



СТРУКТУРА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУД ПРИ ОСВОЕНИИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ирина Осипова¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела
УрО РАН, Россия, 620075, Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58,
e-mail: minesur@mail.ru

DYNAMIC MODELING OF COAL QUALITY MANAGEMENT PROCESS

Irina Osipova

ABSTRACT

In the practice of mining today, deep-seated complex-structured deposits are being developed. This has led to increased requirements for the quality management system of mined ores, the main goal of which is to solve two mutually influencing tasks: increasing the content of valuable components in the mined ore mass and the formation of stable quality ore flows entering the processing plant. The aim of the study is to create a structure for a dynamic model of ore quality management for deep-seated complex-structured deposits. To solve the problems of stabilizing the quality of mined ore during selective mining. Methods of intelligent control and mathematical modeling, namely the creation of knowledge graphs and the use of the mathematical apparatus of Markov chains. As a result, the structure of a dynamic model of ore quality management was obtained, which will allow, from the standpoint of a systematic approach, to carry out operational changes and accounting of all ore quality indicators in real time.

Key words: transition process, ore quality management, structure, dynamic model.

Введение. Рациональное недропользование глубоких сложно-структурных месторождений с большим разнообразием руд требует достоверной качественной и технологической оценки запасов полезных ископаемых. Надежная и точная оценка качественной структуры запасов позволяет регулировать последовательность их отработки по технологическим типам и сортам [2].

В свою очередь вовлечение в эксплуатацию все более бедных и труднообогатимых руд приводит к наращиванию объемов горных работ и повышению требований к системе управления качеством добываемых руд, основной целью которой является решение двух взаимовлияющих задач: повышение содержания ценных компонентов в добываемой рудной массе и формирование стабильных по качеству рудных потоков, поступающих на обогатительную фабрику. Достижение этой цели возможно только путем надежного выделения в массиве горных пород рудных залежей с точным их оконтуриванием и выявлением технологических типов и сортов руд, обеспечением их добычи и транспортирования в соответствующих режимах разделения или усреднения качества. Важным условием повышения эффективности функционирования в целом горно-перерабатывающего комплекса является определение еще на начальной стадии проектирования горнодобывающих предприятий технических решений, направленных на обоснование рациональных способов управления качеством потоков рудной массы [3].

Одна из особенностей горнодобывающего производства, отличающая его от перерабатывающих, заключается в том, что качество продукции в значительной мере определяется природными условиями месторождения: геометрической и физической сложностью залегания рудных тел, горно-геологическими и геохимическими характеристиками месторождения, физико-техническими свойствами руд и вмещающих горных пород, контрастностью технологических свойств [3].

Необходимо отметить, что нецелесообразно создание единых систем управления качеством руд, поскольку существуют различия между месторождениями включая однотипные руды в связи с



большой изменчивостью их качества в пределах рудной залежи. Следует добавить, что признана разработка таких систем по группам месторождений, объединяемым по сходным признакам (полезные компоненты, генезис, характеристики руд и пород) и по способу освоения [10]. Помимо этого, полезное ископаемое в определенных контурах и объемах залежи характеризуется обусловленными качественными признаками, меняющимися под воздействием горных работ [5].

На протяжении многих десятилетий проводятся изучение процесса управления качеством минерального сырья многими учеными с позиции системного подхода Е. И. Азбеля, Л. А. Барского, С. Ю. Большакова, В. М. Гудкова, Ф. Г. Грачева, В. В. Ершова, Х. Х. Кожиева, В. Ф. Кузина, Г. Г. Ломоносова, С. С. Резниченко и др. В работах этих авторов проблема рассматривается как комплексная. Показаны возможности, методы и средства управления процессом формирования качества полезного ископаемого при открытых и подземных горных работах.

Г. Г. Ломоносовым выделяются пять главных направлений обеспечения качества полезного ископаемых, охватывающих технические, организационные и экономические аспекты проблемы. Геолого-маркшейдерские основы проблемы качества подробно изучены В. В. Ершовым.

Вместе с тем, в исследованиях по качеству продукции горного производства, как правило, проблема качества рассматривается с определенных позиций, без учета совокупности всех влияющих факторов и условий производства [4].

В процессе управления качеством руды комплексной является проблема прогнозирования распределения показателя качества в рудопотоках при освоении глубокозалегающих сложно-структурных месторождений.

Это позволяет говорить, что основная цель управления качеством заключается в том, что при производстве очистных работ от массива руды отделяют его часть с определенными, заранее установленными качественными характеристиками, отслеживают переходный процесс качества этой порции в рудном потоке и управляют переходным процессом целенаправленно, стремясь получить заданные показатели рудной массы. Отметим, что под переходными процессами будем понимать этапы стратегии освоения глубокозалегающих сложно-структурных месторождений – долгосрочного плана действий на всех этапах разведки, проектирования и разработки месторождения до получения товарной продукции на основе методологического подхода на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание геологической информации о месторождении при принятии заранее спланированных технологических и технических решений в качестве реакции на изменения внутренних и внешних условий функционирования горного предприятия,.... Они возникают при росте затрат материальных, трудовых и финансовых ресурсов, сбоях производственного ритма, увеличения текучести кадров, падении дисциплины и т.д. [11].

В связи с вышеизложенным можем говорить, что существует потребность в создании структуры динамической модели управления качеством руды при освоении глубокозалегающих сложно-структурных месторождений. Под динамической моделью будем понимать модель, описывающую изменение состояния объекта.

Для решения задач стабилизации качества добываемой руды при селективной выемке горных пород с позиции интеллектуального управления и математического моделирования. Под интеллектуальным управлением понимаем более полное использование достигнутого знания об объекте и среде для того, чтобы обеспечить эффективное управление объектом на основе заданного критерия, а также управлять в присущей человеку творческой (интеллектуальной) манере, прогнозируя изменения в объекте и среде и сохраняя работоспособность системы даже при больших указанных изменениях, при этом улучшать с течением времени показатели качества управления путем накопления и обработки экспериментальных знаний об объекте и его среде [6,7].

Материалы и методы. В рамках создания динамической модели управления качеством руды при освоении глубокозалегающих сложно-структурных месторождений необходимо создать первоначальную структуру будущей динамической модели. Для этого если рассматривать задачу как детерминированную, то существует ряд условий по планированию горно-технологических работ, составление позабойных планов (годовой, месячный, сменный) добываемой руды и содержанию



основных компонентов в ней. В реальной практике такой подход не может обеспечить эффективное управление качеством добываемой руды. Из-за недостаточной достоверности геологоразведочных данных, используя при расчете перспективных планов добычи и различных отклонений при ведении горных работ фактическая поблочная структура фронта добычи мало соответствует плановой [9].

В связи с этим предлагается применение вероятностных моделей, учитывающих факторы, влияющие на качество добываемой руды или позволяющие определить скрытые закономерности позволяющие получить или не получить планируемое качество руды.

На первоначальном этапе производится анализ существующей информации, данных и знаний. Далее проводится анализ и структуризация информации и данных с помощью методов интеллектуального управления. Затем составляется граф знаний об объекте исследования и предлагаются принимаемые решения (рис. 1).

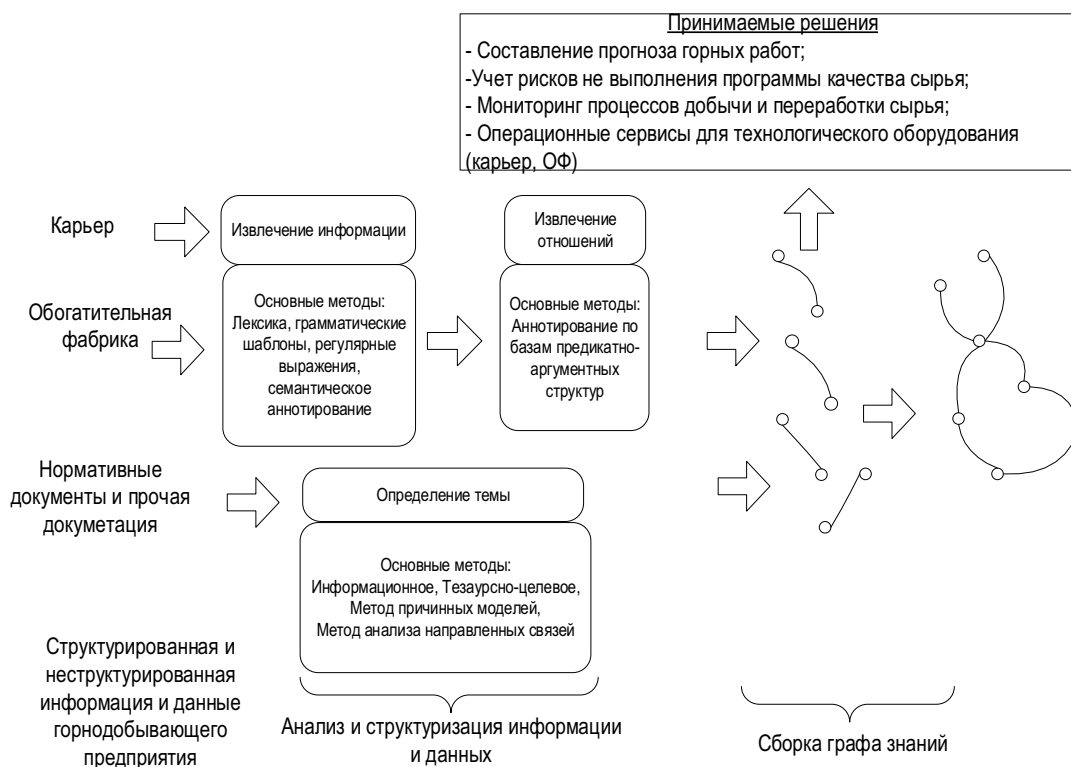


Рисунок 1. Структура представления информации о процессе управления качеством руд с помощью графов знаний

На следующем этапе создаются математические модели процесса управления качеством добываемых руд. Для этого как отмечалось выше применяются вероятностные модели. На первоначальной стадии развития исследования с помощью вероятностных графовых моделей [8] производится анализ и выбор построения графовой модели либо это будет ориентированная графовая модель или неориентированная графовая модель.

В качестве примера приведем скрытые марковские модели. Математический аппарат скрытых марковских моделей (СММ) представляет собой универсальный инструмент описания стохастических процессов, для работы с которыми не существует точных математических моделей, а их свойства меняются с течением времени в соответствии с некоторыми статистическими законами. В основе скрытой марковской модели лежит конечный автомат, состоящий из N -состояний, называемых скрытыми. Переходы между состояниями в каждый дискретный момент времени t не являются детерминированными, а происходят в соответствии с вероятностным законом и описываются матрицей вероятностей переходов A_{NN} . Схематическое изображение диаграммы переходов между состояниями СММ приведено на рисунке 2 [1].

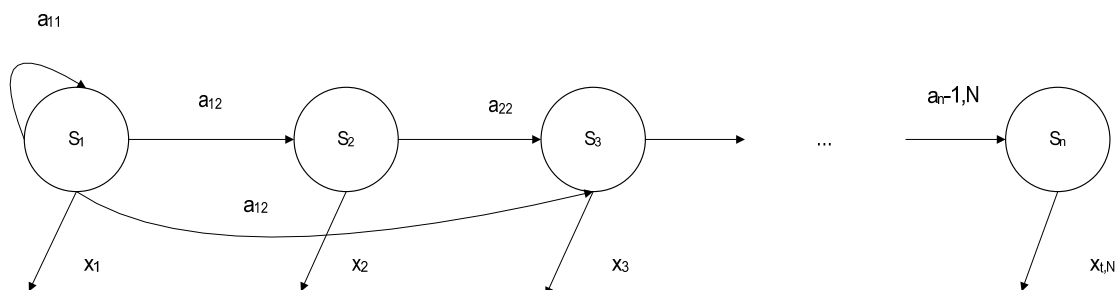


Рисунок 2.

При применении скрытых марковских моделей выделяется три типа задач:

1. оценивание (evaluation): найти вероятность последовательности наблюдений в данной модели (алгоритм просмотра вперед);
2. декодирование (decoding): найти последовательность скрытых состояний, которая с наибольшей вероятностью породила последовательность наблюдаемых состояний (алгоритм Витерби);
3. обучение (learning): найти наиболее правдоподобную модель по последовательности наблюдаемых состояний (алгоритм Баума-Уэлша).

Как отмечалось выше процесс исследования управления качеством заключается в том, что при производстве очистных работ от массива руды отделяют его часть с определенными, заранее установленными качественными характеристиками, отслеживают переходный процесс качества этой порции в рудном потоке и управляют переходным процессом целенаправленно, стремясь получить заданные показатели рудной массы. Для изучения этого процесса уместно применение модели оценивания и декодирования.

Задача оценивания СММ сводится к вычислению вероятности $P = P(X|\Phi)$ последовательности наблюдений $X = (X_1, X_2, \dots, X_T)$ для заданной модели Φ .

Для этого нужно суммировать вероятности всех последовательностей скрытых состояний, которые могли породить данную последовательность наблюдений:

$$P(X|\Phi) = \sum_S P(S|\Phi)P(X|S, \Phi) \quad (5)$$

Согласно марковскому предположению, вероятность последовательности состояний $S = (S_1, S_2, \dots, S_T)$ с начальным состоянием рассчитывается

$$P(S|\Phi) = P(S_1|\Phi) \prod_{t=2}^T P(S_t|S_{t-1}, \Phi) = a_{s_0 s_1} a_{s_1 s_2} \dots a_{s_{T-1} s_T} \quad (6)$$

Введем понятие прямой вероятности (forward probability) $\alpha_t(i)$ – t-вероятности того, что модель, находясь в состоянии i в момент времени t , породила подцепочку наблюдаемых символов X_1, X_2, \dots, X_t .

Эта модель позволяет оценить на сколько достоверно обрабатывается добычной блок с заданным (плановым) показателем качества добываемой руды. В случае если происходит отклонение от планового показателя применяют модель декодирования (decoding), которая позволяет проследить последовательность скрытых состояний используя алгоритм Витерби [12-15].

На следующем этапе производится проверка на адекватность составленных моделей и их доработка.

Результаты. Для изучения причин возникновения отклонения качества руды от запланированного необходимо построить, проанализировать и оценить достоверность применения ориентированных графовых моделей или неориентированных графовых моделей. В противном случае создание многоуровневой модели, учитывающей горно-геологические особенности рудных



месторождений. Для решения этой задачи необходимо составить сценарии развития добычных работ с учетом долгосрочного, текущего и оперативного планирования.

Выводы. В работе предложен подход к созданию структуры динамической модели управления качеством руд для глубокозалегающих сложноструктурных месторождений.

Исследования осложняются в силу значительных объемов данных и обширных знаний об объекте эксплуатации с увеличением глубины разработки и применения селективной выемки горных пород.

Полученная структура динамической модели управления качеством руд, которая позволит с позиции системного подхода проводить оперативное изменение и учет всех показателей качества руды в режиме реального времени.

Статья подготовлена по программе ФНИ государственных академий наук Тема 1 - Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых. (№ 0405-2019-0005)

Список литературы

1. Гефке Д. А. Зацепин П. М. Применение скрытых Марковских моделей для распознавания звуковых последовательностей // Известия Алтайского государственного университета. – 2012. - № 1 (73) Т2. - С. 72-76
2. Ершов В. В., Бедрина Г. П., Ермолов В. А. Управление качеством руд на основе комплексного прогнозирования геотехнологических показателей // Проектирование и эксплуатация подземных рудников в сложных горно-геологических условиях. М.: МГИ – 1987. – 136 с.
3. Каплунов Д. Р., Рыльников А. Г. Обобщение современных подходов к управлению качеством рудопотоков в условиях действующих рудников на всех этапах освоения месторождения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. -2020. - № 4. - С. 40-53.
4. Кузин В. Ф. Способы и системы оперативного контроля для управления качеством руд. М. «Горная книга». - 2008 г.- 374 с.
5. Ломоносов Г. Г. Формирование качества руды при открытой добыче. М.: Недра. – 1975. – 224 с.
6. Осипова Ирина, Мельник Даниил Интеллектуальное управление горнодобывающим предприятием при открытом способе отработки. //Of The XV International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals, Varna, Bulgaria, 2019. - С. 223-227.
7. Осипова И. А. Обзор теоретических основ интеллектуального управления применительно к прогнозу выбросов угля и газа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11 (специальный выпуск 37). – С. 551–558. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-551-558
8. Осипова И. А. Построение модели представления знаний об угледобыче в рамках технологического направления переходных процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - № 5—1. — С. 226—234. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_226.
9. Рогинский Ф. Н., Христолюбов А. Ф., Кубрин С. М., Коцуба А. П., Туровский В. И. Управление качеством руды при планировании развития горных работ // Горный журнал. -1990. - № 7. – С. 13-16
10. Управление качеством добываемых руд [Электронный ресурс] // «Строительный ресурс»: [сайт]. [2016]. URL:<http://www.spb-sovtrans.ru/kombinirovannaya-razrabotka/869-upravlenie-kachestvom-dobyvaemyh-rud.html> (дата обращения: 30.05.2021).
11. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов - новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов. - Екатеринбург: УрО РАН. - 2019 – 284 с. DOI: 10.25635/IM.2020.54.57311.
12. Buffet O. Markov Decision Processes in Artificial Intelligence. Wiley. 2018. 453 p.
13. Kirkwood R. J. Markov processes. CRC Press. 2015. 340 p.
14. Quan-Lin Li Nonlinear Markov processes in big networks / Proceedings of the 24th International Workshop on Matrices and Statistics. – 2016. - 4. – pp. 202- 217 DOI 10.1515/spma-2016-0019
15. Puterman L. M. Markov Decision Processes. Wiley. 2019. 643 p.