего решение (ЛПР), играет важную роль при решении практических задач выбора. На ее основе исследователь может объективно сократить число альтернатив, в дальнейшем предъявляемых ЛПР, и тем самым повысить эффективность процедур выбора. В настоящее время в исследованиях, относящихся к указанной области, имеется единственный пример информации, которую можно отнести к глобальной характеристике структуры предпочтения: упорядочение критериев по важности. Однако отсутствуют процедуры получения от ЛПР такой информации и сами понятия "критерий a важнее критерия b" и "критерий a равноценен критерию b" имеют в разных ситуациях разную трактовку.

В настоящей работе предлагается глобальная характеристика структуры предпочтения для задач выбора с одним ЛПР в предположении, что структура предпочтения ЛПР может быть описана некоторой функцией, удовлетворяющей аксиомам рационального выбора.

Ключевые слова: вероятностная модель выбора, технологический процесс, критерий корректности, лицо принимающее решение, управление качеством, аналитико-статистическое моделирование, конуса возможных направлений.

Для цитирования: Босиков И.И., Силаев И.В. Метод построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами воздухообеспечения // Вести высших

учебных заведений Черноземья. – 2024. – Т. 20, № 1 (75). – С. 71–77. DOI: 10.53015/18159958_2024_20_1_71.

Abstract: The global characteristic of the preference structure of the decision maker (DM) plays an important role in solving practical choice problems. On its basis, the researcher can objectively reduce the number of alternatives subsequently presented to the DM, and thereby increase the efficiency of the choice procedures. At present, in the studies related to the specified area, there is only one example of information that can be attributed to the global characteristic of the preference structure: ordering of criteria by importance. However, there are no procedures for obtaining such information from the DM, and the very concepts of "criterion a is more important than criterion b" and "criterion a is equivalent to criterion b" have different interpretations in different situations. In this paper, a global characteristic of the preference structure is proposed for choice problems with one DM under the assumption that the DM's preference structure can be described by some function satisfying the axioms of rational choice.

Keywords: probabilistic choice model, technological process, correctness criterion, decision maker, quality management, analytical and statistical modeling, cones of possible directions.

For citation: Bosikov I.I., Silaev I.V. Method of constructing intelligent control systems for technological processes of air supply // Vesti of Higher Educational Institutions of the Chernozem region. – 2024. – Vol. 20, № 1 (75). – P. 71–77. DOI: 10.53015/18159958_2024_20_1_71.

ВВЕДЕНИЕ

Предложены научные основы и метод построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами воздухообеспечения (ТПВ), с использованием генеративных алгоритмов и машинного обучения, для комплексного моделирования и оптимизации системы управления воздухообеспечением в угольной промышленности, отличие от существующих систем управления безопасностью ТПВ архитектура и алгоритмы предложенной системы содержат элементы предварительной оценки угрозы аварийной ситуации по информации, технического состояния объекта управления и горнотехнических условий ТПВ, что позволило использовать эти данные в устройстве поддержки принятия решений для прогнозирования, предупреждения угрозы аварийной ситуации и повысить эффективность управления ТПВ в шахтах

Глобальная характеристика структуры предпочтения лица, принимающего решение (ЛПР), играет важную роль при решении практических задач выбора. На ее основе исследователь может объективно сократить число альтернатив, в дальнейшем предъявляемых ЛПР, и тем самым повысить эффективность процедур выбора. В настоящее время в исследованиях, относящихся к указанной области, имеется единственный пример информации, которую можно отнести к глобальной характеристике структуры предпочтения: упорядочение критериев по важности. Однако отсутствуют процедуры получения от ЛПР такой информации и сами понятия "критерий а важнее критерия b" и "критерий а равноценен критерию b" имеют в разных ситуациях разную трактовку.

В настоящей работе предлагается глобальная характеристика структуры предпочтения для задач выбора с одним ЛПР в предположении, что структура предпочтения ЛПР может быть описана некоторой функцией, удовлетворяющей аксиомам рационального выбора.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Пусть X – исходное множество альтернатив, $X \subset E^{+}_{m}$, где E^{+}_{m} – положительный ортант m-мерного евклидова пространства, m – число критериев, $x = (x_1, \ldots, x_m)$.

$$\left[x^i P x^i\right] \overset{\text{def}}{\Leftrightarrow} \left\{(\forall_\xi \left| 1 \le \xi \le m\right)\left[x^i_\xi \ge x^j_\xi\right] \aleph (\exists \xi_0 \left| 1 \le \xi_0 \le m\right)\left[x^i_{\xi_0} \ge x^j_{\xi_0}\right]\right\}.$$

Будем предполагать, что структура предпочтения ЛПР на множестве X может быть описана некоторой функцией U(x), обладающей следующими свойствами:

U(x) монотонна, т.е. $x^i P x^i$ => $U(x^i)$ > $U(x^j)$, $x^i \sim x^j \Leftrightarrow U(x^i) = U(x^j)$.

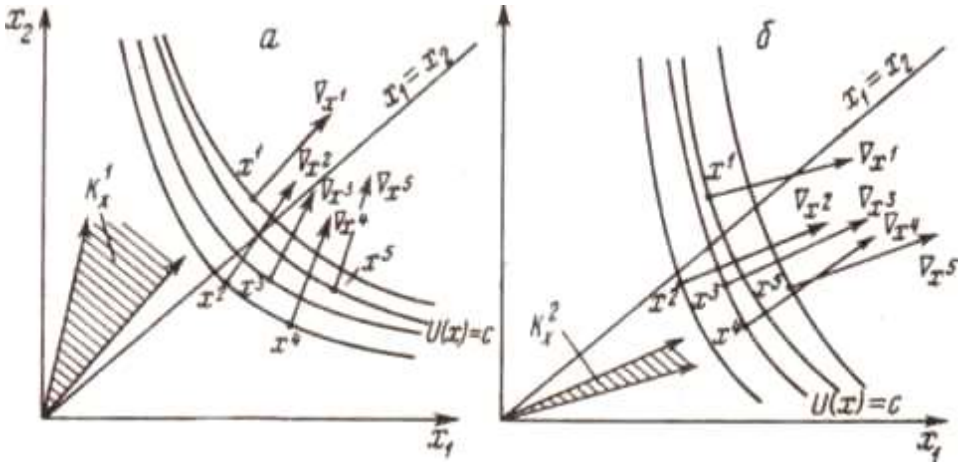


Рис. 1. Карты безразличия ЛПР 1(а), 2 (б) и 3 (в).
Fig. 2. LPR indifference cards 1(a), 2 (b) and 3 (c).

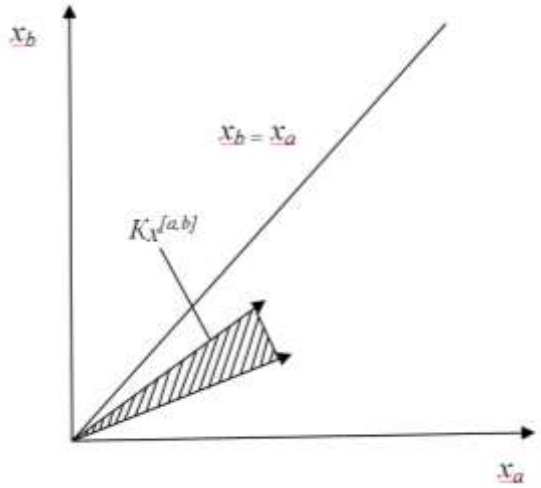


Рис. 2. $K_X^{[a,b]}$ – проекция конуса K_X на плоскость векторных оценок x_a, x_b.
Fig. 2. $K_X^{[a,b]}$ is the projection of the cone K_X onto the plane of vector estimates x_a, x_b.

K^1_X, K^2_X, K^3_X - конусы возможных направлений ЛПР 1, 2, 3 соответственно. Конус K_X^1 "шире" конуса K_X^2 и K_X^3 расположен выше луча $x_1 = x_2$, а K_X^2 – ниже. Конус K_X^3 состоит из единственного вектора. На практике большое значение имеет, так называемое, дополнительное структурное число A_∂, столбы которого представляют собой дополнения элементов числа A до множества элементов L, з которых состоит структурное число A.

Конус $K_X^{[a,b]} \subset E^+$, и расположен "ниже" луча $x_a = x_b$. гиперповерхности линий

уровня U(x) = const выпуклы к началу координат (закон падения предельных норм замены).

В этих предпосылках задача выбора состоит в определении альтернативы $x^* \in X$: $V(x^*) = \max U(x)$. Для решения этой задачи можно использовать значения векторов-градиентов ∇x (предельных норм замены) функции U(x), получаемые от ЛПР [1-3].

Пусть $\{\nabla x\}_X$ – множество векторов-градиентов данных ЛПР во всех точках множества X. Обозначим через $\Re\{\nabla x\}_X$ линейную оболочку, натянутую на множество векторов $\{\nabla x\}_X$; можно показать, что она представляет собой конус в E^+_m с вершиной в начале координат.

Определение. Назовем $\Re\{\nabla x\}_X$ конусом возможных направлений векторов-градиентов, определяемых данным ЛПР на множестве X, и обозначим его через K_X.

Априори, как показано на рисунок 1, конусы K_X для разных ЛПР на одном и том же множестве будут различными. Поэтому в качестве глобальной характеристики структуры предпочтения ЛПР для данного типа задач будем использовать конус возможных направлений [2-4].

2. Покажем полезность конуса K_X в задачах выбора. Пусть:

$$\underline{p}(x^i) = \min_{\nabla_x \in K_X} (\nabla_x, x^i), \bar{p}(x^i) = \min_{\nabla_x \in K_X} (\nabla_x, x^i).$$

Утверждение 1.

$$\left(\forall x^i, x^i \in X\right)\left[\underline{p}(x^i) \geq \bar{p}(x^i)\right] \Rightarrow \left[U(x^i) \neq \max_X U(x)\right].$$

Из этого утверждения следует способ сокращения исходного множества альтернатив: всех x^j, для которых найдется x^i такое, что $\underline{p}(x^i) \geq \bar{p}(x^i)$, не могут быть выбраны данным ЛПР, а следовательно, их можно исключить из X [3-5].

Утверждение 2.

Если K = λ, то

$$U(x^*) = \max_X U(x) = \max_X (\lambda, x).$$

Утверждение 2 позволяет построить тестовую процедуру определения корректности использования аддитивной функции в качестве функции U(x); при этом определяются и значения ее параметров, то есть вектор λ.

3. Конус возможных направлений позволяет в данном контексте дать интерпретацию понятий "критерий a важнее (ценнее) критерия b" и "критерий a равноценен критерию b". Для этого достаточно на плоскости критериев a и b построить проекцию K_X и получить конус $K_X^{[a,b]} \subset E_2^+$ (см. рис.2). Если $K_X^{[a,b]}$ расположен ниже луча $x_a = x_b$, то за единицу приращения оценки по критерию a ЛПР в любой точке X может уступить меньше единицы по критерию b, а следовательно, критерий b ценнее критерия a. Если совпадает с лучом $x_a = x_b$, то можно говорить о равноценности критериев a и b. Если конус содержит луч $x_a = x_b$, то говорить о предпочтительности или равноценности критериев некорректно, так как в одних точках множества X для ЛПР важнее критерий a, в других – критерий b.

4. Конус возможных направлений и вероятностная модель [2-4] позволяют для данного ЛПР найти наиболее вероятную для выбора альтернативу. Для этого в утверждении 6 упомянутой работы достаточно конус ∇к заменить на K_X. В таком случае наиболее вероятной для выбора альтернативой является:

$$x^* : \mathrm{mes}(S_x \cdot \cap K_X) = \max_X \mathrm{mes}\left(S_{xi} \cap K_X\right).$$

где S_{xi} – конус, высекаемый из единичной сферы в $E_т$* конусом A_{xi}

$$\nabla_{xi} = \{\lambda \in E_m^+ / \max_X (\lambda, x)\}.$$

Использование в качестве начальной

точки альтернативы x ‘позволяет минимизировать математическое ожидание числа вопросов к ЛПР. в интерактивной процедуре выбора [6-8].

5. Из сказанного в п.п. 2 – 4 следует, что конус возможных направлений K_X является глобальной характеристикой структуры предпочтения ЛПР, которая полезна для задач выбора. Теперь рассмотрим вопрос его построения. Обозначим через C_X множество точек из $E^+_т$, i-й, i = 1,2,... ,т, координатой которых является или значение $\bar{x}_i = \max_X x_i$, или $\underline{x}_i = \max_X x_i$ исключая точки со всеми максимальными или всеми минимальными значениями; то всего таких точек будет $2^{(m-1)}$.

Утверждение 3.

$$K_X = \& \{\nabla_{x1} > \nabla_{x}t\},$$

где $\{x^1 ,..., x^t\} \cong C_X$.

Последнее утверждение дает конструктивный способ получения конуса возможных направлений K_X [8-10]. Например, в случае т = 2 для построения K_X необходимо опросить ЛПР только в двух точках независимо от числа элементов в X. Здесь уместно заметить, что утверждение 3 позволяет говорить о конусе возможных направлений и в случае континуального X, а следовательно, и для континуального случая справедливы утверждения п.п. 2, 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введено понятие конуса возможных направлений (норм замены) векторов-градиентов K_X, которое предложено использовать в качестве глобальной характеристики структуры предпочтения ЛПР.

Предложен конструктивный способ построения конуса K_X. Показано, что конус возможных направлений является удобным инструментом для анализа и решения задач многокритериального выбора; конус K_X позволяет уменьшить число кандидатов на выбор, построить тестовую процедуру определения возможности использования аддитивной модели выбора и способ получения ее параметров λ; дает интерпретацию понятий предпочтительности и важности критериев, а также критерий корректности этих понятий для данного ЛПР на данном множестве; на его основе можно построить вероятностную модель выбора, позволяющую найти наиболее вероятную для выбора альтернативу на заданном множестве для данного ЛПР.

Введенное понятие конуса возможных направлений позволяет в компактной форме описать отличия структуры предпочтения одного ЛПР от структуры предпочтения другого. Это имеет большое значение в задачах коллективного выбора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Malozyomov, B.V.; Golik, V.I.; Brigida, V.; Kukartsev, V.V.; Tynchenko, Y.A.; Boyko, A.A.; Tynchenko, S.V. Substantiation of Drilling Parameters for Undermined Drainage Boreholes for Increasing Methane Production from Unconventional Coal-Gas Collectors. Energies2023,16, 4276. https://doi.org/10.3390/en16114276.

2. Semin M. A., Levin L. Yu. Stability of air flows in mineventilation networks // Process Safety and Environmental Protection, 2019, Vol. 124, pp. 167-171. DOI: 10.1016/j.psep.2019.02.006.

3. Thakur P. 1 - Underground Coal Mine Atmosphere. Advanced Mine Ventilation // Respirable Coal Dust, Combustible Gas and Mine Fire Control, 2019, pp. 3-16. DOI: 10.1016/B978-0-08-100457-9.00001-8.

4. Cheng L., Guo H., Lin H. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling // Process Safety and Environmental Protection, 2021, Vol. 147, pp. 1193-1200. DOI: 10.1016/j.psep.2021.01.046.

5. Esterhuizen G. S., Gearhart D. F., Klemetti T., Dougherty H., Dyke M. Analysis of gateroad stability at two longwall mines

based on field monitoring results and numerical model analysis // International Journal of Mining Science and Technology, 2019, Vol. 29, Issue 1, pp. 35-43. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.021.

6. Wang K., Jiang Sh., Wu Zh., Shao H., Zhang W., Pei X., Cui Ch. Intelligent safety adjustment of branch airflow volume during ventilation-on-demand changes in coal mines // Process Safety and Environmental Protection, 2017, Vol. 111, pp. 491-506. DOI: 10.1016/j.psep.2017.08.024.

7. Qiao W. Analysis and measurement of multifactor risk in underground coal mine accidents based on coupling theory // Reliability Engineering & System Safety, 2021, Vol. 208, №107433. DOI: 10.1016/j.ress.2021.107433.

8. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Kelekhsaev V.B. Development of indicators for performance functioning natural-industrial system evaluation at the mining and processing complex using the analytical hierarchy method In the collection: 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings. electronic edition. 2017. C. 8076114. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076114

9. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch., Madaeva M.Z. Rank analysis of higher harmonics voltage spectrum of metallurgy enterprises. В сборнике: Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus (CIGGG 2018). Atlantis Press, 2019. C. 169-174. DOI: 10.2991/ciggg-18.2019.32

10. Bosikov I.I., Martyushev N.V., Klyuev R.V., Tynchenko V.S., Kukartsev V.A., Eremeeva S.V., Karlina A.I. Complex Assessment of X-ray Diffraction in Crystals with Face-Centered Silicon Carbide Lattice. Crystals 2023, 13, 528. https://doi.org/10.3390/cryst13030528.

REFERENCES

1. Malozyomov, B.V.; Golik, V.I.; Brigida, V.; Kukartsev, V.V.; Tynchenko, Y.A.; Boyko, A.A.; Tynchenko, S.V. Substantiation of Drilling Parameters for Undermined Drainage Boreholes for Increasing Methane Production from Unconventional Coal-Gas Collectors. Energies2023,16, 4276. https://doi.org/10.3390/en16114276.

2. Semin M. A., Levin L. Yu. Stability of air flows in mineventilation networks // Process Safety and Environmental Protection, 2019, Vol. 124, pp. 167-171. DOI: 10.1016/j.psep.2019.02.006.

3. Thakur P. 1 - Underground Coal Mine Atmosphere. Advanced Mine Ventilation // Respirable Coal Dust, Combustible Gas and Mine Fire Control, 2019, pp. 3-16. DOI: 10.1016/B978-0-08-100457-9.00001-8.

4. Cheng L., Guo H., Lin H. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling // Process Safety and Environmental Protection, 2021, Vol. 147, pp. 1193-1200. DOI: 10.1016/j.psep.2021.01.046.

5. Esterhuizen G. S., Gearhart D. F., Klemetti T., Dougherty H., Dyke M. Analysis of gateroad stability at two longwall mines based on field monitoring results and numerical model analysis // International Journal of Mining Science and Technology, 2019, Vol. 29, Issue 1, pp. 35-43. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.021.

6. Wang K., Jiang Sh., Wu Zh., Shao H., Zhang W., Pei X., Cui Ch. Intelligent safety adjustment of branch airflow volume during ventilation-on-demand changes in coal mines // Process Safety and Environmental Protection, 2017, Vol. 111, pp. 491-506. DOI: 10.1016/j.psep.2017.08.024.

7. Qiao W. Analysis and measurement of multifactor risk in underground coal mine accidents based on coupling theory // Reliability Engineering & System Safety, 2021, Vol. 208, №107433. DOI: 10.1016/j.ress.2021.107433.

8. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Kelekhsaev V.B. Development of indicators for performance functioning natural-industrial system evaluation at the mining and processing complex using the analytical hierarchy method In the collection: 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings. electronic edition. 2017. C. 8076114. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076114

9. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch., Madaeva M.Z. Rank analysis of higher harmonics voltage spectrum of metallurgy enterprises. В сборнике: Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus (CIGGG 2018). Atlantis Press, 2019. С. 169-174. DOI: 10.2991/ciggg-18.2019.32

10. Bosikov I.I., Martyushev N.V., Klyuev R.V., Tynchenko V.S., Kukartsev V.A., Eremeeva S.V., Karlina A.I. Complex Assessment of X-ray Diffraction in Crystals with Face-Centered Silicon Carbide Lattice. Crystals 2023, 13, 528. https://doi.org/10.3390/cryst13030528.