

**ЛАГОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ ШАХТЫ «КОТИНСКАЯ»
КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА**

Александр А.Ордин¹, Владимир И. Клишин¹, Василий М.Гончаров¹

¹ Институт горного дела Сибирского Отделения Российской Академии наук,
630091, Красный пр., 54, Новосибирск, Россия, e-mail: ordin@misd.nsc.ru

Резюме

В статье изложена постановка задачи и приведены основные результаты моделирования оптимальных объемов добычи угля на угольных пластах шахты «Котинская» с помощью разработанных лаговых моделей. В качестве критерия оптимальности поставленной задачи используется максимум чистого дисконтированного дохода от отработки пластов с учетом экономического ущерба от замораживания инвестиций в период строительства шахты. На основе результатов решения задачи приводятся конкретные рекомендации по планированию объемов добычи угля на пластах шахты «Котинская».

Ключевые слова: лаг, моделирование, максимум дисконтированной прибыли, шахта, угольные пласты, объем добычи угля

1.ВВЕДЕНИЕ

Поле шахты «Котинская» расположено в центральной части Соколовского угольного месторождения Ерунаковского района Кузбасса. В границах поля шахты «Котинская» залегает пять пологопадающих пластов со средними значениями мощностей от 1.29 до 4.94 м. Шахта «Котинская» пущена в эксплуатацию в 2004 г. для разработки пласта № 52 со средней мощностью 4,7 м и балансовыми запасами энергетического угля 17,0 млн.т. На шахте применяются высокопроизводительные зарубежные комплексы для очистных и подготовительных работ фирмы JOY (Великобритания) и DBT (Германия). Работа одного комплексно-механизированного очистного забоя обеспечивает добычу угля более 15 тыс.т/сутки (4,5 млн.т/год). На шахте достигнута самая высокая производительность труда в Кузбассе - более 800 т/месяц. В 2013 г. запасы угольного пласта № 52 будут отработаны. Задача заключается в определении оптимальных нагрузок на остальные угольные пласты и очередности их отработки. Для решения этой задачи используется методика ИГД СО РАН [1,2] для оптимизации проектной мощности шахты в лаговой постановке, учитывающей экономический ущерб от замораживания инвестиций в период ее строительства. Эта методика нами модифицирована для оценки оптимальных нагрузок на угольные пласты.

2.ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЛАГОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Существующие методы оценки эффективности инвестиций [3] основаны на анализе чистого дисконтированного дохода (NPV), получаемого предприятием за расчетный период (Т), обычно принимаемый равным 15-20 лет:

$$P = \sum_{t=1}^T \frac{p_t A_t}{(1+E)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{(s_t - c_t^* - k) A_t}{(1+E)^t}, \quad (1)$$

где p_t – удельный чистый дисконтированный доход, получаемый предприятием в t -ом году, определяемый разностью между оптовой ценой (s_t) продукции, себестоимостью (c_t^*) производства без реновационных отчислений и удельными капиталовложениями (k), A_t – объем производства в t -ом году, E – норма дисконта.

Недостатком такой постановки является отсутствие в модели (1) лагового фактора, заключающегося в оценке экономического ущерба от замораживания инвестиций в период строительства предприятия. Лаговый фактор можно учесть подстановкой в формулу (1) нижнего предела суммирования в виде переменной величины $T_c(A)$:

$$P = \sum_{t=T_c(A)+1}^{T_c(A)+T} \frac{p_t A_t}{(1+E)^t}, \quad (2)$$

где $T_c(A)$ – строительный лаг, зависящий от объема производства. Введение в функцию NPV (1) строительного лага позволяет сдвинуть во времени и снизить будущие доходы за счет эффекта дисконтирования. Нашими исследованиями [1,2] доказано, что учет в модели лагового фактора оказывает существенное влияние не только на значение чистого дисконтированного дохода, но и непосредственно на объем производства. Представим функцию (2) в виде суммы геометрической прогрессии:

$$P(A) = \sum_{t=T_c(A)+1}^{T_c(A)+T} \frac{p_t A_t}{(1+E)^t} = \frac{pA}{E} \left((1+E)^{-T_c(A)} - (1+E)^{-(T_c(A)+T)} \right) = \frac{pA}{E(1+E)^{T_c(A)}} \left(1 - (1+E)^{-T} \right), \quad (3)$$

Легко заметить, что при использовании линейного строительного лага типа ($T_c(A) = T_0 + \tau A$) эта функция приводится к стандартной показательной зависимости вида [4]: $y = ax / b^{c+dx}$, имеющей максимум относительно аргумента в точке: $x = 1/(d \ln(b))$ и точку перегиба кривой: $x = 2/(d \ln(b))$. Применительно к нашей задаче, оптимальный объем производства продукции, при котором зависимость (2) достигает максимума, определяется по формуле:

$$A_o = \frac{1}{\tau \ln(1+E)} \quad (4)$$

Кроме того, спецификой оценки NPV для горнодобывающих предприятий является ограниченность их эксплуатации вследствие истощения запасов полезных ископаемых. Поэтому при оценке экономической эффективности горнодобывающих предприятий следует использовать переменный период расчета, учитывающий ограниченный срок службы шахты. Таким образом, для оценки чистого дисконтированного дохода горнодобывающих предприятий с учетом ограниченного срока их службы и экономического ущерба от замораживания инвестиций в период строительства следует в формуле (1) использовать переменные нижний и верхний пределы суммирования:

$$P(A) = \sum_{t=T_c(A)+1}^{T_c(A)+Q/A} \frac{p_t A_t}{(1+E)^t} = \frac{pA}{E} \left((1+E)^{-T_c(A)} - (1+E)^{-(T_c(A)+\frac{Q}{A})} \right) \rightarrow \max, \quad (5)$$

где Q- балансовые запасы угля на горизонте или панели шахты.

Аналитического решения задачи (5) не существует. Численное решение этой задачи, приведенное в [1,2] показывает, что введение в модель NPV переменного срока службы шахты, связанного с истощением запасов полезных ископаемых, существенно снижает ее оптимальную мощность по сравнению с решением этой же задачи с постоянным периодом расчета (рис.1). При этом зависимость оптимальной проектной мощности шахты от запасов угля является нелинейной, асимптотической, заключающейся в том, что при бесконечно больших запасах угля в шахтном поле проектная мощность шахты имеет конечное, предельно-оптимальное значение (рис.2). В этом заключается существенное отличие от известной формулы Тейлора [5,6], в соответствии с которой при бесконечно больших запасах угля в шахтном поле срок службы равен бесконечности, а проектная мощность шахты является неопределенной величиной.

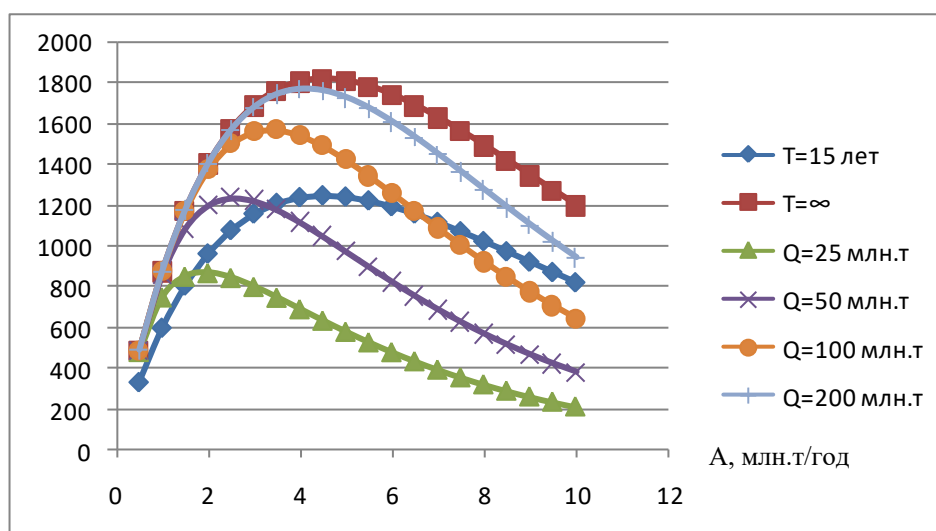


Рис. 1. Зависимости валовой дисконтированной выручки (NPV) от мощности шахты, запасов угля и периода расчета

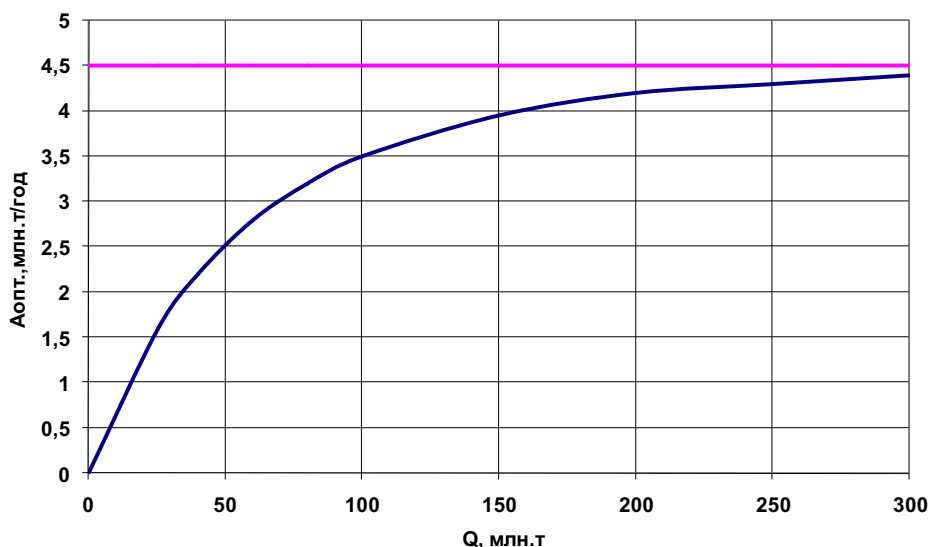


Рис. 2. Нелинейная, асимптотическая зависимость оптимальной проектной мощности шахты от запасов угля в шахтном поле

3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ ШАХТЫ «КОТИНСКАЯ»

Учитывая приведенные зависимости (2-5), в лаговой постановке задачи максимизируем дисконтированную валовую прибыль (P_i), которую получит шахта за период отработки каждого пласта с учетом экономического ущерба от замораживания инвестиций в период вскрытия и подготовки пластов:

$$P_i(A_i) = \sum_{t=T_n(A_i)+1}^{T_n(A_i)+Q_i/A_i} \frac{(s_t(\delta_i) - c_t(A_i))A_t}{(1+E)^t} \rightarrow \max, \quad (i = \overline{1,5}), \quad (6)$$

где $s_t(\delta_i)$ – оптовая цена угля в t -ом году в зависимости от зольности (δ_i) i -го пласта, $c_t(A_i)$ – зависимость себестоимости добычи угля в t -м году от объема добычи угля на i -ом пласте, $T_p(A_i)$ – подготовительный лаг, определяющийся временем вскрытия и подготовки i -го пласта, Q_i – промышленные запасы i -го пласта.

Балансовые запасы, зольность угля и расчетные на базе 2008 г. оптовые цены угля по пластам шахты «Котинская» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Исходная информация по угольным пластам шахты «Котинская»

Номера пластов	53	52	51	50	49
Зольность, %	25,4	13,4	23,7	8,9	15,3
Промышленные запасы угля, млн.т	9,9	38,74	15,55	29,74	21,03
Расчетная отпускная цена угля, руб./т	1202,3	1717,53	1275,3	1910,7	1635,9

С учетом формулы суммы геометрической прогрессии целевую функцию (6) запишем в виде двух зависимостей:

- дисконтированной валовой выручки:

$$P_i(A_i) = \frac{s_i(\delta_i)A_i}{E} \left((1+E)^{-(\tau A_i)} - (1+E)^{-(\tau A_i + \frac{Q_i}{A_i})} \right) \rightarrow \max, (i = \overline{1,5}) \quad (7)$$

- дисконтированной валовой прибыли:

$$P_i(A_i) = \frac{(s_i(\delta_i) - c_i(A_i))A_i}{E} \left((1+E)^{-(\tau A_i)} - (1+E)^{-(\tau A_i + \frac{Q_i}{A_i})} \right) \rightarrow \max (i = \overline{1,5}) \quad (8)$$

Подготовительный лаг в соответствии с рекомендациями [1,2] определяем по линейной зависимости от объемов добычи угля:

$$T_p(A) = \tau A = T_f A / A_p \approx 1.11 A, \quad (9)$$

где $T_f = 5$ лет – фактический срок строительства шахты «Котинская», $A_p = 4.5$ - производственная мощность шахты, достигнутая в 2008 г.

Зависимости себестоимости от объема добычи угля определены статистическим путем с учетом проектных и фактических данных шахты «Котинская» (рис.3). Полученные статистические зависимости обладают высокими коэффициентами аппроксимации, но линейная и экспоненциальная зависимости значительно понижаются с ростом добычи угля, поэтому в дальнейших расчетах выбрана степенная зависимость себестоимости от объемов добычи угля вида:

$$c(A) = 1306 A^{-0.81}, R^2 = 0.933 \quad (10)$$

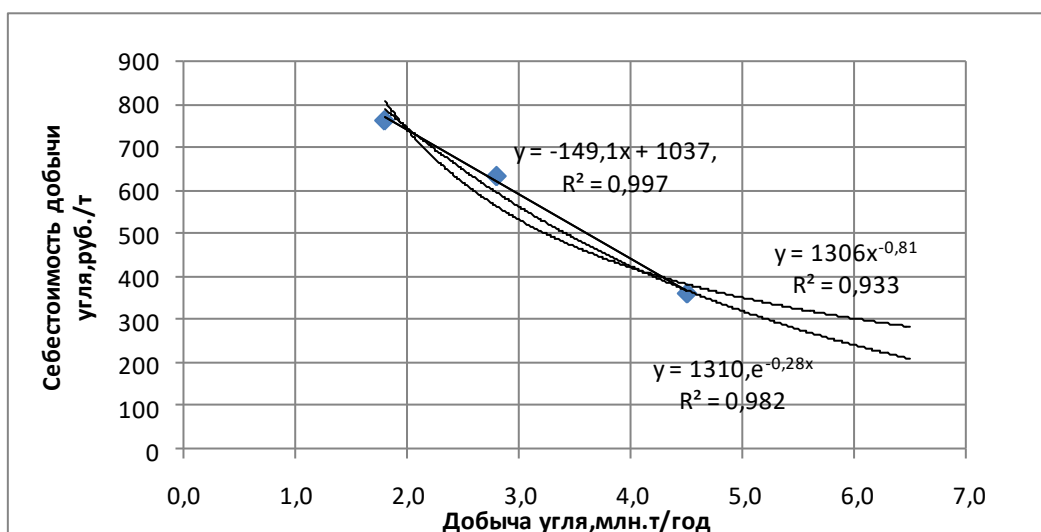


Рис.3. Статистические зависимости себестоимости от объемов добычи угля на шахте «Котинская»

3.ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Графики зависимостей NPV (7,8) от объемов добычи угля по пластам шахты «Котинская» с учетом формул (9,10) показаны на рис.4. Анализ результатов расчета приводит к следующим выводам:

- при переходе от критерия оптимальности валовой дисконтированной выручки шахты (7) к целевой функции валовой дисконтированной прибыли (8) оптимальные объемы добычи угля на пластах увеличиваются, при этом появляется область нерентабельных значений мощности шахты в диапазоне до 1,0 млн.т/год,
- пласт № 52 обладает наибольшей ценностью запасов угля, оптимальный объем добычи угля на нем составляет (4,0÷5,0) млн.т/год, фактически в настоящее время он находится в разработке,
- на втором месте по ценности угля находится пласт № 50 с запасами угля 29,74 млн.т, оптимальный объем добычи угля на нем составляет (3,5÷4,0) млн.т/год,
- далее по ценности запасов угля следует пласт № 49 с запасами 21,03 млн.т и объемом добычи угля (3,0÷4,0) млн.т/год, пласт № 51 с запасами угля 15,55 млн.т и последним в списке очередности разработки находится высокозольный пласт № 53 с запасами 9,9 млн.т,
- в целом, оптимальная производственная мощность шахты «Котинская» по условию максимума валовой дисконтированной прибыли при работе одним комплексно-механизированным очистным забоем находится в диапазоне (4,0÷4,5) млн.т/год.

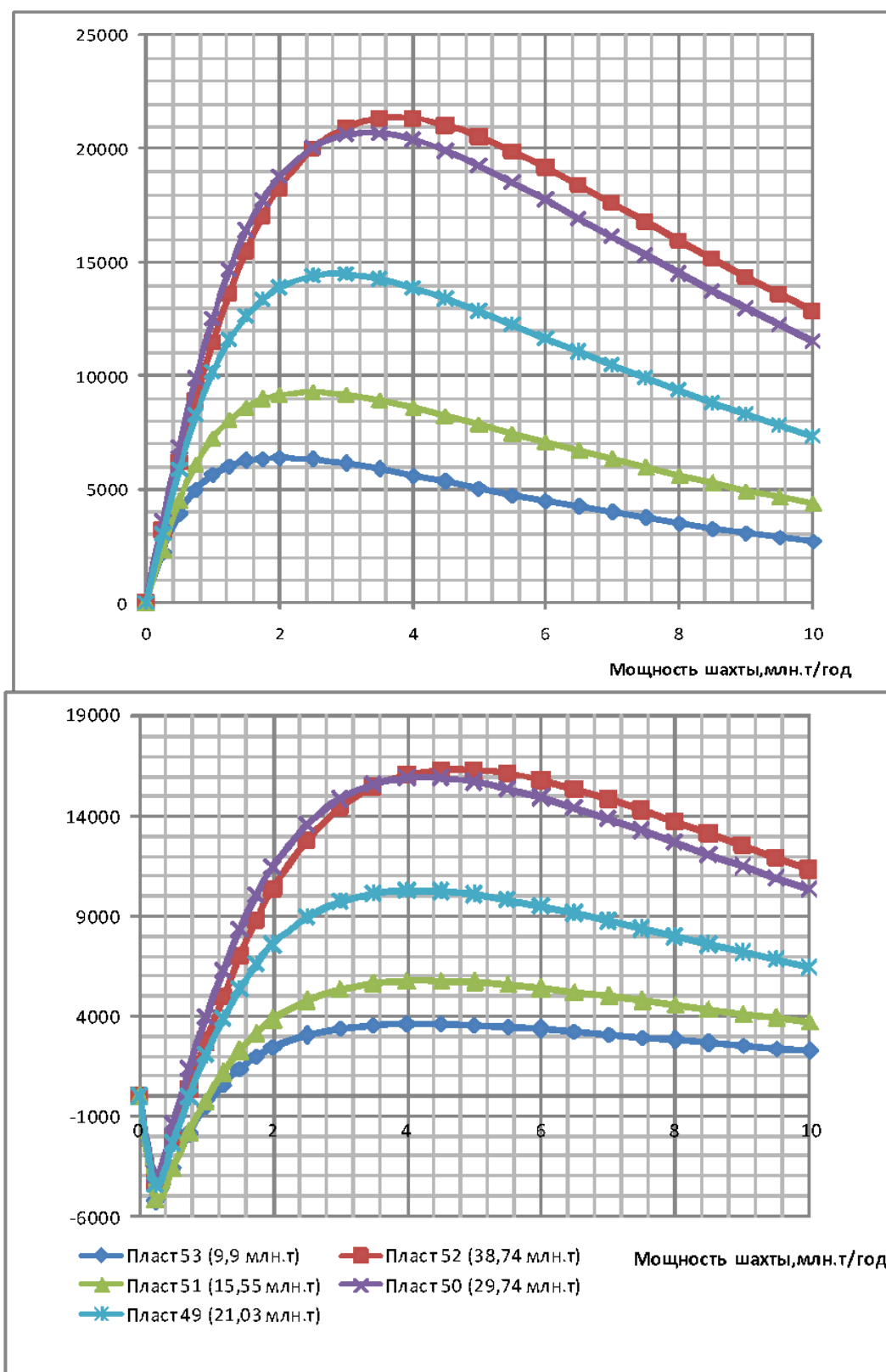


Рис.4. Зависимости дисконтированной валовой выручки (а) и прибыли (б) (млн.руб.) от объемов добычи угля по пластам шахты «Котинская»

ЛИТЕРАТУРА

1. Ордин А.А. Динамические модели оптимизации проектной мощности шахты. Новосибирск, ИГД СО РАН, 1991, 160 с.
2. Ордин А., Клишин В.И. Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей. Новосибирск. СО РАН, 2009. 221 с.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М., Экономика, 2000. 422 с.
4. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М., Наука, 1986. 544 с.
5. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ. Санкт-Петербург, Недра, 2004. 424 с.
6. Капутин Ю.Е. Информационные технологии и экономическая оценка горных проектов. Санкт-Петербург, Недра, 2008. 492 с.