

Моделирование процессов оценки запасов железорудного сырья в условиях неопределенности

Наталия Н. Некрасова,¹ Nekrasova-N@yandex.ru
Евгения Г. Кабулова,² evgenia791@mail.ru
Александр А. Маслов³ imasslove@mail.ru

¹ кафедра высшей математики, Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т., ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия

² кафедра высшей математики, Старооскольский техн.-инст. им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ "МИСиС", м-н. Макаренко, 40, г. Старый Оскол, 309516, Россия,

³ кафедра информационных и управляющих систем, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. В данной статье предложено оценивать технологические параметры горно-металлургического производства (запасы железорудного сырья) с учетом нечетко заданных величин в условиях неопределенности с применением балансового и промышленного методов подсчета запасов руды. В связи с тем, что моделирование процессов добычи рудного сырья связано параметрами уравнений, которые содержат переменные с различным характером неопределенности, целесообразнее представлять всю информацию на едином формальном языке теории нечетких множеств. Таким образом, предложена модель подсчета и оценки запасов железной руды различными методами в условиях неопределенности горно-геологической информации на основе теории нечетких множеств. При этом неопределенные величины намеренно интерпретируются как «нечеткие», так как данный подход в большей мере соответствует реальной промышленной ситуации, чем интерпретация таких величин с точки зрения случайных. Принимается во внимание тот факт, что применение вероятностного подхода приводит к отождествлению неопределенности со случайностью, но на практике основной природой неопределенности при подсчете запасов железной руды является именно нечеткость. Согласно предлагаемому подходу каждый нечеткий параметр задается в виде соответствующей функции принадлежности, определять которые предлагается с помощью общего алгоритма, как результат алгебраических операций над произвольными функциями принадлежности обратным численным методом. Ввиду существования множества моделей, описывающих один и тот же производственный процесс различными методиками (например, балансовая модель и промышленная модель) и при различных допущениях, предложено проводить координацию таких моделей на основе разработанной модели агрегирования разнородной информации. Для согласования такого рода информации, ее обобщения и корректировки итоговых параметров целесообразно использовать аппарат теории нечетких множеств, что позволяет получить количественную характеристику неточно заданных параметров и принимать наиболее обоснованные решения.

Ключевые слова: запасы железной руды, условия неопределенности, нечеткие множества

Mathematical modeling of the processes of estimating reserves of iron ore raw materials in conditions of uncertainty

Nataliya N. Nekrasova,¹ Nekrasova-N@yandex.ru
Evdeniya G. Kabulova,² evgenia791@mail.ru
Aleksandr A. Maslov³ imasslove@mail.ru

¹ mathematics department, Voronezh state architecture and construction university, st. October 20 anniversary, 84, Voronezh, 394006, Russia

² mathematics department, Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology "MISIS", com. Macarenko, 40, Stary Oskol, 309516, Russia

³ information and control systems department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia,

Summary. This article proposed to estimate the technological parameters of mining and metallurgical industry (iron ore stocks), given the fuzzy set values in conditions of uncertainty using the balance sheet and industrial methods of calculation of reserves of ore. Due to the fact that the modeling of the processes of extraction of ore is associated with parameters of the equations that contain variables with different nature of uncertainty, it is better to provide all the information on a single formal language of fuzzy set theory. Thus, the proposed model calculation and evaluation of reserves of iron ore by different methods in conditions of uncertainty geological information on the basis of the theory of fuzzy sets. In this case the undefined values are interpreted as intentionally "fuzzy", since this approach largely corresponds to the real industrial situation than the interpretation of such quantities in terms of random. Taken into account the fact that the application of the probabilistic approach leads to the identification of uncertainty with randomness, but in practice, the basic nature of uncertainty in the calculation of reserves of iron ore is unclear. Under the proposed approach, each fuzzy parameter is a corresponding membership function, to determine which proposed using a General algorithm, as the result of algebraic operations on arbitrary membership function of the inverse numerical method. Because of the existence of many models describing the same production process in different methods (for example, the balance model or industrial model) and under different assumptions proposed to coordinate such models on the basis of the model of aggregation of heterogeneous information. For matching this kind of information, its generalization and adjustment of the outcome parameters, it is expedient to use the apparatus of fuzzy set theory that allows to obtain quantitative characteristics of imprecisely specified parameters and make the most informed decisions.

Keywords: reserves of iron ore, conditions of uncertainty, fuzzy sets

Для цитирования

Некрасова Н. Н., Кабулова Е. Г., Маслов А. А. Моделирование процессов оценки запасов железорудного сырья в условиях неопределенности // Вестник ВГУИТ. 2016. № 3. С 105–109. doi:10.20914/2310-1202-2016-3-105-109

For citation

Nekrasova N. N., Kabulova E. G., Maslov A. A. Mathematical modeling of the processes of estimating reserves of iron ore raw materials in conditions of uncertainty. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no 3 pp. 105–109 (in Russ.). doi:10.20914/2310-1202-2016-3-105-109

Введение

Оценка запасов руды в настоящее время происходит на основе детерминированных моделей, различных методов усреднения и взвешивания. При этом погрешность оценки достигает 25–30%. В зарубежных странах (Япония, США) запасы железорудного сырья определяются на основе функций распределения вероятностей, операции с которыми достаточно громоздки и практические задачи решаются с применением метода Монте-Карло [1].

Наличие погрешности приборов, ошибки экспертов при проведении исследований и косвенная оценка ряда параметров приводят к необходимости использования нечетко заданных параметров. Замена нечетких параметров точечными приводит к большому количеству итерационных процедур для получения адекватных результатов.

Часто, при моделировании процессов добычи рудного сырья, параметры и коэффициенты уравнений содержат переменные с разнообразным характером неопределенности: интервальной, нечеткой, стохастической неопределенностью. В связи с чем, появляется необходимость представить всю информацию на едином формальном языке теории нечетких множеств.

Авторами предложена модель подсчета и оценки запасов железной руды различными методами в условиях неопределенности горно-геологической информации, на основе теории нечетких множеств. При этом неопределенные величины намеренно интерпретируются как «нечеткие», т. к. это больше соответствует реальной промышленной ситуации, чем, если интерпретации таких величин была с точки зрения случайных.

Применение в таком случае вероятностного подхода приводит к отождествлению неопределенности со случайностью, но на практике основной природой неопределенности при подсчете запасов железной руды является именно нечеткость.

Определение запасов руды балансовым методом по промысловым данным проводится на основании уравнения, в котором выделяют величины, заданные нечетко.

$$P_{\delta} = \left[m_z(H_K - h_M) - \frac{(m_z - b_{\delta})^2}{(ctg\alpha_{p.m.} + ctg\beta_{\kappa.6.})^2} \right] L_p$$

где L_p – длина залежи по простиранию, m_z – горизонтальная мощность рудного тела, b_d – ширина дна карьера; H_k – базовая глубина карьера;

h_m – вертикальная мощность наносов; $\alpha_{p.m.}$ – угол падения залежи; $\beta_{к.б.}$ – угол наклона борта карьера.

Согласно предлагаемому подходу каждый нечеткий параметр задается в виде соответствующей функции принадлежности $\mu(h)$, $\mu(\alpha)$, $\mu(\beta)$, $\mu(m)$.

Тогда, результирующая функция принадлежности будет иметь вид:

$$\mu(P_{\delta}) = \max_U [\mu(h) \wedge \mu(\alpha) \wedge \mu(\beta) \wedge \mu(m)] \quad (1)$$

где $U = \{(h, \alpha, \beta, m) \mid h, \alpha, \beta, m = P_{\delta}\}$.

Определить $\mu(P_6)$ по (1) описанными выше аналитическими методами достаточно трудно, поэтому численные методы более эффективны в таких случаях.

Самый простой из них, обратный метод, в котором итоговая функция принадлежности определяется методом последовательного применения бинарной алгебраической операции (рисунок 1).

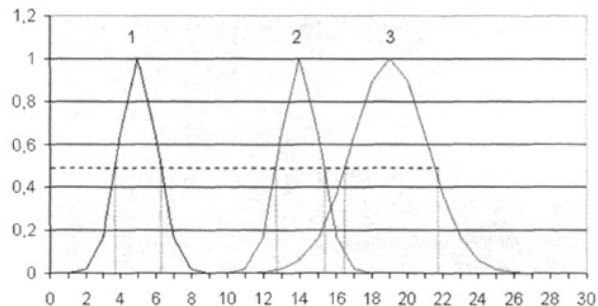


Рисунок 1. Результат численного метода сложения по дискретным уровням

Figure 1. The result is a numerical method for the addition of discrete levels

Таким образом, функция $\mu(P_6)$ определяется на основании следующего общего алгоритма определения функции принадлежности $\mu(z)$ как результат алгебраических операций над произвольными $\mu(x)$ и $\mu(y)$ обратным численным методом:

1) Для $\mu(x) \in [0, \alpha]$, $\mu(y) \in [0, \beta]$, $\alpha, \beta \leq 1$ разбиваем отрезок $[0, \alpha \wedge \beta]$ на части точками, $[0, \alpha \wedge \beta]$, $r_i \in [0, \alpha \wedge \beta]$, $i = \overline{1, n}$. В данном случае $\alpha \wedge \beta$ соответствует операции пересечения множеств.

2) Каждому r_i из решений уравнений $\mu(x) = r_i$ и $\mu(y) = r_i$, ставятся в соответствие r_i – уровневые множества:

$$\delta_{r_i}(\tilde{\tau}$$

3) Определяются r_i итоговой функции:

$$\left[\delta_{\tilde{r}_j}(\tilde{r}) \sim \frac{1}{\tilde{r}^2} \right];$$

где: * – соответствующие интервальные операции.

Подсчет запасов железорудного сырья проводится также и на основе промышленного метода, с учетом коэффициента потерь и коэффициента разубоживания. Предлагаемая модель позволит учитывать целый ряд неточных параметров.

Рассмотрим уравнение подсчета запасов руды на основе промышленной информации:

$$P_{\Pi} = P_{\sigma} \frac{1-\eta}{1-\rho} \quad (2)$$

где: η и ρ – соответственно коэффициенты потерь и разубоживания.

В реальной системе точная оценка запасов руды по (2) практически невозможна, т. к. коэффициенты потерь и разубоживания определяются путем среднего взвешивания.

Таким образом, в уравнении (2) в качестве нечетких величин примем коэффициенты η и ρ .

При этом коэффициент потерь с заданной функцией принадлежности к подмножеству допустимых значений:

$\mu(\eta) = 1 - (\eta - a)^2 / b^2$, $a - b \leq \eta \leq a + b$ и приведенный средневзвешенный коэффициент разубоживания:

$$\mu(\rho) = 1 - (\rho - c)^2 / d^2, \quad c - d \leq \rho \leq c + d$$

где a, b – соответствуют максимуму функций принадлежности на интервале допустимых значений; c, d – описывают уровень разброса параметра.

Определение нечеткого значения запасов руды проведем, используя прямой аналитический метод.

$$1 - (\eta - a)^2 / b^2 = 1 - (\rho - c)^2 / d^2$$

Преобразуя, согласно уравнению, получим соответственно для коэффициента потерь и коэффициента разубоживания:

$$\rho = \xi_1(P_{\Pi}) = (ad - bc + b\rho) / (d P_{\Pi} + b\rho),$$

$$\eta = \xi_2(P_{\Pi}) = (ad + bc - b\eta) / (d P_{\Pi} - b\eta).$$

Учитывая объединение результирующих множеств, получаем:

$$\mu(P_{\Pi}) = 1 - \left[a - P_{\Pi} \left(1 - \frac{c}{\rho} \right) \right]^2 / \left[P_{\Pi} \frac{d}{\eta} + b \right]^2.$$

При отсутствии жестких границ применения моделей и наличии моделей, характеризующих технологический процесс с различных точек зрения и начальных допущениях, вполне непротиворечивым является использование теории нечетких множеств для согласования и координации моделей [2, 3].

Применимость модели можно оценить с помощью предложенной обобщенной модели агрегирования разнородной информации: решение по каждой модели m зададим в виде нечеткого множества D_i на оси решений X , тогда согласованное решение D будем представлять пересечением частных нечетких решений:

$$D = D_1 \cap D_2 \cap \dots \cap D_m$$

Каждому нечеткому решению D_i задается функция принадлежности $\mu_{D_i}(x)$, которая находится после проведения исследования на предмет применимости модели.

Учет фактического выполнения k – предположений о характере процесса описывает введенный показатель $L_i = L_{i1}, L_{i2} \dots L_{ik}$, где $0 \leq L_{ij} \leq 1$, причем, если предположение j о процессе для модели i идеально выполняется $L_{ij} = 1$, если не выполняется $L_{ij} = 0$, и $0 < L_{ij} < 1$ в остальных случаях. Тогда вид результирующей функции принадлежности:

$$\mu_D(x) = [\mu_{D_1}(x)]^{L_1} \wedge \dots \wedge [\mu_{D_m}(x)]^{L_m}$$

Параметры L_i описывают нечеткость модели в случае нарушения условий их существования. Данные параметры определяют с учетом дисперсии моделей, получаемой в процессе идентификации моделей для реальных процессов и объектов [4].

Невозможная объективная оценка показателя L_i позволяет определять его с помощью экспертного оценивания и описывать, относительно других моделей, уровень возможности выполнения предположений, насколько точная модели и применима в конкретных ситуациях.

При отсутствии дополнительных предположений о применимости балансового и промышленного методов при подсчете запасов (т. е. $L_1 = L_2 = 1$), результирующую функцию принадлежности для запасов руды можно представить следующим образом:

$$\mu_3(P) = \mu_{\Pi}(P) \wedge \mu_b(P)$$

Решение P^0 определяется из следующего условия:

$$\mu_3(P^0) = \max_P \mu_3(P)$$

Дополнительная информация о применимости методов учитывается в процессе согласования решений.

После определения системного решения $\mu_3(P)$ можно скорректировать нечеткие параметры h, a, β, m . С учетом имеющихся обозначений получаем:

$$\begin{aligned} y = P, \mu(y) &= \mu_{\Pi}(P), \\ \mu^*(y) &= \mu_b(P), \\ \mu_c(y) &= \mu_3(P) \end{aligned} \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет получить согласованные нечеткие модели и агрегировать разнородную информацию по моделям.

Согласно предложенной модели также можно уточнить и нечеткие функции принадлежности $\mu(h)$, $\mu(\alpha)$, $\mu(\beta)$, $\mu(m)$.

Таким образом, начальные функции принадлежности для эффективной мощности наносов, горизонтальной мощности рудного тела и т. д. уточняются, пример такого уточнения проиллюстрирован на рисунке 2, где показаны исходная $\mu(h)$ и откорректированная $\mu_c(h)$ для гипотетического месторождения по эффективной мощности наносов.

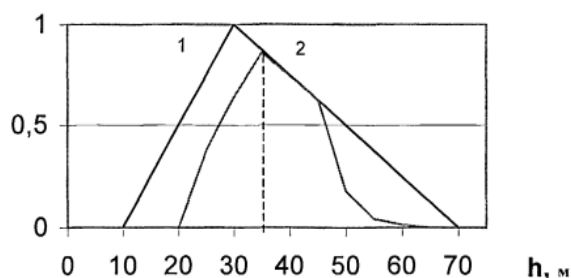


Рисунок 2. Откорректированная начальная функция принадлежности для мощности наносов

Figure 2. Corrected initial function supplies power sediment

Также следует отметить, что в процессе накопления горно-геологической информации при разработке рудных месторождений, уровень неопределенности для оценивания запасов руды снижается [2, 4, 5].

Особенностью разработанных моделей является возможность применения корректирующих процедур для последовательной адаптации функций принадлежности нечетких параметров.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ершов В.В. Основы горнопромышленной геологии. М.: Недра, 2011. 326 с.
- 2 Кабулова Е.Г. Многоуровневая система моделей подсчета запасов железной руды. // Materials of the XI International scientific and practical conference, «Cutting-edge science», Volume 27. Mathematics. Physics. Modern information technologies. UK, Sheffield: «Science and education LTD», 2015. V. 27. P. 22–25.
- 3 Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 2013. 196 с.
- 4 Семухин М.В. Нечеткие оценки запасов нефти // Сборник докладов международной конференции по «мягким» вычислениям. 2011. Т. 2. С. 164–167.

В связи с этим, на основании предлагаемых рекуррентных соотношений можно выполнять адаптивное уточнение функций принадлежности. Пример такого уточнения оценки запасов железной руды для гипотетического месторождения приведен ниже (рисунок 3).

Таким образом, использование теории нечетких множеств для оценки технологических параметров (оценка запасов железной руды) при наличии в уравнениях неточно заданных величин позволяет получать численные значения неопределенности оцениваемых параметров и принимать обоснованные решения при наличии у эксперта нескольких моделей.

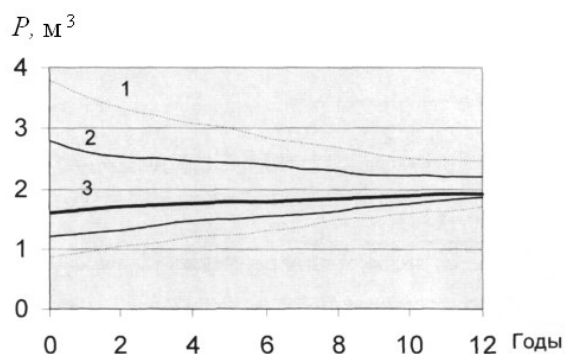


Рисунок 3. Уточнение оценки запасов руды для r-уровней 0 – (1), 0,5 – (2), 1 – (3).

Figure 3. Refinement ore reserves estimates for the levels of r – 0 – (1) 0.5 – (2) 1 – (3).

Как видно, согласование разнородной информации, ее обобщение и корректировка итоговых параметров наиболее эффективна с помощью многоуровневой иерархической системы понятий.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания № 2014/22 (номер НИР 3041) по теме «Синтез многофункциональных систем контроля качества для пищевой и химической промышленности»

- 5 Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: учебник для вузов. М.: Изд. Объед. «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2014. 431 с.

- 6 Azar A.T., Vaidyanathan S. Computational Intelligence Applications in Modeling and Control. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, 2015. 575 p.

- 7 Suganthi L., Iniyan S., Samuel An.A. Applications of fuzzy logic in renewable energy systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. V. 48. P. 585–607.

REFERENCES

1 Ershov V.V. Osnovy gornopromyshlennoi geologii [Fundamentals of mining geology] Moscow, Nedra, 2011. 326 p. (in Russian).

2 Kabulova E.G. Multilevel models estimated reserves of iron ore. Materials of the XI International scientific and practical conference, «Cutting-edge science», Volume 27. Mathematics. Physics. Modern information technologies. UK, Sheffield. 2015, vol. 27, pp. 22–25.

3 Mesarovich M. Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnykh system [Theory of hierarchical multilevel systems] Moscow, Mir, 2013. 196 p. (in Russian).

4 Semukhin M.V. Fuzzy evaluation of the oil. Sbornik dokladov mezhdunarodnoi konferentsii po myagkim vychisleniyam [Proceedings of

the international conference on soft computing] 2011, vol. 2, pp. 164–167. (in Russian).

5 Tsymbal V.P. Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh sistem v metallurgii [Mathematical modeling of complex systems in metallurgy: textbook for universities] Moscow, Rossiskie universitety: Kuzbassvuzizdat:ASTSh, 2014. 431 p. (in Russian)

6 Azar A.T., Vaidyanathan S. Computational Intelligence Applications in Modeling and Control. Springer International Publishing Switzerland, 2015, 575 p.

7 Suganthi L., Iniyar S., Samuel An.A. Applications of fuzzy logic in renewable energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, vol. 48, pp. 585–607.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Наталья Н. Некрасова доцент, кафедра высшей математики, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, Nerasova-N@yandex.ru

Евгения Г. Кабулова доцент, доцент, кафедра высшей математики, Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) НИТУ "МИСиС", м-н. Макаренко, 40, г. Старый Оскол, 309516, Россия, evgenia791@mail.ru

Александр А. Маслов аспирант, кафедра информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, imasslove@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Natal'a N. Nekrasova, associate professor, department of mathematics, Voronezh state architecture and construction University, st. October 20 anniversary, 84, Voronezh, 394006, Russia, Nerasova-N@yandex.ru

Evgenia G. Kabulova associate professor, department of mathematics, Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology "MISIS", com. Macarenko, 40, Sary Oskol, 309516, Russia, evgenia791@mail.ru

Aleksandr A. Maslov graduate student, department of information and control systems, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, imasslove@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Наталья Н. Некрасова предложила методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Евгения Г. Кабулова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчеты

Александр А. Маслов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

Natal'a N. Nekrasova proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Evgenia G. Kabulova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Aleksandr A. Maslov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 13.07.2016

RECEIVED 7.13.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 23.08.2016

ACCEPTED 8.23.2016