

УДК 622.271.3

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ШАХТЫ “ИНАГЛИНСКАЯ”  
ЮЖНО-ЯКУТСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА**

**А. А. Ордин<sup>1</sup>, А. М. Никольский<sup>1</sup>, А. Ю. Цивка<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: ordin@misd.nsc.ru,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*  
<sup>2</sup>*ООО СП “Эрэл”, просп. Геологов, 55, 678960,  
г. Нерюнгри, Республика Саха (Якутия), Россия*

Приведены краткие сведения о проектируемой шахте “Инаглинская” Южно-Якутского угольного бассейна в пределах горного отвода разреза “Инаглинский” и результаты технико-экономического анализа эффективности ее строительства и эксплуатации. Изложены постановка и результаты решения задачи лагового моделирования и оптимизации проектной мощности шахты.

*Камерно-столбовая система разработки, технико-экономический анализ, лаговое моделирование, оптимизация, проектная мощность, шахта*

Чульмаканское каменноугольное месторождение расположено в восточной части Алдано-Чульманского угленосного района Южно-Якутского каменноугольного бассейна в 20 км севернее пос. Чульман, в 45 км от г. Нерюнгри. В настоящее время для подземной разработки месторождения ведется строительство шахты “Инаглинская”. Выемка пластов угля планируется системой разработки длинными столбами с полным обрушением кровли (ДСО).

В восточной части месторождения оставшиеся запасы разреза “Инаглинский” ООО СП “Эрэл” не пригодны к отработке открытыми горными работами, так как коэффициент вскрышных работ превышает 15. Конечное положение разреза осуществлено с выравниванием его бортов (рис. 1). В связи с этим запасы угля разреза “Инаглинский” в объеме 12.665 млн т планируется отработать подземным способом с горных выработок строящейся шахты “Инаглинская”.

Разрабатываемые запасы имеют неправильную геометрическую форму, что обусловило применение камерно-столбовой системы отработки (КСО) [1]. Система КСО с использованием комбайнов Continuous miner непрерывного действия и самоходных вагонов получила большое распространение на шахтах США, ЮАР и Австралии. В России КСО используется на шахтах “Денисовская” ОАО УК “Нерюнгриуголь” (для доработки запасов в краевых участках и целиках угля), ОАО “Распадская”, им. В. И. Ленина и “Сибиргинская”, ОАО УК “Южный Кузбасс”.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле (ОНЗ-3.2 № 01201363928).



ских условий подготовка шахтного поля по числу обслуживаемых комплексом подготовительных выработок классифицирована как индивидуальная. Учитывая, что уголь разрабатываемых пластов не самовозгорающийся, подготовка шахтного поля предусматривается пластовая.

Особенностью системы КСО является отсутствие выработок по подготовке линии очистного забоя. При нарезке камерных и разрезных штреков, разрезных камер происходит одновременная добыча угля с помощью комбайна. Проведение камерных и разрезных штреков осуществляется в пределах мощности пласта. Выработки крепятся анкерной крепью с металлической сетчатой затяжкой кровли. Подготовка камер заключается в проведении камерных и разрезных штреков, разрезных камер. Отработка выемочных столбов предусматривается обратным ходом, камерно-столбовой геотехнологией.

В ИГД СО РАН для условий шахты “Инаглинская” при подготовке и отработке пластов рассматривались возможности применения различных технологических решений КСО, основными из которых являются [1]:

- панельная и погоризонтная подготовка выемочных столбов;
- отработка запасов в столбе в восходящем и нисходящем порядке;
- проветривание участка по возвратноточной и прямоточной схемам;
- подготовка столба двумя или шестью выработками.

Основные преимущества камерно-столбовой системы разработки:

- совмещение работ по строительству участка подземных работ с добычей угля;
- однотипность применяемого оборудования как для проведения подготовительных выработок, так и для очистных работ (в основной состав комплекта оборудования входят высокопроизводительный проходческо-добычный комбайн, самоходный вагон, оборудование для установки анкеров; помимо этого, могут использоваться дополнительные и вспомогательные механизмы);
- высокая маневренность оборудования, что позволяет эффективно отрабатывать поля любой конфигурации и размеров и осуществлять перегон оборудования из забоя в забой без монтажно-демонтажных работ;
- упрощенная схема вспомогательного транспорта людей, материалов и оборудования;
- высокие технико-экономические показатели при сравнительно низкой стоимости оборудования, капитальные затраты необходимы только на приобретение оборудования и строительство минимального объема капитальных горных выработок.

Эффективность применения КСО подтверждается технико-экономическим анализом строительства и эксплуатации шахты в пределах горного отвода разреза “Инаглинский”, основные результаты которого заключается в следующем.

Для обоснования оптимальной проектной мощности шахты “Инаглинская” системой КСО использована лаговая модель максимизации чистого дисконтированного дохода [2 – 4]:

$$F(A) = \sum_{t=T_c(A)+1}^{T_c(A)+Q/A} \frac{p_t A_t}{(1+E)^t} - \sum_{t=1}^{T_c(A)} \frac{k_t A_t}{(1+E)^t} =$$

$$= \frac{pA}{E} \left( (1+E)^{-T_c(A)} - (1+E)^{-\left(T_c(A)+\frac{Q}{A}\right)} \right) - \frac{kA}{E} \left( 1 - (1+E)^{-T_c(A)} \right) \rightarrow \max,$$

где  $T_c(A)$  — строительный лаг в виде функциональной зависимости от проектной мощности  $A$  шахты;  $Q$  — балансовые запасы угля в шахтном поле, млн т;  $p$  — средняя за срок службы шахты удельная прибыль; руб./т,  $E$  — норма дисконта;  $k$  — удельные капиталовложения в строительство шахты, руб./т.

Результаты решения задачи показаны на рис. 2 в виде зависимости чистого дисконтированного дохода шахты (NPV) от ее проектной мощности. Как видно, использование в лаговой модели валовой или чистой (с учетом налогообложения) прибыли формирует две кривые чистого дисконтированного дохода (NPV1 и NPV2), имеющие точки максимума, которым соответствуют два оптимальных значения проектной мощности шахты 0.5 и 0.4 млн т/год.

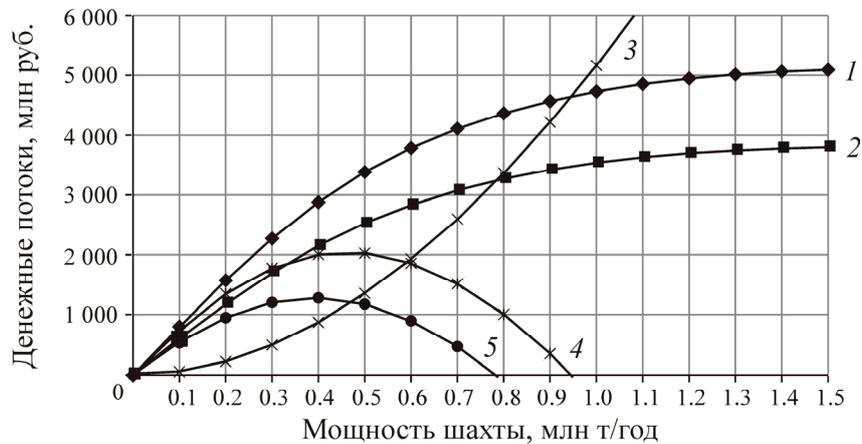


Рис. 2. Зависимости дисконтированной прибыли и чистого дисконтированного дохода от проектной мощности шахты “Инаглинская” системой КСО: 1 — дисконтированная валовая прибыль; 2 — дисконтированная чистая прибыль; 3 — приведенные инвестиции; 4 — NPV1; 5 — NPV2

В таблице приведены результаты технико-экономического анализа эффективности строительства и эксплуатации шахты в пределах горного отвода разреза “Инаглинский” для проектной мощности 500 тыс. т/год. Колебания денежных потоков по годам эксплуатации вызваны неравномерностью отработки запасов угля на пластах Д19, Д15 и Д11 (рис. 3).

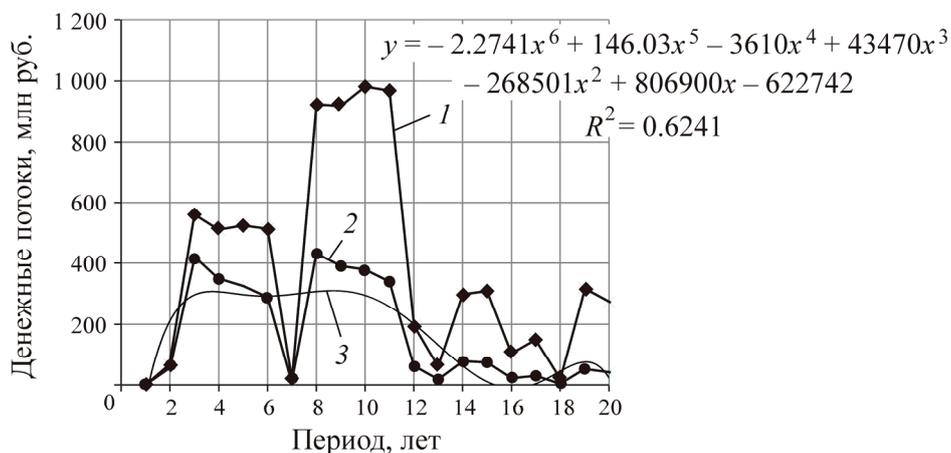


Рис. 3. Неравномерность денежных потоков за период отработки запасов угля на шахте “Инаглинская” системой КСО: 1 — чистая прибыль; 2 — дисконтированная чистая прибыль; 3 — аппроксимирующая кривая

В результате технико-экономического анализа установлены следующие интегральные показатели эффективности работы шахты “Инаглинская” с применением системы разработки КСО: простой и дисконтированный сроки окупаемости составляют соответственно 3.2 и 3.8 лет, чистая приведенная стоимость 2 195.253 млн руб., внутренняя норма рентабельности 47 %, доходность дисконтированных затрат превышает норму в 3.1 раза.

Денежные потоки в период строительства и эксплуатации шахты “Инаглинская” системой КСО, млн руб.

Показатель	Год периода оценки									
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й
Поступления от продаж	0	232.3	1459.2	1376.8	1397.2	1380.1	231.3	1994.7	1983.4	2075.8
Затраты на материалы и комплектующие	0	-12.1	-77.3	-77.3	-77.3	-77.3	-15.9	-77.3	-77.3	-77.3
Прочие переменные затраты	0	-20.8	-141.8	-140.6	-141.7	-141.4	-23.2	-141.3	-141.1	-143.1
Зарплата	0	-24.7	-74.2	-74.2	-74.2	-74.2	-37.1	-74.2	-74.2	-74.2
Общие затраты	0	-21.3	-109.6	-108.5	-109.1	-108.9	-23.0	-117.6	-117.4	-118.9
Налоги	0	-36.7	-277.1	-376.3	-380.9	-375.1	-40.5	-569.8	-564.6	-592.0
<b>Денежные потоки от операционной деятельности</b>	<b>0</b>	<b>116.7</b>	<b>779.2</b>	<b>599.9</b>	<b>614.0</b>	<b>603.3</b>	<b>91.5</b>	<b>1014.6</b>	<b>1008.8</b>	<b>1070.3</b>
Инвестиции в здания и сооружения	-708.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Инвестиции в оборудование и прочие активы	-316.8	0	0	0	0	-162.2	0	0	0	0
Прирост чистого оборотного капитала	0	-1.9	-0.8	30.0	0.3	-0.8	-24.9	47.3	1.1	3.1
<b>Денежные потоки от инвестиционной деятельности</b>	<b>-1025.7</b>	<b>-1.9</b>	<b>-0.8</b>	<b>30.0</b>	<b>0.3</b>	<b>-163.0</b>	<b>-24.9</b>	<b>47.3</b>	<b>1.1</b>	<b>3.1</b>
Чистый денежный поток	-1025.7	114.8	778.5	629.9	614.3	440.3	66.6	1061.9	1009.9	1073.4
Дисконтированный чистый денежный поток	-1025.7	99.8	588.6	414.2	351.2	218.9	28.8	399.2	330.1	305.1
Дисконтированный поток нарастающим итогом	-1025.7	-925.9	-337.3	76.9	428.1	647.0	675.8	1075.0	1405.2	1710.3

Окончание таблицы

Год периода оценки										Итого
11-й	12-й	13-й	14-й	15-й	16-й	17-й	18-й	19-й	20-й	
2055.4	618.8	288.3	814.8	831.9	519.6	591.8	156.8	844.5	775.5	19628.4
-77.3	-27.4	-16.3	-41.3	-41.3	-41.3	-41.3	-11.1	-41.3	-41.3	-949.2
-142.9	-46.0	-24.8	-58.4	-58.4	-56.4	-57.8	-12.0	-58.3	-57.4	-1607.5
-74.2	-74.2	-37.1	-74.2	-74.2	-74.2	-74.2	-21.0	-74.2	-74.2	-1232.6
-118.4	-46.3	-24.4	-56.2	-56.4	-52.6	-53.5	-12.0	-57.3	-56.3	-1367.6
-584.5	-162.8	-75.6	-227.3	-195.9	-133.1	-154.8	-37.7	-234.3	-201.6	-5220.6
<b>1058.1</b>	<b>262.1</b>	<b>110.1</b>	<b>357.5</b>	<b>405.7</b>	<b>161.9</b>	<b>210.2</b>	<b>62.9</b>	<b>379.2</b>	<b>344.8</b>	<b>9250.8</b>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-708.9
-70.2	0	0	-246.6	0	0	0	0	-70.2	0	-865.9
-1.1	-38.0	-7.8	11.9	-7.9	-3.4	2.5	-6.0	15.1	-4.7	13.9
<b>-71.3</b>	<b>-38.0</b>	<b>-7.8</b>	<b>-234.7</b>	<b>-7.9</b>	<b>-3.4</b>	<b>2.5</b>	<b>-6.0</b>	<b>-55.1</b>	<b>-4.7</b>	<b>-1560.9</b>
986.8	224.1	102.2	122.8	397.8	158.5	212.7	57.0	324.0	340.1	7689.9
243.9	48.2	19.1	20.0	56.2	19.5	22.7	5.3	26.2	23.9	2195.3
1954.2	2002.4	2021.5	2041.4	2097.7	2117.1	2139.9	2145.2	2171.4	2195.2	

## ВЫВОДЫ

В результате лагового моделирования и оптимизации проектной мощности шахты “Инаглинская” для отработки части запасов угля системой разработки КСО выяснилось, что переход от валовой прибыли к чистой, т. е. учет в целевой функции налогообложения, снижает оптимальную мощность с 500 до 400 тыс. т/год.

Выполненный технико-экономический анализ показывает высокую эффективность строительства и эксплуатации шахты “Инаглинская” с применением камерно-столбовой системы разработки: срок окупаемости инвестиций составляет 3.2 года, чистая приведенная стоимость 2 195.253 млн руб., внутренняя норма рентабельности 47 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никольский А. М., Ордин А. А., Цивка А. Ю., Неверов А. А., Неверов С. А. Опыт проектных решений при доработке оставшихся запасов разреза “Инаглинский” камерно-столбовой системой разработки // Сб. науч. статей междунар. науч.-практ. конф. “Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов”. — Новокузнецк, 2013.
2. Ордин А. А. Динамические модели оптимизации проектной мощности шахты. — Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1991.
3. Ордин А. А., Клишин В. И. Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей. — Новосибирск: Наука, 2009.
4. Ордин А. А., Никольский А. М., Голубев Ю. Г. Технико-экономический анализ эффективности инвестиций и оптимизация проектной мощности рудника при подземной разработке россыпных алмазоносных залежей песков “Солур” и “Восточная” Республики Саха (Якутия) // ФТПРПИ. — 2012. — № 3.

Поступила в редакцию 28/V 2014