

УДК 004.31

Тарасов А. Ф., Потёмкина В. В.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ В КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННОМ ЗАБОЕ**

Повышение производительности труда является главным направлением развития горнодобывающей промышленности, и связано со сложными условиями труда человека и эксплуатации горных машин. И показателем производительности труда является добыча угля в сутки.

Исходя из конкретных горно-геологических характеристик пласта, необходимо правильно выбрать нагрузку на оборудование, горные машины и комплексы, которые способствовали бы эффективной и безопасной работе горнодобывающего предприятия. И именно правильный выбор оптимальной нагрузки на очистной забой ведет к хорошему показателю добычи на угледобывающем предприятии в целом [1, 2].

Существующие методики расчета нагрузки на комплексный механизированный забой (КМЗ) позволяют определить нагрузку на лаву по добыче угля за цикл, за сутки, за месяц и количество циклов за сутки. Но нет определенных данных и исследований о том, какие именно факторы и как они влияют на добычу угля [3].

Целью статьи является рассмотрение вопроса анализа и оптимизации параметров, влияющих на нагрузку комплексно-механизированного очистной забоя на основе корреляционного анализа факторов, определяющих производительность добычи угля, что позволит определить значение нагрузки на стадии проектирования для избежания простоя оборудования из-за перегруза.

Разработали математическую модель для получения значения нагрузки на забой, выполняют расчет добычи угля ( $\tau$ ) за цикл, продолжительности цикла по выемке полосы угля по всей длине лавы, количества циклов за сутки, добыча угля по лаве за сутки и за месяц, а затем рассчитывается допустимая нагрузка на очистной забой по фактору проветривания. Добычу угля ( $\tau$ ) за цикл определяем по формуле 1:

$$D_{\tau} = l_3 m_g r \gamma, \quad (1)$$

где  $l_3$  – длина лавы, м;  $m_g$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $r$  – ширина вынимаемой полосы, м;  $\gamma$  – плотность угля.

Продолжительность цикла по выемке полосы угля по всей длине лавы определяем по формуле 2.

$$T_{\tau} = t_g + t_z + t_k + t_p + t_n, \quad (2)$$

где  $t_g$  – время на выемку угля;

$t_z$  – время на вспомогательные операции при самозарубке комбайна (5–6 мин.);

$t_k$  – время на выполнение концевых операций;

$t_p$  – время на выполнение непрерываемых технологических простоев (замена составов и совмещенное время на выполнение личных надобностей по 11–14 мин на состав);

$t_n$  – время на перегон комбайна, мин.

Количество циклов за сутки определяем по формуле 3.

$$n_{\tau} = \frac{(T_c - t_{nz})n_{cД} + t_{pc}}{T_{\tau}}, \quad (3)$$

где  $T_c = 360$  мин – продолжительность смены;

$t_{пз} = 10-15$  мин – время на подготовительные и заключительные операции;

$n_{сД} = 3$  – количество смен по добыче;

$t_{рс} = 45-60$  мин – время на проверку комплекса под нагрузкой в ремонтную смену;

$T_{ц}$  – время на цикл.

Добыча угля по лаве находим по формуле (4), (5):

За сутки:

$$D_c = D_{ц} n_{ц}, \quad (4)$$

За месяц:

$$D_m = D_{ц} n_{рц}, \quad (5)$$

где  $n_{рц}$  – количество рабочих дней в месяце (25).

Особенность горных работ – это концентрация газа метана на добычном участке. Поэтому завершающим этапом является расчет допустимой нагрузки на очистной забой (КМЗ) по фактору проветривания (см. формулу 6):

$$Q = \frac{864SV_g dK_g}{q_{пл} K_g}, \quad (6)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения призабойного пространства свободного для прохода воздуха.

$V_g$  – максимально допустимая скорость движения воздуха в очистном забое (4 м/с);

$d$  – допустимая концентрация газа метана в исходящей струе газа из лавы (1 %);

$K_g$  – коэффициент, учитывающий способ управления кровлей при полном обрушении;

$q_{пл}$  – относительная метанообильность пласта;

$K_g$  – коэффициент естественной дегазации.

Допустимая нагрузка на КМЗ определяется по формуле 7:

$$Q_{кмз} = \begin{cases} D_{ц}, & \text{если } D_{ц} \leq Q \\ Q, & \text{если } D_{ц} > Q \end{cases}. \quad (7)$$

Рассмотрим основные параметры математической модели:

- лавы – это подземная очистная выработка с забоем, ориентированным по падению залежи полезных ископаемых. Длина лавы шахт Донецкой области от 100 до 300 м;
- вынимаемая мощность пласта варьируется от 0,55 до 2,6 м;
- ширина вынимаемой полосы – это ширина лавы, где идут очистные работы. Выемочная полоса бывает от 1 до 1,8 м;

– плотность угля – это физическое свойство, которое зависит от содержания минеральных веществ в полезном ископаемом. Эта величина имеет значение от 1 до 1,7 г/см<sup>3</sup> [7].

Выделены основные факторы, влияющие на нагрузку комплексно-механизированного забоя, а именно – длина лавы, вынимаемая мощность пласта, ширина вынимаемой полосы и плотность угля. Для решения задачи анализа выделенных факторов рационально использовать многофакторный статистический анализ теории планирования эксперимента. Математическая теория эксперимента предполагает многофакторный, системный, вероятностно-статистический подход исследований процессов и явлений.

Анализируя выделенные факторы, использовали многофакторный статистический анализ теории планирования эксперимента. Для получения модели взаимосвязей параметров процесса добычи в комплексно-механизированном забое, влияющих на производительность

работы угледобывающего предприятия была исследована математическая модель полинома второго порядка, провели статистический анализ полученного уравнения и построили поверхность допустимой нагрузки на КМЗ.

Для проведения эксперимента был выбран центральный композиционный план, который является наиболее рациональным из типов планов второго порядка. Мы изучали влияние четырех факторов и фиксировали их значение на оптимальных уровнях [13].

Уровни варьирования переменных длины лавы, вынимаемой мощности пласта, ширины вынимаемой полосы и плотность угля представим в табл. 1.

Эксперимент проводился по плану, который представлен в план – матрице центрального композиционного плана второго порядка для четырех факторов (см. табл. 2).

Результатом математической обработки экспериментальных исследований, является уравнение регрессии второго порядка в кодированном виде (8):

$$Y = 29,95 + 1,972X_1 + 63,288X_2 + 224,832X_3 - 215,966X_4 - 0,004X_1^2 - 15,198X_2^2 - 72,638X_3^2 + 44,792X_4^2. \tag{8}$$

Таблица 1

Переменные факторы и уровни их варьирования

Наименование факторов	Обозначения факторов	Уровни варьирования		
		Верхний +1	Основной 0	Нижний -1
Длина лавы	X <sub>1</sub>	300	200	100
Вынимаемая мощность пласта	X <sub>2</sub>	2,6	1,325	0,05
Ширина вынимаемой полосы	X <sub>3</sub>	1,8	1,275	1
Плотность угля	X <sub>4</sub>	1,7	0,35	1

Таблица 2

План-матрица центрального композиционного плана второго порядка для четырех факторов

Содержание эксперимента	Номер опыта	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	X <sub>4</sub> <sup>2</sup>	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
План типа 2 <sup>4</sup>	1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	60,686
	2	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	81,469
	3	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	102,179
	4	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	122,889
	5	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	143,598
	6	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	164,308
	7	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	185,018
	8	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	205,727
	9	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	226,437

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	10	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	247,147
	11	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	267,856
	12	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	288,566
	13	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	309,276
	14	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	329,985
	15	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	350,695
	16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	371,405
«Звездочные» точки	17	+	$-\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-\alpha^2$	0	0	0	392,114
	18	+	$\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\alpha^2$	0	0	0	412,824
	19	+	0	$-\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-\alpha^2$	0	0	433,534
	20	+	0	$\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\alpha^2$	0	0	454,243
	21	+	0	0	$-\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-\alpha^2$	0	474,953
	22	+	0	0	$\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\alpha^2$	0	495,663
	23	+	0	0	0	$-\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-\alpha^2$	516,372
	24	+	0	0	0	$\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\alpha^2$	518,255
Центр	25	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	537,082
	26	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	577,792

Для удобства изучения влияния факторов на значение функции отклика представим уравнение (9) в каноническом виде:

$$Y = 29,95 - 0,004X_1^2 - 15,198X_2^2 - 72,638X_3^2 + 44,792X_4^2. \quad (9)$$

Рассмотрим значение нагрузки КМЗ при влиянии длины лавы и мощности пласта – (см. рис. 1). График влияния на нагрузку КМЗ является эллиптическим параболоидом. Центр эллипсов является максимумом.

Анализируя поверхность влияния можно сказать, что длина лавы и мощность пласта приблизительно одинаково влияют на нагрузку КМЗ.

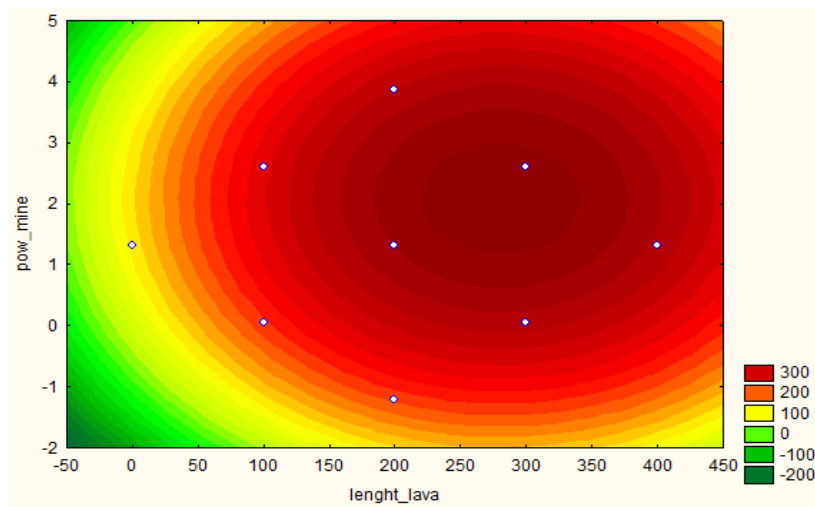


Рис. 1. Двумерное сечение поверхности влияния длины лавы и мощности пласта на нагрузку КМЗ

Рассмотрим поверхность влияния длины лавы и ширины полосы захвата комбайна на нагрузку КМЗ (см. рис. 2). График влияния на нагрузку КМЗ является эллиптическим параболоидом. Центр эллипсов является максимумом.

Анализируя поверхность влияния на нагрузку КМЗ можно сказать, что увеличение значения длины лавы приводит к увеличению нагрузки КМЗ больше, чем значение ширины полосы захвата комбайна.

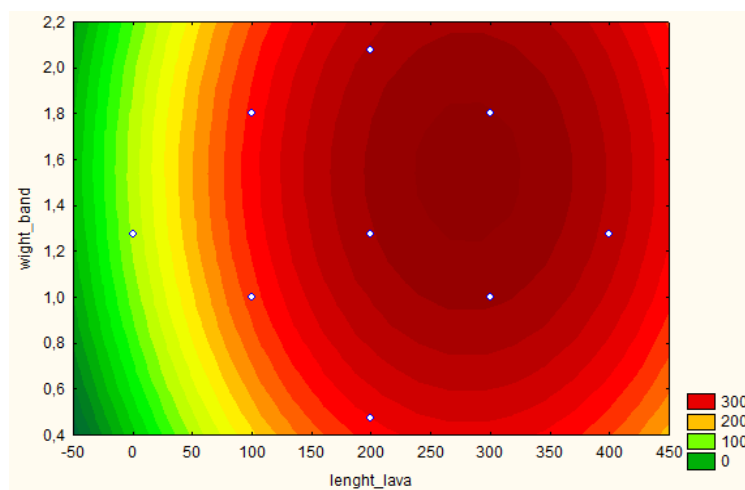


Рис. 2. Двумерное сечение поверхности влияния длины лавы и ширины полосы захвата комбайна на нагрузку КМЗ

Рассмотрим поверхность влияния длины лавы и плотности угля на нагрузку КМЗ (см. рис. 3). Коэффициенты  $B_{11}$  и  $B_{44}$  имеют разные знаки. Гипербола вытянута вдоль оси  $B_{44}$ , которой соответствует большее значение канонического уравнения. Значение отклика уменьшается по вдоль этой оси и увеличивается вдоль оси  $B_{11}$ . Поверхность отклика называется гиперболическим параболоидом.

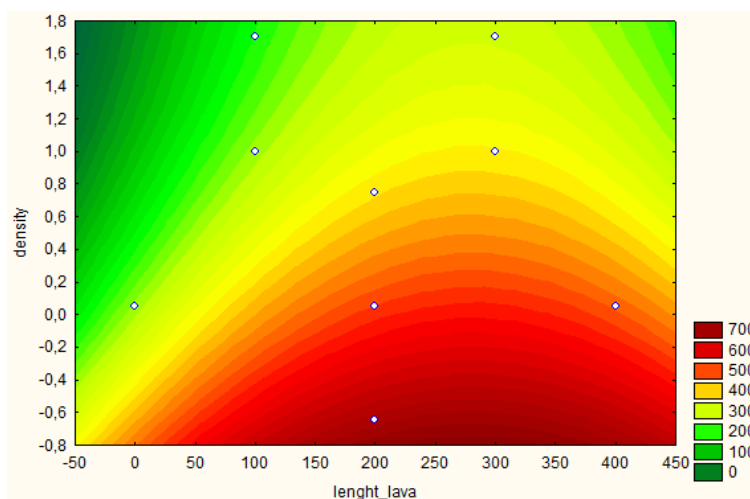


Рис. 3. Двумерное сечение поверхности влияния длины лавы и плотности угля на нагрузку КМЗ

На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- 1) Наибольшее влияние на допустимую нагрузку имеет длина лавы;
- 2) Извлечение плотных углей ведет к наименьшему значению добычи угля на угледобывающем предприятии;

3) Оптимальные значения длины исследуемых параметров ведут к наилучшему показателю производительности работы лавы.

### ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ процесса добычи угля и организации горных работ на угледобывающем предприятии, который показал, что основным направлением работы угледобывающего предприятия является добыча угля. Выделены факторы, которые влияют на нагрузку работы комплексно-механизированного забоя, а именно – длина лавы, мощность пласта, ширина полосы захвата комбайна и плотность угля.

2. Разработали математическую модель определения нагрузки на комплексно-механизированный забой и выбрали корреляционный анализ факторов, которые влияют на нагрузку КМЗ и построили регрессионную зависимость. Это позволило определить связи между выделенными факторами и определить наиболее значимые из приведенных.

3. Разработали методику проведения эксперимента для исследования влияния выделенных параметров на нагрузку комплексно-механизированного забоя.

4. Выполнили экспериментальные исследования факторов, влияющих, на нагрузку работы комплексно-механизированного забоя показали, что наибольшее влияние на допустимую нагрузку имеет длина лавы, извлечение плотных углей ведет к наименьшему значению добычи угля на угледобывающем предприятии, а оптимальные значения длины исследуемых параметров ведут к лучшему показателю производительности работы лавы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стандарт: СОУ 10.1.00185790.011:2007 / *Мін-во вугільної промисловості України; ДонВУГІ, УкрНДІпроект.* – К. : Мінвуглепром України, 2010. – 116 с.
2. *Пособие по решению практических задач в курсе «Процессы подземных горных работ»: установление нагрузки на очистные забои при выемке угля комбайнами.* / И. Г. Ворхлин, В. Д. Мороз, И. Г. Сахно; под общ. редакцией проф. И. Ф. Ярембаша. – Донецк : ДонНТУ, 2010. – 116 с.
3. *Одинцев Н., Стагурова О., Абрамова Е. Журнал «Горная промышленность»* '606'42270
4. *Украинская техника для угольных шахт": Каталог.* / В. В. Косарев, Н. И. Стадник; под общ. ред. Косарева В. В. – Донецк : АСТРО, 2012. – 321 с.
5. *Транспорт на горных предприятиях / под общ. ред. проф. Б. А. Кузнецова* – М. : Недра, 1976. – 552 с.
6. *Шешко Е. Е. Горно-транспортные машины и оборудование для открытых работ": учеб. пособие для вузов / Е. Е. Шешко – 3-е изд., перераб. и доп.* – М. : Издательство МГГУ, 2013. – 260 с. : ил.
7. *Справочник механика угольной шахты / А. М. Пархоменко, В. И. Остапенко, И. М. Митько [и др.]* – М. : Недра, 1985. – 448 с.
8. *Научная статья «Анализ деятельности горного предприятия на основе рейтинговой оценки» / сост. К. А. Янкевич.* – М. : «Горное дело», 2007 – 12 с.
9. *Научная статья «Совершенствование систем управления производственными затратами на горнодобывающих предприятиях на примере ГОАО «Шахта «Алмазная» / сост. Е. М. Сергеева.* – Донецк : ДНТУ, 2009. – 21 с.
10. *Адлер В. А. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / В. А. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский.* – М. : Наука, 1971. – 221 с.
11. *Цыбулевский В. В. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента / Г. Г. Маслов, О. Н. Дидманидзе, В. В. Цыбулевский.* – М. : ООО УМЦ «Триада», 2007. – 291 с.
12. *Рао С. Р. Линейные статистические методы и их применения,* – М. : Наука, 1968. – 49 с.
13. *Монтгонери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных: пер. с англ. / Д. К. Монтгонери* – Л. : Судостроение, 1980. – 384 с.
14. *Топтунова Л. М. Дослідження однофакторної і багатфакторної регресії, аналіз часових рядів у системі STATISTICA6: Навчальний посібник для студентів економічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Л. М. Топтунова, Л. В. Васильєва, О. А. Кльованік.* – Краматорськ : ДДМА, 2008. – 122 с.
15. *Гайдадин А. Н. Применение средств ЭВМ при обработке активного эксперимента: учебное пособие / А. Н. Гайдадин, С. А. Ефремова.* – Волгоград : ВолгГТУ, 2008. – 16 с.

Статья поступила в редакцию 05.01.2015 г.