



ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУД В КОНТЕКСТЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Ирина Осипова¹

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

ABSTRACT

In the world practice of mining, a steady trend has developed towards increasing requirements for safe, cost-effective and rational development of deposits, complex extraction of valuable components during the primary processing of mineral raw materials, which necessitates the development of new and expanding the scope of existing technical and technological solutions based on resource-saving technologies and equipment. It is especially difficult to meet such requirements when developing deep complex-structured deposits. In turn, a mining enterprise must fulfill the main task - not only to preserve the quality of mining products inherent in nature, but also to ensure the constancy of this quality. The aim of the research is to propose an approach to creating a graph model of ore quality management in the context of transient processes. In the context of transient processes, an approach is proposed to create an elementary graph of knowledge about the ore quality management process, which is part of the created graph model of ore quality management. The study is based on an ontological approach to solving the issue of rational and economically balanced subsoil use, namely, to a thorough study of ore quality management. To solve the existing problem, it is proposed to create an elementary knowledge graph. As a result of the study, based on the construction of an elementary knowledge graph, we can conclude that it is necessary to create a hierarchy of industrial knowledge graphs.

Key words: transition process, ore quality management, graph model, knowledge graph.

Введение. Современный период развития недропользования характеризуется вовлечением в разработку глубокозалегающих сложно-структурных месторождений для ведения открытой, подземной и комплексной добычи полезных ископаемых.

В свою очередь горнодобывающее предприятие должно выполнить основную задачу - не только сохранить заложенное природой качество горной продукции, но и обеспечить постоянство этого качества. Причем постоянство качества должно быть обеспечено как в определенных объемах добычи (суточной, сменной), так и в отгружаемых потребителю партиях. Средние значения показателей качества по месторождению, как правило, известны благодаря геологоразведочным данным. Именно это качество сырья стремится обеспечить, горнодобывающее предприятие и на эти значения показателей качества настроена технология потребителя. Однако в объеме месторождения качество сырья может заметно меняться. Это является причиной колебаний качества в потоке добытого сырья, избежать этих колебаний невозможно [3].

С позиции представления знаний об объекте исследования качество минерального сырья (руды, угля и т.д.) при открытой добыче можно представить кортежем:

$$Q = \langle Q_{md}, Q_{Emd}, Q_m \rangle, \quad (1)$$

где Q_{md} – качество полезного ископаемого в недрах;
 Q_{Emd} – качество добываемого полезного ископаемого;
 Q_m – качество горных работ.

Эти три составляющие имеют важное значение в управлении качеством минерального сырья. Так, например, качество горных работ, включающее в себя технический, технологический и организационный уровень горного производства и характеризующиеся совокупностью технологико-экономическими показателями. Он может определяться следующим уровнем важности ведения рационального и экономически сбалансированного недропользования:

-Уровень разубоживания и потерь полезного ископаемого при добыче;



- Степень стабилизации качества минерального сырья в грузопотоке;
- Производительность горных работ и их экономическая эффективность.

Изменение качества руды в процессе горных работ от состояния Q_{md} до Q_{Emd} происходит постоянно, в разных стадиях горного производства с различной интенсивностью [5]. При этом накапливаются значительные объемы данных и обширные знания об объекте эксплуатации. Эти данные и знания могут быть не структурированными, не достоверными, противоречивыми. В свою очередь для дальнейшего ведения всего комплекса горных работ и развития горнодобывающего предприятия необходимы структурированные и достоверные данные и знания [12].

Возникает потребность в создании эффективной системы непрерывного контроля и управления качеством руды в процессе горных работ в режиме реального времени.

Существующие на горнодобывающих предприятиях программные продукты направлены на оперативный контроль и управление данными с помощью интеллектуальных Enterprise Resource Planning (ERP) систем, а также современные Геоинформационные системы, которые в свою очередь направлены анализ состояния горных массивов и прогнозирования возникновения опасных ситуаций при ведении горных работ. Применение системы «Интеллектуальный Карьер» позволяет повысить производительность горнотранспортного комплекса на 15–20%, безопасности горных работ, снижение затрат на горюче-смазочные материалы, эксплуатационных затрат, возможность вести добычу полезных ископаемых в труднодоступных и тяжелых по климатическим условиям регионах (в том числе в Сибири, Якутии, на Крайнем Севере и др.) [4].

В свою очередь эти системы не решают проблемы, связанной со структурированностью, достоверностью, полнотой и взаимосвязью данных и знаний о состоянии качества руды по всем стадиям технологического процесса добычи и поддержкой принятия решений.

Помимо этого заметим, что управление качеством руды с организационной позиции рассматривается в контексте переходных процессов.

Как отмечает член-корреспондент РАН В. Л. Яковлев: «повышение эффективности технологического и технического уровня ведения горных работ необходимо вести в рамках направления переходных процессов. Ввиду того, что особенностью технологического направления переходных процессов является то, что развитие технологии одного из производственных процессов зачастую обуславливает необходимость соответствующего развития технологии всех смежных ему производственных процессов. Структура технических переходных процессов определяется задачами стратегии и инвестиционными возможностями компании». Под переходными процессами будем понимать этапы стратегии освоения глубокозалегающих сложноструктурных 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. [7]

В связи с вышеизложенным можем говорить о происходящих в контексте переходных процессов проблемах, связанных с достоверностью, полнотой, структурированностью данных и знаний, влияющих на управление качеством руды и влекущих за собой сбои производственных циклов.

Это позволяет определить цель исследования, которая направлена на создание графовой модели управления качеством руд, позволяющей обозначить степень широты проблемы. Поскольку каждое месторождение уникально по своим горно-геологическим характеристикам и имеет свои особенности разработки. По этой причине графовую модель управления качеством руд необходимо дорабатывать для каждого объекта недропользования с учетом дополнительных особенностей месторождения. Задачами работы является показать, что в рамках онтологического подхода существует возможность описать объект исследования сложной структуры и характерные отношения между данными и знаниями с помощью графа знаний.



Материалы и методы. Существующие в настоящее время подходы обработки огромных массивов данных, графовые базы данных, такие как NoSQL [6], и онтологии (граф знаний (knowledge graph)), направлены на решение многоаспектных задач, возникающих при интеллектуальном управлении горнодобывающей корпорацией [13].

По мнению авторов [6] на предприятии существует необходимость в создании решений управления знаниями обеспечивающих постоянную генерацию новых знаний непрерывно анализируя множество различных источников. Ядром таких решений являются графы знаний, имеющие в своем составе графовые хранилища семантических метаданных и онтологии, которые выступают в роли полуструктурированной концептуальной схемы предметной области. Это качество принципиально отличает графы знаний от баз данных, позволяет решать трудноформализуемые интеллектуальные задачи, тем самым позволяя изменить направление хранения информации с хранения данных в сторону использования, связывания и циркуляции знаний.

Для визуализации, структуризации, интерпретации и выявления скрытых закономерностей все больше и больше стараются применять графы знаний (knowledge graph) [15]. Помимо этого, на сегодняшний день графы знаний приобретают востребованность в целях поддержки принятия решений [8].

На сегодняшний день не существует однозначного определения понятию графу знаний [2, 1]. Отметим, что графы знаний с позиции онтологии [6] понимают как способ моделирования и формального представления схемы данных, обеспечивающие большие возможности, чем базы данных или объектно-ориентированный подход. Для графов знаний онтология – семантическая основа представления данных, базирующаяся на логике и включая терминологический словарь и набор утверждений о моделируемых объектах. Графы знаний не только могут объединить различные источники данных в общее хранилище, но и решают проблему информационной совместимости и формализации производственных знаний.

По мнению авторов [16] граф знаний (knowledge graph) - это метод исследования, сочетающий теорию и метод прикладной математики, графики, технологий визуализации информации, информатики и других дисциплин с метрологическим анализом цитирования, анализом совпадений и другими методами, чтобы показать основную структуру, историю развития, границы предметной области и общей структуры знаний по дисциплине посредством визуального графа. Он показывает динамическое развитие знаний и обширные знания предметной области посредством интеллектуального анализа данных, обработки информации, измерения знаний и графического рендеринга. Другие авторы [8-10] полагают, что граф знаний (knowledge graph) - ресурс знаний и его источник, поиск, анализ, и конструирование, и рисование, и отображение знаний, и взаимная связь между ними с помощью технологии визуализации.

Согласно предложенной трактовке можем говорить, что граф знаний (knowledge graph) выявить скрытые закономерности в формализованных и не формализованных данных с помощью различных методов прикладной математики и интеллектуального анализа данных, а также дать оценку этим знаниям и представить их визуально в виде концептуальной схемы предметной области.

Графы знаний (knowledge graph) в свою очередь подразделяются на графы знаний (knowledge graph) [11, 17] и на индустриальные графы знаний (industry knowledge graphs) [14, с. 4]. Индустриальные графы знаний показывают преимущества онтологического подхода, обеспечивающего гибкое моделирование и интероперабельность данных, стек семантических технологий, позволяющий выполнять анализ неструктурированной информации и интеллектуальный поиск данных во множестве разнородных источников, а также машинное обучение, обеспечивающее анализ и классификацию данных, в т.ч. в условиях неполной информации [6, с. 32].

В связи с этим можем сделать вывод о том, что граф знаний позволяет визуально представить формализованные и не формализованные (сложные) знания в виде концептуальной схемы предметной области, дать оценку этих знаний с помощью различных методов прикладной математики и интеллектуального анализа данных.



Результаты работы. В первом приближении существует потребность в создании элементарного графа знаний. Для визуального представления элементарного графа знаний о процессе управления качеством руды необходимо определить какими данными и знаниями обладает карьер. Представить иерархию или последовательность связанности существующей этой совокупности информации.

На первоначальном этапе необходимо определить какими понятиями и терминологией оперирует карьер для понимания процесса управления качеством руды. Для этого составляется классификационный словарь (тезаурус).

Далее анализируется геологическая, гидрогеологическая, геофизическая, горнотехническая документация, существующая в ГИС-системе, которая дает представление об объекте недропользования, в частности о каждом обрабатываемом блоке и вводимом в отработку блоке. Анализ данных производится с помощью методов Data mining, которые позволяют обнаружить различные отклонения, произвести кластеризацию данных, создать различные классификации. Извлеченные знания записываются в элементарный граф знаний [3].

Затем анализируются данные о способах опробывания и оконтуривания, подготовки забоя к выемке, параметрах бурового оборудования, буровзрывных работ, системы разработки и способах оперативного контроля. На этом этапе появляется обширные объемы информации, данных и знаний, которые могут носить противоречивый характер, не достоверность, не согласованность, вносить не ясность в понимание происходящих процессов. Здесь помимо методов Data mining, будут нужны знания горняков (горных инженеров, непосредственно занимающихся добычей руды). Для этого возникнет потребность в создании внутри элементарного графа знаний дополнительных индустриальных графов знаний, которые характеризуют процесс управления качеством руды и позволяют получить генерацию новых знаний.

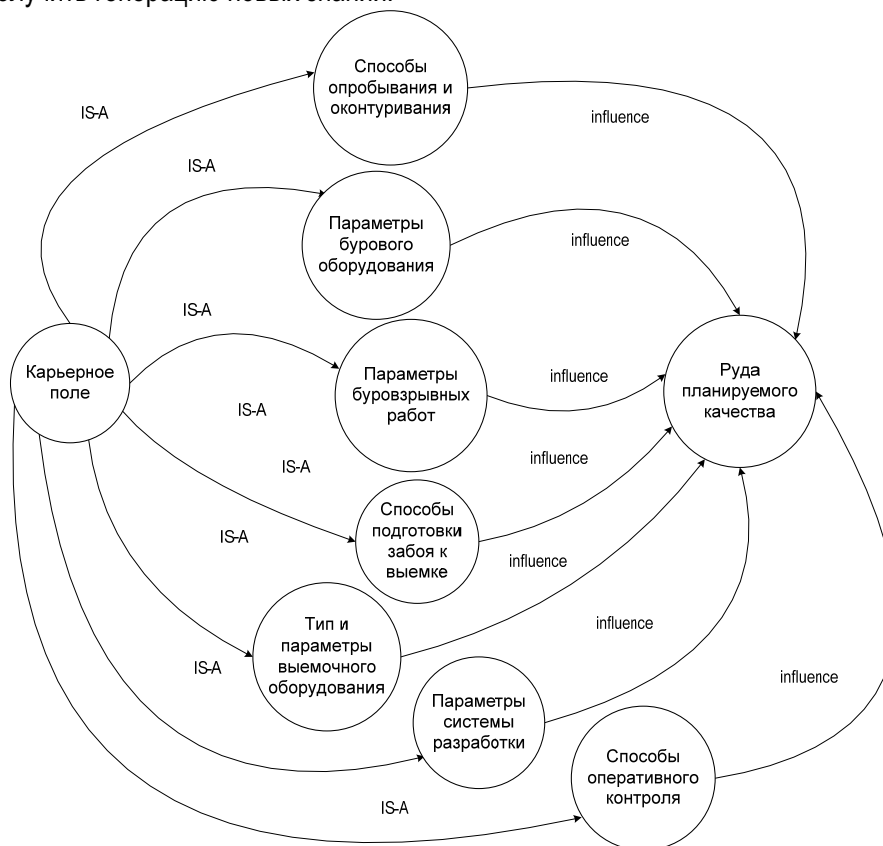


Рисунок 1 – Элементарный граф знаний управления качеством руды



В результате получаем, элементарный граф знаний рис. 1 с позиции онтологического подхода процесса управления качеством руды.

Выводы. В контексте переходных процессов предложен подход к созданию элементарного графа знаний о процессе управления качеством руды, который является частью создаваемой графовой модели управления качеством руд. Исследования осложняются в силу значительных объемов данных и обширных знаний об объекте эксплуатации. Помимо этого, визуализация процесса управления качеством руд может носить противоречивый характер поскольку, сами данные и знания могут быть не достоверными, субъективными и противоречивыми влекущих за собой сбои производственных циклов.

Полученный элементарный граф знаний позволит сформировать представление о процессе управления качеством руд и проводить дальнейшие исследования в рамках более детального изучения технологических решений, влияющих на изменение качества руд, выполнять сравнения технологических решений, а также определять качество проводимых горных работ и их экономическую эффективность с созданием иерархии индустриальных графов знаний.

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

Список литературы

1. Апанович З. В. Эволюция понятия и жизненного цикла графов знаний // Системная информатика. - 2020. - № 16. С. 57-74 DOI: 10.31144/si 2307-6410.2020. n16 p 57-74
2. Баклавски К., Беннет М., Берг-Кросс Г., Шарма Р., Сингер С. Онтологический Саммит 2020 Коммюнике: Графы знаний // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10. - № 4. С. 540 — 555
3. Васильев С. Б., Демченко И. И. Повышение объективности оценки колебаний качества горной продукции // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies4. - 2013 - № 6. С. 403-411
4. Лисенков А.А., Куандыков А.А., Букейханова С.С., Лысенко С.Б. Интеллектуализация систем проектирования, управления и функционирования горного производства [Электронный ресурс] // «Горная промышленность»: [сайт]. [2017]. URL: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/13189-intellektualizatsiya-sistem-proektirovaniya-upravleniya-i-funktsionirovaniya-gornogo-proizvodstva> (дата обращения: 30.05.2021).
5. Ломоносов Г. Г. Формирование качества руды при открытой добыче. М.: Недра. – 1975. – 224 с.
6. Муромцев Д., Волчек Д., Романов А. Индустриальные графы знаний – интеллектуальное ядро цифровой экономики // ControlEngineering Россия. - 2019. - Т. 5. - № 83. - С. 32-39.
7. 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.
8. Le-Phuoc D., Nguyen Mau Quoc H., Ngo Quoc H., Tran Nhat T., Hauswirth M. The graph of things: a step towards the live knowledge graph of connected things // Journal of Web Semantics, 2016, vol. 37-38, pp. 25-35
9. Liu H., Sun F., Fang B., X. Zhang Robotic room-level localization using multiple sets of sonar measurements // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2017, vol. 66, no. 1, pp. 2–13
10. Liu H., Yu Y., Sun F., Gu J., Visual-tactile fusion for object recognition // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2016, no. 99, pp. 1–13
11. Liu Y., Li H., Garcia-Duran A., Niepert M., Onoro-Rubio D., Rosenblum D. S. MMKG: Multi-modal Knowledge Graphs // Springer Nature Switzerland, 2019, pp. 459-474. DOI:10.1007/978-3-030-21348-0_30.



12. Osipova I., Gospodinova V. Representation of the process of sudden outbursts of coal and gas using a knowledge graph // Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences, 2020, T 192 URL: <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/52/contents/contents.htm>
13. Robinson I., Webber J., Eifrem E. Graph Databases: New Opportunities for Connected Data. OREILLY. – 2015. 238 p.
14. Zhao M., Wang H., Guo J., Liu D., Xie C., Liu Q., Cheng Z. Construction of an industrial knowledge graph for unstructured chinese text learning //Applied Science: electronic scientific journal, 2019, Volume 9, Issue 13 URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/13/2720/htm> DOI:10.3390/app9132720 (дата обращения: 21.06.2020).
15. Zou X. A Survey on Application of Knowledge Graph // Journal of Physics: Conference Series, 2020. – vol. 1487, pp. 012016. DOI:10.1088/1742-6596/1487/1/012016
16. Zhu Y., Zhou W., Xu Y., Liu J., Tan Y. Intelligent Learning for Knowledge Graph towards Geological Data // Hindawi Scientific Programming, 2017, pp.1-13. DOI 10.1155/2017/5072427
17. Zhu Y., Zhou W., Xu Y., Liu J., Tan Y. Intelligent Learning for Knowledge Graph towards Geological data // Hindawi Publishing Corporation, Scientific Programming towards a Smart Word, 2017, pp 33-45. DOI:10.1155 / 2017 /5072427.