

УДК 622.324.5

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ УГЛЯ И ОЦЕНКА РЕСУРСОВ
МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ПОМОЩИ
АЛГОРИТМИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ**

Смирнова А.Д., научный сотрудник НИЛ ЦТМСК,
аспирант группы ГМа-211, IV курс
Трофимов М.В., студент гр. ПГс-201, V курс
Научный руководитель: Михайлова Т.В., к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой маркшейдерского дела и геологии
Кузбасский Государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово

Современные мировые тенденции в развитии горнодобывающих систем ориентированы на повышение экономической эффективности, рациональное использование полезных ископаемых и сокращение выбросов парниковых газов [1]. Важным аспектом при этом становится извлечение и дальнейшая эффективная переработка сопутствующих полезных ископаемых. Крупнейшим угледобывающим регионом России является Кузбасс, обеспечивающий около половины всей угледобычи в стране. Помимо значительных запасов угля, Кузбасс обладает большими ресурсами метана угольных пластов (МУП), предварительные оценки которого составляют 13,1 трлн м³ [2]. Угольный метан обладает большим энергетическим потенциалом, который также имеет экономические преимущества в контексте глобального перехода к низкоуглеродной энергетике [3]. Это обусловило необходимость комплексного подхода к природопользованию и оценке запасов как основного полезного ископаемого – угля, так и сопутствующего углеводорода – метана.

В рамках плана развития угольной промышленности Кемеровской области – Кузбасса до 2035 года, ключевой целью обозначено внедрение передовых цифровых технологий в производственные и технологические процессы отрасли. Важнейшим этапом в разработке угольных месторождений как коллекторов метана является оценка запасов, от точности которой зависит результативность всего производственного цикла. В настоящее время в геологической практике подсчет запасов всех видов твердых полезных ископаемых выполняется единственным способом, известным как метод геологических блоков. Достоинство данного метода обусловлено не методологическими преимуществами или высокой точностью, а опытом и уровнем квалификации ограниченного числа геологов, мастерски выделяющих блоки. Для обеспечения точности расчетов геологи прилагают значительные усилия, располагая блоки таким образом, чтобы структура модели соответствовала плоскости пласта. Однако,

полностью исключить методологическую погрешность не представляется возможным [4].

Тем не менее, необходимость автоматизации комплексного подсчета запасов обусловлена острой нехваткой высококвалифицированных геологов, способных точно и при этом оперативно выделять блоки и выполнять вычисления вручную. Учитывая сокращение специалистов в области разведки и разработки угольных месторождений, для продолжительного и стабильного прогресса отрасли требуется внедрение цифровых технологий и передовых стратегий. В связи с этим возникает необходимость автоматизации комплексного подсчета угольных запасов и оценки ресурсов МУП с применением скриптовых языков программирования. Таким образом, данное исследование нацелено на проведение сравнительного анализа результатов вычислений классическим и предлагаемым методами, а также определение их характерных особенностей.

Метод геологического блочного моделирования предполагает разделение месторождения на отдельные пространственные зоны. Ключевой целью служит идентификация областей, демонстрирующих сходство по геологическим свойствам, таким как мощность пласта, угол залегания, наличие тектонических разломов, состав и структура вмещающих пород, а также характеристики качества полезного компонента, включая концентрацию полезных элементов, влажность, зольность и другие показатели. В каждом блоке вычисляются средние значения параметров на основе данных, полученных в результате бурения, горных работ и геофизических исследований. Затем, применяя простые геометрические уравнения, рассчитывается объем блока и, как следствие, количество заключенного в нем полезного ископаемого. Путем суммирования запасов по всем блокам производится общая оценка запасов месторождения [5].

Для успешной реализации алгоритмического кода на начальном этапе был проведен предварительный анализ на языке программирования VBA (Visual Basic for Applications) с использованием первичных данных, полученных в процессе геологоразведочных исследований (рис. 1).

Номер геологического блока	Площадь проекции блока (кв. м)	Угол падения пласта, град.	Состав (показатели) угленосного пласта	Исходная площадь блока (кв. м)	Запасы угольных слоев, тыс. т			Запасы угля по сумме угольных слоев и породных прослоев			Запасы, тыс. т	Метаноносность	
					Породы и мощность, т/м ²	Мощность, т/м ²	Промышленная мощность, т/м ²	Запасы, тыс. т	Породы и мощность, т/м ²	Мощность, т/м ²			Промышленная мощность, т/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Итого III													
Балансовые													
9-C1	20,8	25	1,10	23	7,35	1,20	8,82	201	7,35	1,20	8,82	296	13
10-C1	74,5	18	1,05	78	9,03	1,20	10,84	847	9,03	1,20	10,84	1017	13
12-C1	118,1	14	1,03	122	10,06	1,20	12,07	1468	10,06	1,20	12,07	1581	13
13-C1	10,1	14	1,03	10	5,03	1,20	6,04	63	5,03	1,20	6,04	135	13
14-C1	75,9	15	1,04	79	11,35	1,20	13,62	1075	11,35	1,20	13,62	1026	13
15-C1	10,8	15	1,04	11	5,68	1,20	6,82	77	5,68	1,20	6,82	147	13
16-C1	57,7	17	1,05	61	8,90	1,20	10,68	647	8,90	1,20	10,68	788	13
17-C1	9,6	17	1,05	10	4,45	1,20	5,34	54	4,45	1,20	5,34	131	13
18-C1	62,6	23	1,09	66	8,53	1,20	10,24	699	8,53	1,20	10,24	888	13
19-C1	8,7	23	1,09	11	4,27	1,20	5,12	54	4,27	1,20	5,12	138	13
22-C1	7,9	20	1,06	8	8,55	1,20	10,26	86	8,55	1,20	10,26	109	13
Забалансовые													
1-C1	145,2	11	1,02	148	3,39	1,20	4,07	602	3,39	1,20	4,07	1925	13
2-C1	192,1	10	1,02	196	3,61	1,20	4,33	849	3,61	1,20	4,33	2547	13
3-C1	182,1	16	1,04	189	2,33	1,20	2,80	330	2,33	1,20	2,80	2462	13
4-C1	183,2	15	1,04	186	2,83	1,20	3,40	665	2,83	1,20	3,40	2545	13
5-C1	47,7	30	1,15	55	4,30	1,20	5,16	283	4,30	1,20	5,16	714	13
6-C1	82,3	30	1,15	95	6,03	1,20	7,24	685	6,03	1,20	7,24	1230	13
7-C1	177,0	14	1,03	182	3,34	1,20	4,01	731	3,34	1,20	4,01	2370	13
8-C1	18,6	25	1,10	21	7,35	1,20	8,82	181	7,35	1,20	8,82	267	13
11-C1	263,4	13	1,03	271	3,13	1,20	3,76	1019	3,13	1,20	3,76	3527	13
20-C1	48,1	20	1,06	51	9,87	1,20	11,84	604	9,87	1,20	11,84	663	13
21-C1	6,6	20	1,06	7	4,93	1,20	5,92	41	4,93	1,20	5,92	91	13
23-C1	34,2	25	1,10	38	7,80	1,20	9,36	352	7,80	1,20	9,36	489	13
24-C1	38,2	29	1,14	44	4,23	1,20	5,08	221	4,23	1,20	5,08	566	13
25-C1	121,6	23	1,09	133	3,28	1,20	3,94	522	3,28	1,20	3,94	1723	13
26-C1	126,8	15	1,04	132	4,28	1,20	5,14	677	4,28	1,20	5,14	1715	13
												Общий запас угля:	13233
												Общий запас метана:	2008

Рисунок 1. Исходные данные

VBA-кодировка представляет собой файл, содержащий упорядоченную последовательность команд, автоматически выполняемых программой. Каждая команда формируется на основе соответствующей функции или пункта меню, может включать идентификатор формы и, при необходимости, дополнительные параметры. Поскольку функции, доступные в меню программного обеспечения, например Microsoft Excel, могут использоваться в макросах, это позволяет автоматизировать выполнение различных операций. После разработки и настройки макроса любой пользователь с соответствующими правами доступа может запускать его многократно без непосредственного участия в процессе выполнения. Это значительно ускоряет обработку больших объемов данных, оптимизирует вычислительные процессы и упрощает выполнение рутинных задач в Excel [6].

Как было сказано ранее, для каждого элементарного подсчетного блока вычисляются усредненные значения основных показателей. На основе формул подсчета запасов угля и оценки МУП алгоритмом выполняется расчет объемов угольных пластов в пределах горизонтальной проекции данного участка по следующей формуле (1):

$$Q = S \times d \times h \quad (1)$$

где S – площадь блока, m^2 ; h – значение мощности пласта, m ; d – объемная масса угля в точке замера, $кг/м^3$.

Оценку ресурсов метана в угольных пластах Q , $м^3$ алгоритм производит по формуле (2):

$$Q = S \times M \quad (2)$$

где M – метаноносность, рассчитанная на органическую массу угля, $м^3/т$ угля или $м^3/м^3$ угля; S – площадь подсчетного блока, $м^2$.

На этом этапе происходит не только вычисление объема и массы угля, но и определение ресурсного потенциала МУП месторождения (рис. 2).

```

Предварительный скрипт xlsm - Module1 (Code)
[General]
Dim area As Double, thickness As Double, density As Double
Dim volume As Double, reserve As Double, totalReserve As Double

totalReserve = 0

' Предполагаем, что первая строка - заголовки, данные начинаются со 2-й строки
For i = 12 To lastRow
    area = ws.Cells(i, "E").Value
    thickness = ws.Cells(i, "F").Value
    density = ws.Cells(i, "G").Value

    ' Расчет объема и запасов
    volume = area * thickness
    reserve = volume * density

    ' Записываем результат в колонку D
    ws.Cells(i, "I").Value = reserve

    totalReserve = totalReserve + reserve
Next i

' Выводим общий запас ниже таблицы (например, через одну строку)
ws.Cells(lastRow + 2, "H").Value = "Общий запас:"
ws.Cells(lastRow + 2, "I").Value = totalReserve

' Предполагаем, что первая строка - заголовки, данные начинаются со 2-й строки
For i = 12 To lastRow
    area = ws.Cells(i, "E").Value
    thickness = ws.Cells(i, "J").Value
    density = ws.Cells(i, "K").Value

    ' Расчет объема и запасов
    volume = area * thickness
    reserve = volume * density

    ' Записываем результат в колонку D
    ws.Cells(i, "M").Value = reserve

    totalReserve = totalReserve + reserve
Next i

' Выводим общий запас ниже таблицы (например, через одну строку)
ws.Cells(lastRow + 2, "L").Value = "Общий запас:"
ws.Cells(lastRow + 2, "M").Value = totalReserve

MsgBox "Расчет запасов угля завершен. Общий запас: " & totalReserve

End Sub

```

Рисунок 2. VBA-код

Завершающими этапами алгоритмического кодирования являются автоматизированный комплексный подсчет запасов и генерация отчета с выводами информации об анализе и обработке собранных данных (рис. 3).

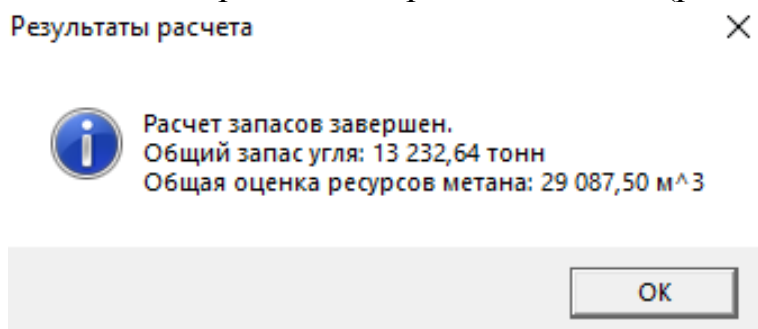


Рисунок 3. Отчет подсчета запасов и общей оценки ресурсов МУП

В ходе сравнительного анализа двух методов расчета полезного ископаемого были достигнуты идентичные результаты, что свидетельствует о действенности метода алгоритмического кодирования. В одном подходе упор делался на проверенные традиционные методы, в то время как другой отдавал предпочтение новаторским инновациям, однако оба варианта привели к наилучшему возможному решению задачи.

Таким образом, данное исследование подчеркивает значимость внедрения цифровых технологий в горнодобывающую промышленность и закладывает основу для дальнейших научных разработок в области автоматизации геолого-экономической оценки угольных месторождений как коллекторов метана. Предложенный метод, основанный на алгоритмическом кодировании, представляет собой эффективный инструмент для автоматизированного подсчета запасов угольных месторождений, обеспечивая высокую степень достоверности при обработке больших массивов геологической информации [7].

Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование алгоритма с целью расширения его базы знаний и повышения адаптивности при обработке геолого-экономических данных. Это станет ключевым этапом в разработке программного обеспечения для ЭВМ, предназначенного для комплексного подсчета запасов угля и оценки ресурсов метана. Особое внимание будет уделено обучению алгоритма на расширенном массиве данных, что позволит ему самостоятельно идентифицировать и выделять подсчетные блоки. В перспективе данное программное решение обеспечит эффективное управление углеводородными ресурсами за счет интеграции с информационными системами геологоразведки и ресурсного мониторинга.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2024-082-2).

Список литературы

1. Рыльникова М.В. Условия и принципы развития горнодобывающих предприятий в период повышенных рисков и глобальных вызовов/ М.В. Рыльникова // Горная промышленность. – 2022. – № 3. – С. 69-73. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-3-69-73.
2. Гайворонский А.И. Техничко-технологические решения проектов сжижения метана угольных пластов / А.И. Гайворонский, М.В. Горбунов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2023. – Т. 754. – № 1. – С. 63-75. DOI: 10.18698/0536-1044-2023--63-75.
3. Amez I. Potential of CBM as an Energy Vector in Active Mines and Abandoned Mines in Russia and Europe / I. Amez, D. Leon, A. Ivannikov, K. Kolikov, B. Castells // Energies. – 2023. – Vol. 16. – № 3. – P. 1196. DOI: 10.3390/en16031196.
4. Шек В.М. Оптимизация подсчета запасов с помощью ГИС Geo+ / В.М. Шек, Ю.С. Вознесенский, И.А. Кравченко, Р.М. Закиев, А.Г. Литвинов, Л.В. Панчукова. // Горный информационно-аналитический бюллетень. –
5. Закиев Р.М. Дифференцированный подсчет запасов угольных месторождений с использованием ГИС-технологий / Р.М. Закиев, В.М. Шек // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2012. – № 11. – С. 25-30.
2011. – С. 327-363.
6. Манаева Н. Н., Мучкаева Е. А., Мурзаханова Э. И. Основы программирования в среде Visual Basic for Applications : учебное пособие / Н. Н. Манаева, Е. А. Мучкаева, Э. И. Мурзаханова ; М-во науки и высш. образования РФ, ФГБОУ ВО «Оренбург. гос. ун-т». — Оренбург : ОГУ, 2021. — 123 с. ISBN 978-5-7410-2559-8.
7. Кувашкина Т.А. Подсчет запасов полезных ископаемых на базе объектно-ориентированной методологии / Т.А. Кувашкина, П.С. Дранишников // Горный информационный-аналитический бюллетень. – 2006. – С. 185-196.