

К ВОПРОСУ О ГОДОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ ДЛЯ УЧАСТКА С ОГРАНИЧЕННЫМИ ЗАПАСАМИ

Н. Г. КАПУСТИН

(Представлено научным семинаром кафедр разработки пластовых месторождений, разработки рудных месторождений, строительства горных предприятий)

Проектное установление годовой производительности шахты является классическим вопросом отечественной горной науки. Однако современная изученность этого вопроса все еще остается недостаточной.

Это дает основание продолжить изыскания методов расчетного установления годовой производительности и сроков службы шахт-новостроек.

Небезызвестно, что многие участки богатейших угольных районов страны представляют угольные поля с ограниченными запасами, т. е. позволяющими запроектировать заведомо не более одной шахты. В таких случаях принятие решения о величине производственной мощности шахты непосредственно показывает соответствующий срок ее службы. Поэтому для месторождений с ограниченными запасами проблема мощности и срока службы сводится к расчетному установлению только годовой производительности шахты.

Современный расчетно-аналитический метод решения задачи о мощности шахты с ограниченными запасами состоит в следующем.

Как известно, профессора А. П. Судоплатов, А. И. Смирнов и другие выявили функцию шахтной себестоимости добычи угля в следующем виде

$$a = C_1 + C_2 A + C_3 : A = f(A), \quad (1)$$

где C_1, C_2, C_3 — коэффициенты, устанавливаемые для каждого района индивидуально и имеющие физический смысл;

C_1 — элемент себестоимости, не зависящий от величины A ;

C_2 — то же, прямо пропорциональный величине A ;

C_3 — то же, обратно пропорциональный величине A ;

A — производственная мощность шахты.

Анализируя свойства функций (1), академик Л. Д. Шевяков дает важный вывод о существовании для этой функции экстремального значения аргумента A_0 , при котором себестоимость угля будет минимальной. При этом оптимальное значение мощности должно выражаться не конкретным числом, а некоторым интервалом „от—до“, в котором два значения мощности шахты дают значения себестоимости, отличающиеся между собою в пределах точности расчетов.

Если функцию (1) интерпретировать графиком, то оптимальная зона величины A по Судоплатову будет выглядеть как показано на рис. 1 и исчисляться формулами

$$A_n = (1 + \Delta) A_0 + \sqrt{(2 + \Delta)\Delta} \cdot A_0; \quad (2)$$

$$A_a = (1 + \Delta) A_0 - \sqrt{(2 + \Delta)\Delta} \cdot A_0, \quad (3)$$

где Δ — принятая точность расчета величины a , в долях единицы.

Если принять $\Delta = 0,09$ (т. е. 9%), то зона оптимальных значений величины A будет ограничена слева $A_a = 0,65 A_0$ и справа $A_n = 1,52 A_0$. Колебание этих крайних значений составит $A_n : A_a = 1,56 : 0,64 = 2,34$ или 234%. Академик Л. Д. Шевяков, проф. А. П. Судоплатов, изучая причины возникновения большого диапазона оптимальной зоны, ограничились только указанием, что диапазон возникает в связи с медленным изменением функции в зоне экстремума. Однако медленное изменение функции и наличие большого диапазона легко объясняются, если обратиться к данным статистики [1] о размерах амортизации основных фондов (таблица 1).

Таблица 1

Отчетный год	Угольная промышленность СССР в %	Рудная промышленность СССР в %	Народное хоз. СССР в %
1932	4,5	5,3	3,5
1939	3,0	7,4	2,1

Поскольку принцип достижения минимальной себестоимости есть наиболее выгодное сочетание [2, 190] амортизационных и эксплуатационных расходов в стоимости продукции, постольку сопряжение доли эксплуатационных расходов в 97% с долей амортизации в 3% и не может дать точного значения оптимальной мощности шахты, обуславливая обширную зону ее значений. В этом состоит недостаточность существующей теории аналитического расчета годовой производительности шахты.

В литературе было высказано [3] мнение академика С. Г. Струмилина об определении производственной мощности предприятия с учетом фактора времени. Этот тезис академика С. Г. Струмилина ввиду сугубой общности не мог быть реализован горными инженерами, хотя по своему глубокому научно-экономическому содержанию является весьма перспективным.

Настоящая статья имеет своей целью изложить новые принципы проектного установления производственной мощности шахты, закладываемой на участке с ограниченными запасами угля.

При анализе деятельности шахт в равных условиях одного и того же угольного месторождения можно установить, что размер накопления может оказаться для двух сопоставляемых типов шахт существенно различными. Очевидно, целесообразно строить такой тип шахты, при котором доля накопления будет наибольшая. Размер накопления зависит от уровней себестоимости и производительности труда. Решающим условием снижения себестоимости продукции является рост производительности труда, для обеспечения которого имеет огромное значение повышение удельного веса работников основного производственного процесса, за счет подсобного, обслуживающего и вспомогательного персонала.

Структура штатов угольных шахт содержит семь групп трудящихся: ИТР, горные мастера, служащие, МОП, ученики, рабочие постоянного со-

става и рабочие переменного состава. Первые шесть групп как бы фиксированы и не зависят или почти не зависят от объема производства. Например, административно-управленческий персонал для шахты мощностью 240 тыс. *m* в год составляет 38 человек; для шахты мощностью 450 тыс. *m* — только 44 человека. Мощность шахты возросла почти на 200%, а штаты конторы увеличились на 15%.

Следовательно, проектировщики должны увеличивать производственную мощность шахты — новостройки. Однако, чрезмерное увеличение мощности шахты повлечет нерациональный характер производимых капитальных вложений в шахтное строительство, представляющих затраты прошлых лет. Борьба за повышение производительности труда требует не только экономии рабочего времени, материалов, максимального использования орудий труда, повышения качества продукции; эта повседневная борьба за производительность живого труда не может заслонить и другую важную цель — эффективное использование и бережливое отношение к основным фондам предприятия, созданного трудом прошлых лет.

Крупная шахта сравнительно с малой шахтой имеет экономию на вспомогательных и подсобных службах; она более оснащена техникой и потому имеет большую производительность труда по шахте. Следовательно, она дает возрастание накопления.

Но большие основные фонды крупной шахты при фиксированных запасах горного отвода завязывают в производстве на многие годы большие ресурсы овеществленного труда и лишают народное хозяйство мобильности в нужный момент для внедрения новой, а затем новейшей техники. На крупной шахте при фиксированных запасах полезного ископаемого основные фонды погашаются в более короткий срок, обуславливая значительную долю амортизации, которая может существенно повысить уровень себестоимости продукции, вызывая этим нерентабельную работу предприятия, а следовательно, снижение накопления. Кроме того, возникает нежелательное явление ликвидации одной шахты после выемки всех запасов ее поля и строительство другой шахты на новом участке, хотя горные выработки, здания и сооружения ликвидируемой шахты попрежнему пригодны для выполнения своих функций. Как правило, такая ликвидация нерациональна, ибо рабочее состояние основных фондов всякой шахты по техническим условиям производства сохраняется весь срок ее службы. Это достигается посредством систематического капитального ремонта, осуществляемого за счет определенной доли амортизационного отчисления.

Ликвидация крупной шахты ввиду отработки всех запасов ее горного отвода представляет нежелательное явление еще и потому, что срок ее службы может быть таким, за который ее основные фонды технически не устареют.

Изложенные соображения неуклонно ведут к убеждению строить более дешевые шахты, т. е. меньшей производительности. Однако малая шахта работает с меньшей производительностью трудящихся и повышенной себестоимостью продукции, что вытекает хотя бы из рассмотрения свойств функции шахтной себестоимости $a = C_1 + C_2 A + C_3 : A$.

Очевидно, существует такое значение производственной мощности шахты, закладываемой на участке с фиксированными запасами угля, которое дает выгодное сочетание размера первоначальных капитальных вложений и производительности трудящихся на этой шахте.

Возникает необходимость совместного рассмотрения затрат прошлого овеществленного в основных фондах и текущего живого труда. Отыскание оптимальной мощности шахты по одному принципу достижения минимальной себестоимости продукции еще не обеспечивает в надлежащей мере совместного рассмотрения этих двух сторон производства. Необходи-

дим дополнительный критерий размера производства, позволяющий полнее произвести такой учет. Требуемый совместный учет труда прошлых лет и живого труда достигается исчислением валовых накоплений по предприятию, представляющих нормируемое накопление за вычетом стоимости основных фондов в момент закрытия предприятия.

К строительству желательно назначать такую мощность шахты, при которой выемка фиксированных запасов горного отвода обеспечит максимальные валовые накопления при минимальной себестоимости добычи полезного ископаемого. Если нормируемые накопления за срок службы шахты будут E , стоимость фондов шахты в оценке по конъюнктуре года ликвидации шахты будет K_0 , то валовые накопления представят функцию

$$b = E - K_0. \quad (4)$$

В математическом отношении задача состоит в отыскании такой мощности шахты, которая бы функцию $b = E - K_0$ превращала в максимум. Одновременно та же мощность шахты должна давать минимальное значение себестоимости добычи угля при подстановке в уравнение $a = C_1 + C_2 A + C_3 : A$. Так возникает принцип совместного анализа двух функций: накопления— b и себестоимости— a .

При назначении производственной мощности шахты надо обеспечивать высшие накопления при минимальной себестоимости угля не в один календарный год, а в разрезе всего срока службы шахты.

Изложенные принципы расчетного обоснования проектной производительности шахты можно сформулировать так: запроектированная мощность шахты, удовлетворяя горно-геологическим и директивным требованиям, должна давать наибольшие накопления, за вычетом стоимости утрачиваемых при завершении горных работ в границах ее поля основных фондов, при одновременном обеспечении наименьшей себестоимости продукции и наиболее высокой производительности труда в период деятельности этой шахты.

Этот общий принцип расчленяется на частные требования:

- 1) обеспечение минимальной себестоимости полезного ископаемого;
- 2) достижение такого сочетания размера капитальных вложений с целесообразной структурой штата трудящихся шахты, при котором будет обеспечен максимальный национальный доход и его доля в виде накопления за вычетом стоимости основных фондов в ценах времени закрытия данной шахты;
- 3) соответствие шахты естественным условиям месторождения и директивным установкам партии и правительства в области районирования угледобычи, внедрения новой техники и передового опыта.

Требование о наибольшем накоплении при наименьшей себестоимости продукции вытекает из сущности основного экономического закона социализма; поэтому данное требование подлежит полному удовлетворению при проектировании производственной мощности шахты как главного параметра ее типа.

Поставим и решим задачу отыскания функции валовых накоплений $b = F(A)$, где величина b представляла бы накопления по шахте производственной мощностью A .

Количество отработанных человеко-смен за срок службы шахты выразится формулой:

$$N = 10^6 \cdot \frac{A \Theta}{p_0}, \quad (5)$$

где p_0 — производительность трудящегося по шахте,

Θ — коэффициент, учитывающий систематическое повышение производительности труда,

$$\Theta = \frac{1 + \mu}{\mu} \left[1 - \frac{1}{(1 + \mu)^t} \right], \quad (6)$$

μ — ежегодный процент повышения производительности труда в угольной промышленности, принимаемый для срока службы шахты в среднем значении; величину μ выражаем сотыми долями единицы.

Формулы (5) и (6) являются следствием следующих рассуждений.

Количество отработанных человеко-лет:

$$\begin{aligned} & \text{в 1-м году} \dots\dots 10^6 A : p_0 \\ & \text{во 2-м году} \dots\dots 10^6 A : p_0 (1 + \mu) \\ & \text{в 3-м году} \dots\dots 10^6 A : p_0 (1 + \mu)^2 \\ & \dots\dots\dots \\ & \text{в } t \text{ году} \dots\dots 10^6 A : p_0 (1 + \mu)^{t-1} \\ & \text{за весь срок } t \text{ лет} \dots\dots N \end{aligned}$$

$$N = 10^6 \frac{A}{p_0} \left[1 + \left(\frac{1}{1 + \mu} \right) + \left(\frac{1}{1 + \mu} \right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{1 + \mu} \right)^{t-1} \right] = 10^6 \cdot \frac{A \Theta}{p_0} \text{ чел. см. (7)}$$

Сумму геометрической прогрессии в квадратных скобках выражения (7) обозначим через Θ . Фонд заработной платы трудящихся шахты за срок составит TN или $10^6 AT \Theta : p_0$, где T — средний заработок в день.

Найдем накопления E , создаваемые трудящимися по норме $m\%$. Если шахта за срок t дает национальный доход U , а доля личного потребления в этом доходе $\frac{100 - m}{100} \cdot U$, то накопления будут $E = \frac{m}{100} \cdot U$. Тогда имеем

$$\begin{aligned} E + 10^6 AT \Theta : p_0 &= U, \\ \frac{100 - m}{100} \cdot U &= 10^6 AT \Theta : p_0. \end{aligned} \quad (8)$$

Решая совместно уравнения (8), находим

$$E = 10^6 \frac{m}{100 - m} \cdot \frac{AT}{p_0} \cdot \Theta \text{ руб.} \quad (9)$$

Сомножитель $AT : p_0$, участвующий в формуле (9), представляет собой годовой фонд заработной платы трудящимся шахты по уровню базисного года, т. е. года начала работы шахты.

Горная статистика в угольной промышленности, организованная на научных основаниях, может и должна служить цели выявления функциональной связи годового фонда заработной платы по шахте с годовой производительностью этой шахты.

Применительно к Кузбассу эти данные статистики 1948—1953 годов по 88 шахтогодам, будучи обработанные по способу наименьших квадратов, могут быть интерпретированы в аналитическом виде такой формулой

$$AT : p_0 = 700 \log (1 + 0.1 A) \pm \rho, \quad (10)$$

где A — в млн. t , ρ — среднеквадратичная ошибка 0,5 млн. руб.

Формула (10) дает отклонения от конкретных статистических данных, как нами установлено в пределах не более $\pm 5\%$ для шахт мощностью 0,3 млн. $t/\text{год}$ и для шахт мощностью 1,5 млн. $t/\text{год}$ — 1%; это позволяет принять ее для последующих расчетов.

Выражение (4) содержит стоимость основных фондов шахты в момент закрытия предприятия K_0 , которые состоят в зависимости от размера первоначальной стоимости их, т. е. суммы генеральной сметы K , и срока службы шахты t . Найдем функцию $K = \psi(A)$.

Как известно [5, 89], в общем виде

$$K = E_1 + E_2 A + E_3 \sqrt{A}. \quad (11)$$

Если для трех конкретных шахт, по которым известны величины K и A , написать выражение (11), то при совместном их рассмотрении они представят систему трех уравнений с тремя пока неизвестными коэффициентами E_i .

По данным производственной статистики Кузбасса, с учетом проектных данных, в ходе настоящего исследования были составлены 30 таких уравнений с тремя неизвестными. В результате решения их по способу наименьших квадратов получаем в окончательном виде формулу (12).

$$K = 91 A + 22\sqrt{A}, \text{ млн. руб.} \quad (12)$$

Далее обозначим сумму стоимости жилищного строительства шахты через φK , а стоимость машин, аппаратов и механических устройств через βK , где φ, β — доли данных видов затрат [6] от суммы генеральной сметы. Эти два вида затрат необходимо рассматривать отдельно, ибо жилищный фонд и механическое оборудование реализуются в народном хозяйстве после ликвидации шахты по новой, так называемой восстановительной стоимости по ценам года ликвидации шахты.

Как известно, некоторая часть амортизационных начислений систематически поступает в промышленный банк. Тогда за срок службы шахты t в банк поступит, т. е. будет восстановлена сумма первоначальных капитальных вложений, равная

$$w K t, \quad (13)$$

где w — годовой процент (в сотых долях единицы), вносимый в промышленный банк в общенародных целях пока простого воспроизводства средств производства.

Кроме того, что очень важно, после ликвидации шахты при реализации жилищного фонда, машин и оборудования, металлолома окажется восстановленной некоторая часть первоначальных вложений. Эта часть может быть вычислена по формулам (14) и (15), чем и будет достигнут учет фактора жилищного строительства при решении поставленной задачи. Пренебрежение в предшествующих исследованиях к фактору жилищного строительства, занимающему 44% от суммы генеральной сметы шахты, является существенным упущением.

Восстановительная стоимость жилищного фонда будет

$$\frac{\varphi K}{(1 + \delta)^t}, \quad (14)$$

где δ — среднегодовое повышение производительности труда в строительной промышленности (сотые доли единицы) относительно предыдущего года.

Формула (14) рекомендована акад. С. Г. Струмилиным [3] для определения новой стоимости основных фондов, созданных в прошлом и подлежащих переоценке через t лет. Аналогично этому восстановительная стоимость машин и оборудования будет

$$\frac{0,9 \cdot \beta \cdot K}{(1 + \delta)^t}, \quad (15)$$

где 0,9 — коэффициент, учитывающий расходы на демонтаж.

Стоимостью металлолома ввиду малого ее значения пренебрегаем.

Таким образом, общая сумма возврата после ликвидации шахты будет

$$D = w K t + \frac{K(\varphi + 0,9\beta)}{(1 + \delta)^t}. \quad (16)$$

Разность выражений (12) и (16) представит искомый остаток $K_0 = K - D$ стоимости основных фондов, ничем не восстановленный за период службы шахты и подлежащий вычету из накоплений E , создаваемых живым трудом.

Разность $E - K_0 = b$ будет уже накоплением в чистом виде, относительный размер которого вполне характеризует сравнительную целесообразность вариантов годовой производительности шахты.

На основании формул (9), (10), (16) пишем в млн. рублей:

$$b = E - K_0 = \frac{m}{100 - m} 700 \log (1 + 0,1A) \Theta - K + w K t + \frac{K(\varphi + 0,9\beta)}{(1 + \delta)^t}.$$

$$b = 700 \cdot \frac{m}{100 - m} \log (1 + 0,1A) \Theta - K \left[1 - w t - \frac{\varphi + 0,9\beta}{(1 + \delta)^t} \right]. \quad (17)$$

Вводим обозначение

$$1 - w t - \frac{\varphi + 0,9\beta}{(1 + \delta)^t} = W. \quad (18)$$

Тогда в окончательном виде для $m = 25\%$

$$b = F(A) = 233 \log (1 + 0,1A) \Theta - (91A + 22\sqrt{A})W. \quad (19)$$

Для дальнейшего анализа функции (19) применим метод вариантов, комбинированный с аналитическим методом.

Задаваясь вариантными значениями мощности шахты и располагая промышленными запасами участка, найдем соответствующие им сроки службы шахты t_i . Для вариантных значений t_i по формулам (6) и (18) находим величины Θ_i и W_i .

Система зависимых величин: $A_1, \Theta_1, W_1; A_2, \Theta_2, W_2; A_3, \Theta_3, W_3$ позволяет по формуле (19) найти соответствующие им величины b_1, b_2 и b_3 .

На основании пар значений A_1, b_1, A_2, b_2 и A_3, b_3 строим график (рис. 1) функции $b = F(A)$ и убеждаемся, что она есть ничто иное как парабола вида

$$b = d_1 + d_2 A - d_3 A^2 = F(A), \quad (20)$$

обращенная выпуклостью в сторону оси ординат.

Такая парабола имеет один максимум ординаты b_0 при абсциссе

$$A_{OF} = d_2 : 2 d_3, \quad (21)$$

$$b_0 = d_1 + d_2^2 : 4 d_3. \quad (22)$$

Переменная часть ($d_2^2 : 4 d_3$) величины b_0 может быть допустимо уменьшена до величины $(1 - \Delta) d_2^2 : 4 d_3$, где Δ — точность техно-экономических вычислений. Допущение неточности вычислений обусловит возникновение зоны значений A , в которой все ординаты от b_0 до $(1 - \Delta) b_0$ достаточно приемлемы. На этом основании пишем

$$d_2 A - d_3 A^2 = (1 - \Delta) d_2^2 : 4 d_3. \quad (23)$$

Уравнение (23) преобразуем,

$$A^2 - \frac{d_2}{d_3} A + 0,25 \frac{d_2^2}{d_3^2} (1 - \Delta) = 0. \quad (24)$$

Корни уравнения (24) представляют (рис. 1) правую и левую абсциссы диапазона:

$$A_n = (1 + \sqrt{\Delta}) A_{OF}; \quad A_* = (1 - \sqrt{\Delta}) A_{OF}. \quad (25)$$

Принимая $\Delta = 0,09$, получим $A_n = 1,3 A_{OF}$, $A_n = 0,7 A_{OF}$, что дает колебание оптимальных значений в $1,30 : 0,70 = 1,86$ или 186%.

Сообразуясь со смыслом графика функций $f(A)$ и $F(A)$ на рис. 1 и следуя намерению одновременного удовлетворения двух принципов (a —минимум, b —максимум), логично назначить к строительству такое типовое значение производственной мощности шахты A_T по приказу Министерства угольной промышленности № 270 от 31 мая 1952 года, которое удовлетворяет условию $A_{OF} \cong A_T \cong A_{of}$.

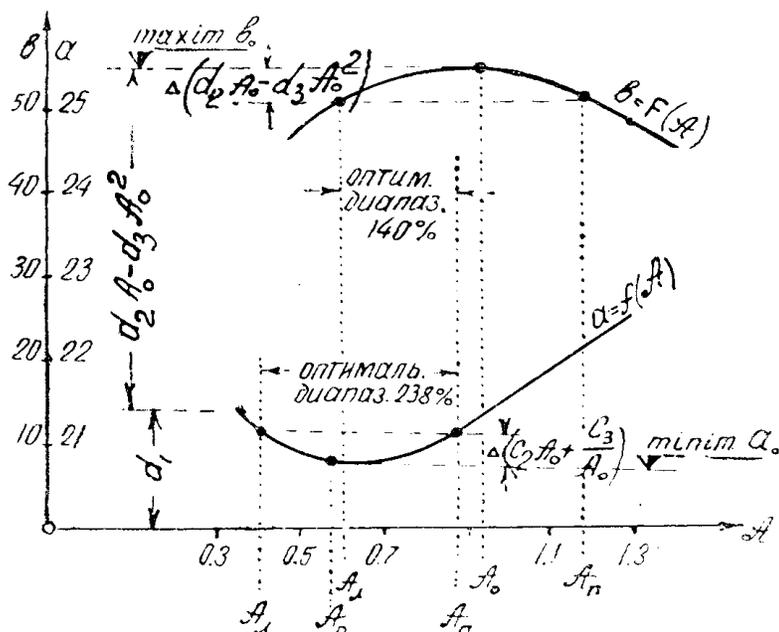


Рис. 1. Графики функций себестоимости добычи 1 т угля и валовых накоплений шахты.

Оказывается, что такое условие без труда позволяет отыскать одно типовое значение A_T . Наряду с этим, значение A_T должно также удовлетворять и другим требованиям:

1) технической осуществимости горных работ с высотой этажа h , полученной на базе формулы $h = A_T : 2 L \sigma c$, где L — подвигание лав, σ — производительность пластов, возможных для одновременной отработки, c — коэффициент извлечения запасов;

2) достаточное соответствие высоты h ее экономически наивыгодному некоторому значению h_0 , устанавливаемому методом вариантов [2, 184]. При выявлении величины h_0 считаются заданными длина поля и мощность шахты A_T ;

3) удовлетворение государственного плана развития угледобычи данного района;

4) назначение мощности шахты сообразно достоверности запасов, структуры месторождения, марки углей и степени трудности проведения капитальных горных работ и строительства на поверхности.

Перечисленные факторы следующим образом влияют на окончательное решение о проектной мощности шахты.

1. Если аналитическое значение A_T удовлетворяет перечисленным выше требованиям, то оно и должно быть принятым к строительству.

2. Если выявлено, что h_0 существенно больше или меньше h , то следует соответственно снизить или повысить проектируемую мощность шахты, приняв смежное типовое значение больше или меньше A_T , однако не выходя из диапазона оптимальных значений, установленного по формулам

2, 3, 25; при этом диапазон может ограничиваться, например, значениями от $A_n = 0,65 A_{OF}$ до $A_n = 1,30 A_{OF}$ или от $A_n = 0,70 A_{OF}$ до $A_n = 1,52 A_{OF}$.

3. Если план угледобычи района высок или запасы углей промышленных категорий составляют не менее 50%, а также при коксующихся углях, следует избирать типовое значение мощности шахты предпочтительно ближе к правой границе диапазона. Наоборот, при слабой благонадежности месторождения, энергетических углях, умеренной глубине месторождения предпочтение следует делать левой стороне диапазона оптимальных значений.

Перечисленных факторов будет вполне достаточно для принятия аргументированного решения о производственной мощности проектируемой шахты.

Изложенным методом найдем годовую производительность шахты для участка размерами: $S = 3400 \text{ м}$, $\vartheta h = 1560 \text{ м}$, $\sigma = 4,2 \text{ т/м}^2$. Залегание пластов пологое, пласты выходят под наносы и вскрываются двумя наклонными стволами. Шахтное поле делим на два крыла. Запасы угля $G = 20 \text{ млн/т}$. Здесь ϑ — число этажей; h — высота этажа.

В целях выявления функции себестоимости добычи тонны угля подвѣргаем учету семь видов производственных затрат.

1. Погашение первоначальных капитальных вложений и капитальный ремонт промышленных основных фондов составит на 1 тонну угля

$$a_1 = \frac{K}{G} \left[1 + 0,018 t - \frac{0,44}{(1 + \delta)^t} \right], \quad (26)$$

где 0,44 — коэффициент учета конъюнктурных утрат по жилищному строительству, возникающих при ликвидации шахты;

0,018 — коэффициент учета капитального ремонта из расчета 3,2% от суммы генеральной сметы по промфактору 0,56 K ;

K — сумма генеральной сметы шахты по формуле (12) = $91 A + 22 \sqrt{A}$ млн. руб.;

δ , t , G — ранее принятые обозначения.

2. Амортизация систематических капитальных вложений, производимых при вскрытии и подготовке новых этажей, составит на 1 т угля

$$a_2 = \frac{k_{ш}}{hc\sigma} + \frac{D + k_c h}{G} \vartheta, \quad (27)$$

где $k_{ш}$, k_c — стоимость проведения 1 пог. м штрека и всех стволов;

D — стоимость проведения и оборудования околоствольного двора на каждом горизонте;

h, ϑ — ранее принятые обозначения; σ — запасы угля, извлекаемые с 1 м^2 почвы пласта; c — коэффициент их извлечения.

3. Элемент себестоимости по фактору штата трудящихся поверхности, как известно, состоит в существенных связях с годовой производительностью шахты. Поэтому данный расход подлежит учету при выявлении функции $a = f(A)$.

В общем случае трудящиеся шахты разделяются на три категории. Первую категорию составляют рабочие очистных работ; их производительность труда от размеров производства не зависит¹. Вторую категорию составляют вспомогательные подземные рабочие; их количество и производительность труда зависимо от профессии по-разному влияют на формирование себестоимости добычи угля. Одна часть штата вспомогательных подземных рабочих пропорциональна размеру добытого угля, и ею можно пренебречь при формировании и исследовании на минимум функции себестоимости. Однако другая часть рабочих, обслуживающая поддержание выработок, транспорт и шахтный подъем, должна и может быть

¹) При одинаковой механизации очистных работ (ред.).

учтена в решаемой задаче путем калькуляции расходов на эти виды производственных затрат. Такой учет достигается последующими формулами (29—31).

Только последняя, третья, категория трудящихся шахты—рабочие на поверхности, служащие и МОП подлежат учету как отдельная статья расхода. Заработная плата трудящихся поверхности шахты на 1 *m* угля будет

$$a_3 = \frac{T_n}{P_n}, \quad (28)$$

где T_n —средняя дневная заработная плата трудящемуся поверхности шахты, выбираемая из графы 17, раздела 1 табельной формы отчета № 17 ш, утвержденной ЦСУ СССР от 15 июля 1953 г., группы шахт или угольного треста;

P_n —сменная производительность трудящегося поверхности шахты, избираемая по таблице 2 для вариантного значения суточной производительности шахты.

Статистические данные табл. 2 по Донбассу заимствованы из работы И. Е. Атлас [7, 34]; показатели аналитического расчета заимствованы из литературного источника [8, 372].

Таблица 2

Суточная производ. шахты	Сменная производ. рабочих поверхности		Сменная производ. трудящихся, <i>m см</i> поверхности			
	по Донбассу 1-51 г. (отчет. данные)	по Кузбассу 1953 г. (отчет. данные)	по Донбассу 1951 г.	по Кузбассу 1953 г.	аналит. расчет 1932 г.	следует принимать <i>m см</i>
500	3,8	—	2,9	—	—	3,0
700	4,1	—	3,1	—	—	3,2
1000	4,5	—	3,4	—	—	3,4
1500	5,1	—	3,8	—	4,3	4,0
2000	—	7,7	—	5,8	—	5,8
3000	11,0	11,4	8,2	8,6	6,0	8,5
4000—	—	—	—	—	—	—
5000	—	12,0	—	9,0	—	9,0
6000	—	12,5	—	9,4	8,0	9,5

Коэффициент перехода от производительности рабочих поверхности к производительности трудящихся поверхности в 1953 году составил по шахте им. Вахрушева (Кузбасс)—0,67; шахте Тайбинская—0,77; шахте № 3 Киселевского района Кузбасса—0,79; шахте № 5—0,77 и шахте Суртаиха того же района—0,67. В среднем по этим малым и крупным шахтам данный коэффициент равен 0,75, что и принято в таблице 2.

4. Стоимость транспортирования по штрекам и их поддержание на 1 *m* угля составит

$$a_4 = 0,25 q_{ш} S + \frac{r_{ш} S t}{G}, \quad (29)$$

где $q_{ш}$ —удельная стоимость транспортирования за тонно-метр; S —длина шахтного поля; $r_{ш}$ —стоимость поддержания штрека в рублях за 1 *пог. м* в год; G —промышленные запасы шахтного поля; t —срок службы шахты.

5. Ввиду наличия „встречного“ движения угля—на выемочном участке вниз по падению, а по шахтному стволу вверх на восстание—будут иметь место издержки производства на „перепробег“ угля в следующем размере на 1 *m*

$$a_5 = 0,5 (q_y + q_c) h, \quad (30)$$

где q_y — стоимость доставки на участке по линии падения пластов в руб-лях на 1 тонно-метр; q_c — то же по шахтному стволу.

6. Наименьшие затраты по водоотливу имели бы место в случае подъема воды непосредственно с каждого погонного метра глубины залегания. Фактически вода сосредоточивается на откаточном горизонте, что вызывает расход на „переподъем“ воды в сумме на 1 m угля

$$a_6 = 0,5 k_B q_B h, \quad (31)$$

где k_B — коэффициент водообильности; q_B — стоимость подъема на 1 пог. м высоты 1 m^3 воды.

7. Стоимость энергии на движение воздуха по штрекам и стволам при проветривании шахты составит на 1 m угля [2, 210]

$$a_7 = \left[C_w \left(\frac{Q}{2} \right)^3 S + C_c h Q^3 \vartheta \right] : A, \quad (32)$$

где Q — количество воздуха, подаваемого в шахту, в $m^3/сек.$;
 C_w, C_c — буквенные обозначения по акад. Л. Д. Шевякову [2, 210].

Себестоимость добычи угля по названным семи видам затрат будет

$$a = f(A) = \sum_1^7 a_i. \quad (33)$$

Функцию себестоимости получим в явном виде, сочетая метод вариантов с аналитическим методом. Исходные параметры для расчета согласно принятым обозначениям сводим в таблицу 3.

Кроме того, для всех вариантов принимаем $L = 300 m/год$, $\varepsilon c = 3,78 m/m^2$, $T_n = 24 руб/см.$, $\delta = 0,04$, $\mu = 0,06$, $\gamma = 0,1 руб/квтч.$, единичную расценку проведения штрека $120 руб/m^3$, ствольного двора $150 руб/m^3$ и ствола $250 руб/m^3$; $\varphi = 0,44$, $\beta = 0,14$. Кубатуру ствольного двора и его камер находим по формуле А. С. Попова [2, 93] $5\sqrt{A} + 0,002 A$.

На основе данных таблицы 3 по формулам (27—32) вычислим элементы себестоимости, как показано в таблице 4.

На основе пар значений величин A , a , выбираемых из таблицы 4, находим способом наименьших квадратов функцию (34), которая выразит в алгебраическом виде результаты вариантных расчетов

$$a = 14,7 + 5,1 A + 1,74 : A. \quad (34)$$

Точность такой алгебраической интерпретации данных таблицы 4 будет характеризоваться абсолютной погрешностью $\rho = \sqrt{[\varepsilon\varepsilon] : n(n-3)} = \sqrt{1,11 : 28} = \pm 0,17 руб/m$, что составляет относительную ошибку менее 1%. Квадраты отклонений $[\varepsilon\varepsilon]$ функции (34) представлены в таблице 5.

Таким образом, в целях достижения первого требования минимальной себестоимости можно принимать в проекте мощность шахты в диапазоне от $0,65\sqrt{1,74 : 5,1} = 0,37$ до $1,52\sqrt{1,74 : 5,1} = 0,88$ млн. $m/г$. В этом диапазоне лежат три типовые мощности шахты $A_T = 0,45 ; 0,6 ; 0,9$, которые дают равную или почти равную себестоимость добычи угля.

Далее найдем систему зависимых величин $A_1, \Theta_1, W_1, A_2, \Theta_2, W_2$, как это показано в таблице 6, на основе которых по формуле (19) вычислим соответствующие им значения величин b_1, b_2, b_i ; расчеты выполняем по формуляру таблицы 6. Используя пары значений величин A, b , вытекаю-

Таблица 3

Технические и стоимостные параметры в зависимости от вариантного значения мощности шахты

A	Q (м³/сек)	Размер выработок						k _ш (руб./пог. м)	k _с (руб./пог. м)	r _ш (руб./пог. м) год	q _ш (руб. т-м)	q _с (руб. т-м)
		штрек			стволы							
		s (м²)	P _ш (м)	C _ш	Σs _с (м²)	P _с (м)	C _с					
0,3	47	5	8,5	0,0014	7	10	0,0009	1080	3000	120	0,006	0,011
0,5	80	6	9,3	0,0009	8	11	0,0006	1320	3500	150	0,005	0,009
0,7	11	7	10	0,0006	9	12	0,0004	1440	4500	170	0,0045	0,008
0,9	143	9	11,4	0,0004	12	14	0,0003	1680	6000	200	0,004	0,007
1,1	175	11	12,4	0,0003	15	21	0,0002	1920	7500	260	0,0035	0,007
1,3	206	13	13,5	0,0002	17	22	0,0001	2160	8500	300	0,0035	0,006
1,5	240	15	14,7	0,0001	20	23	0,0001	2400	10000	360	0,003	0,005

Таблица 4

Калькуляция себестоимости добычи угля для вариантов мощности шахты

A (млн. т)	t (лет)	h (м)	φ	D (млн. руб.)	K (млн. руб.)	По формуле 26			По формуле 27			По формуле 29			a ₅	u ₆	По формуле 32			7 Σb _i = 1 b	
						(1+φ) ^t	K G	a ₁	φ G	D + hk _с	a ₂	q _ш S 4	r _ш St G	a ₄			C _ш SQ³ 8A	C _с hφQ³ A	a ₇		
0,3	67,0	132	12	0,5	39,0	13,8	2,0	4,2	0,60	0,90	2,54	7,0	5,10	1,37	6,47	0,97	0,20	0,21	0,62	0,83	22,30
0,5	40,0	220	7	0,7	61,0	4,8	3,0	4,9	0,35	1,45	2,10	6,0	4,3	1,02	5,32	1,65	0,33	0,39	0,94	1,33	21,60
0,7	29,0	312	5	0,8	82,0	3,10	4,1	5,9	0,25	2,24	1,78	4,0	3,8	0,85	4,70	2,34	0,47	0,48	1,18	1,66	20,85
0,9	22,0	380	4	1,0	103	2,40	5,2	6,3	0,2	3,26	1,82	2,8	3,5	0,8	4,30	3,0	0,57	0,55	1,37	1,92	20,70
1,1	18,0	520	3	1,1	123	2,00	6,2	6,8	0,15	5,02	1,72	2,8	3,0	0,78	3,78	3,9	0,78	0,61	1,48	2,09	21,90
1,3	15,3	520	3	1,3	143	1,80	7,2	7,4	0,15	5,67	1,95	2,8	3,0	0,79	3,79	3,9	0,78	0,57	1,25	1,81	22,40
1,5	13,3	520	3	1,4	163	1,70	8,2	8,2	0,15	6,57	2,21	2,7	3,0	0,80	3,80	3,9	0,78	0,39	1,43	1,79	23,40

Таблица 5

Подсчет квадратов отклонений для функции (34)

A	a	5,1A	$\frac{1,74}{A}$	a'	$\varepsilon = a - a'$	$\varepsilon \varepsilon$
0,3	22,3	1,53	5,8	22,03	+0,27	0,07
0,5	21,6	2,55	3,5	20,74	+0,85	0,72
0,7	20,85	3,57	2,6	20,85	0	0
0,9	20,7	4,59	1,9	21,19	-0,49	0,25
1,1	21,9	5,61	1,67	21,90	0	0
1,3	22,4	6,63	1,30	22,6	-0,2	0,04
1,5	23,4	7,65	1,22	23,57	-0,17	0,03

[$\varepsilon \varepsilon$] = 1,11

Таблица 6

Расчет величины накопления для вариантов мощности шахт

A	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5
wt	0,603	0,360	0,261	0,198	0,167	0,138	0,120
$(1 + \sigma)^t$	13,8	4,8	3,11	2,37	2,02	1,82	1,68
$\frac{mc + 0,9 m}{(1 + \sigma)^t}$	0,04	0,12	0,18	0,24	0,28	0,30	0,34
W	0,357	0,520	0,560	0,560	0,560	0,560	0,54
K	39	61	82	104	123	143	163
WK	14,0	31,7	46,0	58,2	69,0	80,0	88,0
$(1 + \mu)^t$	49,5	10,30	5,45	3,69	2,86	2,44	2,17
$1 - 1 : (1 + \mu)^t$	0,98	0,903	0,816	0,73	0,65	0,59	0,54
Θ	17	16	14,4	12,87	11,47	10,41	9,51
$(1 + 0,1A)$	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15
$\Theta \log(1 + 0,1A)$	0,2176	0,3392	0,423	0,4824	0,5221	0,5522	0,5766
$233 \Theta \log(1 + 0,1A)$	51	79	100	112	122	129	134
b	37	47,3	54	53,8	53	49	46

Таблица 7

Подсчет квадратов отклонений для функции (35)

A	b	92,5A	50A ²	b'	$\varepsilon = b - b'$	$\varepsilon \varepsilon$
0,3	37	27,5	5,0	36,1	+0,9	0,8
0,5	47	46,2	12,5	47,3	-0,3	0,1
0,7	54	64,7	25	53,4	+0,6	0,4
0,9	53,5	83,2	40,5	56,3	-2,8	7,8
1,1	53	101,7	60,5	54,7	-1,7	2,9
1,3	49	120	84,5	49	+6	0
1,5	46	138,7	112,5	40	0	36

[$\varepsilon \varepsilon$] = 48

щих из расчетов по таблице 6, находим способом наименьших квадратов функции (35), которая выразит в алгебраическом виде результаты вариантных расчетов

$$b = 14 + 92,5A - 50A^2. \quad (35)$$

Замена табличных данных функцией (35) будет содержать среднеквадратичную ошибку $\rho = \sqrt{[\varepsilon\varepsilon] : n(n-3)} = \sqrt{48 : 28} = \mp 1,3$ млн. руб. или относительную ошибку менее 2,5%. Квадраты отклонений $[\varepsilon\varepsilon]$ функции (35) представлены в таблице 7.

Следовательно, в целях достижения второго требования—максимальных накоплений предприятия—можно принять в проекте мощность шахты в диапазоне согласно выражению (25) от $0,7 \frac{92,5}{2,50} = 0,63$ до $1,3 \frac{92,5}{2,50} = 1,17$ млн. т/год. В этом диапазоне лежат также три типовые мощности шахт $A_T = 0,6; 0,9$ и $1,2$ млн. т/г.

Соответственно выдвинутому положению о назначении в проекте типовой мощности шахты, которая бы давала максимальные накопления при минимальной себестоимости, принимаем проектную мощность шахты в решаемом примере в диапазоне $A_{пф} = 0,88$ до $A_{лф} = 0,63$ млн. т/год, что составляет колебание в 140% против 240% по формулам (2,3)

Исходя из принципов индустриальных методов строительства, предусматривающих типизацию предприятий народного хозяйства, в условиях решаемого примера оказывается целесообразным принять мощность шахты в границах установленного диапазона (0,63—0,88) типовую и равную $A_T = 0,6$ млн. т/год со сроком службы $20 : 0,6 + 3 = 35$ лет. Заметим, что правая граница диапазона $A_{пф} = 0,88$ также близко подходит к типовому значению $A_T = 0,9$; однако мощность шахты $0,9$ млн. т/г отклоняем по двум причинам:

а) шахта мощностью $0,9$ млн. т/г. будет иметь срок службы 25 лет, что противоречит передовому опыту строительства угольных шахт в СССР и фактическим производственным данным;

б) шахта мощностью $0,9$ млн. т/год находится за границей диапазона оптимальных производительностей в отношении минимума себестоимости.

Для решаемого примера полученные цифры $A_T = 0,6$ и $t = 35$ в полной мере соответствуют техническим направлениям Министерства угольной промышленности в области шахтного строительства, изложенным в приказе № 270 от 31 ноября 1952 г.

Выводы

Существующий метод расчетного установления мощности проектируемой шахты должен быть развит далее и улучшен введением нового принципа „достижений максимальных накоплений при минимальной себестоимости добычи“.

Предлагаемый метод расчета согласуется с известными положениями:

а) академика Л. Д. Шевякова о наивыгоднейшем сочетании амортизационных и эксплуатационных расходов;

б) академика С. Г. Струмилина об учете фактора времени в проектировании капитальных вложений;

в) проф. П. И. Городецкого [10; 215], определяющего выбор производительности горного предприятия по шести условиям;

г) проф. Я. В. Алешкевича об обеспечении районного государственного плана угледобычи за счет целесообразного в техно-экономическом отношении типа шахты.

Изложенные выше исследования не противоречат предыдущим работам других авторов, а достигают удовлетворения разнообразных требований единым расчетным путем и выводят решение классической задачи о мощности шахты из широкого диапазона равнозначных ответов для конкретных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев К. К вопросу об эффективности капитальных вложений. „Плановое хозяйство“, № 4, 1947.
 2. Шевяков Л. Д. Основы теории проектирования угольных шахт. Углетехиздат, 1950.
 3. Струмилин С. Г. Учет фактора времени в проектировании капитальных вложений. Известия АН СССР (отд. экономики), № 2, 1946.
 4. Отчетный доклад XIX съезду партии о работе ЦК ВКП(б). Г. М. Маленков, Госполитиздат, 1952.
 5. Попов А. С. Техно-экономический анализ в горном искусстве. Гос. науч. техн. горное издательство, 1932.
 6. Кабатянский Х. С. Основные вопросы горной статистики. Углетехиздат, 1953.
 7. Атлас И. Е. Нагрузка лавы и производительность труда рабочих на шахтах в Донбассе. „Уголь“, № 8, 1952.
 8. Основные вопросы горного дела (аналитическое исследование). Научно-технический совет каменноугольной промышленности. Гос. науч.-техн. горное издательство, 1933.
 9. Городецкий П. И. Проектирование горно-рудных предприятий. Металлургиздат, 1949.
-