

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ЭТАЖА ДЕЙСТВУЮЩЕЙ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

В. В. ПРОСКУРИН

Годовая производительность шахты является главнейшим технико-экономическим показателем при ее проектировании, строительстве и эксплуатации. Она, как правило, принимается на весь расчетный (неполный) срок службы шахты или на срок до ее реконструкции и обеспечивается промышленными запасами в соответствующих границах шахтного поля.

Техническим проектом шахты устанавливаются основные параметры элементов шахтного поля: высота этажа, их количество, срок службы и промышленные запасы каждого из них. Последнее, особенно для нижележащих этажей, в проектах обычно принимается в эскизной форме. Поэтому при проектировании вскрытия нижележащего горизонта шахты нередко возникает вопрос уточнения или изменения промышленных запасов этажа и срока его службы против принятых ранее техническим проектом. Это чаще вызывается совокупностью следующих обстоятельств:

1) возможным изменением высоты этажа в связи с совершенствованием систем разработки, освоением новых более прогрессивных средств механизации и методов организации работ;

2) уточнением детальной разведкой промышленных запасов в целом и по категориям в границах этажа, принятого техническим проектом;

3) необходимостью и возможностью прирезки запасов за счет соседних участков;

4) дополнительными капитальными вложениями в связи с переводом шахты на работу с закладкой или в связи с уточнением ожидаемой метанообильности угольных пластов (проведение вспомогательных стволов, околовствольных выработок, камер и проч.);

5) сокращением времени одновременной разработки двух этажей в период перехода горных работ на нижележащий горизонт и другие.

Учитывая изложенное выше, могут быть предложены к решению следующие две задачи:

1. Уточнить срок службы вскрываемого нижележащего этажа в связи с незначительными изменениями его промышленных запасов, против принятых в техническом проекте шахты.

Такую задачу можно решить, применяя известную формулу:

$$t = \frac{Z_{\text{э}}}{A}, \quad (1)$$

где t — расчетный срок службы этажа, лет;

$Z_{\text{э}}$ — промышленные запасы этажа, m ;

A — годовая производительность шахты, m .

Поскольку по условию $Z_{\text{э}}$ — величина фиксированная, то и расчетный срок службы этажа t получится также фиксированным.

2. Найти оптимальный срок службы вскрываемого нижележащего этажа в связи с возможностью „неограниченного“ изменения его промышленных запасов.

Такая постановка задачи вполне реальна, имеющая большое производственное значение, поскольку производительность труда по шахте и себестоимость тонны угля являются в некоторой степени функцией времени; она несомненно представляет и некоторый научный интерес в смысле новизны теоретической постановки вопроса.

Расчетный срок службы этажа в этом случае может быть определен, исходя из принципа наименьших затрат на 1 *т* его промышленных запасов. Как известно, этот принцип использовался в аналитических расчетах предыдущими исследователями [1; 2; 3] применительно к решению задачи по определению наивыгоднейших размеров шахтного поля по простиранию и падению. Используя в полной мере достижения предыдущих исследователей, считаем совершенно необходимым дополнить их при решении поставленной нами задачи еще двумя факторами:

1) учетом дополнительных эксплуатационных затрат, связанных с поддержанием этажа в рабочем состоянии в период перехода горных работ на нижележащий горизонт и 2) учетом количества и пропускной способности по проветриванию штреков групповых и обособленных в соответствии с действующими „Правилами безопасности в угольной и сланцевой промышленности“.

Последнее является важным фактором при определении параметров разработки, особенно глубинных, как правило, метанообильных, залежей угля.

При решении поставленной задачи за типовые исходные данные для расчета приняты следующие: шахтное поле двухкрылое, схема вскрытия — центрально-расположенными вертикальными стволами и главными этажными квершлагами, промышленные запасы этажа равномерно распределены вдоль откаточных штреков, вертикальная высота этажа выбрана в соответствии с уровнем развития горной техники и организации работ, вертикальная высота шахтного поля — по техническому проекту шахты; стоимости и объемы горных работ в расчетах должны приниматься по действующим нормам, сметам и единичным расценкам; стоимость поддержания горных выработок — по фактическим данным отработанного вышележащего этажа.

Стоимость работ, связанных с извлечением всех промышленных запасов этажа с учетом роста производительности труда и снижения себестоимости продукции за расчетный срок его службы, может быть выражена формулой:

$$q_{\Sigma} \cdot Z_{\Sigma}, \quad (2)$$

где q_{Σ} — средняя стоимость добычи 1 *т* угля.

Применительно к условиям поставленной задачи:

$$q_{\Sigma} = q_1 + q_2, \quad (3)$$

где q_1 — средняя стоимость добычи 1 *т* угля по затратам, независимым от промышленных запасов этажа (очистная выемка, подъем, водоотлив и др.);

q_2 — средняя стоимость добычи 1 *т* угля по затратам, погашаемым промышленными запасами этажа или от них зависящим (проведение вскрывающих выработок, поддержание штреков, откатка и др.).

Второе слагаемое уравнения (3) можно выразить так:

$$q_2 = \frac{\sum C_i}{Z_{\Sigma}}, \quad (4)$$

тогда выражение (2) примет вид:

$$q_{\Sigma} Z_{\Sigma} = q_1 Z_{\Sigma} + \Sigma C_i, \quad (5)$$

где C_i — затраты, погашаемые промышленными запасами этажа или от них зависящие.

Переходя к исчислению затрат C_i будем иметь в виду, что размеры горных выработок, их крепление и другие параметры в расчетах должны приниматься в соответствии с годовой производительностью шахты и уровнем механизации и организации работ того периода, к которому они будут относиться.

Итак, напомним все затраты, погашаемые промышленными запасами этажа или от них зависящие, в общем виде.

1. Проведение шахтных стволов в границах этажа

$$\Sigma K_{ств} \cdot h, \quad (6)$$

где $\Sigma K_{ств}$ — суммарная стоимость проведения и оборудования 1 *пог. м.* всех стволов в границах этажа;

h — вертикальная высота этажа, *м.*

2. Проведение околоствольного двора, околоствольных выработок и камер

$$D, \quad (7)$$

где D — стоимость околоствольного двора и всех околоствольных выработок и камер в этаже.

3. Проведение главного квершлага

$$K_{кв.} \cdot l, \quad (8)$$

где $K_{кв.}$ — стоимость проведения 1 *пог. м* главного квершлага с закруглениями;

l — длина главного квершлага, *м.*

4. Поддержание групповых обособленных штреков на откаточном и вентиляционных горизонтах

$$\frac{S}{2} \cdot \frac{t}{2} \cdot 2 \cdot 2 \cdot \Sigma r_{штр} = S t \Sigma r_{штр}, \quad (9)$$

где S — длина шахтного поля по простиранию, *м.*;

t — расчетный срок службы этажа, лет;

$\Sigma r_{штр}$ — суммарная стоимость поддержания 1 *пог. м* всех групповых и обособленных штреков на откаточном и вентиляционном горизонтах в год.

5. Транспорт грузов по штрекам

$$(Z_{\Sigma} + Z_{\Sigma} \cdot a_{\Sigma}) \frac{S}{4} q_{штр} = \frac{Z_{\Sigma} (1 + a_{\Sigma}) S q_{штр}}{4}, \quad (10)$$

где a_{Σ} — коэффициент эквивалентных грузов, учитывающий транспорт породы, закладки, материалов и оборудования;

$q_{штр}$ — стоимость транспорта по штрекам за тоннометр.

6. Энергия на передвижение воздуха по штрекам. Будем иметь в виду центральную схему проветривания. В нашем случае путь передвижения воздуха по откаточным штрекам в каждом крыле изменяется от 0 до $\frac{S}{2}$

и в среднем равен $\frac{S}{4}$. То же по вентиляционным штрекам — $\frac{S}{4}$; в каждом крыле $\frac{S}{2}$ и в пределах одного этажа S .

При подаче в шахту воздуха $Q_{ш}$ $м^3/сек$ на одно крыло будет поступать $\frac{Q_{ш}}{2}$, в один штрек

$$\frac{Q_{ш}}{2 n_{штр}} \text{ } м^3/сек, \quad (11)$$

где $Q_{ш}$ — количество поступающего воздуха в шахту, $м^3/сек$;

$n_{штр}$ — количество групповых и обособленных штреков на одном крыле.

Стоимость энергии на передвижение воздуха по горной выработке за весь срок ее существования будет равна [3, 41]:

$$\frac{\alpha \cdot P_s \cdot l_s \cdot Q_s^3 \cdot 24 \cdot 365 \cdot t_s \cdot \gamma}{102 S_s^3 \eta}, \quad (12)$$

где α — коэффициент сопротивления горной выработки движению воздуха;

P_s — периметр горной выработки, $м$;

l_s — длина проветриваемой выработки, $м$;

Q_s — количество воздуха, протекающего по выработке, $м^3/сек$;

t_s — время проветривания, лет;

γ — стоимость 1 $квтч$ электроэнергии;

S_s — площадь поперечного сечения выработки, $м^2$;

η — к. п. д. вентиляционной установки.

Применительно к рассматриваемой задаче и учитывая, что длина крыла равна $\frac{S}{2}$, средний путь движения воздуха на откаточном горизонте

$\frac{S}{4}$, два крыла и два горизонта из (12), имеем:

$$l_s = \frac{S}{2 \cdot 2} \cdot 2 \cdot 2 = S.$$

Из предыдущего (11 и 12) имеем:

$$Q_s = \frac{Q_{ш}}{2 n_{штр}},$$

но

$$Q_{ш} = \frac{A \cdot q \cdot C_y}{300 \cdot 60};$$

тогда

$$Q_s = \frac{A \cdot q \cdot C_y}{300 \cdot 60 \cdot 2 \cdot n_{штр}}, \quad (13)$$

где q — минимальное количество воздуха на 1 $т$ суточной добычи в $м^3/мин$ в соответствии с метанообильностью шахты;

C_y — коэффициент, учитывающий утечки воздуха и проветривания резервных очистных забоев;

300 — число рабочих дней шахты в год.

Наконец, из выражения (12) следует, что $t_s = t$.

В принятых обозначениях стоимость энергии на передвижение воздуха для проветривания всех групповых и обособленных штреков откаточного и вентиляционного горизонтов за расчетный срок службы этажа составит:

$$\frac{\alpha \cdot P_s \cdot 24 \cdot 365 \cdot \gamma}{102 \cdot S_s^3 \cdot \eta} \left(\frac{A \cdot q \cdot C_y}{300 \cdot 60 \cdot 2 \cdot n_{штр}} \right)^3 S t. \quad (14)$$

Обозначим:

$$C_{штр} = \frac{\alpha \cdot P_s \cdot 24.365 \cdot \gamma}{102 \cdot S_s^3 \eta} \left(\frac{A \cdot q \cdot C_y}{300 \cdot 60 \cdot 2 n_{штр}} \right)^3, \quad (15)$$

где $C_{штр}$ — стоимость проветривания 1 *ног.м* всех групповых и обособленных штреков откаточного и вентиляционного горизонтов этажа в год.

Тогда получим:

$$C_{штр} \cdot S \cdot t. \quad (16)$$

7. Часть стоимости всех поверхностных сооружений шахты, погашаемой запасами вскрываемого нижележащего этажа

$$\frac{B h}{H}, \quad (17)$$

где B — стоимость всех поверхностных сооружений шахты, погашаемая запасами всего шахтного поля;

H — разность абсолютных отметок верхней и нижней границ шахтного поля или вертикальная высота шахтного поля в *м*, принятая в техническом проекте шахты.

8. Часть стоимости проведения и оборудования всех шахтных стволов от земной поверхности до уровня верхней границы шахтного поля, погашаемая запасами вскрываемого нижележащего горизонта

$$\frac{\Sigma K_0 \cdot H_0 \cdot h}{H}, \quad (18)$$

где ΣK_0 — суммарная стоимость проведения и оборудования 1 *ног.м* всех шахтных стволов от земной поверхности до уровня верхней границы шахтного поля;

H_0 — расстояние от устья шахтных стволов до уровня верхней границы шахтного поля, *м*.

9. Дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с одновременной работой двух этажей в период перехода горными работами на нижележащий из них. Сюда относятся:

a_1 — расходы по обслуживанию околоствольного двора (содержание ствольных, их помощников, машинистов опрокидов, лебедчиков, камеронщиков, дежурных электрослесарей и др.);

a_2 — расходы по обслуживанию транспорта на горизонте (содержание электровозного депо, ремонт пути, регулирование движения, учет поступающих грузов и др.);

a_3 — расходы по обслуживанию вентиляционного хозяйства горизонта (содержание вентиляционного надзора, дверовых, рабочих по вентиляции и др.);

a_4 — дополнительные расходы энергии по подъему грузов и маневрам, по водоотливу, по перепробегу электровозного парка и др.;

a_5 — расходы по поддержанию выработок за время одновременной работы двух этажей.

Если обозначим $\Sigma a = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5,$ (19)

то имеем: $\Sigma a \cdot t_0,$ (20)

где Σa — дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с одновременной работой двух этажей, в год;

t_0 — период одновременной работы двух этажей, лет.

Имея в виду, что

$$Z_{\Sigma} = A \cdot t, \quad h_n = \frac{h}{\sin \alpha} \quad \text{и} \quad S = \frac{A \cdot t \cdot \sin \alpha}{h \Sigma PC},$$

где h_n — наклонная высота этажа, м;
 α — угол падения свиты пластов;
 P — производительность пласта, m/m^2 ;
 C — коэффициент извлечения полезного ископаемого, формула (5) после преобразований примет вид:

$$\begin{aligned} q_{\Sigma} = q_1 + & \frac{\Sigma K_{cms} \cdot h}{A \cdot t} + \frac{D}{A \cdot t} + \frac{K_{кс} \cdot l}{A \cdot t} + \frac{t \sin \alpha \cdot \Sigma r_{ump}}{h \Sigma PC} + \\ & + \frac{A t (1 + a_{\Sigma}) q_{ump} \cdot \sin \alpha}{4 h \Sigma PC} + \frac{C_{ump} \cdot t \cdot \sin \alpha}{h \Sigma PC} + \frac{B \cdot h}{H \cdot A \cdot t} + \\ & + \frac{\Sigma K_0 H_0 \cdot h}{H \cdot A \cdot t} + \frac{\Sigma a \cdot t_0}{A \cdot t}. \end{aligned} \quad (21)$$

Из уравнения (21) видно, что

$$q_{\Sigma} = f(t).$$

Решая уравнение $f'(t) = 0$, находим минимум этой функции:

$$\begin{aligned} - \frac{\Sigma K_{cms} \cdot h}{A \cdot t^2} - \frac{D}{A \cdot t^2} - \frac{K_{кс} \cdot l}{A \cdot t^2} + \frac{\Sigma r_{ump} \cdot \sin \alpha}{h \Sigma PC} + \\ + \frac{A (1 + a_{\Sigma}) q_{ump} \cdot \sin \alpha}{4 h \Sigma PC} + \frac{C_{ump} \cdot \sin \alpha}{h \Sigma PC} + \frac{B \cdot h}{H \cdot A \cdot t^2} + \\ + \frac{\Sigma K_0 \cdot H_0 \cdot h}{H \cdot A \cdot t^2} - \frac{\Sigma a \cdot t_0}{A t^2} = 0, \end{aligned}$$

отсюда

$$t = \sqrt{\frac{\left[(\Sigma K_{cms} \cdot h + D + K_{кс} \cdot l + \Sigma a \cdot t_0) + \frac{h(B + H_0 \Sigma K_0)}{H} \right] h \Sigma PC}{\left[(\Sigma r_{ump} + C_{ump}) + \frac{A (1 + a_{\Sigma}) q_{ump}}{4} \right] A \sin \alpha}} \text{ лет.} \quad (22)$$

Пример. Для шахты А (крутое падение) по проекту было принято:

$\Sigma K_{cms} = 18400$ руб.,	$B = 48000000$ руб.,	$a_{\Sigma} = 0,25$,
$h = 100$ м,	$\Sigma K_0 = 18400$ руб.,	$q_{ump} = 0,00095$ руб.,
$D = 12870000$ руб.,	$H_0 = 50$ м,	$\Sigma PC = 60,8$ m/m^2 ,
$K_{кс} = 2700$ руб.,	$\alpha = 65^\circ$,	$A = 1500000$ т,
$l = 920$ м,	$\sin 65^\circ = 0,9063$,	$q = 1,0$ $m^3/мин$
$\Sigma a = 1184400$ руб.,	$H = 400$ м,	на 1 т суточной добычи,
$t_0 = 5$ лет,	$\Sigma r_{ump} = 108$ руб.,	

$$C_y = 1,5 \text{ и } C_{\text{шпр}} = \frac{0,0015 \cdot 12,8 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,13}{102,9 \cdot 5^3 \cdot 0,53} \left(\frac{1500000 \cdot 1 \cdot 1,5}{300 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 3} \right)^3 = 4,02,$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{\left[(18400 \cdot 100 + 12870000 + 2700 \cdot 920 + 1184400 \cdot 5) + \frac{100(48000000 + 18400 \cdot 50)}{400} \right] 100 \cdot 60 \cdot 8,}{\left[(108 + 4,02) + \frac{1500000(1 + 0,25) \cdot 0,00095}{4} \right] 1500000 \cdot 0,9063}}$$

$t = 17,75$ лет, по проекту принято $t = 18$ лет.

Исследуем уравнение (21) $q_3 = q_1 + f(t)$ по расчетным данным, принятым в примере. Последовательно задаваясь величиной t , получим:

Таблица

t , лет	10	15	18	20	25
1	2	3	4	5	6
(В рублях)					
$\frac{\Sigma K_{\text{смв}} \cdot h}{A \cdot t}$	0,1226	0,08175	0,068	0,0613	0,049
$\frac{D}{A \cdot t}$	0,858	0,572	0,4767	0,429	0,343
$\frac{K_{\text{кв}} \cdot l}{A \cdot t}$	0,1656	0,1104	0,092	0,0828	0,0662
$\frac{t \sin \alpha \cdot \Sigma r_{\text{шпр}}}{h \Sigma PC}$	0,16	0,24	0,288	0,32	0,4
$\frac{A \cdot t (1 + a_3) q_{\text{шпр}} \cdot \sin \alpha}{4 h \Sigma PC}$	0,66	0,99	1,188	1,32	1,65
$\frac{C_{\text{шпр}} \cdot t \cdot \sin \alpha}{h \Sigma PC}$	0,006	0,009	0,0108	0,012	0,015
$\frac{B \cdot h}{H \cdot A \cdot t}$	0,8	0,54	0,4445	0,4	0,32
$\frac{\Sigma K_0 \cdot H_0 \cdot h}{H \cdot A \cdot t}$	0,015	0,01	0,0084	0,0075	0,006
$\frac{\Sigma a \cdot t_0}{A \cdot t}$	0,3948	0,2632	0,2193	0,1974	0,1579

1	2	3	4	5	6
$q_{\text{э}} = q_1 + \dots$	3,18	2,82	2,80	2,83	3,01
Отступления от минимальной в руб. на 1 <i>т</i>	0,38	0,02	—	0,03	0,21
Промышленные запасы $Z_{\text{э}} = A \cdot t$ в млн. <i>т</i>	15,0	22,5	27,0	30,0	37,5
Перерасход при отступлении от наивыгоднейших размеров в млн руб. на этаж	5,7	0,45	—	0,9	7,875

В таблице на частном примере показано влияние отдельных факторов на выбор оптимального срока службы этажа. Влияние отдельных факторов для различных условий имеет и различную значимость; например, при разработке глубинной залежи и исключительно метанообильного угля значимость фактора проветривания среди других резко возрастает; то же можно сказать и при переводе шахты на работу с закладкой и др.

Заключение

1. В аналитических расчетах по определению основных размеров элементов разработки угольных месторождений впервые дано решение о нахождении рационального срока службы этажа при вскрытии нижележащего горизонта.

2. В формулах по определению главнейших параметров шахтного поля следует учитывать дополнительные расходы, связанные с одновременной работой двух этажей, а также количество групповых и обособленных штреков и их пропускную способность по проветриванию.

3. Формула (22) может быть использована в практической деятельности проектирующих организаций и в учебной работе в горных вузах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А. С. Установление годовой производительности и размеров поля для индивидуальной шахты по разработке каменноугольных месторождений. Издательство МГИ, 1934.
2. Звягин П. З. Проектирование и расчеты элементов разработки пластовых месторождений. ОНТИ, 1935.
3. Шевяков Л. Д. Основы теории проектирования угольных шахт. Углетехиздат, 1950.