



УДК 622.223.013 (571.17)

ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ОТРАБОТКИ КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

Мартынов В.Л.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Аннотация.

Вопросам количественной и качественной оценки горно-геологической и технологической сложности месторождений, повышающих достоверность проектирования и планирования открытых горных работ в отраслевых документах и научных литературных источниках придается заметный акцент. Так, в практике углеразведки классификация пластов производится не только по их мощности для открытой разработки, но и с позиций их качественной оценки сложности. С этой целью выделяются пласти простого строения – без породных прослоев, сложного строения – при наличии одного-двух породных прослоев и очень сложного строения, когда пласти представлены частым переслаиванием угольных слоев (пачек) и породных прослоев. При этом пласти сложного и очень сложного строения, содержащие породные прослои, в зависимости от их мощности и зольности подразделяются на рабочие (отвечающие современным кондициям) и нерабочие. Определяются факторы, которые могут негативно повлиять на показатели горного предприятия. В результате оценки технологических свойств пластов угля, а также горно-геологических условий эксплуатации степень геологической сложности месторождения должна обеспечить возможность произвести в достаточной степени достоверную экономическую оценку промышленного значения месторождения для проведения конкурса или аукциона на предоставление лицензии на добычу полезных ископаемых.

Информация о статье

Поступила в редакцию 08 февраля 2018 г.

Ключевые слова: открытые горные работы, проектирование карьеров, порядок разработки, планирование горных работ, сложноструктурные угольные месторождения.

EVALUATION OF THE WORKING OUT DIFFICULTY OF QUARRY FIELDS ON KUZBASS COAL DEPOSITS

Victor L. Martyanov

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

Abstract.

The issue of quantitative and qualitative assessment of the mining-and-geological and technological complexity of deposits that increase the reliability of designing and planning of open mining operations is given a significant accent in industry documents and scientific works. So, in the practice of coal prospecting, seam classification is performed not only by their thickness for open-pit mining, but also from the point of view of their qualitative assessment of complexity. For this purpose, simple strata are distinguished – without rock layers, complex structure – in the presence of one or two rock layers and a very complex structure, when the beds are represented by frequent interbedding of coal layers (bundles) and rock layers. In this case, layers of a complex and very complex structure containing rock interlayers, depending on their thickness and ash content, are divided into workable (meeting modern standards) and unworkable ones. Factors that can adversely affect the performance of a mining enterprise are identified. As a result of the evaluation of the technological properties of coal seams and also the geological conditions of operation, the degree of geological

Article info

Accepted February 8, 2018

Keywords: open pit mining, quarry design, order of development, mining planning, complex coal deposits.



complexity of the field should provide an opportunity to make a sufficiently reliable economic evaluation of the industrial value of the field for holding a tender or an auction for the granting of a license for the extraction of minerals.

Introduction

При проектировании карьеров для оценки схемы вскрытия, систем и технологии открытой разработки месторождений полезных ископаемых обычно применяется технико-экономический расчет (калькуляция) двух-трех очевидных вариантов. Основными недостатками этого метода являются трудоемкость расчета [1, 2] и использование величин, изменяющихся во времени, т.е. цены оборудования и услуг являются непостоянными и колеблются в зависимости от конъюнктуры рынка [3]. Поэтому оценку вариантов разработки предлагается также осуществлять с помощью энергетического метода [4]. Данный метод позволяет в некоторой степени количественно учесть природные условия (топографию, климат, свойства массива горных пород, гидрогеологические условия), схемы вскрытия и системы разработки, рабочие параметры горного и транспортного оборудования, особенности технологических процессов для выбора эффективного в конкретных условиях комплекта оборудования для технологического потока. В то же время, оценки сложности разработки месторождений полезных ископаемых с помощью технико-экономического и энергетического методов весьма приближенны и дают зачастую совершенно различные результаты при оценке одного и того же объекта разработки.

Известны также оценки сложности разработки месторождений по видам твердых полезных ископаемых (горючие, рудные,нерудные и т.д.), бассейнам, климатическим зонам, различным базовым показателям и т.д. [5, 6, 7, 8].

Все перечисленные методы объединяет не только трудоемкость и низкая точность расчета, но и достаточно сложное для анализа и принятия решений представление результатов оценки.

Materials and methods

Месторождения Кузбасса, разрабатываемые открытым способом, представлены свитами разномощных пластов угля и относятся к сложноструктурным [8]. Геологическая сложность этих месторождений зависит от количества и частоты чередования пластов, междупластий породы и ее пропластков в массе угля, условий и углов залегания пластов, интенсивности их нарушенности пликативными и дизьюнктивными тектоническими процессами.

Главным критерием обоснования порядка разработки в установленных проектных конечных или этапных, планируемых контурах карьера является минимум текущего коэффициента вскрыши, который определяюще влияет на себестоимость добываемого угля (C_o , руб/т):

$$C_o = C_{co} + K_m \cdot C_e, \quad (1)$$

где C_{co} – себестоимость собственно добычи 1 тонны угля, руб/т; K_m – текущий коэффициент вскрыши, м³/т; C_e – себестоимость 1 м³ вскрышных пород, руб/м³.

Ограничениями при этом обосновании являются:

- заданный объем добычи угля на определенный период времени, например, установленная годовая производственная мощность карьера (при проектировании горных работ) или годовая производительность по добыче (при планировании горных работ);

- нормативы переходящих вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов угля;
- нормативы текущих резервов взорванной горной массы и вскрышного фронта горных работ;

- порядок отработки экскаваторных блоков или перемещения экскаваторов в карьере, обеспечивающих при проектировании минимальное средневзвешенное расстояние транспортирования вскрышных пород на расчетный период времени и порядок обуривания экскаваторных заходок при планировании горных работ;

- возможный темп углубки горных работ по условию заезда транспорта на ограниченном участке карьерного поля.



Максимально эффективная стратегия, пользуясь терминологией теории игр с природой [9, 10], при обосновании режима горных работ включает два базисных положения:

- основное направление развития горных работ в глубину должно следовать направлению падения самого мощного пласта свиты;
- порядок производства добывчих работ должен соответствовать минимуму текущего коэффициента вскрыши.

Посредством такой стратегии максимизируется вероятность, с которой горный инженер решает задачу игры с природой, принимая j -е решения, в которой природа использует следующие неравновероятные (α) стратегии или факторы влияния (i), такие, например, как неточность геологической и гидрогеологической информации о массиве горных пород, климат и погоду, надежность работы основного горнотранспортного оборудования и человеческий фактор. Следовательно, решение осуществляется с помощью критерия Адольфа Гурвица:

$$\max \left[a \min a_{ij} + (1-a) \max a_{ij} \right]. \quad (2)$$

Указанный подход максимально возможно обеспечивает, в соответствии с указанными выше ограничениями, ритмичность добычи угля в требуемых объемах по календарным периодам отработки [10]. При этом реализуются перечисленные выше ограничения, т.е. гарантируются нормативы переходящих запасов полезного ископаемого и формируется схема внутрикарьерного вскрытия, обеспечивающая эффективность функционирования грузопотоков в процессе производства горных работ с минимально возможным текущим расстоянием транспортирования грузов. Обеспечиваются нормативы резервов вскрышного фронта горных работ.

Установленный таким образом режим горных работ в условиях сложноструктурных угольных месторождений всегда определяет их переменные затухание и интенсификацию на отдельных участках в течение рассматриваемого периода разработки, т.е. переменную концентрацию горных работ в пространстве карьерного поля или на его горных участках. Поэтому горные работы развиваются как по глубине залегания, так и по простирианию угольных пластов в пространстве карьерного поля с переменной интенсификацией горных работ и весьма динамично.

Возникающие при эксплуатации горных участков карьера или группы карьеров отклонения от планируемых и проектных положений горных работ из-за влияния приведенных выше неравновероятных как между собой, так и между горными участками (или карьерами) факторов неравноценны по вызываемым ими последствиям. Эти последствия могут быть скоррелированы в последующих периодах планирования горных работ, но могут потребовать и существенной корректировки проектных и плановых решений по порядку отработки карьерного поля.

Results and discussion.

При оценке сложности карьерных полей необходимо учитывать характер влияния этих факторов. Например, таких как неточность геологической информации, обрушение откоса уступа или оползнеобразование, обводнение, отказ техники и т.д. Все эти факторы и длительность их влияния на производственную ситуацию фиксируются в документах карьера. Необходимо принимать во внимание также производительность горных участков или карьеров по добыче, марки и качество добываемого угля по основным показателям (для разрезов Кузбасса это зольность и влажность товарного угля) и др.

Достаточно полной характеристикой оценки сложности производственной ситуации на карьере или в угледобывающей компании в этом отношении может служить следующая матрица вероятностей:

$$|P_{ij}| = \begin{vmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{l1} & p_{l2} & \dots & p_{ln} \end{vmatrix}, (i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, n), \quad (3)$$



где p_{ij} – вероятность влияния фактора i -го типа ($i = 1$ соответствует вероятности отсутствия влияния) за время t на j -м участке (карьере); $C_1, C_2, \dots C_n$ – весовые коэффициенты в долях единицы горных участков (карьеров) по величине добычи, а также маркам и качеству угля, которые при оценке их функционирования формально представляется возможным рассматривать как ряд распределения вероятностей возникновения сбоев от влияния различных факторов между участками [11, 12].

$$\sum P_{ij} = 1, \sum C_j = 1. \quad (4)$$

В качестве численной характеристики матрицы производственных ситуаций удобно рассматривать энтропийный коэффициент K_s , измеряемый в наглядных пределах $0 \leq K_s \leq 1$. При этом чем меньше возникновения сбоев P_{ij} , тем значение K_s будет ближе к единице. Этот коэффициент вычисляется по следующей формуле

$$K_s = \frac{\log l - \sum C_j \cdot \sum P_{ij} \cdot \log P_{ij}}{\log l}. \quad (5)$$

Выражение $\log l$ представляет собой максимальное значение энтропии (H_{\max}) в терминах теории информации [12, 13]. Текущее значение энтропии, как меры неопределенности некоторой системы, предлагается так же, как и в работе [11], определять величиной технической (компьютерной, кибернетической) энтропии Клода Шеннона [13, 14]. Техническая энтропия, в отличие от специфических энтропий различных состояний и процессов (механической энтропии термодинамической системы Гиббса, термодинамической энтропии Клаузуса и Кельвина, идеального газа Больцмана-Планка, равновероятных состояний системы Хартли и квантовой энтропии фон Неймана), количественно характеризует достоверность учитываемой статистической информации.

$$-\sum C_j \cdot \sum P_{ij} \cdot \log P_{ij} = H. \quad (6)$$

Таким образом, энтропийный коэффициент K_s представляет собой отношение текущей энтропии к ее максимальному значению

$$K_s = \frac{(H_{\max} - H)}{H_{\max}}. \quad (7)$$

Оценку меры неопределенности и непредсказуемости результатов технических решений при текущем планировании горных работ для различных временных лагов представляется возможным с достаточной степенью достоверности осуществить с помощью статистических данных прошедших периодов времени (например, по годам).

Открытые горные работы весьма динамично развиваются в пространстве карьерного поля и весовые коэффициенты в долях единицы горных участков (карьеров) по величине добычи, а также маркам и качеству угля могут существенно меняться с течением времени. Вероятности влияния фактора i -го типа за время t на j -м участке (карьере) могут вычисляться путем отношения количества и периода их проявления к длительности рассматриваемого периода времени (в сутках, например).

$$P_{ij} = \frac{N_{ij} \cdot t_{ij}}{\sum t_{p,\delta}}, \quad (8)$$

где N_{ij} – количество случаев проявления фактора i -го типа на j -м участке (карьере); t_{ij} – период времени, затраченный на погашения влияния фактора i -го типа на j -м участке (карьере), сут; $t_{p,\delta}$ – количество рабочих дней в году, сут.



Такой учет энтропийного коэффициента позволит повысить надежность текущего планирования горных работ. С учетом указанной оценки представляется возможным оперативно производить корректировку различного рода резервов, например, времени выполнения различных видов горных работ, вспомогательной и, частично, основной горнотранспортной техники, планируемых к выполнению объемов горной массы [15] и т.д.

Conclusion.

При проектировании и долгосрочном планировании развития горных работ на карьерах можно воспользоваться предложенными в работе [7] критериями технологической сложности отработки карьерных полей на месторождениях Кузбасса. В этом случае следует принимать во внимание также оценку меры неопределенности результатов технических решений действующего предприятия, работающего поблизости (для снижения влияния факторов климатических воздействий) примерно в аналогичных горно-геологических и гидрогеологических условиях. Например, частично с помощью коэффициентов использования основного горнотранспортного оборудования. В тоже время основную погрешность развития положений горных работ по горизонтам времени (год, пять лет и т.д.) в этом случае дает неточность геологической информации (минимум 15%, как требование к исходной горно-геологической информации проектов, а реально на сложноструктурных месторождениях Кузбасса с запасами категорий В (частично), С₁ и С₂ – 30% и более). Поэтому для проектов и долгосрочных планов известно требование к высокой надежности решений по развитию положений горных работ на карьере только на ближайшие 3 и максимум 5 лет от начала производства горных работ [4].

Так, при выборе стратегии отработки карьерного поля предлагается использовать такой критерий, как плотность угленасыщения карьерного поля (отдельного бока или горного участка). Он означает отношение запасов угля в карьерном поле (блоке или участке) к общему объему последнего.

Проектирование и долгосрочное планирование развития горных работ ведется на основании отстраиваемых их положений в пространстве при углублении по горизонтам (для наклонных и крутопадающих месторождений) или в соответствии с шириной и последовательностью драглайновых бестранспортных заходок (на пологопадающих месторождениях). Поэтому вероятности влияния фактора i-го типа на j-м участке (карьере) могут вычисляться путем отношения количества проявления их существенных отклонений от среднего значения на горизонтах (в заходках) к расчетному количеству горизонтов или заходок.

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum N_{\text{зоп}}}, \quad (9)$$

где N_{ij} – количество случаев проявления фактора i-го типа на j-м участке (карьере) на горизонтах (в заходках) карьера, как отклонение от среднего значения. Например, случаи проявления фактора i-го типа на j-м участке (карьере) на его горизонтах можно фиксировать как отклонения, выходящие за пределы, превышающие допустимую погрешность технических проектных решений. Эта погрешность должна быть не ниже точности исходных данных для проектирования в 10-15% [4]; $\sum N_{\text{зоп}}$ – количество рассматриваемых горизонтов.

Таким же образом могут вычисляться оценки сложности карьерных полей и по таким критериям, как долевое участие угленасыщенной зоны в общем объеме карьерного поля, марочный состав углей и их долевое участие в общих запасах карьерного поля, определяемых, соответственно, как отношение объема угленасыщенной зоны к общему объему карьерного поля и как абсолютная величина запасов по маркам углей.

Эти критерии могут использоваться при оценке эффективности отработки карьерного поля различными технологиями, структурами комплексной механизации, эффективности технологических схем выемочно-погрузочных работ [7].



Список источников

1. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых «Угли и горючие сланцы» Москва, 2007. Разработаны Федеральным государственным учреждением «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФГУ ГКЗ) по заказу Министерства природных ресурсов Российской Федерации и за счет средств федерального бюджета. Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р, 34 с.
2. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Утверждены Минэкономикой РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 N ВК 477), с. 26.
3. Сборник цен на проектирование и расчет стоимости. Объекты угольной промышленности ФГУП «ЦентрИнвестПроект», М., ежегодник, с.50.
4. Анистратов, Ю.И. Проектирование карьеров / Ю.И. Анистратов, К.Ю Анистратов // М., «ГемосЛимитед». – 2003. – С. 173.
5. Косолапов, А. И. Методология относительной оценки трудности открытой разработки месторождений в суровых климатических условиях / А. И. Косолапов, Д. В Кузнецсов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 4. – С. 17-24.
6. Колесников, В.Ф. Выбор оптимальной структуры экскаваторно-автомобильного комплекса / В.Ф. Колесников, А.И. Корякин, А.В. Стрельников // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 1. – С. 59-61.
7. Колесников, В.Ф. Методические положения по обоснованию критериев оценки сложности отработки карьерных полей угольных месторождений Кузбасса / В.Ф. Колесников, А.И. Корякин, В.Г. Проноза, А.В. Селюков // Уголь. – 2010. – №10. – С. 23-24.
8. Ненашев, А.С. Технология ведения горных работ на разрезах при разработке сложноструктурных месторождений / А.С. Ненашев, В.Г. Проноза, В.С. Федотенко // Кузбассвузиздат: Кемерово, 2010. – 247 с.
9. Нейман, Д. Теория игр и экономическое поведение / Д. Нейман, Ф. Моргенштерн // Мир. – М., 1970. – 560 с.
10. Мартынов, В.Л. Обоснование рационального порядка разработки сложноструктурных угольных месторождений / В.Л. Мартынов, В.Ф. Колесников // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – №6. – С. 73-81.
11. Ковачевич, П.М. Оценка производственной ситуации на шахте с помощью энтропийного критерия. Сб. научных трудов № 22. Материала научно-технической конференции «Совершенствование способов разработки месторождений Кузнецкого бассейна», КузПИ, Кемеровское областное правление НТО-Горное, 1970. – С. 421-425.
12. Экономико-математические методы и модели / Под. ред. Макарова С.И. // М.: Кнорус, 2009. – 238 с.
13. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд. иностр. лит. – 2002. – 832 с.
14. Мартин, Н., Математическая теория энтропии / Н. Мартин, Д. Ингленд // М.: Мир, 1988. – 350 с.
15. Сысоев, А.А. Исследование резерва взорванной горной массы на разрезах с автомобильным транспортом / А.А. Сысоев, Я.О. Литвин, К.А. Голубин // Известия высших учебных заведений: Горный журнал. – 2015. – №1. – С. 4-9.

References

1. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii zapasov mestorozhdeniy i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopaemykh «Ugli i goryuchie slantsy» Moskva, 2007. Razrabotany Federal'nym gosudarstvennym uchrezhdением «Gosudarstvennaya komissiya po zapasam poleznykh iskopaemykh» (FGU GKZ) po zakazu Ministerstva prirodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii i za schet sredstv federal'nogo byudzheta. Utverzhdenyi rasporyazheniem MPR Rossii ot 05.06.2007 g. № 37-р, 34 s.
2. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proektor. Utverzhdenyi Minekonomiki RF, Minfinom RF, Gosstroem RF 21.06.1999 N VK 477), s. 26.
3. Sbornik tsen na proektirovanie i raschet stoimosti. Ob"ekty ugol'noy promyshlennosti FGUP «TsentrInvestProekt», M., ezhегодник, s.50.
4. Anistratov, Yu.I. Proektirovanie kar'erov / Yu.I. Anistratov, K.Yu Anistratov // M., «GemosLimited». – 2003. – S. 173.
5. Kosolapov, A. I. Metodologiya otnositel'noy otsenki trudnosti otkrytoy razrabotki mestorozhdeniy v surovyykh klimaticeskikh usloviyakh / A. I. Kosolapov, D. V Kuznetsov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal). – 2017. – № 4. – S. 17-24.



6. Kolesnikov, V.F. Vybor optimal'noy struktury ekskavatorno-avtomobil'nogo kompleksa / V.F. Kolesnikov, A.I. Koryakin, A.V. Strel'nikov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2010. – № 1. – S. 59–61.
7. Kolesnikov, V.F. Metodicheskie polozheniya po obosnovaniyu kriteriev otsenki slozhnosti otrabotki kar'ernykh poley ugel'nykh mestorozhdeniy Kuzbassa / V.F. Kolesnikov, A.I. Koryakin, V.G. Pronoza, A.V. Sel'yukov // Ugol'. – 2010. – №10. – S. 23–24.
8. Nenashev, A.S. Tekhnologiya vedeniya gornykh rabot na razrezakh pri razrabotke sloznostrukturnykh mestorozhdeniy / A.S. Nenashev, V.G. Pronoza, V.S. Fedotenko // Kuzbassvuzizdat: Kemerovo, 2010. – 247 s.
9. Neyman, D. Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie / D. Neyman, F. Morgenshtern // Mir. – M., 1970. – 560 s.
10. Mart'yanov, V.L. Obosnovanie ratsional'nogo poryadka razrabotki sloznostrukturnykh ugel'nykh mestorozhdeniy / V.L. Mart'yanov, V.F. Kolesnikov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2016. – №6. – S. 73–81.
11. Kovachevich, P.M. Otsenka proizvodstvennoy situatsii na shakhte s pomoshch'yu entropiynogo kriteriya. Sb. nauchnykh trudov № 22. Materiala nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Sovershenstvovanie sposobov razrabotki mestorozhdeniy Kuznetskogo basseyna», KuzPI, Kemerovskoe oblastnoe pravlenie NTOGornoe, 1970. – S. 421–425.
12. Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli / Pod. red. Makarova S.I. // M.: Knorus, 2009. – 238 s.
13. Shannon, K. Raboty po teorii informatsii i kibernetike. – M.: Izd. inostr. lit. – 2002. – 832 s.
14. Martin, N., Matematicheskaya teoriya entropii / N. Martin, D. Ingland // M.: Mir, 1988. – 350 s.
15. Sysoev, A.A. Issledovanie rezerva vzorvannoy gornoj massy na razrezakh s avtomobil'nym transportom / A.A. Sysoev, Ya.O. Litvin, K.A. Golubin // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy: Gornyy zhurnal. – 2015. – №1. – S. 4–9.

Авторы

Мартынов Виктор Леонидович,
кандидат техн. наук, доцент,
e-mail: martvic2005@yandex.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Authors

Victor L. Martynov, PhD (Engineering), Associate Professor,
e-mail: martvic2005@yandex.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Библиографическое описание статьи

Мартынов, В.Л. Оценка сложности отработки карьерных полей угольных месторождений Кузбасса // Техника и технология горного дела. – 2018. – № 1 (1). – С. 36–42.

Cite this article

Martyanov V.L. (2018) Evaluation of the working out difficulty of quarry fields on Kuzbass coal deposits, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 1(1):36.