

УДК 681.3

**Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник, Н.М. Стадник,
Н.М. Какорина, В.Н. Чижов**

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ И ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Представлены основные принципы автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров угольных месторождений. Разрабатывается и подробно рассматривается алгоритм автоматизированного прогнозирования различных горно-геологических характеристик. Делается вывод о том, что применение сплайн-функции Грина позволяет сделать наиболее качественный прогноз горно-геологических параметров, а также приводится пример работы алгоритма на угольном месторождении.

Ключевые слова: угольное месторождение, проектирование угольных шахт, 3-D модели, отработка запасов угля, горно-геологические параметры, интерполяция, сплайн-функции, формула Грина.

Горно-геологические условия представляют собой совокупность характеристик компонентов геологической среды исследуемой территории, влияющих на условия проектирования, строительства и разработки месторождения полезного ископаемого (угленосных толщ, угольных пластов). Понятие «горно-геологические условия» относится к числу неуправляемых факторов и включает в себя геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические условия, а также элементы горнотехнической системы, надежное исследование и прогнозирование которых позволяет построить рациональную технологическую схему шахты, а также достоверно определить необходимые объемы капиталовложений. Характеристика горно-геологических условий является комплексной и трудоемкой задачей за-за большого количества учитываемых параметров, что создает определенные трудности

по их формализации и прогнозированию.

В результате проведенного анализа был разработан алгоритм автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров с помощью сплайн-функций Грина, который представлен на рис. 1.

В блоке 1 осуществляется построение каркасной модели месторождения в горно-геологическом программном пакете Micromine (далее MICROMINE). Построение каркаса производится путем создания вертикального поперечного разреза, на котором отображены скважины и интерпретированные по ним полигоны. Далее для придания трехмерного объема устанавливается соединение между полигоном одного среза и полигоном следующего среза, создавая в процессе работы трехмерную форму. Этот процесс и называется построением каркаса или каркасным моделированием, с помощью ко-

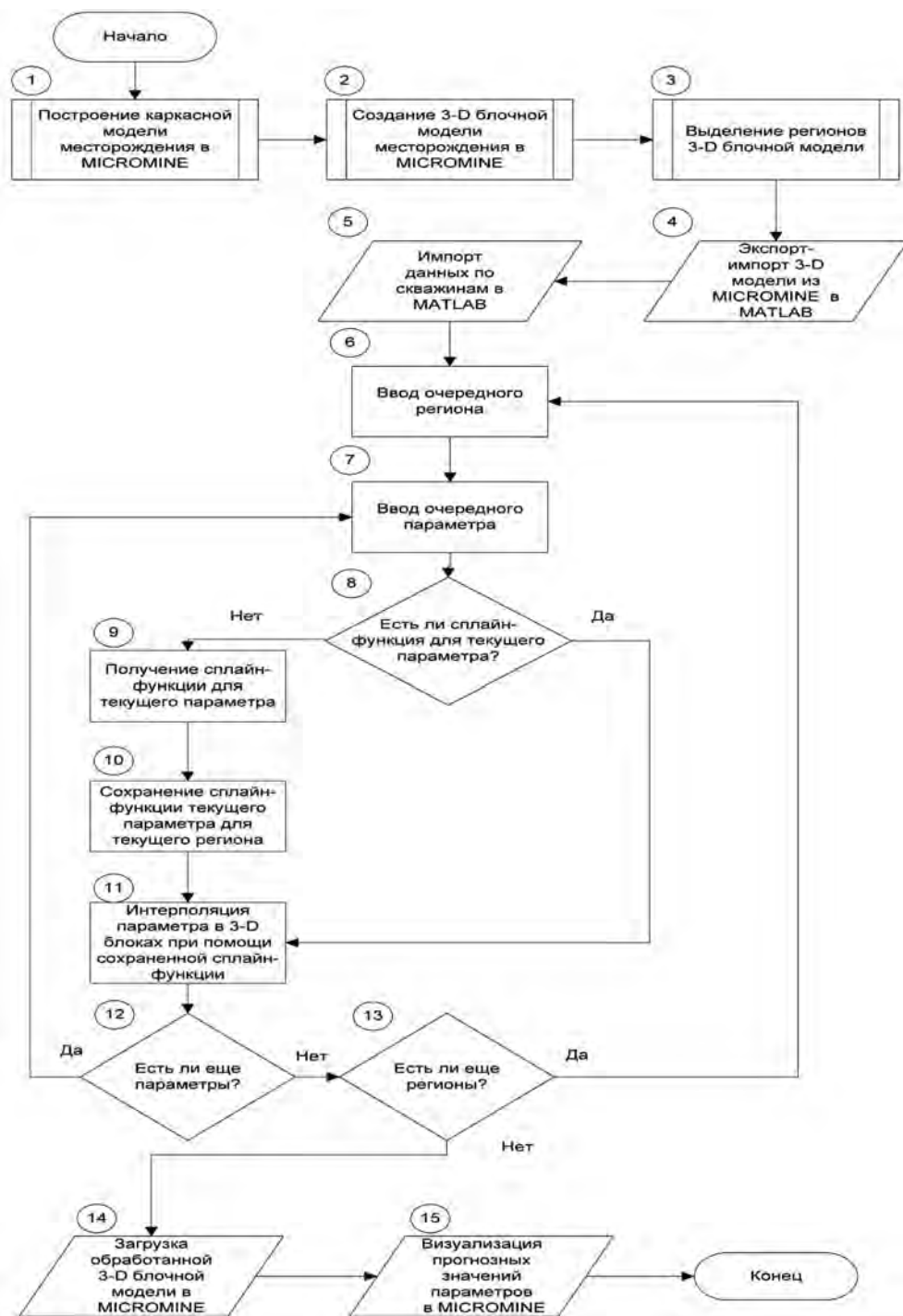


Рис. 1. Алгоритм автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров в помощь сплайн-функций Грина

того строится сеть взаимосвязанных 3-D треугольников, представляющих собой поверхность.

Блок 2 реализует создание 3-D блочной модели месторождения в MICROMINE. После построения каркаса пласта необходимо создание блочной модели месторождения – трехмерной модели участка пространства, построенной путем разбиения этого участка на элементарные ячейки (блоки), которые имеют форму параллелепипеда и содержат в себе различные характеристики объекта.

В блоке 3 происходит выделение по имеющимся каркасным моделям блоков 3-D модели для каждого пласта (пропластка, толщи междупластья и т.п.), а затем выполняется присвоение кода принадлежности к некоторому региону R для каждого блока 3-D модели.

Экспорт-импорт 3-D модели из MICROMINE в программный пакет математического моделирования Matlab (далее MATLAB) производится в блоке 4. Данные пустой блочной модели месторождения выгружаются из MICROMINE в файл и загружаются в MATLAB стандартными методами.

Блок 5 реализует импорт данных по скважинам в MATLAB. Загрузку в MATLAB геологической базы данных, содержащей данные по разведочным скважинам необходимо произвести для получения сплайн-функции по каждому показателю для регионов 3-D модели.

В блоке 6 осуществляется ввод очередного региона и выбор его для обработки в MATLAB.

Блок 7 реализует выбор необходимого горно-геологического параметра для прогнозирования в MATLAB.

В блоке 8 устанавливается наличие сплайн-функция для текущего показателя. Если таковая имеется, то возможен переход к интерполяции данных в блоках 3-D модели, а если функция отсутствует – следует получить тре-

буемую сплайн-функцию для текущего показателя.

Блок 9 позволяет получить необходимую сплайн-функцию для того или иного показателя путем обработки данных по геологоразведочным скважинам, с помощью которых программа MATLAB восстановит функциональную зависимость по одной из горно-геологических характеристик.

В блоке 10 программа MATLAB производит сохранение сформированной ранее сплайн-функции в банк данных с указанием кода региона.

Интерполяция показателя в блоках 3-D модели при помощи сохраненной сплайн-функции осуществляется в блоке 11.

Для каждого блока, находящегося в текущем регионе, по его координатам x , y , подставленным в сохраненную (либо уже имеющуюся) функциональную зависимость, вычисляется прогнозное значение необходимой природной характеристики среды.

В блоке 12 устанавливается необходимость интерполяции других показателей в рассматриваемом регионе 3-D модели месторождения. Если показатели есть, то следует ввести следующий показатель и повторить цикл. Если же для всех показателей региона функциональные зависимости выявлены, осуществляется переход к следующему шагу.

Блок 13 реализует процедуру принятие решения: существуют ли еще регионы в рассматриваемой 3-D модели месторождения. Если регионы есть, то рекомендуется ввести следующий необходимый регион и повторить цикл. Если же для всех регионов все функциональные зависимости выявлены, а данные параметры интерполированы, то сформированная 3-D блочная модель с полученными прогнозными значениями горно-геологических характеристик для каждого блока выгружается из MATLAB в виде файла.

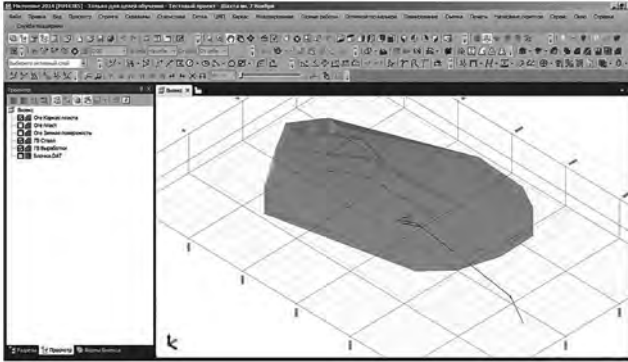


Рис. 2. Каркасная модель пласта шахты имени 7 Ноября (Кузбасс)

В блоке 14 файл, содержащий в себе закодированные геологические структуры и вычисленные с помощью сплайн-функций прогнозные значения искоемых горно-геологических характеристик, выгружается из MATLAB и загружается в MICROMINE.

При визуализации в блоке 15 обработанной 3-D модели в MICROMINE осуществляется наглядная интерпретация природной изменчивости горно-геологических условий, интерполированных при помощи сплайн-функций Грина.

При построении 3-D блочной модели реального месторождения в программном продукте MICROMINE сначала следует отстроить каркасы пластов, кровли и почвы, которые бу-

дут впоследствии использоваться для определения принадлежности каждого блока 3-D модели к ранее выделенным слоям, толщам, регионам (рис. 2).

Далее производится построение пустой блочной модели угольного месторождения, которая содержит в себе координаты каждого геологического блока. Следует отметить, что на рассматриваемом участке шахты имени 7 Ноября отсутству-

ют какие-либо явные геологические нарушения, в связи с чем 3-D модель будет иметь всего один регион.

Выгружаем блоки, попавшие в каркас, из программного продукта MICROMINE в программу математического моделирования MATLAB для дальнейшей обработки в виде таблицы Excel (рис. 3).

Одновременно с этим необходимо загрузить в MATLAB базу данных по скважинам месторождения, где спомощью интерполяции сплайнами по имеющимся данным по скважинам программа восстановит функциональные зависимости (рис. 4) по метаносности угольного пласта. Для этого используется CurveFittingToolbox – пакет расширения MATLAB для различ-

	X	Y	Z	X	Y	Z
2375	820	1720	-34	10	20	4
2377	820	1725	-33	20	10	2
2378	820	1725	-34	20	10	4
2379	820	1730	-35	30	10	2
2380	820	1730	-34	20	20	4
2381	820	1735	-34	30	10	2
2382	820	1735	-35	30	10	4
2383	820	1735	-35	30	10	2
2384	820	1735	-29	20	10	4
2385	820	1740	-30	40	10	2
2386	820	1745	-29	10	20	4
2387	820	1745	-30	20	10	2

Рис. 3. Подготовка данных для выгрузки в программный продукт MATLAB

ных прикладных задач аппроксимации и интерполяции данных.

Стоит заметить, что при интерполяции стандартными методами, прогнозные значения будут в определенной мере отличаться, так как сплайн-функция наиболее гибко и точно описывает природную изменчивость горно-геологических данных (таблица).

Для каждого блока по его координатам x , y , подставленным в необходимую функциональную зависимость, вычисляется прогнозное значение метаносности угольного пласта. Затем блоки обратно загружаются в 3-D модель и представляют нам наглядную интерпретацию изменения содержания метана на участке месторождения (рис. 6).

Таким образом, можно сделать вывод, что сплайн-функции обладают исключительно хорошими аппроксимативными свойствами, а также универсальностью и обеспечивают простоту реализации вычислительных алгоритмов, полученных на их основе. Прогнозирование пространственной изменчивости горно-геологических данных при помощи сплайн-функции Грина, в свою очередь, позволит обеспечить большую надежность и достоверность полученных результатов, а также найдет свое применение во многих современных программных продуктах для прогнозирования горно-геологических условий в трехмерном пространстве.

Сравнительная таблица результатов прогнозирования метана при помощи метода обратных расстояний и сплайн-функции

X	Y	Z	CH ₄ метод обратных расстояний	CH ₄ метод сплайн-функций
820	1720	-34	11,33619	11,33619
820	1725	-33	11,21939	11,22451
820	1725	-34	11,1961	11,13694
820	1730	-35	10,88722	11,10451
820	1730	-34	10,70666	11,10676
820	1735	-34	10,67801	11,00801
820	1735	-35	10,61126	11,00633
820	1735	-35	10,5358	11,0043
820	1735	-29	10,4774	11,0024
820	1740	-30	10,42958	11,0066
820	1745	-29	9,99496	10,52503
820	1745	-30	9,72336	10,01002
820	1745	-31	9,30651	9,36678
825	1755	-30	8,76536	9,26255
825	1755	-29	8,70323	9,07496
825	1755	-31	8,51437	8,52003
825	1755	-30	8,45082	8,41128
825	1755	-29	8,39166	8,35246
825	1755	-31	8,35823	8,44825
825	1765	-30	8,11827	8,42174

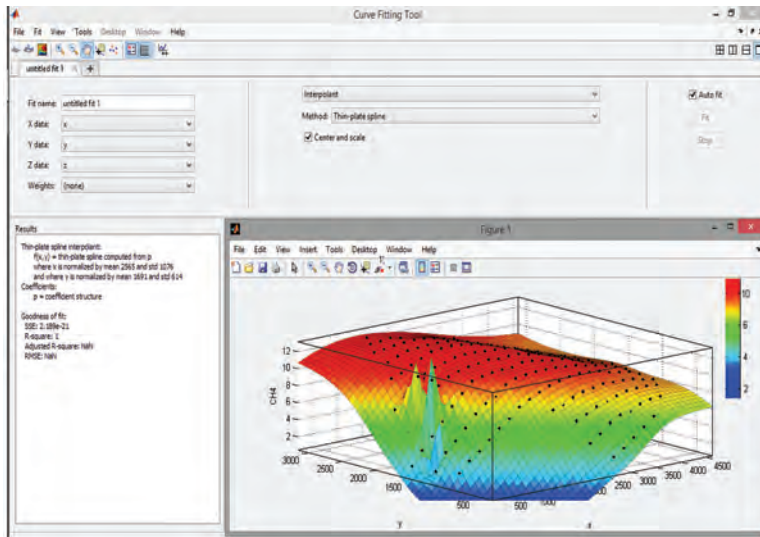


Рис. 4. Графическая интерпретация изменения метаносности на обрабатываемом участке шахтного поля шахты имени 7 Ноября

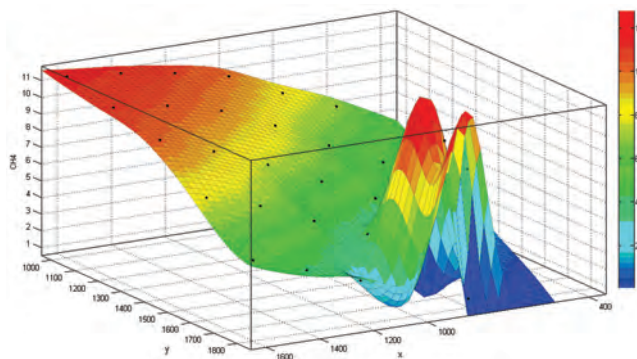


Рис. 5. Участок шахтного поля шахты имени 7 Ноября с наиболее характерными изменениями метаносности угольного пласта

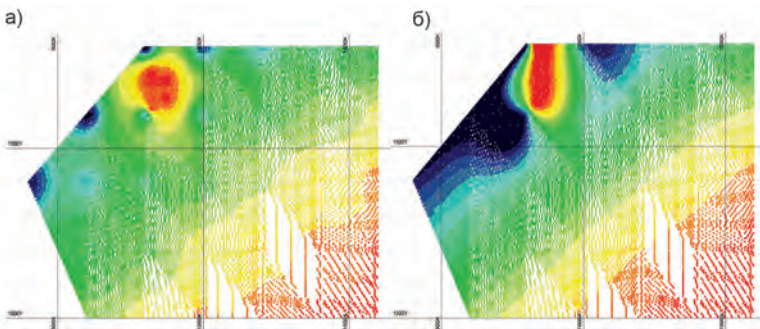


Рис. 6. Графическая интерпретация прогноза метаносности на участке месторождения при помощи: а) стандартных методов интерполяции; б) интерполяции сплайн-функцией

1. Фиктенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 3. – М.: Изд-во Физматлит, 2001. – С. 164–168.

2. Абрамова О.В. Методы и модели оптимизации технологических схем подготовки и отработки выемочных полей пологих пластов Кузбасса. – М., 1991.

3. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А. Концепция проектирования и управления отработкой запасов выемочных участков на базе информационных технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 4. – С. 279–285.

4. Васильев П.В. Развитие горно-геологических информационных систем // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 1999. – № 2(19). – С. 32–33.

5. Бурчаков А.С., Малкин А.С., Еремеев В.М. и др. Проектирование предприятий

с подземным способом добычи полезных ископаемых – М.: Недра, 1991.

6. Капутин Ю.Е., Ежов А.И., Хенли С. Геоэкономическая статистика в горно-геологической практике. – Апатиты: КНЦ РАН, 1995. – С. 18–89.

7. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М., Какорина Н.М. Прогнозирование горно-геологических условий проектируемых шахт на базе цифровых трехмерных моделей угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 12. Отдельные статьи (специальный выпуск). Проектирование и организация горнотехнических систем. Вып. 3. – С. 3–9.

8. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М. Повышение качества 3D моделирования угольных месторождений на основе использования теории сплайнов // Горная промышленность. – 2010. – № 6(94). – С. 60–61. **ГИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Юрий Николаевич¹ – доктор технических наук, профессор, Стадник Денис Анатольевич¹ – кандидат технических наук, доцент, e-mail: denstadnik@rambler.ru, Стадник Нино Мамукаевна² – ведущий инженер, e-mail: kun17@yandex.ru, Какорина Нана Мамукаевна² – инженер, e-mail: nanylikkakorina@mail.ru, Чижов Владимир Николаевич² – инспектор, ¹ НИТУ «МИСиС», ² Центр вечернего и заочного обучения (ЦВЗО) НИТУ «МИСиС».

UDC 681.3

BASIC PRINCIPLES OF DEVELOPMENT AND PRACTICAL IMPLEMENTATION AN ALGORITHM FOR AUTOMATED PREDICTION OF GEOLOGICAL CONDITIONS FOR COAL DEPOSITS

Kuznetsov Yu.N.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Stadnik D.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: denstadnik@rambler.ru, Stadnik N.M.¹, Leading Engineer, e-mail: kun17@yandex.ru, Centre of Evening and Distance Learning, Kakorina N.M.¹, Engineer, e-mail: nanylikkakorina@mail.ru, Centre of Evening and Distance Learning, Chizhov V.N.¹, Inspector, Centre of Evening and Distance Learning

¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

This article presents the basic principles of computer-aided prediction of geological conditions for coal deposits. Developed and discussed in detail the algorithm for automated prediction of different geological conditions. It is concluded that the application of the Green's spline function allows you to make the qualitative prediction of mining-geological data, and also provides an example of the algorithm on a real coal mine.

Key words: coal deposit, designing of coal mines, three-dimensional models, the mining of the coal reserves, mining and geological conditions, interpolation, spline functions, the Green's formula.

REFERENCES

1. Fikhtengol'ts G.M. *Kurs differentsial'nogo i integral'nogo ischisleniya*. T. 3 (Course on differential and integral calculation, vol. 3), Moscow, Izd-vo Fizmatlit, 2001, pp. 164–168.

2. Abramova O.V. *Metody i modeli optimizatsii tekhnologicheskikh skhem podgotovki i otrabotki vyemochnykh poley pologikh plastov Kuzbassa* (Methods and models of optimization of flow charts for preparation and mining of flat seams in Kuzbass), Moscow, 1991.

3. Kuznetsov Yu.N., Stadnik D.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 4, pp. 279–285.

4. Vasil'ev P.V. *Informatsionnyy byulleten' GIS-Assotsiatsii*. 1999, no 2(19), pp. 32–33.

5. Burchakov A.S., Malkin A.S., Eremeev V.M. *Proektirovanie predpriyatiy s podzemnym sposobom dobychi poleznykh iskopaemykh* (Underground mine planning), Moscow, Nedra, 1991.

6. Kaputin Yu.E., Ezhov A.I., Khenli S. *Geostatistika v gorno-geologicheskoy praktike* (Geostatistics in mining-and-geological practice), Apatity, KNTs RAN, 1995, pp. 18–89.

7. Kuznetsov Yu.N., Stadnik D.A., Stadnik N.M., Kakorina N.M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 12. Special edition. *Proektirovanie i organizatsiya gornotekhnicheskikh sistem*, issue 3, pp. 3–9.

8. Kuznetsov Yu.N., Stadnik D.A., Stadnik N.M. *Gornaya promyshlennost'*. 2010, no 6(94), pp. 60–61.