

# Опыт защиты блочных моделей по угольным месторождениям в ГКЗ

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-3-90-94>

## АГАФОНОВ И.А.

Руководитель проектов *lean*  
центра эффективного производства ООО «СГП»,  
109542, г. Москва, Россия,  
e-mail: [agafonov@sgr.global](mailto:agafonov@sgr.global)

## МАЛОФЕЕВ Д.В.

Технический специалист *Micromine*  
ООО «Майкромайн Рус»,  
107023, г. Москва, Россия

В последнее время все больше горнодобывающих компаний и проектных организаций проявляют свой интерес к созданию геологических блочных моделей угольных месторождений. В статье приведено краткое описание текущего состояния вопроса, рассмотрен процесс построения трехмерных моделей пластовых тел и определения оптимальных границ отработки открытым способом с использованием горно-геологической информационной системы *Micromine*. Приводится опыт защиты проектов по оценке запасов угольного месторождения на основании блочных моделей компанией SGP в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых. Предложены дальнейшие шаги для перехода от традиционных методов оценки запасов к цифровым.

**Ключевые слова:** блочная модель, угольные пластовые месторождения, оптимальные границы открытых горных работ, государственная комиссия по запасам, метод обратных расстояний, заверка, классический подсчет запасов (методом двумерных геологических блоков), горно-геометрический анализ.

**Для цитирования:** Агафонов И.А., Малофеев Д.В. Опыт защиты блочных моделей по угольным месторождениям в ГКЗ // Уголь. 2022. № 3. С. 90-94. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-90-94.

## ВВЕДЕНИЕ

В стремительно меняющейся экономической ситуации на рынке полезных ископаемых как никогда актуально стоит вопрос оценки сырьевых активов угледобывающих предприятий и среднесрочного планирования горных работ. Дополнительно ухудшает ситуацию постепенное усложнение структуры вовлекаемых в разработку угольных месторождений. Традиционно недропользователи решают описанные задачи силами собственных технологических отделов или обращаясь к многочисленным проектным институтам. При этом стоит отметить, что все большее число компаний пробуют решать данные задачи с использованием цифровых моделей месторождений. Одной из лидирующих компаний на российском рынке в области моделирования пластовых месторождений является компания SGP.

Компания SGP была основана в 2003 г. и с первых дней существования применяла в своей проектной деятельности различные системы автоматизированного проектиро-

вания (САПР). В то время встречалось множество инженеров, работавших исключительно на бумажных носителях, при устройстве в нашу компанию их обучали пользоваться цифровыми решениями. Позднее осуществился переход от двумерных цифровых чертежей к полноценным трехмерным моделям отдельных горнотехнических объектов и месторождений в целом, создаваемых в горно-геологической информационной системе (ГГИС) Micromine. Это позволило повысить качество разрабатываемых материалов, устранить невидимые при работе в 2D ошибки и значительно ускорить некоторые виды работ, таких как вынос границ, подсчет объемов и т.д.

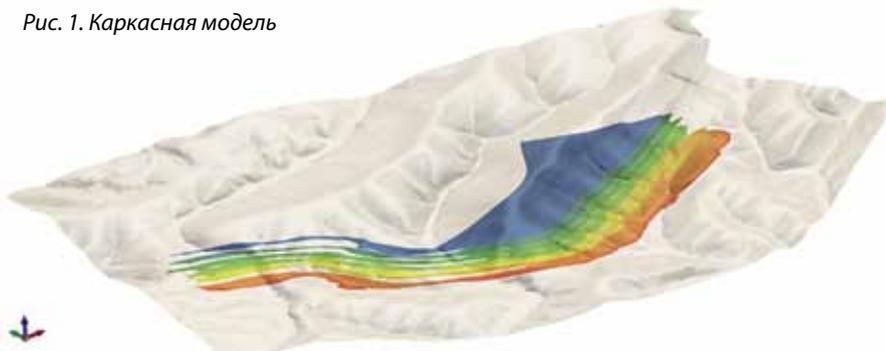
Одним из результатов внедрения ГГИС в повседневную деятельность стало использование блочного моделирования в процессах проектирования угледобывающих предприятий. Внутри компании это позволило выйти на новый уровень детализации расчетов качественных показателей добываемого полезного ископаемого вместо использования усредненных параметров по месторождению. Кроме того, были автоматизированы повторяющиеся операции, например подсчет запасов и определение оптимальных границ горных работ.

### ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

На рудных месторождениях блочное моделирование успешно используется на всех стадиях жизненного цикла предприятий более десяти лет. Это связано с тем, что сами принципы технологии исторически развивались для решения задач по разработке жил и штоков. Несмотря на различный генезис и морфологию пластовых и рудных тел, алгоритмы создания и работы с блочными моделями (БМ) отличаются незначительно. Учитывая более выдержанный характер распределения качественных характеристик на угольных месторождениях, процесс их интерполяции вызывает меньше трудностей. Тем не менее порядок подачи материалов в государственную комиссию по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) различен для руды и угля.

Формально ГКЗ принимает БМ по угольным месторождениям в соответствии с приказом Минприроды России [1]. Для этого ГКЗ привлекает внештатных экспертов по блочному моделированию, которые могут объективно оценить качество передаваемых материалов. Но в отличие от рудных месторождений, для которых ГКЗ требует сравнения с классическим способом лишь трети запасов БМ, для угля сегодня необходим полный объем традиционных геологических материалов.

Рис. 1. Каркасная модель



Практически это приводит к двукратному увеличению трудозатрат на создание модели участка в части графических приложений. На таких условиях мало кто из проектных институтов, геологоразведочных компаний и недропользователей решает на разработку БМ угольных месторождений.

Компания SGP создает пластовые БМ с 2016 г. Наш первый шаг на пути к легитимации применения методов блочного моделирования на угольных месторождениях – подача в ГКЗ оптимальных границ отработки запасов, определенных с помощью алгоритма Лерча-Гроссмана. Метод был использован при выполнении двух технико-экономических обоснований (ТЭО) постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов каменного угля в границах участков Верхнететешский и Корчаковский.

### МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ

В качестве исходных данных для создания БМ месторождения нами использовались классические геологические материалы (графические и табличные приложения). Большинство операций производилось в программном обеспечении Micromine, которое входит в перечень допустимых для создания моделей месторождений и проектов горных предприятий, представляемых на экспертизу в уполномоченный экспертный орган.

Первым этапом при построении геологической модели выполняется создание базы данных на основании документации по скважинам и пластопересечениям (компиты проб угля). Объединение данных в единую базу позволяет более детально выполнять анализ информации. Проведенный статистический анализ показал, что качественные характеристики угля близки к нормальному распределению.

Ввиду отсутствия трехмерных моделей поверхности исследуемого участка нами была выполнена оцифровка исторической документации (планы, разрезы и т.д.) с присвоением соответствующих высотных отметок структурным элементам. На основании полученных трехмерных изолиний было выполнено построение цифровой модели поверхности (ЦМП) участка, почвы пластов, границ участка, контактов коренных пород. Каркасные модели были созданы с помощью сети трехмерных треугольников (триангуляционная нерегулярная сеть Делоне). Чтобы получить объемные замкнутые каркасные модели пластов? необходимо иметь поверхности и почвы, и кровли пласта. Для этого к почвам пластов методом геометрического сложения были прибавлены их мощности. При этом использовались мощности не средние по пласту, а вычисленные в каждой точке интерполированные значения из пластопересечений.

На основании каркасной модели месторождения (рис. 1) была создана пустая БМ. После этого в нее были проинтерполированы качественные характеристики полезного ископаемого (мощность, зольность, теплота сгорания и др.) из базы данных мето-

Рис. 2 Распределение одной из качественных характеристик пласта

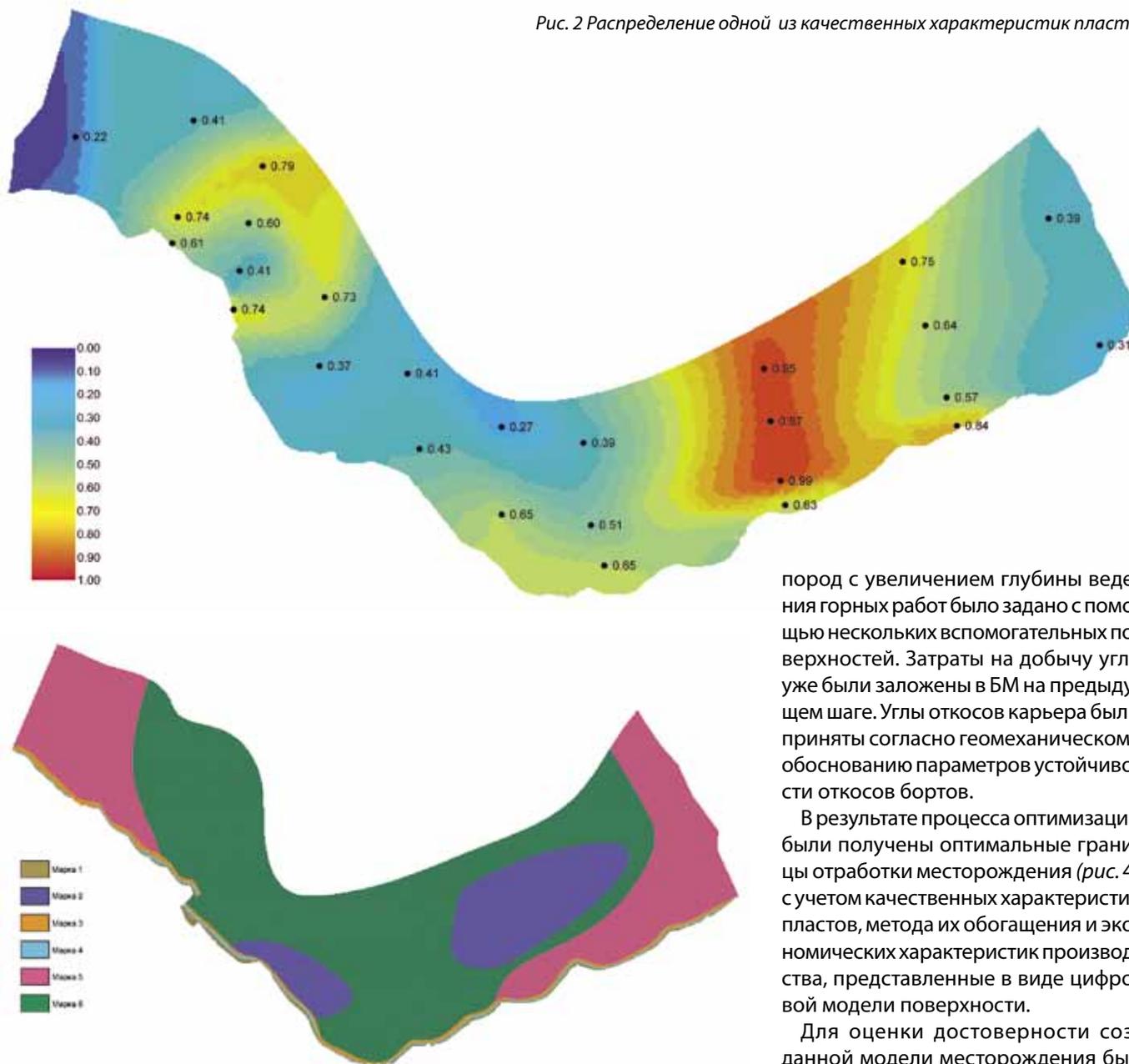


Рис. 3. Распределение марочного состава пласта

пород с увеличением глубины ведения горных работ было задано с помощью нескольких вспомогательных поверхностей. Затраты на добычу угля уже были заложены в БМ на предыдущем шаге. Углы откосов карьера были приняты согласно геомеханическому обоснованию параметров устойчивости откосов бортов.

В результате процесса оптимизации были получены оптимальные границы отработки месторождения (рис. 4) с учетом качественных характеристик пластов, метода их обогащения и экономических характеристик производства, представленные в виде цифровой модели поверхности.

Для оценки достоверности созданной модели месторождения был проведен ряд проверок. В результате сравнения объемов каркасной и блочной моделей было установлено, что погрешность составляет менее 0,1%.

дом обратного расстояния (рис. 2). Часть информации о месторождении была присвоена с помощью каркасов и полигонов: лицензионная принадлежность, марочный состав и др. (рис. 3).

Для определения оптимального контура карьера в БМ были внесены соответствующие технологические и экономические параметры, которые рассчитывались на основе геологической информации по общепринятым формулам (потери, засорение, переработка, обогащение, ценность и затраты на добычу полезного ископаемого).

Сам процесс определения границ карьера выполнялся с помощью модуля «Оптимизация карьера», в основе работы которого лежит алгоритм Лерча-Гроссмана [2]. В качестве ограничивающей сверху поверхности была использована топографическая съемка участка. Изменение затрат на выемку и транспортирование вскрышных

что погрешность составляет менее 0,1%.

Анализ присвоения качественных характеристик был выполнен визуально в плане и на вертикальных сечениях (рис. 5).

Наиболее полно БМ заверялась путем сравнения качественных и количественных характеристик с традиционным подсчетом запасов, выполненным в геологическом отчете. Сравнение было проведено отдельно по каждому пласту и каждой марке. Результат показал высокую степень сходимости, в среднем по всей модели отклонение составило около 0,5%.

Перечисленный ряд проверок показал, что две созданные БМ каменноугольных месторождений по участкам Верхнететешский и Корчакольский достоверны и с незначительной погрешностью совпали с геологическими материалами, положенными в их основу.

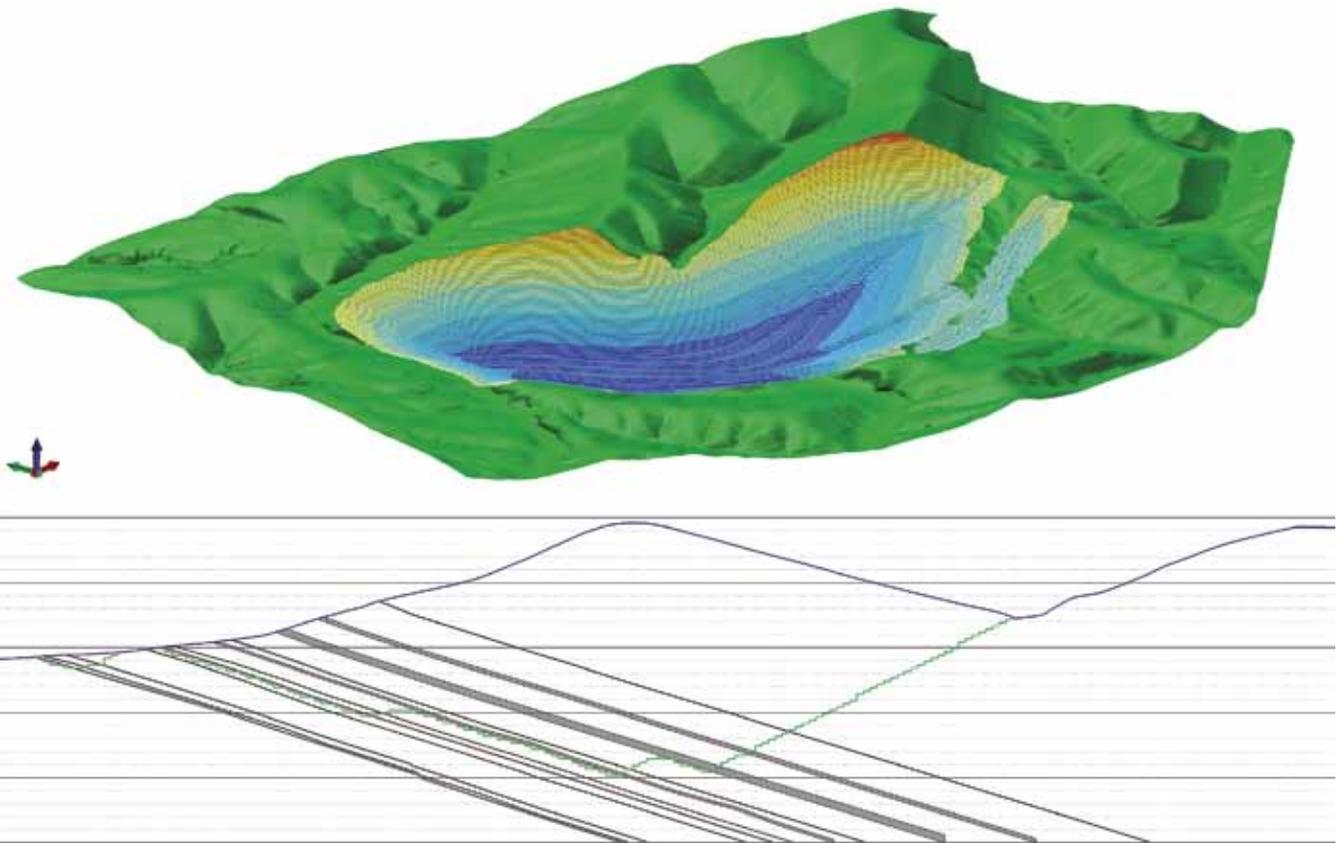


Рис. 4. Оптимальный контур

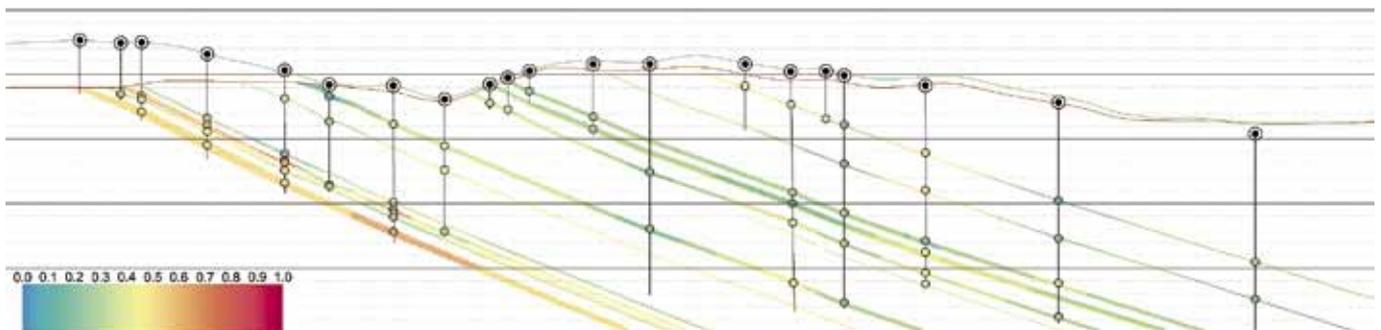


Рис. 5. Сравнение БМ и пластопересечений

Полученный оптимальный контур был проверен методом классического горно-геометрического анализа (ГГА). На геологических разрезах были построены контуры прирезок по принципу: одна по оптимальному контуру отработки, две выше и две ниже. В каждой из прирезок были рассчитаны контурный и граничный коэффициенты вскрыши. Расчеты показали, что в верхних прирезках граничный коэффициент превышает контурный, в нижних – наоборот. Это доказало целесообразность отработки участка в полученном по итогам оптимизации контуре.

По результатам проверки БМ экспертами ГКЗ разных профилей был выявлен ряд недочетов:

- недостаточно подробное описание базы данных и полей БМ;
- разночтения между каркасами и опробованием в базе данных;
- отсутствие каркасов нарушений;

- отсутствие геостатистического анализа;
- отсутствие обоснования метода интерполяции и его параметров;
- отсутствие автоматизации классического ГГА (факторный анализ);
- отсутствие дискретности литотипов вмещающих пород;
- отсутствие ГГА по всем геологическим разрезам.

В рамках ответов на замечания были предоставлены дополнительные материалы, которые сняли вопросы экспертов. БМ признана пригодной для определения оптимальных границ. Утвержденные протоколом ГКЗ итоговые решения ТЭО в части границ подсчета запасов углей были получены непосредственно на основе БМ. Но, к сожалению, как было указано выше, в рамках ТЭО БМ не использовалась для подсчета запасов и их постановки на баланс предприятия.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

На сегодняшний день уже намечены следующие шаги для полноценного внедрения технологий блочного моделирования в угольную отрасль.

В первую очередь это отказ от классического ГГА, который дублирует расчеты модуля оптимизации. Ему на замену следует создавать серию вложенных карьеров, используя фактор дисконта к цене реализации и стоимости товарной продукции. Полученные оболочки можно использовать для визуального отображения углубки на геологических разрезах и автоматического расчета контурного и граничного коэффициентов вскрыши.

Следующий этап – предоставление на ГКЗ подсчета запасов угля с использованием блочного моделирования. Для этого, безусловно, потребуется сопоставление результатов с традиционным подсчетом запасов, но лишь в качестве заверочных процедур. В этом случае количество запасов на участке, утверждаемое протоколом ГКЗ, будет основываться на БМ.

В дальнейшем доля заверки БМ классическими геологическими материалами будет снижаться до сложившейся по руде. Сами графические приложения к геологическим отчетам целесообразней будет выполнять непосредственно в ГГИС Micromine с экспортом, при необходимости, в САПР-форматы.

Последним большим вопросом остается готовность всех участников угледобывающей промышленности к новым технологиям. В настоящее время постепенно проявляет-

ся заинтересованность недропользователей в преимуществах, которые дает наличие БМ:

- оперативная и достоверная информация по разрезу и активам;
- прогнозируемость производственных процессов;
- аналитика по множеству вариантов планов развития;
- выравнивание экономики производственной деятельности;
- снижение рисков при принятии управленческих решений.

Важно также при замене традиционных графических материалов учитывать интересы других учреждений: Ростехнадзор, Роснедра, Геологический фонд, Росгеолэкспертиза, Главгосэкспертиза России.

Предстоит освоить множество технологий и усовершенствовать еще больше процессов. Так, шаг за шагом, производство будет становиться эффективнее, а работать в нем – интереснее.

## Список литературы

1. Приказ Минприроды РФ от 23.05.2011 № 378 «Об утверждении Требований к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по подсчету запасов твердых полезных ископаемых» (зарегистрировано в Минюсте РФ 24.06.2011 № 21161).
2. Lerchs H., Grossman I.F. Optimum design of Open-Pit mines // Transactions, Canadian Institute of Mining and Metallurgy. 1965. Vol. 68. P. 47-54.

Original Paper

UDC622.1:622.28 © I.A. Agafonov, D.V. Malofeev, 2022

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 3, pp. 90-94

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-3-90-94>

## Title

EXPERIENCE IN DEFENDING BLOCK MODELS FOR COAL DEPOSITS IN THE STATE COMMITTEE FOR RESERVES

## Authors

Agafonov I.A.<sup>1</sup>, Malofeev D.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> "SIBGEOPROJECT" LLC, Moscow, 109542, Russian Federation

<sup>2</sup> Micromine Rus LLC, Moscow, 107023, Russian Federation

## Authors Information

**Agafonov I.A.**, Project Manager, Lean Center for Efficient Production, e-mail: [agafonov@spp.global](mailto:agafonov@spp.global)

**Malofeyev D.V.**, Micromine Technical Specialist

## Abstract

Recently, more and more mining and design companies have shown their interest in creating geological block models of coal deposits. The article provides a brief description of the current state of the issue, considers the process of creating three-dimensional models of stratal bodies and determining the optimal boundaries of open pit mining using the Micromine mining and geological information system. The author presents the experience of defending the assessment of coal deposits based on block models by SGP company in the State Commission on Mineral Reserves. Further steps are proposed for the transition from traditional methods of reserves assessment to digital ones.

## Keywords

Block model, Coal seam deposits, Optimal boundaries of open-pit mining, State Commission on Mineral Resources, Inverse distance weighting interpolation, Verification, Classic calculation of reserves (geological polygons method), Geometrical analysis.

## GEOINFORMATICS

## References

1. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 378 as of 23.05.2011 "On approval of the Requirements for the composition and rules of formulation of materials presented for State expert review to estimate the reserves of solid minerals" (registered with the Russian Ministry of Justice on 24.06.2011 No. 21161).
2. Lerchs H. & Grossman I.F. Optimum design of Open-Pit mines. *Transactions, Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, 1965, Vol. 68, pp. 47-54.

## For citation

Agafonov I.A. & Malofeev D.V. Experience in defending block models for coal deposits in the State Committee for Reserves. *Ugol'*, 2022, (3), pp. 90-94. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2022-3-90-94](http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-3-90-94).

## Paper info

Received January 19, 2022

Reviewed February 2, 2022

Accepted February 21, 2022