

Я.В. Левченко

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ, ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ВСКРЫВАЕМЫХ ЗАПАСОВ УГЛЯ

Основываясь на влиянии морфологических, геомеханических и технических факторов, выполнено исследование изменения вскрываемых запасов угля при отработке угольных месторождений, представленных брахисинклинальными структурами. Определены условия, при которых достигается равенство выбываемых из отработки и приращаемых запасов полезного ископаемого. Выявлены тенденции баланса вскрываемых и выбываемых запасов полезного ископаемого по мере углубления горных работ.

Ключевые слова: вскрываемые запасы полезного ископаемого, выбываемые запасы полезного ископаемого, брахисинклиналь, градиент выполаживания пластов, фронт горных работ, уголь.

Изменение вскрываемых запасов полезного ископаемого зависит от морфологических и геомеханических факторов присущих месторождениям, представленных брахисинклиналями. Для различных высотных зон брахисинклинали погоризонтные запасы будут отличаться (рис. 1).

Годовое подвигание фронта горных работ, приходящееся на вскрываемую часть пласта, равно $\vartheta_{пл}$. С выполаживанием пластов параметр $\vartheta_{пл}$ увеличивается и становится равным полной скорости подвигания фронта горных работ, т.е. $\vartheta_{пл} = \vartheta$.

Объем извлекаемого угля (Q) и скорость подвигания фронта горных работ связаны следующей зависимостью [1]:

$$Q = \frac{\vartheta \cdot l \cdot m_n \cdot \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta + \cos \beta}, \text{ т/год}, \quad (1)$$

где ϑ – скорость подвигания вскрышного фронта горных работ, м/год; l – длина добычного фронта, м; m_n – нормальная мощность залежи, м; γ – объемная

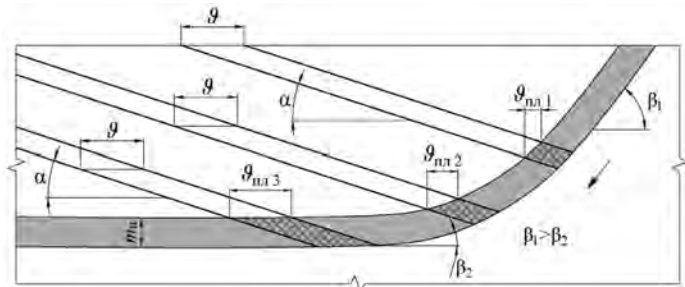


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая различную площадь вскрываемых и извлекаемых запасов при выполаживании угольных пластов: ϑ – скорость подвигания вскрышного фронта, м/год; $\vartheta_{пл1} - \vartheta_{пл3}$ – скорость подвигания фронта, приходящаяся на вскрываемую часть пласта для различных высотных зон, м/год; m_n – нормальная мощность залежи, м; β_1, β_2 – углы наклона залежи на различных участках, град; α – угол наклона рабочего борта карьера, град

масса угля, т/м^3 ; α – угол наклона рабочего борта карьера, град.; β – угол падения залежи, град.

Интенсивность изменения углов падения пластов на различных гипсометрических уровнях брахисинклинали можно характеризовать через величину градиента выполаживания. Под данным понятием понимается разность углов наклона пласта между заданным интервалом гипсометрических уровней месторождения:

$$G = (\beta(H_1) - \beta(H_2)) / (H_2 - H_1), \text{ град/м}, \quad (2)$$

где $\beta(H_1)$ – величина угла наклона пласта на текущем горизонте, град; $\beta(H_2)$ – величина угла наклона пласта на планируемом к отработке горизонте, град; H_1 – глубина карьера при отработке текущего горизонта, м; H_2 – глубина карьера на горизонте, планируемом к отработке, м.

В случае возрастания углов наклона пластов выполаживания не происходит (градиент выполаживания принимает отрицательные значения).

Тенденции изменения объемов угля при скорости фронта 80 м/год для залежей, отличающихся градиентом выполаживания угла падения пластов, приведены на рис. 2. В первом варианте градиент выполаживания принимает постоянное значение равное 1 град на 10 м углубления, а в другом – 2 град на 10 м углубления. Угол наклона рабочего борта рассматривается неизменным и равным 15 град. Мощность залежи составляет 22,5 м, падение пластов изменяется от 40 до 0 град в обоих вариантах. Начальная длина фронта работ составляет 6000 м.

Увеличение объема вскрываемых запасов в наибольшей степени зависит от морфологических особенностей залежи полезного ископаемого, а в частности от градиентов выполаживания пластов. Данные рис. 2 свидетельствуют, что увеличение градиента выполаживания залежей полезного ископаемого приводит к существенному возрастанию вскрываемых запасов.

На увеличение объемов вскрываемых запасов помимо величины градиента выполаживания существенную роль играет интервал углов наклона пластов,



Рис. 2. Изменение объемов вскрываемых запасов угля с глубиной карьера при различных градиентах выполаживания для залежи с углом наклона от 40 до 0 град (начальная длина добычного фронта 6000 м, а конечная – 5570 м)

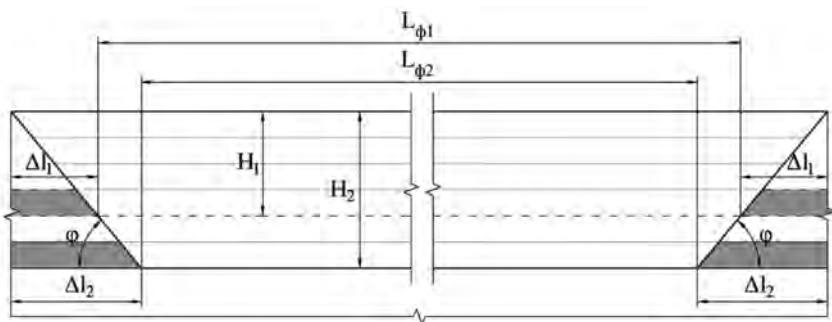


Рис. 3. Изменение запасов, остающихся в целике торцевой части карьера, при углублении горных работ: H_1-H_2 – глубина карьера ($H_2 > H_1$); φ – угол постановки борта в стационарное положение (принят постоянный); $\Delta l_1-\Delta l_2$ – величина сокращения фронта добычных работ ($\Delta l_2 > \Delta l_1$); $L_{\phi 1}-L_{\phi 2}$ – длина фронта добычных работ ($L_{\phi 1} > L_{\phi 2}$)

в котором происходит выполаживание. Здесь существует тенденция, при которой наибольший эффект от выполаживания достигается при наименьших углах падения пластов.

Помимо положительного воздействия углубления горных работ на возрастание погоризонтных запасов для брахисинклиналей имеются факторы, влияющие на уменьшение вскрываемых запасов. Важнейшим из данных факторов является сокращение фронта добычных работ с глубиной. Причиной этого является следующее:

- перманентная отстройка стационарных бортов в торцевых зонах карьера (первый фактор);
- сокращение фронта за счет погашения горных работ в замковой зоне брахисинклинали (второй фактор).

Рассмотрим влияние каждого из названных факторов.

Иллюстрация изменения величины запасов, остающихся в торцах карьера, с углублением горных работ приведена на рис. 3.

Зная глубину карьера и угол откоса борта в стационарном положении, можно найти величину сокращения добычного фронта, за счет запасов, остающихся в целике торцевых зон карьера:

$$\Delta l_r = 2 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \text{ м}, \quad (3)$$

где H – глубина карьера, м; φ – угол наклона стационарного борта в торцах карьера, град.

Вторым отрицательным фактором, приводящим к сокращению добычной зоны карьера является взаимное погашение фронта работ в замковой зоне брахисинклинали (рис. 4).

Аналитически данное сокращение можно описать следующей формулой:

$$\Delta l_{\text{ш}} = 2 \cdot a \cdot \operatorname{ctg} \theta, \text{ м}, \quad (4)$$

где a – величина подвигания фронта за рассматриваемый этап отработки, м; θ – угол встречи смежных фронтов, град.

Таким образом, при отработке брахисинклиналей имеются две противоположные тенденции. Одна из них связана с нарастанием вскрываемых запасов (фактор выполаживания пластов). Вторая связана с уменьшением запасов за счет сокращения фронта горных работ в торцах и замковой части складки.

Существует момент, когда влияние отрицательных факторов (сокращение фронта добычных работ) превалирует над положительными (прирост запасов при выполаживании), и чтобы сохранить производственную мощность предприятия на прежнем уровне необходима прирезка нового участка (карьерного поля). Данное положение можно характеризовать следующим условием при выполнении которого необходима прирезка нового участка с целью сохранения производственной мощности предприятия:

$$W < Z_{\text{ш}} + Z_{\text{т}}, \quad (5)$$

где W – прирост запасов полезного ископаемого за счет фактора выполаживания пластов с глубиной, т; $Z_{\text{ш}}$ – уменьшение запасов полезного ископаемого за счет сокращения фронта добычных работ в шарнирной части брахисинклинали, т; $Z_{\text{т}}$ – уменьшение запасов полезного ископаемого за счет сокращения фронта добычных работ в торцевых частях, т.

Принимая во внимание соотношение объемов выбываемых запасов ($Q_{\text{в}}(H_{\text{н}})$) из отработки (сокращение фронта добычных работ), и их приращение за счет выполаживания пластов с глубиной ($Q_{\text{пр}}(H_{\text{н}})$), можно определить глубину ($H_{\text{н}}$) разреза на которой выбытие запасов и их приращение уравнивается (точка нулевого баланса) т.е.:

$$Q_{\text{в}}(H_{\text{н}}) = Q_{\text{пр}}(H_{\text{н}}), \quad (6)$$

Используя вышеприведенные формулы, выразим рассматриваемые объемы и найдем глубину, при которой они уравниваются. Скорость подвигания горных работ (ϑ), плотность полезного ископаемого (γ), мощность залежи (m), угол откоса рабочего борта (α), угол откоса стационарного борта (φ), угол встречи смежных фронтов (ϑ) принимаются постоянными.

Объем выбываемых запасов составит:

$$Q_{\text{в}}(H_{\text{н}}) = \frac{\vartheta \cdot \Delta l_{\text{ф}} \cdot m \cdot \gamma}{\text{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{\text{н}} + \cos \beta_{\text{н}}}, \quad \text{т}, \quad (7)$$

где $\Delta l_{\text{ф}}$ – сокращение фронта горных работ, м; γ – плотность полезного ископаемого, т/м³.

$$\Delta l_{\text{ф}} = l_{\text{ш}} + l_{\text{т}} = 2(a \cdot \text{ctg} \theta + H_{\text{н}} \cdot \text{ctg} \varphi), \quad \text{м}, \quad (8)$$

где $l_{\text{ш}}$ – сокращение фронта горных работ в шарнирной (замковой) части складки с начала отработки на текущий момент, м; $l_{\text{т}}$ – сокращение фронта горных работ в торцевых частях с начала отработки на текущий момент, м; a – величина подвигания фронта работ с начального этапа отработки на текущий момент, м.

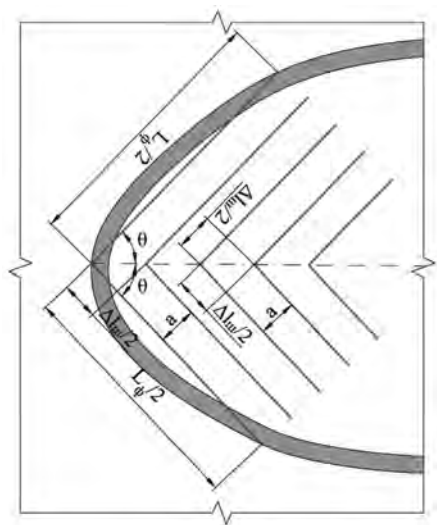


Рис. 4. Погашение фронта горных работ в шарнирной части брахисинклинали: $L_{\text{ф}}$ – длина добычного фронта, м; a – величина подвигания фронта за рассматриваемый этап отработки, м; ϑ – угол смежных фронтов, град; $\Delta l_{\text{ш}}$ – величина погашения фронта в шарнирной части складки, м; штрихпунктирной линией показана длинная ось брахисинклинали

Таким образом, выражение 7 примет вид:

$$Q_n(H_n) = \frac{\vartheta \cdot 2(a \cdot \operatorname{ctg} \theta + H_n \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot m \cdot \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n}, \text{ т,} \quad (9)$$

Объем приращаемых запасов находится между двумя этапами отработки (текущим и предыдущим):

$$Q_{np}(H_n) = Q_n(H_n) - Q_{n-1}(H_{n-1}), \text{ т,} \quad (10)$$

$$Q_{np}(H_n) = \frac{\vartheta \cdot l_\phi \cdot m \cdot \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n} - \frac{\vartheta \cdot l_\phi \cdot m \cdot \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}}, \text{ т,} \quad (11)$$

где l_ϕ – длина фронта горных работ на начальном этапе отработки (максимальное значение), м.

Приравняв выражения 9 и 11 получим:

$$\begin{aligned} \frac{\vartheta \cdot 2(a \cdot \operatorname{ctg} \theta + H_n \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot m \cdot \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n} = \\ = \frac{\vartheta \cdot l_\phi \cdot m \cdot \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n} - \frac{\vartheta \cdot l_\phi \cdot m \cdot \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}}, \text{ т,} \end{aligned} \quad (12)$$

Выразим из предыдущего выражения глубину карьера:

$$H_n = \frac{0,5 \cdot l_\phi \cdot \left(1 - \frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n}{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}}\right) - a \cdot \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \varphi}, \text{ м,} \quad (13)$$

Для упрощения записи получаемого выражения введем обозначения:

$$x_n = \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_n + \cos \beta_n, \quad (14)$$

$$x_{n-1} = \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \beta_{n-1} + \cos \beta_{n-1}, \quad (15)$$

С принятыми сокращениями выражение для определения глубины в которой достигается нулевой баланс примет вид:

$$H_n = \frac{0,5 \cdot l_\phi}{\operatorname{ctg} \varphi} \cdot \left(1 - \frac{x_n}{x_{n-1}}\right) - \frac{a \cdot \operatorname{ctg} \theta}{\operatorname{ctg} \varphi}, \text{ м,} \quad (16)$$

Характер влияние основных параметров на баланс выбываемых и приращаемых запасов с течением времени

Факторы влияния на параметры	Параметры					
	Глубина карьера (H)	Длина фронта работ (l_ϕ)	Угол откоса стационарного борта (φ)	Угол откоса рабочего борта (α)	Угол падения залежи (β)	Градиент выполаживания пластов (G)
Время	возрастает	уменьшается	уменьшается	возрастает	уменьшается	увеличивается
Объем погоризонтных запасов	как негативное (уменьшение), так и положительное (возрастание)	негативное (уменьшаются)	негативное (уменьшаются)	негативное (уменьшаются)	положительное (возрастают)	положительное (возрастают)
Объем запасов, выбываемых из отработки	возрастает	не влияет	возрастает	возрастает	возрастает	возрастает



Рис. 5. Погоризонтное изменение объемов запасов, показывающее долю влияния отрицательного фактора и положительного для Новоколбинского участка Кедровско-Крохалевской брахисинклинали (углы наклона пластов изменяются от 23 до 0 град)

Покажем характер влияния главных параметров, от которых зависит баланс выбываемых и приращение вскрываемых запасов с течением времени (таблица).

Построим графики изменения погоризонтных объемов запасов выбываемых из отработки (сокращение фронта горных работ) и приращаемых (выполаживание пластов), используя значения градиентов выполаживания, полученные по средствам геологических разрезов для замковой зоны и крыльев брахисинклиналей (рис. 5–6).

Новоколбинский участок помимо значительного превышения (более 2 млн т) погоризонтных запасов над потерями в донной части (на глубине 300 м и более) имеет зоны с незначительным превышением (0,2 млн т) в средней части месторождения на глубинах 80–120 м.



Рис. 6. Погоризонтное изменение объемов запасов, показывающее долю влияния отрицательного фактора и положительного для крутого крыла Соколовской брахисинклинали (углы наклона пластов изменяются от 74 до 0 град)

Для крутого крыла Соколовской брахисинклинали аналогично с Кедровско-Крохалевской брахисинклиналью превышение достигается преимущественно в донной части на глубинах 260–310 м и составляет 1 млн т.

Графики изменения объема вскрываемых запасов повторяют тенденцию, связанную с характером их приращения за счет выполаживания пластов. Участки пластов с отрицательными градиентами являются причиной снижения объемов вскрываемых запасов, а участки с положительными градиентами увеличивают объем вскрываемых запасов.

По результатам полученных расчетов и их графической интерпретации можно сделать следующие выводы:

- превышение вскрываемых запасов над выбываемыми из отработки происходит преимущественно в донной части месторождения;
- на большем участке отработки месторождения положительное влияние вскрываемых запасов нивелируется их потерей, а в некоторых зонах месторождения не существует участков, где имеется превышение объемов вскрываемых запасов над объемами их выбытия из отработки;
- при невозможности компенсации выбываемых из отработки запасов за счет фактора выполаживания пластов для поддержания производственной мощности предприятия необходимо осуществлять прирезку нового участка (карьерного поля) или осуществить увеличение интенсивности подвигания горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Супрун В.И., Артемьев В.Б., Опанасенко П.И. и др. Порядок отработки карьерных полей. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014. – 240 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Левченко Ярослав Викторович – аспирант, преподаватель, e-mail: levchenko.mggu@mail.ru, МГИ НИТУ «МИСиС».

UDC 622.271

EFFECT OF MORPHOLOGICAL, GEOMECHANICAL AND TECHNICAL FACTORS ON CHANGE REVEALS COAL RESERVES

Levchenko Ya.V., Graduate Student, Lecturer, e-mail: levchenko.mggu@mail.ru, Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

Based on the effect of morphological, geomechanical and technical factors used to study changes unsealed coal reserves in mining coal deposits represented brahisinklinalnymi structures. The conditions under which the equality is eliminated from the mining and mineral reserves is incremented. Tendencies balance unsealed and disposal of mineral reserves with the deepening of mining operations.

Key words: being uncovered mineral reserves, mineral reserves retiring, brahisinklinal, gradient flattening seams, front mining, coal.

REFERENCES

1. Suprun V.I., Artem'ev V.B., Opanasenko P.I. *Poryadok otrabotki kar'ernykh polei* (Sequence of mine field development), Moscow, Izdatel'stvo «Gornoe delo» ООО «Киммерийский центр», 2014, 240 p.