

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА УСТАНОВЛЕНИЯ  
ВЫСОТЫ ЭТАЖА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СВИТЫ  
СБЛИЖЕННЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ**

В. В. ПРОСКУРИН

(Представлено научной конференцией горно-эксплуатационного факультета)

Высота этажа—один из главнейших элементов шахтного поля, от которого зависит, во-первых, непрерывность работы и производственная мощность шахты и, во-вторых, производительность труда и себестоимость добычи 1 *т* угля. Высота этажа—элемент шахтного поля, который для любой системы разработки фиксирует размер выемочного поля по падению пласта.

Наивыгоднейшие основные размеры элементов системы разработки обеспечивают условия для достижения высоких технико-экономических показателей работы шахты. Следовательно, правильно выбранная высота этажа должна обеспечить условия для неуклонного роста производительности труда и снижения себестоимости добычи 1 *т* угля, т. е. должна отвечать задачам, стоящим перед угольной промышленностью и народным хозяйством СССР.

Методы установления высоты этажа теоретически разработаны совершенно не достаточно. Рассмотрим рекомендации, предложенные за последние 40 лет.

Проф. Б. И. Бокий в „Практическом курсе горного искусства“, изд. 1914 г., приводит следующую формулу для определения высоты этажа без учета размеров предохранительных целиков и применительно к отдельно взятому пласту

$$B = \frac{T}{2LP}, \quad (1)$$

где *B* — наклонная высота этажа без размеров предохранительных целиков,

*T* — годовая производительность шахты,

*L* — величина годового подвигания забоев,

*P* — производительность пласта,

2 — два крыла.

Для определения полной высоты этажами рекомендована формула

$$B_1 = B + K, \quad (2)$$

где  $B_1$  — полная наклонная высота этажа,  
 $K$  — величина, учитывающая размер покидаемых предохранительных целиков по восстанию.

Эти формулы в течение сорока лет совершенствовались и в книге „Основы теории проектирования угольных шахт“ акад. Л. Д. Шевякова, изд. 1952 г., представлены, применительно к свите пластов, в более развитом виде:

$$h = \frac{A}{n_k n_z n_0 L \Sigma P C}, \quad (3)$$

где  $h$  — искомая наклонная высота этажа;  
 $A$  — годовая производительность шахты;  
 $n_k$  — число одновременно разрабатываемых крыльев;  
 $n_z$  — число одновременно разрабатываемых этажей;  
 $n_0$  — коэффициент, учитывающий одновременность разработки пластов;  
 $L$  — среднегодовое подвигание очистных работ на одном крыле поля;  
 $\Sigma P$  — суммарная производительность пластов свиты;  
 $C$  — коэффициент извлечения.

В основу определения наклонной высоты этажа как в формуле проф. Б. И. Бокия (2), так и в модернизированной формуле акад. Л. Д. Шевякова (3) положено логическое геометрическое толкование — объем угля, добытый в течение года, умноженный на его объемный вес, равен годовой производительности шахты. Принимая два измерения, определяющие площадь основания призмы, за величины известные, находят третий измеритель — наклонную высоту этажа.

Техническая и экономическая сущность высоты этажа, как одного из основных элементов шахтного поля, определяющего технико-экономические показатели работы шахты, остались в формулах (2; 3) не учтенными.

Этот пробел в горной науке акад. Л. Д. Шевяков в книге „Основы теории проектирования угольных шахт“ (стр. 186) рекомендует восполнить применением метода вариантов. Сущность рекомендации сводится к следующему: проектирующий, задаваясь произвольной высотой этажа и, следовательно, произвольным количеством вариантов, должен отыскать такую высоту этажа, которой соответствовали бы наименьшие затраты на 1 *т* промышленных запасов, заключенных в этаже. При этом предлагается в учет принимать: 1) затраты по проведению выработок, подготавливающих этаж (околотвольный двор, этажные квершлаг и штреки), и 2) затраты, связанные с доставкой грузов по наклонным выработкам, передвижению людей, подъему грузов, водоотливу и вентиляции.

Потери угля, безопасность работ, специфика намечаемых к применению на пластах систем разработки (направление подвигания очистных забоев, их скорость, сближенность пластов, производительность труда забойной группы рабочих и др.), т. е. главные элементы, определяющие технико-экономические показатели работы шахты и имеющие существенное значение особенно при установлении высоты этажа для свиты пластов, остались в рекомендации не учтенными. Относительно метода определения высоты этажа для свиты крутопадающих пластов и тем более мощных акад. Л. Д. Шевяков указывает, что этот вопрос требует „специальных детальных исследований“

Формулы и порядок определения оптимальной вертикальной высоты этажа для свиты крутопадающих пластов

| Пласты      | Система разработки (γ) | γ — удельный вес системы разработки в добыче по данному пласту (γ) | Произведение коэффициента извлечения (C) на производительность пласта (P), T/м² (γ) | Оптимальная вертикальная высота этажа для пластов № 1, 2, . . . . . n и участков I, II, . . . |                                                                          |                  |                                                                             |           |                                           |                                                                                                                                                                                         |                                              |                                                                             |                                                |                                                                               |                                  |
|-------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|             |                        |                                                                    |                                                                                     | $h_1$                                                                                         | $h_2$                                                                    | . . . . .        | $h_{n-1}$                                                                   | $h_n^I$   | $h_n^{II}$                                | Стоимость добычи одной тонны угля (a) и стоимость добычи промышленных запасов, спроектированных на 1 м² вертикальной плоскости $\left( \frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a \right)$ (руб. /) |                                              |                                                                             |                                                |                                                                               |                                  |
|             |                        |                                                                    |                                                                                     | a                                                                                             | $\frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$                                         | a                | $\frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$                                            | a         | $\frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$          | a                                                                                                                                                                                       | $\frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$             | a                                                                           | $\frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$               | a                                                                             | $\frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$ |
| Пласт 1     | Д. С.                  | 1,0                                                                | $P_1 C_1$                                                                           | $a_1^I(\min)$                                                                                 | $\frac{P_1 C_1}{\sin \alpha_1} \cdot a_1^I$                              | $a_1^{II}$       | $\frac{P_1 C_1}{\sin \alpha_1} \cdot a_1^{II}$                              | . . . . . | $a_1^{[n-1]}$                             | $\frac{P_1 C_1}{\sin \alpha_1} \cdot a_1^{[n-1]}$                                                                                                                                       | $a_1^{In}$                                   | $\frac{P_1 C_1}{\sin \alpha_1} \cdot a_1^{In}$                              | $a_1^{II n}$                                   | $\frac{P_1 C_1}{\sin \alpha_1} \cdot a_1^{II n}$                              |                                  |
| Пласт 2     | ИЦ                     | 1,0                                                                | $P_2 C_2$                                                                           | $a_2^I$                                                                                       | $\frac{P_2 C_2}{\sin \alpha_2} \cdot a_2^I$                              | $a_2^{II(\min)}$ | $\frac{P_2 C_2}{\sin \alpha_2} \cdot a_2^{II}$                              | . . . . . | $a_2^{[n-1]}$                             | $\frac{P_2 C_2}{\sin \alpha_2} \cdot a_2^{[n-1]}$                                                                                                                                       | $a_2^{In}$                                   | $\frac{P_2 C_2}{\sin \alpha_2} \cdot a_2^{In}$                              | $a_2^{II n}$                                   | $\frac{P_2 C_2}{\sin \alpha_2} \cdot a_2^{II n}$                              |                                  |
|             |                        |                                                                    |                                                                                     |                                                                                               |                                                                          |                  |                                                                             |           |                                           |                                                                                                                                                                                         |                                              |                                                                             |                                                |                                                                               |                                  |
| Пласт (n-1) | Г. С.                  | 1,0                                                                | $P_{n-1} C_{n-1}$                                                                   | $a_{n-1}^I$                                                                                   | $\frac{P_{n-1} C_{n-1}}{\sin \alpha_{n-1}} \cdot a_{n-1}^I$              | $a_{n-1}^{II}$   | $\frac{P_{n-1} C_{n-1}}{\sin \alpha_{n-1}} \cdot a_{n-1}^{II}$              | . . . . . | $a_{n-1}^{[n-1](\min)}$                   | $\frac{P_{n-1} C_{n-1}}{\sin \alpha_{n-1}} \cdot a_{n-1}^{[n-1]}$                                                                                                                       | $a_{n-1}^{In}$                               | $\frac{P_{n-1} C_{n-1}}{\sin \alpha_{n-1}} \cdot a_{n-1}^{In}$              | $a_{n-1}^{II n}$                               | $\frac{P_{n-1} C_{n-1}}{\sin \alpha_{n-1}} \cdot a_{n-1}^{II n}$              |                                  |
| Пласт n     | Д. С.                  | γ <sub>1</sub>                                                     | $P_n^I C_n^I$                                                                       | $a_{In}^I$                                                                                    | $\gamma_1 \frac{P_n^I C_n^I}{\sin \alpha_n^I} \cdot a_{In}^I$            | $a_{In}^{II}$    | $\gamma_1 \frac{P_n^I C_n^I}{\sin \alpha_n^I} \cdot a_{In}^{II}$            | . . . . . | $a_{In}^{[n-1]}$                          | $\gamma_1 \frac{P_n^I C_n^I}{\sin \alpha_n^I} \cdot a_{In}^{[n-1]}$                                                                                                                     | $a_{In}^{In(\min)}$                          | $\gamma_1 \frac{P_n^I C_n^I}{\sin \alpha_n^I} \cdot a_{In}^{In}$            | $a_{In}^{II n}$                                | $\gamma_1 \frac{P_n^I C_n^I}{\sin \alpha_n^I} \cdot a_{In}^{II n}$            |                                  |
| •           | ИЦ                     | γ <sub>2</sub>                                                     | $P_n^{II} C_n^{II}$                                                                 | $a_{II n}^I$                                                                                  | $\gamma_2 \frac{P_n^{II} C_n^{II}}{\sin \alpha_n^{II}} \cdot a_{II n}^I$ | $a_{II n}^{II}$  | $\gamma_2 \frac{P_n^{II} C_n^{II}}{\sin \alpha_n^{II}} \cdot a_{II n}^{II}$ | . . . . . | $a_{II n}^{[n-1]}$                        | $\gamma_2 \frac{P_n^{II} C_n^{II}}{\sin \alpha_n^{II}} \cdot a_{II n}^{[n-1]}$                                                                                                          | $a_{II n}^{In}$                              | $\gamma_2 \frac{P_n^{II} C_n^{II}}{\sin \alpha_n^{II}} \cdot a_{II n}^{In}$ | $a_{II n}^{II n(\min)}$                        | $\gamma_2 \frac{P_n^{II} C_n^{II}}{\sin \alpha_n^{II}} \cdot a_{II n}^{II n}$ |                                  |
| Всего       |                        |                                                                    |                                                                                     | $\sum_1^n \frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$                                                     | $\sum_2^n \frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$                                | . . . . .        | $\sum_{n-1}^n \frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$                               |           | $\sum_1^n \frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$ |                                                                                                                                                                                         | $\sum_{In}^n \frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$ |                                                                             | $\sum_{II n}^n \frac{PC}{\sin \alpha} \cdot a$ |                                                                               |                                  |

$\min \sum_{i=1}^n \frac{PC}{\sin \alpha_i} \cdot a$  определяет оптимальную вертикальную высоту этажа для свиты пластов  $h_i$ .

Примечание: 1) Д. С. — система разработки длинными столбами; Ш — шитовая система разработки; Г. С. — система разработки горизонтальными слоями.

2) Если проектируется разрабатывать пласт с применением одной системы разработки, то  $\gamma = 1$ ; с применением двух систем разработки —  $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$ ; с применением трех систем разработки —  $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$ ; с применением n систем разработки —  $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n$ .

3)  $P_1, P_2, \dots, P_n$  — производительность пласта № 1, 2, ..., n-го, T/м²;  $P_1^I, P_1^{II}, \dots, P_n^I, P_n^{II}$  — производительность пласта на участке I, II, ..., пласта № 1 ... n-го, T/м²;  $C_1, C_2, \dots, C_n$  — коэффициент извлечения по пласту № 1, 2, ..., n;  $C_1^I, C_2^I, \dots, C_n^I, C_n^{II}$  — коэффициент извлечения по пласту № 1, ..., n на участке I, II.

4)  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  — угол падения пласта № 1, 2, ..., n-го;  $\alpha_n^I, \alpha_n^{II}$  — то же на участке I, II;  $a_1^I, a_1^{II}, \dots, a_{In}^{[n-1]}$  — стоимость добычи одной тонны угля по пласту № 1 в вариантах I, II, ..., [n-1]ом;  $a_2^I, a_2^{II}, \dots, a_2^{[n-1]}$  — то же по пласту № 2.

(стр. 184). Таким образом, среди методов определения высоты этажа для свиты крутопадающих пластов в теоретических арсеналах горной науки по-прежнему остается в единственном виде модернизированная формула (3).

Применяя формулу (3), например, к условиям шахты „Коксовой“ в Прокопьевске, получаем вертикальную высоту этажа порядка 30—35 м, что по экономическим и практическим соображениям является совершенно неприемлемым.

Следовательно, задача сводится к тому, чтобы найти не только такую высоту этажа, которая обеспечила бы условия для выполнения установленной годовой производственной мощности шахты, но и найти такую высоту этажа, которая одновременно обеспечила бы условия для достижения высоких технико-экономических показателей по шахте. А эти условия может обеспечить правильно выбранная система разработки и основные размеры ее элементов.

В этом отношении применительно к разработке рудных месторождений значительный шаг в теоретической разработке проблемы установления высоты этажа сделан канд. техн. наук доц. Г. Е. Бакановым. В опубликованной его работе (Изв. ТПИ, т. 79) приводится в общем виде аналитическое выражение для определения оптимальной высоты этажа ( $h_0$ ) для систем разработки, имеющее вид:

$$A_1 h_0^4 + A_2 h_0^3 + A_3 h_0^2 + A_4 h_0 + A_5 = 0, \quad (4)$$

где  $A_1 \dots A_5$  — постоянные величины для конкретного шахтного поля.

Известно, что Кузбасс богат месторождениями, которые представлены сближенными крутопадающими пластами, различными по мощности, углам падения и что для разработки таких пластов одновременно в свите нередко применяются несколько систем. Основные положения метода установления оптимальной высоты этажа для всей свиты сближенных крутопадающих пластов и для общего случая, когда одновременно на пластах свиты применяются различные системы, теоретически не были разработаны. Разработка этого вопроса поставлена задачей данной работы.

Богатейшее Прокопьевско-Киселевское месторождение Кузбасса представлено сближенными крутопадающими пластами и отличается резкой складчатостью. Выбор высоты этажа при проектировании ныне действующих шахт в Прокопьевско-Киселевском районе Кузбасса производился в опытным порядке. Это хорошо демонстрируют высоты этажей, принятые в районе за последние 25 лет: 50, 70, 80 и 100 м. На отдельных участках некоторых шахт (ш. „Черная Гора“) вертикальная высота этажа достигает 140 м, на ш. „Северная“ в Кемеровском районе она принята равной 150 м.

Остановимся на рассмотрении главнейших требований, которым должна удовлетворять высота этажа при разработке свиты сближенных крутопадающих пластов. Практика показала, что они сводятся к следующим:

- 1) высота этажа должна удовлетворять условиям, которые обеспечивали бы установленную годовую производственную мощность шахты;
- 2) высота этажа должна быть такой, при которой обеспечивались бы условия для своевременной подготовки нижнего этажа к очистным работам;

3) высота этажа должна быть оптимальной для всего комплекса пластов, слагающих свиту, и комплекса намеченных к применению систем разработки, т. е. такой, при которой обеспечивались бы условия для достижения по этажу в целом более высокой производительности труда и более низкой себестоимости добычи 1 т угля.

При решении поставленной задачи за исходные положения для расчета принимаются как известные (фиксированные) следующие параметры и условия:

- 1) установленная годовая производственная мощность шахты;
- 2) длина шахтного поля по простиранию;
- 3) практически „неограниченное“ залегание пластов свиты в глубину;
- 4) наличие у проектирующего исходных данных по всем пластам свиты, вполне достаточных для выбора (по каждому пласту) системы разработки.

Учитывая разнообразие требований к установлению высоты этажа и несоизмеримые величины, которые должны приниматься в учет, рекомендуем соблюдать следующую последовательность в этапах расчета.

1. Наметить для каждого пласта свиты систему разработки, а для некоторых пластов, имеющих непостоянные условия залегания, и для отдельных участков.

2. Установить порядок разработки пластов в свите. Особо учитывать при этом пласты сближенные, обводненные, опасные по внезапным выбросам угля и газа, а также и направления подвигания очистных работ по пластам (по падению или по простиранию).

3. Найти предельно-максимальную технически возможную вертикальную высоту этажа ( $h_t$ ) для каждого пласта свиты. Особо учитывать при этом сближенность пластов, принятые к применению системы разработки, направления подвигания очистных забоев, а также склонность углей к самовозгоранию (в смысле соблюдения сроков профилактического проиливания отработанных участков).

4. Определить экономическим расчетом оптимальную высоту этажа для каждого пласта или его отдельного участка с учетом принятой к применению системы разработки.

5. Определить оптимальную вертикальную высоту этажа ( $h_0$ ) для всей свиты крутопадающих пластов, применяя расчетный метод, представленный в табл. 1.

6. Проверить, удовлетворяет ли определившаяся оптимальная высота этажа установленной годовой производственной мощности шахты. Для проверки можно пользоваться формулой:

$$h_A = \frac{A}{\frac{L_1 P_1 C_1}{\sin \alpha_1} + \frac{L_2 P_2 C_2}{\sin \alpha_2} + \dots + \frac{L_n P_n C_n}{\sin \alpha_n}}, \quad (5)$$

где  $h$  — вертикальная высота этажа, м;

$A$  — установленная годовая производственная мощность шахты, т;

$L_1, L_2, \dots, L_n$  — скорость подвигания очистных забоев по пласту № 1, 2, ...,  $n$ , м/год;

$P_1, P_2, \dots, P_n$  — производительность пласта № 1, 2, ...,  $n$ , т/м<sup>2</sup>;

$C_1, C_2, \dots, C_n$  — коэффициент извлечения угля по пласту № 1, 2, ...,  $n$ ;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  — угол падения пласта № 1, 2, ...,  $n$ .

7. Проверить, удовлетворяет ли определившаяся оптимальная высота этажа своевременной подготовке этого этажа к очистным работам.

Исходное положение:

$$t_{\text{эп}} = t_{\text{нэ}} + t_p, \quad (6)$$

где  $t_{\text{эп}}$  — расчетный срок службы этажа, лет;  
 $t_{\text{нэ}}$  — время, необходимое для подготовки этажа к очистным работам, лет;  
 $t_p$  — резервное время, лет.

$$\text{Но} \quad t_{\text{эп}} = \frac{Z_{\text{э}}}{A}. \quad (7)$$

$$Z_{\text{э}} = \frac{P_1 C_1}{\sin \alpha_1} + \frac{P_2 C_2}{\sin \alpha_2} + \dots + \frac{P_n C_n}{\sin \alpha_n} h_n \cdot S. \quad (8)$$

Откуда

$$h_n = \frac{(t_{\text{нэ}} + t_p) A}{\left( \frac{P_1 C_1}{\sin \alpha_1} + \frac{P_2 C_2}{\sin \alpha_2} + \dots + \frac{P_n C_n}{\sin \alpha_n} \right) S}, \quad (9)$$

где  $Z_{\text{э}}$  — промышленные запасы этажа,  $m$ ;  
 $h_n$  — вертикальная высота этажа, обеспечивающая условия для своевременной подготовки этого этажа к очистным работам,  $m$ ;

$S$  — длина шахтного поля по простиранию,  $m$ .

Нанесение на график крайних предельных значений высоты этажей ( $h_A$ ,  $h_n$ ,  $h_t$ ) строго ограничивает область исследований для экономического сравнения вариантов (рис. 1). Таким образом, предлагае-

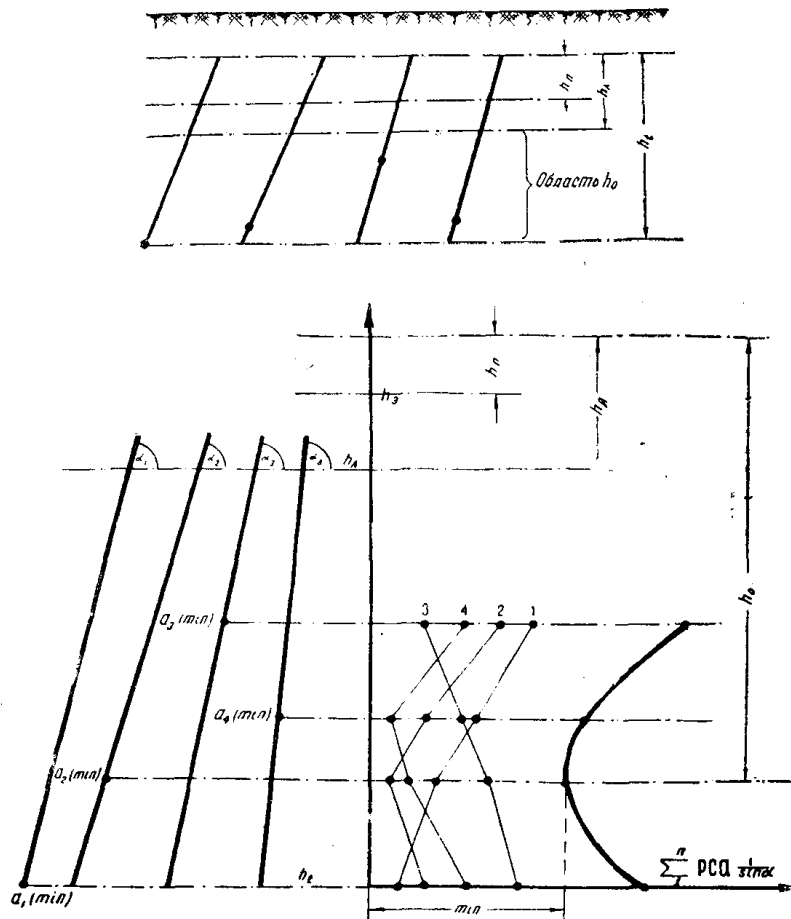


Рис. 1. Определение оптимальной вертикальной высоты этажа для свиты сближенных крутопадающих пластов

мые основные положения метода установления высоты этажа для разработки свиты крутопадающих пластов одновременно в комплексе сочетают в себе элементы метода вариантов и элементы аналитического и графического расчетных методов. В научном отношении этот метод является новым, поскольку он одновременно учитывает: а) комплекс пластов, слагающих свиту; б) комплекс систем разработки, намечаемых к применению, и долю их участия в очистной добыче; в) установленную производственную мощность шахты; г) сроки подготовки нижележащего этажа. Производственное значение состоит в том, что метод позволяет отыскивать для конкретных участков такую высоту этажа, которая обеспечивала бы условия для достижения более низкой себестоимости добычи 1 *т* угля и более высокой производительности труда по этажу в целом.

---