

МЕТОДИКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И АВТОМАТИКИ

Гаврилова А.А., Сагитова Л.А., Етриванов А.В.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

Аннотация

Обеспечение технологического суверенитета требует масштабной и массовой замены иностранных технических средств в системах контроля и автоматизации многих промышленных предприятий. Эта проблема особенно актуальна для критически важных инфраструктурных объектов, в частности энергоснабжающих систем и предприятий. В статье представлена методика, позволяющая производить сравнительную многокритериальную оценку и выбор контрольно-измерительных приборов (КИП) для комплексного переоснащения систем контроля и управления энергетических предприятий, систем тепло-, электро- и водоснабжения, промышленных и бытовых потребителей. В методике реализуется комплексный подход к решению задачи оптимального выбора на основе методологии Data Envelopment Analysis (DEA). Глобальный критерий эффективности формируется как результат свертки разнородных локальных критериев эффективности измерительных устройств, что позволяет учитывать конкретные технологические требования к средствам и методам измерений, специфику установки и условия эксплуатации приборов. Методика многокритериальной оценки эффективности применения измерительных приборов существенно ускоряет и упрощает процесс объективного выбора оптимальных технических средств, снижает квалификационные требования к пользователям. База данных, алгоритм расчета глобальных критериев могут быть использованы для создания системы поддержки принятия решения (СППР) в рамках систем автоматического проектирования.

Ключевые слова: методология DEA, Data Envelopment Analysis, многокритериальный выбор, КИП, глобальный критерий, эффективность.

METHODOLOGY FOR MULTICRITERIA COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF REPLACING MEASURING INSTRUMENTS AND AUTOMATION

Anna Gavrilova, Lyajsan Sagitova, Aleksandr Etrivanov

Samara State Technical University, Samara

Abstract

Ensuring technological sovereignty requires large-scale and massive replacement of foreign technical means in the control and automation systems of many industrial enterprises. This problem is especially relevant for critical infrastructure facilities, in particular energy supply systems and enterprises. The article presents a methodology that allows for a comparative multi-criteria assessment and selection of control and measuring instruments (measuring-and-recording apparatus) for the comprehensive re-equipment of control and management systems of energy enterprises, heat, electricity and water supply systems, industrial and household consumers. The methodology implements an integrated approach to solving the optimal choice problem based on the Data Envelopment Analysis (DEA) methodology. The global efficiency criterion is formed as a result of the convolution of heterogeneous local efficiency criteria of measuring devices, which makes it possible to take into account specific technological requirements for measuring instruments and methods, the specifics of installation and operating conditions of devices. The method of multi-criteria assessment of the effectiveness of the use of measuring instruments significantly speeds up and simplifies



fies the process of objective selection of optimal technical means and reduces qualification requirements for users. The database and algorithm for calculating global criteria can be used to create a decision support system within the framework of automatic design systems.

Keywords: Data Envelopment Analysis, DEA methodology, multi-criteria selection, control instrumentation, global criterion, efficiency effect.

В настоящее время чрезвычайно актуальной является задача усиления технологической безопасности отечественной промышленности и объектов инфраструктуры, определенная на государственном уровне [1]. Многие промышленные предприятия в последние годы оснащались импортными средствами измерений и автоматизации. Такие автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) контролируются иностранными производителями и подчиняются их дистанционным управляющим воздействиям, могут подвергаться хакерским атакам. Подобное вмешательство в работу энергетических предприятий представляет серьезную опасность для тепло-, водо- и электроснабжения населения и промышленных потребителей [2, 3]. В связи с этими обстоятельствами необходим масштабный и быстрый переход на отечественные средства автоматизации и контроля, упростить который возможно с помощью специализированного программного продукта.

Для решения задачи переоснащения средствами контроля и создания программного продукта разработана методика многокритериальной оценки и выбора измерительных приборов, базирующаяся на методологии Data Envelopment Analysis (DEA) [4-7]. Это непараметрический метод многокритериальной оценки группы действующих объектов, позволяющий выявить эффективные и неэффективные группы оборудования. Данный метод основан на построении так называемой границы эффективности в многомерном пространстве входных и выходных переменных, описывающих объекты, эффективность которых требуется определить.

Эта задача подбора средств КИП требует учета множества разнообразных технических характеристик средств измерений, таких как функциональность, надежность, стоимость, срок службы, доступность сервиса и удобство обслуживания и др.

Рассмотрим пример реализации предлагаемой методики для подбора и замены термометров блочно-модульной котельной. В качестве локальных критериев средств измерения температуры использованы следующие сравнительные характеристики приборов:

- 1) цена – X_1 ;
- 2) класс точности измерения – X_2 ;
- 3) значение требуемой верхней границы (в.г.) диапазона измерения – X_3 ;
- 4) межповерочный период – Y_1 ;
- 5) значение требуемой нижней границы (н.г.) диапазона измерения – Y_2 ;
- 6) наличие унифицированного сигнала – Y_3 .

Вышеперечисленные локальные критерии эффективности сворачиваются в глобальный критерий F по следующему принципу – увеличение выходных параметров Y и уменьшение входных характеристик X приводят к повышению многокритериальной обобщенной эффективности F [6].

Входными характеристиками, X , примем цену, класс точности измерения, значение верхней границы диапазона измерения, уменьшение затрат на которые приводит к повышению показателя суммарной эффективности F :

$$\frac{\partial F(X_1, X_2, \dots, X_m)}{\partial X_j} < 0, j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$



Межповерочный период, значение нижней границы (н.г) диапазона измерения, наличие унифицированного сигнала – выходными параметрами Y , увеличение которых должно приводить к возрастанию суммарного показателя эффективности F :

$$\frac{\partial F(Y_1, Y_2, \dots, Y_k)}{\partial Y_j} < 0, i = 1, 2, \dots, k. \quad (2)$$

Таким образом, представим глобальный критерий эффективности F в виде:

$$F_n = \max_{u_n, v_n \in G} \frac{u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + u_{3n} \cdot Y_{3n}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n} + v_{3n} \cdot X_{3n}} \quad (3)$$

Система ограничений весовых коэффициентов:

$$\begin{cases} \frac{u_{1.1} \cdot Y_1 + u_{2.1} \cdot Y_2 + u_{3.1} \cdot Y_3}{v_{1.1} \cdot X_1 + v_{2.1} \cdot X_2 + v_{3.1} \cdot X_3} \leq 1, \\ \frac{u_{1.2} \cdot Y_1 + u_{2.2} \cdot Y_2 + u_{3.2} \cdot Y_3}{v_{1.2} \cdot X_1 + v_{2.2} \cdot X_2 + v_{3.2} \cdot X_3} \leq 1, \\ \vdots \\ \frac{u_{1.8} \cdot Y_1 + u_{2.8} \cdot Y_2 + u_{3.8} \cdot Y_3}{v_{1.8} \cdot X_1 + v_{2.8} \cdot X_2 + v_{3.8} \cdot X_3} \leq 1, \end{cases} \quad (4)$$

$$n \in \{1, 2, \dots, 8\}; i = \{1, 2, 3\}; j = \{1, 2, 3\}.$$

где n – номер прибора; Y_1, Y_2 и Y_3 – выходные параметры объектов; X_1, X_2 и X_3 – значения входных характеристик приборов; G – область значений весов u_{in} и v_{jn} ; u_{1n}, u_{2n}, u_{3n} и v_{1n}, v_{2n}, v_{3n} – положительные весовые коэффициенты.

В табл. 1 представлены значения локальных критериев эффективности приборов [8].

Таблица 1

Локальные критерии эффективности

№	Локальный критерий	Номер измерительного прибора (термометра)*							
		1	2	3	4	5	6	7	8
X_1	Цена	674	710	760	2500	690	18500	18500	18500
X_2	Точность	0,4675	0,9713	0,9713	0,5038	0,9713	0,5038	0,5038	0,5038
X_3	Значение верхней границы	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52
Y_1	Межповерочный период	2	2	2	2	2	4	4	4
Y_2	Значение нижней границы	3	1,9	2,4	3	1,9	10	10	10
Y_3	Унифицированный сигнал	12	12	12	12	12	12	12	12

* Соответствующие номера измерительных приборов: 1 – ТСМ Метран-203(50м); 2 – ТСМ Метран-204(100м); 3 – ТСМ Метран-243(50м); 4 – ТСМ Метран-253(50м); 5 – ТСМ Метран-254(100м); 6 – ТСМ Метран-270; 7 – ТСМ Метран-280; 8 – ТСМ Метран-276

Сравнительная многокритериальная эффективность средств измерения определена для 8 термометров, результаты расчетов глобального критерия представлены на рис. 1, значения весовых коэффициентов приведены в табл. 2.

Полученные результаты позволяют выбрать для отопительной котельной термометры, обладающие максимальной эффективностью №2 и №6 ($F=1$).

Термометры №3 ($F=0,80$) и №7 ($F=0,67$) обладают более низкой эффективностью, но достаточной для использования термометров случае отсутствия максимально эффективных приборов.

Термометры №1 ($F=0,05$), №4 ($F=0,20$), №8 ($F=0,35$) – неэффективны, не рекомендуются использовать их для данного технологического процесса.



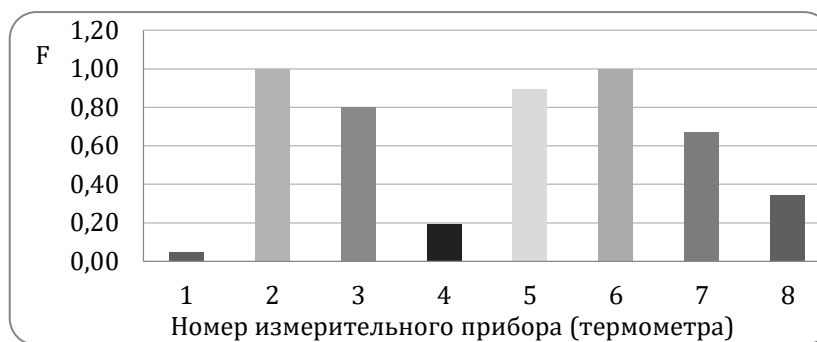
Рис. 1. Значения глобальные критерия F

Таблица 2

Весовые коэффициенты

Номер измерительного прибора (термометра)		1	2	3	4	5	6	7	8
Весовые коэффициенты	u_{1n}	0,0020	0,0008	0,0003	0,0020	0,0000	0,0020	0,0020	0,0020
	u_{2n}	0,9994	3,4109	3,8918	0,9994	3,4340	0,9994	0,9994	0,9994
	u_{3n}	1,0004	0,0000	0,0000	1,0004	0,0000	1,0004	1,0004	1,0004
	v_{1n}	1,1338	0,6362	1,9785	1,1338	0,4202	1,1338	1,1338	1,1338
	v_{2n}	1,2366	1,3666	0,0339	1,2366	1,3131	1,2366	1,2366	1,2366
	v_{3n}	1,6298	0,0000	0,0000	1,6298	0,0000	1,6298	1,6298	1,6298

Эффективность приборов в значительной степени обусловлена соответствием диапазона технологическим требованиям конкретного объекта и точностью измерительных устройств. Минимальное влияние на глобальный критерий всех термометров оказала величина межповерочного периода.

Выводы (Conclusion)

В целом, предложенная методика позволила осуществить объективный многокритериальный выбор термометров. Целесообразно расширить базу данных сведениями о других измерительных средствах с учетом специфики методов измерений, что позволит использовать данную методику для создания системы поддержки принятия решений многокритериального выбора контрольно-измерительных приборов и средств автоматики. Методика существенно сокращает время поиска оптимальных средств измерений для конкретных технологических процессов, в том числе для объектов энергетики.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
2. Керимов Д.А. Импортзамещение в энергетике // Вестник Югорского государственного университета. – 2016. – Вып. 4 (43). – С. 53-55. EDN: [XHNLLJ](#)
3. Алимханова А.Н., Мицель А.А. Оценка эффективности предприятий на основе метода DEA // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2019. – Т. 22, № 2. – С. 104-108. DOI: [10.21293/1818-0442-2019-22-2-104-108](#). EDN: [FZCGVB](#)
4. Моргунов Е.П., Моргунова О.Н. Краткое описание и пример практического применения метода Data Envelopment Analysis (Версия 0.1) [Электронный ресурс]. URL: http://www.morgunov.org/docs/DEA_intro.pdf (дата обр. 20.11.2023 г.)
5. Моргунов Е. П., Моргунова О. Н. Применение метода Data Envelopment Analysis для оценки эффективности IT-специалистов // Решетневские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 450-451. EDN: [YLZBVM](#)



6. Гаврилова А.А., Салов А.Г. Системная методология анализа и моделирования энергоэффективности генерирующих компаний. Самара: Научно-технический центр, 2021. – 277 с. EDN: [ZZZXNK](#)
7. The DEA Process, Usages and Interpretations / A. Charnes, W.W. Cooper, A.Y. Lewin, L.M. Seiford // Data Envelopment Analysis: Theory, methodology and applications. – Dordrecht: Springer, 1994. – p. 425-435. DOI: [10.1007/978-94-011-0637-5_21](#)
8. Метран. Датчики температуры [Сайт]. URL: https://www.metran.ru/catalog/datchiki_temperature/ (дата обр. 20.11.2023 г.)

References

1. Federal'nyj zakon ot 26.07.2017 № 187-FZ "O bezopasnosti kriticheskoj informacion-noj infrastruktury Rossijskoj Federacii. [Federal Law of July 26, 2017 No. 187-FZ "On the security of critical information infrastructure of the Russian Federation.] [In Russian]
2. Kerimov, D. A. (2016) Import substitution energy. *Vestnik YUgorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 4(43), 53-55. [In Russian]
3. Alimhanova, A. N. & Mitcel, A. A. (2019). Evaluation of enterprise performance based on the DEA method. *Proceedings of the TUSUR University*, 22(2), 104-108. <https://doi.org/10.21293/1818-0442-2019-22-2-104-108> [In Russian]
4. Morgunov, E. P. & Morgunova O. N. *Kratkoe opisanie i primer prakticheskogo primeneniya metoda Data Envelopment Analysis (Versiya 0.1)* [Brief description and example of practical application of the Data Envelopment Analysis method (Version 0.1)]. Retrieved December 05, 2023, from http://www.morgunov.org/docs/DEA_intro.pdf [In Russian]
5. Morgunov, E. P. & Morgunova, O. N. (2017). Application of the Data Envelopment Analysis method for assessment of efficiency of IT-specialists. *Reshetnevskie chteniya*, 2, 450-451. [In Russian]
6. Gavrilova A.A. & Salov A.G. (2021). *Sistemnaya metodologiya analiza i modelirovaniya energoeffektivnosti generiruyushchih kompanij* [System methodology for analysis and modeling of energy efficiency of generating companies]. Izd-vo OOO "Nauchno-tekhnicheskij centr". [In Russian]
7. Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., & Seiford, L.M. (1994). The DEA Process, Usages and Interpretations. In *Data Envelopment Analysis: Theory, methodology and applications* (pp. 425-435). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0637-5_21
8. Metran (n.d.). *Datchiki temperature* [Metran. Temperature sensors]. Retrieved December 05, 2023, from https://www.metran.ru/catalog/datchiki_temperature/ [In Russian]

Сведения об авторах

Гаврилова Анна Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов», СамГТУ, г. Самара, e-mail: a.a.gavrilova@mail.ru, ORCID [0000-0001-6598-6518](#).

Сагитова Ляйсан Акзамовна, старший преподаватель кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», СамГТУ, г. Самара, e-mail: 10410@mail.ru, ORCID [0000-0002-0833-983X](#).

Етриванов Александр Владимирович, студент группы 4-ТЭФ-1, Теплоэнергетический факультет, СамГТУ, г. Самара, e-mail: aleksandretrivanov@yandex.ru.

Authors about

Anna Aleksandrovna Gavrilova, Cand. of Tech. Sciences, Department of Control and System Analysis of Thermal Power and Sociotechnical Complexes, Samara State Technical University, e-mail: a.a.gavrilova@mail.ru, ORCID [0000-0001-6598-6518](#).

Lyajsan Akzamovna Sagitova, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Samara State Technical University, e-mail: 10410@mail.ru, ORCID [0000-0002-0833-983X](#).

Aleksandr Vladimirovich Etrivanov, student of Samara State Technical University.

