

IMPROVING THE CRITERIA FOR CHOOSING THE STRATEGIES IN MANAGEMENT BY GEOTECHNICAL SYSTEMS

¹Lapshyn Ye.S., ²Molchanov R.N., ¹Blyuss B.A., ¹Osadcha N.V.

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²State Institution "Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of Health of Ukraine"

ВДОСКОНАЛЕННЯ КРИТЕРІЇВ ВИБОРУ СТРАТЕГІЙ УПРАВЛІННЯ ГЕОТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

¹Лапшин Є.С., ²Молчанов Р.М., ¹Блюсс Б.О., ¹Осадча Н.В.

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ²ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

¹Лапшин Е.С., ²Молчанов Р.Н., ¹Блюсс Б.А., ¹Осадчая Н.В.

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²ДЗ «Днепропетровская медицинская академия МОЗ Украины»

Annotation. The authors of presented work showed that the need for decision-making based on game theory was determined by a combination of the criteria and the tools effectiveness in the planning of mining operations and the management of technological processes in mining enterprises. The main purpose of the work was to improve the criteria by taking into consideration the influence of possible states of nature (geological disturbances) on the choice of management strategy. The conclusion has been made about the necessity to choose the optimal strategies for management by geotechnical systems, based on the analysis of geological faults, which are the main indicator of the mining and geological conditions that characterize the mineral deposits, as well as on the parameters for the infrastructure development of the underground space. It was shown in the paper that the Wald criterion (the criterion of a guaranteed result, the criterion of pessimism) is one of the most important criteria for reliable decision making. It is also used in a number of composite criteria: Hurwitz, Hodge-Lehman and Germeyer-Hurwitz. When constructing some mathematical model, the authors had determined the scope of Wald's criterion: nothing is known about the probabilities of states of nature; we will not allow risk; only a small number of solutions can be implemented. The methodological peculiarity of solving the problems set is the use of game theory with modified criteria of Wald, maximax and Savage, since the manifestation of specific geological faults is probabilistic in nature. When choosing the optimal strategy, the average linear deviations of gains or risks are taken into account. As a result of the studies, it was found that the disadvantage of the Wald, maximax and Savage criteria is that they do not take into consideration all the states of nature - possible geological faults. In order to avoid this disadvantage, it is proposed, when choosing the optimal strategy, in addition to take into consideration the average linear deviations of gains or risks that characterize the effectiveness of management by geotechnical systems.

Keywords: geological disturbances, game theory, Wald criterion, maximax criterion, Savage criterion.

Introduction. At present, the geological faults, which characterize the conditions for the development of mineral deposits, determine the choice of technical means and technological solutions.

According to the time of formation and the nature of impact on the seams, the main geological faults can be represented in the following groups: tectonic disjunctive dislocations with seams fracturing; tectonic plicative, causing the curvature of the seams boundaries; dislocations of sedimentation character, which reflect the changes in the structure and thickness of the seams, their bottom and roof [1].

The dislocation with a break in continuity – this is a discontinuity of mine rocks along a certain surface, accompanied by the rock blocks movement relative to each other. The dislocations with a break of continuity are characterized by such effects as fracture, rupture, disjunctive (rupture) dislocation, disjunctive break, rupture displacement, tectonic rupture. The dimensions of dislocations with a break of continuity vary in the range: the extent - from meters to thousands of kilometres, the value of rocks displacement - from centimetres to hundreds of kilometres. In this regard, local, regional, crustal and general planetary faults are distinguished, which differ in length, value of displacement and geological significance.

It should be noted that the most widespread is the morphological classification of dislocations with a break in continuity based on the characteristics: the direction of the relative displacement of the fault wings, the direction and incidence angle of the fault plane. According to these signs, the following groups of discontinuity structures are distinguished: normal faults, expansions, reverse faults, thrusts and lags. This classification divides the faults into those formed under conditions of compression (reverse faults, thrusts, lags) or of stretching (normal faults, expansions) of the earth's crust.

The effectiveness of accepted technological decisions, depending on the probability of a specific geological fault, determines the choice of the optimal strategy for management by geotechnical systems. And this is reflected in the elements of a certain matrix, the interpretation of which is possible based on the methodology of game theory.

The necessity to make decisions based on game theory is determined by a set of criteria and well-known tooling when planning the mining operations and managing the technological processes in mining enterprises [2 - 8].

Main part. Let us consider the problem of decision-making under the conditions of indeterminacy [5, 11–13]. The indeterminacy means the absence or lack of information about the possible manifestation of geological faults [9]. In this case, it is advisable to use a mathematical model ‘Game with Nature’. In the game, a conscious ‘player’ is a decision-making person (DMP), and ‘nature’ is a geotechnical system (natural environment). At the same time there is no information about the probabilities of the state of nature.

It is assumed that the player has m of strategies (A_1, \dots, A_m) , and the nature has n of possible states (Π_1, \dots, Π_n) . The ‘gains’ a_{ij} are known of a player at i of a strategy and j of a state of nature. A set of elements a_{ij} form a matrix of game A with size $m \times n$.

In order to choose the optimal strategy, the following classical criteria are used: maximin Wald, maximax and Savage. However, they do not take into account the distribution of all the gains and risks in the different states of nature.

The objective of work is to improve the criteria by taking into account the influence of possible states of nature - geological faults on the choice of management strategy.

Wald criterion. The Wald criterion (criterion of guaranteed result, criterion of pessimism) is one of the most important criteria for reliable decision-making [5, 11–13]. It is also used in a number of composite criteria: Hurwitz, Hodges–Lehmann and Germeyer-Hurwitz.

The application area of Wald criterion:

- nothing is known about the probabilities of states of nature;
 - risk is not allowable;
 - only a small number of solutions is realizable.
- The Wald criterion is calculated by the formula

$$W = \max_i \min_j a_{ij}.$$

For each strategy A_i , we perform a repositioning (ranking) of gains a_{ij} , arranging them in a non-decreasing order [11, 12]. The elements of the obtained matrix are denoted by b_{ij} , and the matrix itself by B .

Thus, in each i -th row of the matrix B we have:

$$b_{i1} \leq b_{i2} \leq \dots \leq b_{im}. \quad (1)$$

By virtue of the ratio (1), the first column consists of the minimum gains

$$b_{i1} = \min_j a_{ij}.$$

Hence, the Wald criterion

$$W = \max_i b_{i1} = \max_i \min_j a_{ij}.$$

The strategy for which the Wald criterion is valid, will be denoted by A_W .

In addition to the traditional approach, we will introduce into consideration the allowable interval for the Wald criterion

$$W_{\min} \leq W,$$

where W_{\min} – the low limit of the Wald criterion, acceptable to DMP.

In case of the strategies A_i existence, for which b_{i1} is within the interval $[W_{\min}, W]$, it is possible to choose a strategy better than A_W . To do this, we determine the increment in gain compared with the minimum possible

$$\delta_{ij} = b_{ij} - b_{i1}.$$

The averaged increment of gain for i -th strategy is characterized by the average linear deviation relative to b_{i1}

$$\bar{\delta}_i = \frac{1}{m-1} \sum_{j=2}^m \delta_{ij}. \quad (2)$$

When comparing the two strategies, the strategy is more favourable that provides the higher averaged increment.

Maximax criterion. The maximax criterion (optimism criterion) is calculated according to the dependence

$$M = \max_i \max_j a_{ij}.$$

It follows from the ratio (1) that the last column in the matrix B consists of the maximum gains. In this regard, the criterion M can be written in this form

$$M = \max_i b_{im}.$$

Let us introduce into consideration the allowable interval for the maximax criterion

$$M_{\min} \leq M,$$

where M_{\min} – the low limit of the criterion, acceptable to DMP.

The strategy corresponding to the criterion M is denoted by A_M .

For the strategies A_i , at which $b_{im} \in [M_{\min}, M]$ the choice is possible of better than A_M . For this purpose, we determine the decrease in gain as compared with the maximum possible

$$\Delta_{ij} = b_{im} - b_{ij}. \quad (3)$$

The averaged decrease in gain for the i -th strategy will be described by means of the average linear deviation relative to b_{im}

$$\bar{\Delta}_i = \frac{1}{m-1} \sum_{j=2}^m \Delta_{ij}. \quad (4)$$

Of the two strategies, preference should be given to that one, which has a lower value of $\bar{\Delta}_i$.

To the right side of (3) we add and subtract b_{i1} , and then having performed grouping - we obtain

$$b_{im} - b_{ij} = (b_{im} - b_{i1}) - (b_{ij} - b_{i1})$$

Given that $\delta_{ij} = b_{ij} - b_{i1}$, we will obtain the dependence between the average linear deviations

$$\bar{\Delta}_i = \frac{m}{m-1} (b_{im} - b_{i1}) - \bar{\delta}_i. \quad (5)$$

The formula (5) can be used to verify the obtained values of $\bar{\Delta}$ and $\bar{\delta}_i$.

Example. Game model matrix

$$A = \begin{pmatrix} 6.0 & 13.6 & 12.0 & 9.0 \\ 8.0 & 13.0 & 14.0 & 6.8 \\ 10.0 & 7.0 & 11.0 & 10.0 \end{pmatrix},$$

where gains are in conventional units. Having performed the ranking, we obtain

$$B = \begin{pmatrix} 6.0 & 9.0 & 12.0 & 13.6 \\ 6.8 & 8.0 & 13.0 & \underline{14.0} \\ \underline{7.0} & 10.0 & 10.0 & 11.0 \end{pmatrix}.$$

The first column of the matrix B consists of minimal elements. The maximum of them is $b_{31} = 7$ (underlined by a single line), therefore, by Wald criterion, the third strategy is optimal. Suppose that for DMP it is permissible to reduce the gain by 0.5. Since 6.8 is in the interval of 6.5–7, then we will compare the strategies A_2 and A_3 according to the average linear increments. The calculations by the formula (2) gave the result $\bar{\delta}_2 = 4.87$ and $\bar{\delta}_3 = 3.33$, i.e., $\bar{\delta}_2 > \bar{\delta}_3$. Thus, it is rational to choose the second strategy.

If DMP is focused on an optimistic result, then according to the maximax criterion $M = b_{23} = 14$ (underlined by a double line) – the second strategy is optimal. Let the former value of the decrease in gain is allowable, as $13.6 \in [13, 5, 14]$, then, having compared the strategies A_1 and A_2 according to average linear increments, by the formula (4), we will obtain $\bar{\Delta}_1 = 4.6$ and $\bar{\Delta}_2 = 4.73$, i.e., $\bar{\Delta}_1 < \bar{\Delta}_2$. From which it follows that it is rational to choose the first strategy.

Savage criterion. The Savage criterion is similar to the strategy choice by the Wald criterion, but DMP is guided by a risk matrix R , the elements of which are calculated by the formula

$$r_{ij} = \alpha_j - \alpha_{ij}, \quad (6)$$

where $\alpha_j = \max_i a_{ij}$, $j = 1, 2, \dots, n$, $i = 1, 2, \dots, m$.

The elements r_{ij} characterize the value of losses.

The criterion of minimum risk by Savage [3, 4, 13]

$$S = \min_i \max_j r_{ij}.$$

For all A_i strategies, we will reposition the risks r_{ij} in non-decreasing order. The obtained matrix is denoted by H , and its elements by h_{ij} . The last column h_{in} consists of maximum risks. This make possible to write the Savage criterion in the following form

$$S = \min_i h_{in}. \quad (7)$$

Let the allowable interval for the Savage criterion is

$$S_{\max} \geq S,$$

where S_{\max} – the upper limit of the criterion, acceptable to DMP.

For strategies A_i , which have $h_{im} \in [S, S_{\max}]$, the choice is possible of better than A_s . For this purpose, we determine the decrease in risk as compared with the maximum possible

$$\Delta h_{ij} = h_{im} - h_{ij}. \quad (8)$$

The averaged decrease in risk for the i -th strategy is characterized by the average linear deviation relative to h_{im}

$$\bar{\Delta}h_i = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \Delta h_{ij}. \quad (9)$$

The strategy should be chosen that provides a greater decrease in risk.

Example. The matrix of gains is given

$$A = \begin{pmatrix} 1.2 & 4.0 & 4.7 & 6.0 \\ 3.0 & 3.3 & 7.0 & 3.0 \\ 4.0 & 4.8 & 6.0 & 2.0 \end{pmatrix}$$

We calculate the risk matrix by the formula (6)

$$R = \begin{pmatrix} 2.8 & 0.8 & 2.3 & 0.0 \\ 1.0 & 0.6 & 0.0 & 3.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 4.0 \end{pmatrix}$$

Let us perform the ranking by the matrix R rows

$$H = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.8 & 2.3 & \mathbf{2.8} \\ 0.0 & 0.6 & 1.0 & 3.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & 4.0 \end{pmatrix}.$$

According to the Savage criterion (7), which is equal to 2.8 (it is in bold in the matrix), the first strategy should be chosen. Let the allowable increase in the risk is by 0.5. This condition is satisfied by the second strategy. The calculations by (9) gave the following result: $\bar{\Delta}h_1 = 1.77$ and $\bar{\Delta}h_2 = 2.47$. Since $\bar{\Delta}h_1 < \bar{\Delta}h_2$, then it is rational to choose the second strategy.

Conclusions. The disadvantage of the Wald, maximax and Savage criteria is that they do not take into account all the states of nature - possible geological faults. In order to avoid this disadvantage, it is proposed, when choosing the optimal strategy, in addition to take into account the average linear deviations of gains or risks that characterize the effectiveness of management by geotechnical systems.

REFERENCES

1. Mineev S.P., Rubinskiy, A.A., Vitushko, O.V. and Radchenko, A.G. (2010). *Gornye raboty v slozhnykh usloviyakh na vybrosopasnykh ugolnykh plastakh* Donetsk: Shidnyi vidavnicхий dim
2. Taha, Hemdi (2005). *Vvedenie v issledovanie operacij*. Moskva: Izdatel'skij dom "Vil'yams"
3. Shiyan, A.A. (2009). *Teoriya igor: osnovi ta zastosuvannya v ekonomici ta menedzhmenti*. Vinnicya: VNTU
4. Petrushenko, M.M. (2012). Economic "games against nature": a model for decision-making in the field of environmental conflict management. *Biznes Inform*, 4, 130-132
5. Shapkin, A.S., Shapkin, V.A. (2005). *Teoriya riska i modelirovanie riskovykh situacij*. Moskva: Izdatel'sko-torgovaya korporaciya «Dashkov & C^o»
6. Shubik, M. (2012). The present and future of game theory. *Matematicheskaya teoriya igr i ee prilozheniya* [Mathematical game theory and its applications], 4, 1, 93-116
7. Kaluski, Ya. (2011). Application of game theory in the planning and management of mining enterprise resources, *Komp'yuting* [Computing], 10, 2, 172-178
8. Bulat, A.F., Bun'ko, T.V., Kokoulin, I.Ye., and Yashchenko, I.A. (2017). The criteria for use of a risk matrix for the improvement of production management system and occupational safety and health in coal mines. *Geotekhnicheskaya mehanika* [Geo-Technical Mechanics], 133, 228-238
9. Information Services (2011). Indeterminacy, available at: <https://ru.wikipedia.org>
10. Vil'chek, F. (2016). *Krasota fiziki: Postigaya ustroystvo prirody*. Moskva: Al'pina non-fikshn
11. Labsberg, L.G., Yanovskai, E.V. (2002). General methodology for constructing criteria for optimal solutions in the conditions of risk and uncertainty, *Upravleniye riskom* [Risk management], 4, 13-24
12. Labsberg, L.G. (2009). On the indicator of optimism of a person making a decision on the Generalized Hurwitz criterion. *Ekonomicheskiye nauki* [Economics], 53, 305-312
13. Mikhaelis, V.V. (2016). The application of some criteria for the selection of the optimal strategy in game theory. *Informatsionnyye tekhnologii i problemy modelirovaniya slozhnykh sistem* [Information technologies and problems of modeling complex systems]. Irkutsk: IrGUPS, 15, 89-95

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Минеєв, С.П. Горні роботи в складних умовах на вибросоопасних угольних пластах: монографія / С. П. Минеєв, А. А. Рубинський, О. В. Витушко, А. Г. Радченко ; НАН України, Ін-т геотехн. механіки ім. Н. С. Полякова. - Донецьк : Схід. вид. дім, 2010. - 603 с.
2. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. - 912 с.
3. Шиян А.А., Теорія ігор: основи та застосування в економіці та менеджменті. – Вінниця; ВНТУ, 2009. – 164 с.
4. Петрушенко М.М., Економічні «ігри проти природи»: модель прийняття рішень у сфері управління екологічними конфліктами // «Бізнес Інформ». 2012. – №4. – С. 130–132.
5. Шапкин А. С., Шапкин В. А. Теория риска и моделирование рискованных ситуаций: Учебник. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^o», 2005. — 880 с.
6. Шубик М., Настоящее и будущее теории игр // Математическая теория игр и ее приложения. 2012. –Т. 4. №1.– С. 93–116.
7. Калуски Я., Применение теории игр в планировании и управлении ресурсами горнодобывающего предприятия // Компьютинг, 2011.– том 10, вытек 2.– С.172–178.
8. Критерии использования матрицы рисков при совершенствовании системы управления производством и охраной труда на угольных шахтах / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, И.А. Яценко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ, 2017. – Вип. 133. – С. 228–238.
9. Неопределенность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org> – Загл. с экрана.
10. Вильчек Ф., Красота физики: Постигая устройство природы / Фрэнк Вильчек ; Пер. с англ. — М.: Альпина нон-фикшн, 2016. – 604 с.
11. Лабскер Л.Г., Яновская Е.В. Общая методика конструирования критериев оптимальности решений в условиях риска и неопределенности., // Управление риском. 2002.– № 4. – С.13–24.
12. Лабскер Л.Г., О показателе оптимизма лица, принимающего решение по Обобщенному критерию Гурвица // Экономические науки. 2009.– № 53. – С. 305 – 312.
13. Михаэлис В.В., Применение некоторых критериев при выборе оптимальной стратегии в теории игр // Информационные технологии и проблемы моделирования сложных систем. – Иркутск: ИрГУПС, 2016.– Вып.15. – С. 89- 95.

About the authors

Lapshin Yevhen Semenovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Principal Researcher in the Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, les48@i.ua

Molchanov Robert Mykolaiovych, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Surgery No. 1, SI "Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of Health of Ukraine", Dnipro, Ukraine

Blyuss Borys Oleksandrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, blyuss@googlemail.com

Osadcha Nataliia Viktorivna, Doctor of Economical Sciences, Senior Researcher in the Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine

Про авторів

Лапшин Євген Семенович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, les48@i.ua

Молчанов Роберт Миколайович, доктор медичних наук, професор, професор кафедри хірургії №1 ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», Дніпро, Україна

Блюсс Борис Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, blyuss@gmail.com

Осадча Наталія Вікторівна, доктор економічних наук, старший науковий співробітник відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна

Анотація. Авторами статті показано, що необхідність в ухваленні рішень на основі теорії ігор визначається сукупністю критеріїв та ефективністю інструментів при плануванні гірничих робіт і управлінні технологічними процесами на гірничодобувних підприємствах. Мета роботи - удосконалення критеріїв шляхом врахування впливу можливих станів природи (геологічних порушень) на вибір стратегії управління. На основі аналізу відомих гірничо-геологічних порушень при розробці родовищ корисних копалин і розвитку інфраструктури підземного простору зроблено висновок про необхідність вибору оптимальних стратегій управління геотехнічними системами. В роботі показано, що критерій Вальда (критерій гарантованого результату, критерій песимізму) є одним з найбільш важливих критеріїв для надійного прийняття рішень. Він також застосовується і в ряді складових критеріїв: Гурвіца, Ходжа-Лемана і Гермейера-Гурвіца. Авторами при побудові математичної моделі визначено область застосування критерію Вальда: про можливість станів природи нічого не відомо; не допустимо ризик; піддається реалізації тільки мала кількість рішень. Методологічною особливістю вирішення поставлених завдань є використання теорії ігор з модифікованими критеріями Вальда, максимакс і Севіджа, так як прояв конкретних геологічних порушень носить імовірнісний характер. При виборі оптимальної стратегії враховуються середні лінійні відхилення вигравів або ризиків. В результаті проведених досліджень встановлено, що недолік критеріїв Вальда, максимакс і Севіджа полягає в тому, що вони не враховують всі стани природи - можливі геологічні порушення. Для усунення цього недоліку запропоновано, при виборі оптимальної стратегії, додатково враховувати середні лінійні відхилення вигравів або ризиків, що характеризують ефективність управління геотехнічними системами.

Ключові слова: геологічні порушення, теорія ігор, критерій Вальда, критерій максимакса, критерій Севіджа.

Аннотация. Авторами в работе показано, что необходимость в принятии решений на основе теории игр определяется совокупностью критериев и эффективностью инструментов при планировании горных работ и управлении технологическими процессами на горнодобывающих предприятиях. Цель работы – усовершенствование критериев путем учета влияния возможных состояний природы (геологических нарушений) на выбор стратегии управления. На основе анализа известных горно-геологических нарушений при разработке месторождений полезных ископаемых и развития инфраструктуры подземного пространства сделан вывод о необходимости выбора оптимальных стратегий управления геотехническими системами. В работе показано, что критерий Вальда (критерий гарантированного результата, критерий пессимизма) является одним из наиболее важных критериев для надежного принятия решений. Он также применяется и в ряде составных критериев: Гурвица, Ходжа-Лемана и Гермейера-Гурвица. Авторами при построении математической модели определена область применения критерия Вальда: о вероятностях состояний природы ничего не известно; не допустим риск; реализуемо только малое количество решений. Методологической особенностью решения поставленных задач является использование теории игр с модифицированными критериями Вальда, максимакса и Севиджа, так как проявление конкретных геологических нарушений носит вероятностный характер. При выборе оптимальной стратегии учитываются средние линейные отклонения выигрышей или рисков. В результате проведенных исследований установлено, что недостаток критериев Вальда, максимакса и Севиджа заключается в том, что они не учитывают все состояния природы – возможные геологические нарушения. Для устранения этого недостатка предложено, при выборе оптимальной стратегии, дополнительно учитывать средние линейные отклонения выигрышей или рисков, характеризующих эффективность управления геотехническими системами.

Ключевые слова: геологические нарушения, теория игр, критерий Вальда, критерий максимакса, критерий Севиджа.

Стаття надійшла до редакції 20.06. 2019

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук С.П. Мінеєвим