Использование функций желательности при принятии управленческих решений в минерально-сырьевом комплексе

Артём Валерьевич ПОНОМАРЕВ^{1*},
Людмила Витальевна ВЛАСОВА^{2***},
Ирина Владиславовна ПЕРЕГОН^{2***}

¹ООО «Газпромтрансгаз-Екатеринбург», Россия, Екатеринбург

²Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

Аннотация

Актуальность. Все возрастающие потоки информации, сжатые сроки принятия решений, необходимость удержания конкурентных позиций требуют выполнения рейтинговых расчетов, обеспечивающих выявление лидеров и способствующих лидерству факторов, ранжированию подразделений хозяйственных субъектов согласно выбранным критериям и т. д. Достоверность, наглядность, а зачастую и ускорение получения результатов предопределяют обращение к математическим приемам.

Цель исследования: обоснование выбора наиболее приемлемого варианта функции желательности для использования в процессе принятия управленческих решений, связанных с освоением ресурсов недр.

Метод исследования: сравнительный анализ вариантов расчета функции желательности, метод сопоставления, методы математической статистики.

Результаты. Рассматриваются два варианта расчета функции желательности. Первый из них разработан Е. Харрингтоном, которым предложена специальная вербально-числовая шкала, что дало возможность формализовать систему предпочтений разных экспертов. Частная функция желательности в этом случае строится так, чтобы она в области «удовлетворительно» была близка к линейной. Согласно рекомендациям, нижняя и верхняя границы области «удовлетворительно» соответствуют минимальному и максимальному значениям показателей по имеющемуся массиву данных. Существует и несколько другой подход к определению частной функции желательности, изложенный в ряде работ. Обобщенная функция желательности является сверткой частных функций и определяется как среднее геометрическое или среднее логарифмическое. Возможно использование весовых коэффициентов при разной значимости частных функций желательности. Сравнение различных подходов выполнено для условий управления материально-технического снабжения и комплектации ООО «Газпромтрансгаз-Екатеринбург». Анализ полученных результатов показывает, что, несмотря на несовпадение частных функций желательности, которые в первом случае лежат в диапазоне от 0,37 до 0,69, а во втором дают весь диапазон значений от 0 до 1, рейтинги по обобщенной функции желательности полностью совпадают в отношении установления рейтинга квартальных значений производственно-хозяйственной деятельности. Отсюда следует, что оба способа расчета частных функций правомерны, однако первый вариант представляется более удобным технически ввиду отсутствия значений частных функций желательности, близких к нулевым, осложняющим расчеты с помощью вычислительной техники. Был апробирован и третий вариант рейтинговой оценки с использованием рассчитанных процентных оценок рассматриваемых показателей по отношению к максимальному значению желательных (с учетом перевода их в относительные индексы). Как и в предыдущих случаях, рейтинг стран по обобщенной функции желательности оказался сопоставим с ранее рассчитанными.

Выводы. Сравнительные расчеты подтвердили правомерность обоих вариантов нахождения частных функций желательности, так как рейтинги по обобщенной функции желательности совпадают. Более удобным признан первый вариант расчета в силу отсутствия значений частных функций желательности, близких к нулю, что упрощает использование вычислительной техники.

Ключевые слова: экономические исследования, рейтинг, функция желательности, частная и обобщенная функции, сравнение, выбор.

Введение

Минерально-сырьевой комплекс в современной экономике России играет ключевую роль, являясь основой обеспечения ее национальной безопасности. Освоение минерально-сырьевого потенциала требует реализации ряда инвестиционных проектов, различающихся по длительности жизненного цикла, вложенным инвестициям, величине возможного экономического ущерба и т. п. Не-

обходимость выбора наиболее эффективного варианта возникает и в отношении технологии производства. Зачастую вопросы установления предпочтительности приходится решать при оценке деятельности предприятий и его подразделений [1–3].

Во всех случаях специалистам приходится сталкиваться с разноплановостью сравниваемых данных и факторов,

*avponomarev@ekaterinburg-tr.gasprom.ru

**vlasov2079@rambler.ru

***ief.etp@m.ursmu.ru

так как используемые в процессе анализа показатели обычно имеют разные размерности и разный масштаб (диапазон значений), что затрудняет принятие решений, характеризующихся как экономически эффективные и экологически безопасные [4–8], и предполагает обращение к приемам обработки информации, уменьшающим неопределенность [9–12]. Для преодоления рассматриваемых трудностей может быть использована частная функция желательности d (от *desirable* – желательный), которая переводит натуральные значения (или вербальные субъективные оценки экспертов) в единую безразмерную числовую шкалу в интервале от нуля до единицы ($d \in [0, 1]$). Обобщенная же функция желательности D представляет собой свертку частных функций желательности в обобщенный критерий, позволяющий устанавливать рейтинг (приоритет) того или иного объекта исследования ($D \in [0, 1]$).

Результаты

Конкретный вид частных и обобщенных функций желательности может несколько отличаться у разных авторов, в силу чего были проведены исследования их сопоставимости и возможности использования. В частности, Е. Харрингтон разработал специальную вербально-числовую шкалу, применяемую преимущественно в случаях, когда оценки носят субъективный характер, т. е. при экспертной оценке [9]. Эта шкала называется психофизической и дает возможность формализации системы предпочтений разных экспертов, устанавливая соответствие между лингвистическими оценками желательности значений показателя x и числовыми интервалами частной функции желательности $d(x)$ (табл. 1).

Таблица 1. Числовые интервалы шкалы Е. Харрингтона.
Table 1. Numerical intervals of the scale by E. Harrington.

Лингвистическая оценка	Интервалы значений функции желательности $d(x)$
Очень хорошо	1,00–0,80
Хорошо	0,80–0,63
Удовлетворительно	0,63–0,37
Плохо	0,37–0,20
Очень плохо	0,20–0,00

В этой шкале значения частной функции желательности $d(x)$ изменяются в интервале от 0 до 1, причем значение $d(x) \approx 0$ соответствует абсолютно неприемлемой величине рассматриваемого критерия, а $d(x) \approx 1$ – его идеальной величине. Необходимо отметить, что на практике часто ограничиваются тремя интервалами шкалы Е. Харрингтона, которые отвечают лингвистическим категориям «плохо», «удовлетворительно» и «хорошо»; при этом верхняя граница области значений $d(x)$, соответствующая категории «удовлетворительно», увеличивается с 0,63 до 0,69 (т. е. «удовлетворительным» считается интервал (0,37–0,69), а области «плохо» и «хорошо» характеризуются интервалами (0,00–0,37) и (0,69–1,00) соответственно).

Аналитически частную функцию желательности Е. Харрингтона обычно строят таким образом, чтобы в наиболее распространенной области «удовлетворительно» она была близка к линейной, т. е. была наиболее «чувстви-

тельна» к изменению критерия x именно в этом диапазоне и менее «чувствительна» вне данной области значений x . Исходя из этого, Е. Харрингтоном была предложена следующая формула для частной функции желательности:

$$d_i = d(z_i) = \exp(-e)^{-z_i}; \quad (1)$$

$$z_i = \frac{x_i - x_{i0}}{x_{i1} - x_{i0}}, \quad (2)$$

где z_i – кодированные значения i -го фактора, представляющие собой безразмерные величины; x_i – значение i -го информативного показателя; x_{i0} , x_{i1} – границы области «удовлетворительно» в исходной шкале:

$$d_{i0} = d(z_i(x_{i0})) = 0,37; \quad d_{i1} = d(z_i(x_{i1})) = 0,69.$$

Таким образом, частная функция желательности Е. Харрингтона представляет собой монотонно возрастающую функцию, изменяющуюся от 0 до 1. При кодированном значении информативного показателя $z = 0$, соответствующем нижней границе области «удовлетворительно», функция желательности принимает значение 0,368, а при $z = 1$ (верхняя граница области «удовлетворительно») $d(z) = 0,692$. Для построения данной функции достаточно, чтобы эксперты указали границы исходных показателей x_{i0} и x_{i1} для области «удовлетворительно», либо можно просто считать эти значения равными $x_{i0} = x_{\min}$ и $x_{i1} = x_{\max}$, т. е. минимальному и максимальному значениям показателя по имеющемуся массиву данных соответственно.

Существует и несколько другой подход к определению частной функции желательности, изложенный, например, в работах [14–16]. Если увеличение текущего значения натурального индикатора x_i представляется «желательным», то для расчета частной функции желательности используется выражение:

$$d_i = \frac{2(x_i x_{\max})}{x_i^2 + x_{\max}^2}, \quad (3)$$

где $x_{\max}$ – максимальное значение индикатора в сравниваемом ряду.

В случае же «нежелательности» увеличения текущего значения натурального показателя x_i применяется формула

$$d_i = \frac{2(x_i x_{\min})}{x_i^2 + x_{\min}^2}, \quad (4)$$

где $x_{\min}$ – минимальное значение показателя в сравниваемом ряду.

Определенная так или иначе частная функция желательности позволяет свести исходную многокритериальную задачу принятия решения с разноразмерными критериями к многокритериальной задаче с критериями, измеряемыми в одной и той же шкале, поэтому следующим этапом является свертка частных функций желательности d_i в обобщенный критерий D . Обобщенную функцию желательности D выбирают из семейства средних по Колмогорову; обычно это среднее геометрическое частных функций желательности d_i :

$$D = \sqrt[n]{d_1 d_2 \dots d_n} \quad (5)$$

или их среднее логарифмическое:

$$D = \exp\left(-\sqrt[n]{(-\ln d_1)(-\ln d_2) \dots (-\ln d_n)}\right), \quad (6)$$

где n – число критериев.

Если частные показатели неравноценны, то в обобщенный показатель вводят весовые коэффициенты α_i , определенные с помощью использования экспертных методик [17], и вместо формул (5) и (6) имеем соответственно выражения вида:

$$D = \sqrt[n]{d_1^{\alpha_1} d_2^{\alpha_2} \dots d_n^{\alpha_n}}$$

и

$$D = \exp\left(-\sqrt[n]{(-\ln d_1)^{\alpha_1} (-\ln d_2)^{\alpha_2} \dots (-\ln d_n)^{\alpha_n}}\right).$$

Необходимо также отметить, что обобщенная функция желательности D служит некоторой интегральной мерой отклонения заданной системы от нормы и для идеально функционирующей системы «желательная» величина D должна быть равна 1, а увеличение значений «нежелательных» критериев приводит к уменьшению значения обобщенной функции желательности.

Сравнение различных подходов было выполнено для условий управления материально-технического снабжения и комплектации ООО «Газпромтрансгаз-Екатеринбург» в целях установления рейтинга в отношении результатов производственно-хозяйственной деятельности по кварталам работы в течение 2019 г. Для оценки использовались показатели по пяти разделам: долгосрочное, среднесрочное, краткосрочное планирование; управление планами качества; обеспечение энергоресурсами; энергоснабжение; договорная работа. Исходные данные – в табл. 2.

Таблица 2. Исходные данные.

Table 2. Source data.

Показатель	Квартал			
	I	II	III	IV
Прибыль от услуг по хранению, млн руб.	0,082	0,108	0,102	0,093
Затраты на нефтепродукты и ГМТ, млн руб.	75,968	88,153	87,352	84,587
Выручка от прочих видов деятельности, млн руб.	0,911	0,571	0,612	1,096
Расходы на оплату труда, социальные льготы и выплаты, млн руб.	89,503	114,058	100,07	80,18
Прочие расходы, млн руб.	6,301	8,365	10,694	5,845
Результативность планов качества, кол-во результативных планов	29,79	30,62	30,35	33,04
Время восстановления электроснабжения 3-й категории надежности, ч	2,072	5,85	3,447	3,219
Соблюдение нормативов потребления воды, % от плана	104,2	112,18	99,52	98,03
Подписание договоров, кол-во подписанных договоров	90	53	77	103
Аренда, млн руб.	1,666	1,703	3,715	4,704

Таблица 3. Частные и обобщенная функции желательности, рассчитанные по (1), (2).

Table 3. Partial and generalized desirability functions calculated by (1), (2).

Индикаторы	Частные функции желательности			
	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
Прибыль от услуг по хранению	0,368	0,692	0,629	0,519
Затраты на нефтепродукты и ГМТ	0,692	0,368	0,392	0,474
Выручка от прочих видов деятельности	0,592	0,368	0,397	0,692
Расходы на оплату труда, социальные льготы и выплаты	0,616	0,368	0,516	0,692
Прочие расходы	0,669	0,548	0,368	0,692
Результативность планов качества	0,368	0,461	0,431	0,692
Время восстановления электроснабжения 3-й категории надежности	0,692	0,368	0,589	0,608
Соблюдение нормативов потребления воды	0,524	0,692	0,407	0,368
Подписание договоров	0,621	0,368	0,539	0,692
Аренда	0,368	0,372	0,601	0,692
Обобщенная функция желательности	0,534	0,445	0,478	0,600
Место квартала в рейтинге	2	4	3	1

Результаты расчета частных и обобщенной функций желательности по этим данным приведены в табл. 3, 4, причем в табл. 3 вычисления d_i производились по формулам (1), (2), а в табл. 4 – по формулам (3), (4), тогда как D в обоих случаях находилась по (5).

Для сравнения в табл. 5 приведен еще один (упрощенный) вариант рейтинговой оценки с использованием процентных оценок рассматриваемых показателей по

отношению к максимальному (минимальному) значению желательных (нежелательных) к увеличению критериев с учетом перевода их в относительные индексы, т. е. по формулам

$$d_i = \frac{x_i}{x_{\max}} \quad \text{или} \quad d_i = \frac{x_{\min}}{x_i} \quad (7)$$

соответственно.

Таблица 4. Частные и обобщенная функции желательности, рассчитанные по (3), (4).

Table 4. Partial and generalized desirability functions calculated according to (3), (4).

Индикаторы	Частные функции желательности			
	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
Прибыль от услуг по хранению	0,963	1	0,998	0,989
Затраты на нефтепродукты и ГМТ	1	0,989	0,990	0,994
Выручка от прочих видов деятельности	0,983	0,820	0,851	1
Расходы на оплату труда, социальные льготы и выплаты	0,994	0,941	0,976	1
Прочие расходы	0,997	0,939	0,842	1
Результативность планов качества	0,995	0,997	0,996	1
Время восстановления электроснабжения 3-й категории надежности	1	0,629	0,883	0,910
Соблюдение нормативов потребления воды	0,997	1	0,993	0,991
Подписание договоров	0,990	0,814	0,959	1
Аренда	0,629	0,640	0,973	1
Обобщенная функция желательности	0,947	0,865	0,944	0,988
Место квартала в рейтинге	2	4	3	1

Таблица 5. Частные и обобщенная функции желательности, рассчитанные по (7).

Table 5. Partial and generalized desirability functions calculated by (7).

Индикаторы	Частные функции желательности			
	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
Прибыль от услуг по хранению	0,759	1	0,944	0,861
Затраты на нефтепродукты и ГМТ	1	0,862	0,870	0,898
Выручка от прочих видов деятельности	0,831	0,521	0,558	1
Расходы на оплату труда, социальные льготы и выплаты	0,896	0,703	0,801	1
Прочие расходы	0,927	0,699	0,547	1
Результативность планов качества	0,902	0,928	0,919	1
Время восстановления электроснабжения 3-й категории надежности	1	0,354	0,601	0,644
Соблюдение нормативов потребления воды	0,929	1	0,887	0,874
Подписание договоров	0,874	0,515	0,748	1
Аренда	0,354	0,362	0,790	1
Обобщенная функция желательности	0,819	0,650	0,752	0,920
Место квартала в рейтинге	2	4	3	1

Таблица 6. Сравнение обобщенных функций желательности по вариантам
Table 6. Comparison of generalized desirability functions.

Сравниваемые варианты	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
Расчет по (1), (2)	0,534	0,445	0,478	0,600
Расчет по (4), (5)	0,947	0,865	0,944	0,988
Расчет по (10)	0,819	0,650	0,752	0,920
Место квартала в рейтинге	2	4	3	1

Выводы

Анализируя табл. 3–5, можно заметить, что, несмотря на несовпадение значений d_i в соответствующих клетках табл. 3–5 по формулам (1), (2), все значения d_i лежат в диапазоне только от 0,37 до 0,69, тогда как расчеты по формулам (3), (4), (7) дают весь диапазон значений от 0 до 1, рейтинг по обобщенной D полностью совпадает (табл. 6).

По-видимому, все приведенные способы расчета частных функций желательности правомерны, однако первый вариант (табл. 3) представляется более удобным технически ввиду отсутствия значений d_i , близких к нулевым, осложняющих расчеты с помощью вычислительной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разманова С. В., Мазурина Е. В. Комплексный подход к оценке экономической эффективности разработки месторождений углеводородов на завершающем этапе // Минеральные ресурсы России. 2010. № 6. С. 25–30.
2. Балашенко В. В., Соколов А. С., Душин А. В., Валиев В. Н. Конкурентоспособность золоторудных месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2020. № 1. С. 89–96. <https://dx.doi.org/10.21440/0536-1028-2020-1-89-96>
3. Корнилов С. В., Кантемиров В. Д. Основные тенденции производства и потребления железорудного сырья в России // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 2. С. 14–20.
4. Парето – оптимальные решения многокритериальных задач – М.: Наука. 1982 – 254 с.
5. Афоничкин А. И., Михаленко Д. Г. Управленческие решения в экономических системах. СПб.: Питер, 2009. 480 с.
6. Теория выбора и принятия решений / под ред. И. М. Макирова. М: Наука, 1982. 328 с.
7. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. Рига: Знание, 1990. 184 с.
8. Кани Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 242 с.
9. Moran P. Notes on continuous stochastic phenomena // Biometrika 1950 № 37(1/2) – P. 17-23. <http://doi.org/10.2307/2332142> 1950.
10. Anselin L. The Moran Scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association // In: Spatial Analytical Perspectives on GIS in Environmental and Socio – Economic Sciences. 1996. P. 111-125.
11. Kaufman L. Rousseeau P.J. Finding Groups in Data: An introduction to Cluster Analyses Hoboken. New Jersey: Wiley & Sons. 2005. 342 p.
12. King R.S. Cluster Analyses and Data Mining: An Introduction. Herndon: Mtrcury Learning and Information. 2015. 300 p
13. Harrington E. C. The desirable function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. № 10. P. 124–131.
14. Гелашвили Д. Б., Лисовенко А. В., Зазнобина Н. И., Королев А. А. Применение обобщенной функции желательности для оценки экологической обстановки на объектах разного масштаба: город, регион // Проблемы региональной экологии. 2009. № 2. С. 83–88.
15. Гелашвили Д. Б., Лисовенко А. В., Безруков М. Е. Применение интегральных показателей на основе функции желательности для комплексной оценки качества сточных вод // Поволжский экологический журнал. 2014. № 1. С. 130–138.
16. Зазнобина Н. И., Молякова Е. Д., Басуров В. А., Гелашвили Д. Б. Рейтинговый анализ стран БРИКС по социо-эколого-экономическим показателям на основе обобщенной функции желательности // Проблемы региональной экологии. 2018. № 3. С. 137–142.
17. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1979. 349 с.

Статья поступила в редакцию 25 мая 2020 года

Using desirability functions when making managerial decisions in the mineral resource complex

Artem Valer'evich PONOMAREV^{1*},
Lyudmila Vital'evna VLASOVA^{2***},
Irina Vladislavovna PEREGON^{2***}

¹LLC "Gazpromtransgaz-Ekaterinburg", Ekaterinburg, Russia

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Relevance. The ever-growing flows of information, tight deadlines for decision-making, the need to maintain competitive positions require ranking calculations to identify leaders and promote leadership factors, ranking units of business entities according to selected criteria, etc. Reliability, visualization, and often acceleration of obtaining results predetermine the appeal to mathematical techniques.

Purpose of the study: substantiation of choice of the most acceptable option of the desirability function for use in the process of making managerial decisions related to the development of subsoil resources.

Research method: comparative analysis of options for calculating the desirability function, comparison method, methods of mathematical statistics.

Results. Two options for calculating the desirability function are considered. The first one developed by E. Harrington, who proposed a special verbal-numerical scale, which made it possible to formalize the system of preferences of different experts. The partial function of desirability, in this case, is constructed so that it is close to "satisfactory" linear one. According to recommendations, the lower and upper boundaries of "satisfactorily" correspond to the minimum and maximum values of indicators for the available data array. There is a slightly different approach to the determination of the partial function of desirability described in a number of works. The generalized desirability function is a convolution of particular functions and is defined as the geometric mean or logarithmic mean. It is possible to use weighting factors with different significance of particular desirability functions. Comparison of various approaches is made for the conditions of management of logistics and equipment of OOO Gazpromtransgaz-Yekaterinburg. An analysis of the results shows that despite discreteness of the particular desirability functions, which in the first case lie in the range from 0.37 to 0.69, and give the entire range of values from 0 to 1 in the second one, the ratings for the generalized desirability function completely coincide with regard to determining a rating of quarterly values of industrial and economic activity. It follows that both methods of calculating partial functions are legitimate, however, the first option seems more convenient technically due to the absence of values of partial desirability functions close to zero, which complicate calculations using computer technology. A third version of the rating was also tested using calculated percentage estimates of the indicators under consideration with respect to the maximum desired value (taking into account their conversion into the relative indices). As in previous cases, the rating of countries according to the generalized function of desirability turned out to be comparable with previously calculated.

Conclusions. Comparative calculations confirmed the validity of both options for finding particular desirability functions, since the ratings for the generalized desirability function coincide. The first version of the calculation is more convenient due to the lack of values of particular desirability functions close to zero, which simplifies the use of computer technology.

Keywords: economic research, rating, desirability function, private and generalized functions, comparison, choice.

REFERENCES

1. Razmanova S.V., Mazurina E.V. 2010, Integrated approach to assessing the economic efficiency of developing hydrocarbon deposits at the final stage. *Mineral'nyye resursy Rossii* [Mineral resources of Russia], no. 6. pp. 25–30. (In Russ.)
2. Balashenko V. V., Sokolov A. S., Dushin A. V., Valiev V. N. 2020, Competitiveness of gold ore deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 1. pp. 89–96. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.21440/0536-1028-2020-1-89-96>
3. Kornilkov S. V., Kantemirov V. D. 2014, The main trends in the production and consumption of iron ore in Russia. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 2. pp. 14–20. (In Russ.)
4. 1982, *Pareto – optimal'nyye resheniya mnogokriterial'nykh zadach* [Pareto - optimal solutions to multicriteria problems], Moscow, 254 p.
5. Afonichkin A. I., Mikhaleiko D. G. 2009, *Upravlencheskiye resheniya v ekonomicheskikh sistemakh* [Management decisions in economic systems], Saint-Petersburg, 480 p.
6. 1982, *Teoriya vybora i prinyatiya resheniy* [Theory of Choice and Decision Making], ed. by I. M. Makirova. Moscow, 328 p.
7. Borisov A. N., Krumberg O. A., Fedorov I. P. 1990, *Prinyatiye resheniy na osnove nechetkikh modeley. Primery ispol'zovaniya* [Decision making based on fuzzy models. Examples of using], Riga, 184 p.
8. Kani R., Rayfa Kh. 1981, *Prinyatiye resheniy pri mnogikh kriteriyakh: predpochteniya i zameshcheniya* [Decision making under many criteria: preferences and substitutions], Moscow, 242 p.
9. Moran P. 1950, notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* no. 37(1/2) – P. 17-23. <http://doi.org/10.2307/2332142>
10. Anselin L. The Moran Scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association // In: *Spatial Analytical Perspectives on GIS in Environmental and Socio-Economic Sciences*. 1996. P. 111-125.

*avponomarev@ekaterinburg-tr.gasprom.ru

**vlasov2079@rambler.ru

***ief.etp@m.ursmu.ru

11. Kaufman L. Rousseeau P.J. Finding Groups in Data: An introduction to Cluster Analyses Hoboken. New Jersey: Wiley & Sons. 2005 . 342 p.
12. King R.S. Cluster Analyses and Data Mining: An Jntoduction. Herndon: Mtrcury Learning and Jnformation. 2015. 300 p
13. Harrington E. C. The desirable function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. № 10. P. 124–131.
14. Gelashvili D. B., Lisovenko A. V., Zaznobina N. I., Korolev A. A. 2009, Application of the generalized desirability function for assessing the ecological situation at objects of various sizes: city, region. *Problemy regional'noy ekologii* [Regional Environmental Issues], no. 2. pp. 83–88. (In Russ.)
15. Gelashvili D. B., Lisovenko A. V., Bezrukov M. E. 2014, Application of integral indicators based on the desirability function for a comprehensive assessment of wastewater quality. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Povolzhskiy Journal of Ecology], no. 1. pp. 130–138. (In Russ.)
16. Zaznobina N. I., Molkova E. D., Basurov V. A., Gelashvili D. B. 2018, Ranking analysis of the BRICS countries by socio-ecological and economic indicators based on the generalized desirability function. *Problemy regional'noy ekologii* [Regional Environmental Issues], no. 3. pp. 137–142. (In Russ.)
17. Beshelev S. D., Gurvich F. G. 1979, *Matematiko-statisticheskiye metody ekspertnykh otsenok* [Mathematical and statistical methods of expert estimates], Moscow, 349 p.

The article was received on May, 25, 2020