УДК 622.831

**ОЦЕНКА ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТЕМПЫ
ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК И ОБЪЕМЫ ДОБЫЧИ
НА СОВРЕМЕННЫХ ШАХТАХ**

Варгольских Анастасия Анатольевна

аспирант, инженер по горным работам

АО «Распадская-Коксовая»

Научный руководитель: **Клишин Владимир Иванович**

д.т.н., проф. чл.-корр. РАН, директор

Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН

Аннотация: в статье представлены данные по объемам добычи и темпов проходки горных выработок на различных шахтах Томь-Усинского и Ерунаковского месторождения, произведен факторный анализ взаимосвязи горно-геологических условий на объемы добычи и темпы проходки горных выработок на пластах различной мощности.

Ключевые слова: факторный анализ, подготовительный забой, добычной забой, статистический метод, горно-геологические условия залегания пласта, коэффициент корреляции.

**ASSESSMENT OF MINING AND GEOLOGICAL FACTORS
ON THE PACE OF WORKINGS AND PRODUCTION VOLUMES
AT MODERN MINES**

Vargolskikh Anastasia Anatolyevna

Scientific adviser: **Klishin Vladimir Ivanovich**

Abstract: the article presents data on the volume of production and the rate of penetration of mining workings at various mines of the Tom-USINSKY and Yerunakovsky deposits, a factor analysis of the relationship of mining and geological conditions on the volume of production and the rate of penetration of mining workings on layers of various capacities.

Key words: factor analysis, preparatory slaughter, mining face, statistical method, mining and geological conditions of the formation, correlation coefficient.

При проектировании угледобывающих предприятий учитываются горно-геологические условия месторождения. В связи с этим актуальной является проблема оценки и ранжирования факторов по степени их влияния на эффективность подземной геотехнологии. По мере развития технологии угледобывающей промышленности в России [1,2,3] и за рубежом [4,5,6] понятие сложности горно-геологических условий подземной разработки угольных месторождений, достижений горной науки и практики периодически изменяются.

По результатам статистической обработки данных по пластам мощностью до 3,5 м и более проведено ранжирование наиболее значимых факторов, влияющих на эффективность работы добычных и подготовительных забоев.

Факторный анализ позволяет снизить размерность выборки, т.е. объединяет коррелирующие между собой переменные (признаки) в факторы, тем самым уменьшается размерность пространства, в котором проводится анализ.

Для факторного анализа используются шесть переменных:

- средняя добыча (т/сут.);
- средняя мощность пласта (м);
- средний угол падения пласта (град);
- средняя глубина разработки (м);
- число породных прослоев (ед);
- среднее значение темпов проведения выработки (м/сут).

Факторный анализ проведен в статистическом пакете SPSS Statistics 22.

Для выделения факторов используется метод главных компонент. Вращение компонент проводилось с помощью метода «варимакс» с нормализацией Кайзера.

Выделено три фактора с собственными значениями $\lambda > 1$, которые объясняют 74,6% совокупной дисперсии. На рисунке 1 приведен график собственных значений выделенных факторов.

Рис. 1. График собственных значений компонент (факторов)

В таблице 1 приведена структура выделенных компонент, при этом отображены переменные, значения факторных нагрузок которых, составляет более 0,5.

Таблица 1

Повернутая матрица компонент^а

Наименование	Компонент		
	1	2	3
Добыча, среднее число тонн в сутки, т/сут			0,713
Мощность пласта, м	0,881		
Средний угол падения пласта, град		0,899	
Средняя глубина разработки пласта, м		0,816	
Число породных прослоев в пласте, ед	0,907		
Среднее число метров в сутки при проведении выработки, м/сут			0,734

Метод выделения факторов: метод главных компонент.

Метод вращения: варимакс с нормализацией Кайзера.

а. Вращение сошлось за 4 итераций.

Обозначить данные факторы можно следующим образом.

Фактор 1 – Средняя мощность пласта (м) и среднее количество породных прослоев в пласте (ед).

Фактор 2 - Средний угол падения пласта (град) и средняя глубина

залегания пласта (м).

Фактор 3 – Средние объемы добычи (т/сут) и темпы проходки (м/сут).

В таблице 2 представлены коэффициенты корреляции Пирсона между факторами с учетом разбиения на группы ($m < 3.5$ м, $m > 3.5$ м). Как видим из таблицы, значимая связь присутствует между 3 (средние объемы добычи (т/сут) и темпы проходки (м/сут)) и 1 (средняя мощность пласта (м) и среднее количество породных прослоев в пласте (ед)) факторами. Анализ коэффициентов корреляции Пирсона позволяет сделать вывод об отсутствии влияния 2 (средний угол падения пласта (град) и средняя глубина залегания пласта (м)) фактора на первый и третий. Поэтому переменные, в большей мере описывающие второй фактор, в дальнейшем можно исключить из факторного анализа.

Таблица 2

Значения парных коэффициентов корреляции Пирсона для факторов с учетом разделения на группы

Группы по мощности пласта			Фактор 1 Средняя мощность пласта (м) и среднее количество породных прослоев в пласте (ед)	Фактор 2 Средний угол падения пласта (град) и средняя глубина залегания пласта (м)	Фактор 3 Средние объемы добычи (т/сут) и темпы проходки (м/сут)
Пласт $m < 3.5$ м	Фактор 1 Средняя мощность пласта (м) и среднее количество породных прослоев в пласте (ед)	Корреляция Пирсона	1	-0,049	0,654
		Знач. (двухсторонняя)		0,909	0,078
	Фактор 2 Средний угол падения пласта (град) и средняя глубина залегания пласта (м)	Корреляция Пирсона	-0,049	1	0,422
		Знач. (двухсторонняя)	0,909		0,297
	Фактор 3 Средние объемы добычи (т/сут) и темпы проходки (м/сут)	Корреляция Пирсона	0,654	0,422	1
		Знач. (двухсторонняя)	0,078	0,297	
Пласт $m > 3.5$ м	Фактор 1 Средняя мощность пласта (м) и среднее количество породных прослоев в пласте (ед)	Корреляция Пирсона	1	0,069	-0,681
		Знач. (двухсторонняя)		0,897	0,136

Продолжение таблицы 2

	Фактор 2 Средний угол падения пласта (град) и средняя глубина залегания пласта (м)	Корреляция Пирсона	0,069	1	-0,220
		Знач. (двухсторонняя)	0,897		0,675
	Фактор 3 Средние объемы добычи (т/сут) и темпы проходки (м/сут)	Корреляция Пирсона	-0,681	-0,220	1
		Знач. (двухсторонняя)	0,136	0,675	

На рисунке 2 представлены облака рассеяния и парные регрессионные зависимости 3 и 1 факторов с учетом деления пластов на группы по мощности – первая до 3,5 м, вторая более 3,5 м.

Рис. 2. Графики линейных регрессионных зависимостей 3 фактора от 1 с учетом деления пластов на группы по мощности – первая до 3,5 м, вторая более 3,5 м:

$$\begin{aligned} \text{первая группа } f_3 &= 1,064 + 1,917 \cdot f_1 & R &= 0,654; \\ \text{вторая группа } f_3 &= 0,825 - 0,734 \cdot f_1 & R &= 0,681. \end{aligned}$$

Проведем еще раз факторный анализ методом главных компонент, для которого используем четыре переменных:

- средняя добыча (т/сут.);
- средняя мощность пласта (м);
- число породных прослоев (шт);
- среднее значение проходки (м/сут).

Было выделено два фактора (собственные значения $\lambda > 1$), которые объясняют 69,4% совокупной дисперсии. На рисунке 3 приведен график собственных значений выделенных факторов.

Рис. 3. График собственных значений компонент (факторов)

В таблице 3 приведена структура выделенных компонент, при этом отображены переменные, значения факторных нагрузок которых, составляет более 0,5.

Таблица 3

Повернутая матрица компонентов^а

Наименование	Компонент	
	1	2
Добыча, среднее число тонн в сутки, т/сут		0,773
Мощность пласта, м	0,915	
Число породных прослоев, ед	0,904	
Проходка, среднее число метров в сутки, м/сут		0,678

Метод выделения факторов: метод главных компонент.

Метод вращения: варимакс с нормализацией Кайзера.

а. Вращение сошлось за 3 итераций.

Обозначить данные факторы можно следующим образом.

Фактор 1 – средняя мощность пласта (м) и среднее количество породных прослоев (ед).

Фактор 2 – средние объемы добычи (т/сут) и темпы проведения выработки (м/сут).

В таблице 4 представлены коэффициенты корреляции Пирсона между факторами с учетом ранжирования на группы разделения пластов по мощности – первая до 3,5 м, вторая более 3,5 м.

Таблица 4

Значения парных коэффициентов корреляции Пирсона для 1 и 2 факторов с учетом разделения на группы

Группы по мощности пласта			Фактор 1 (средняя мощность пласта (м) и среднее количество породных прослоев (ед))	Фактор 2 (средние объемы добычи (т/сут) и темпы проведения выработки (м/сут))
Пласт $m < 3,5$ м	Фактор 1 (средняя мощность пласта (м) и среднее количество породных прослоев (ед))	Корреляция Пирсона	1	0,712
		Знач. (двухсторонняя)		0,047
	Фактор 2 (средние объемы добычи (т/сут) и темпы проведения выработки (м/сут))	Корреляция Пирсона	0,712	1
		Знач. (двухсторонняя)	0,047	
Пласт $m > 3,5$ м	Фактор 1 (средняя мощность пласта (м) и среднее количество породных прослоев (ед))	Корреляция Пирсона	1	-0,732
		Знач. (двухсторонняя)		0,098
	Фактор 2 (средние объемы добычи (т/сут) и темпы проведения выработки (м/сут))	Корреляция Пирсона	-0,732	1
		Знач. (двухсторонняя)	0,098	

На рисунке 5 представлены облака рассеяния и парные регрессионные зависимости 2 и 1 факторов с учетом групп.

Рис. 5. Графики линейных регрессионных зависимостей 2 фактора от 1 с учетом групп: первая группа $f_2 = 2,096 + 1,190 \cdot f_1$ $R = 0,712$;
вторая группа $f_2 = 0,988 - 0,864 \cdot f_1$ $R = 0,732$

Таким образом, по результатам проведенных исследований обоснованы следующие выводы и практические рекомендации:

- на пластах менее 3,5 м величина средних объемов добычи и средних темпов проведения выработки в сутки напрямую зависит от мощности разрабатываемого пласта и числа породных прослоев в нем;
- для пластов свыше 3,5 м данная зависимость является обратной;
- такие показатели как средний угол падения пласта (град) и средняя глубина залегания пласта (м) не влияют на темпы проведения выработки и объемы добычи.

При планировке пространственного положения очистных и подготовительных выработок необходимо учитывать данные факторы.

Список литературы

1. Коровкин Ю.А., Савченко П.Ф. Теория и практика длиннолавных систем. М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. 808 с.
2. Оценка факторов сложности условий ведения горных работ на современных угольных шахтах / Разумов Е.А. // Уголь. 2019. №10. С. 16-21.
3. Захаров В.Н., Забурдяев В.С., Артемьев В.Б. Угленородные массивы: прогноз устойчивости, риски, безопасность. М.: Издательство «Горное дело»

ООО «Киммерийский центр», 2013. 280 с. (Библиотека горного инженера. Т. 3 «Подземные горные работы». Кн. 9).

4. Snopkowski R., Napieraj A., Sukiennik M. Method of the Assessment of the Influence of Longwall Effective Working Time Onto Obtained Mining Output // Archives of Mining Sciences. 2017. Vol. 61. N 4. P. 967-977.

5. Analysis and Optimization of Entry Stability in Underground Longwall Mining / Y. Gao, D. Liu, X. Zhang, M. He // Sustainability. 2017, Vol. 9. N 11. P. 2079-2088.

6. Stress Changes and Deformation Monitoring of Longwall Coal Pillars Located in Weak Ground / Bin Yu, Zhenyu Zhang, Tiejun Kuang, Jinrong Liu // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016. Vol. 49. Issue 8. P. 3293-3305.

7. Исаченко А.А., Фрянов В.Н., Петров А.А. Идентификация параметров признаков изменчивости геомассива по уровню добычи и промышленной безопасности выемочных участков угольных шахт // Вестник Забайкальского государственного университета. 2016. Т. 22. № 9. С. 4-14.

© А.А. Варгольских, 2021