

## ОБ ОЧЕРЕДНОСТИ ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ РАЗВЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ ЗАПАСОВ

**В.И. Нифадьев** – акад. НАН КР, докт. техн. наук, профессор,

**Я.М. Додис** – докт. техн. наук, профессор

Рассмотрена очередность ввода в эксплуатацию разведанных месторождений и их запасов.

*Ключевые слова:* процесс взрыва; рентабельность разработки месторождения; запасы полезного ископаемого.

При наличии в стране, а тем более в одном районе (Таласская область), нескольких месторождений золота различных масштабов и, естественно, ценности, возникает вопрос о порядке и целесообразных сроках их ввода в эксплуатацию.

Интрига развивается на фоне систематического изменения цены за единицу произведенного металлургического продукта. Эти изменения носят колебательный незакономерный характер, но в целом подчинены спросу и предложению на рынке.

Известно, что общественная стоимость одного и того же объема материальных благ снижается пропорционально величине:

$$C_{ОБ} = K(1 + \mu)^t,$$

где  $K$  – некоторая константа, равная первоначальной стоимости;  $\mu$  – рост производительности труда по годам;  $t$  – порядковый номер года, считая от текущего, для которого устанавливается стоимость.

Согласно формуле Хоскольда, прибыль, которую получит горнодобывающее предприятие в пересчете на текущее время, также будет уменьшаться по годам:

$$G_{ОБЩ} = \frac{G_1}{1+r} + \frac{G_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{G_n}{(1+r)^t},$$

где  $r$  – учетная ставка или норма банковского процента.

$$G_{\text{ОБЩ}} = G_r \left[ \frac{(1+r)^t - 1}{r(1+r)^t} \right],$$

где  $G_r$  – размер ежегодной прибыли, распределенной по годам.

Смысл последнего соотношения состоит в том, что чем дальше отодвигается получение прибыли, тем более резко она снижается.

В свое время К.Л. Пожарицкий [1, 2] показал, что учетная ставка (банковский процент), объем годовой прибыли и срок эксплуатации могут существенно изменяться во времени. Следовательно, оценка уровня рентабельности разработки месторождения с учетом фактора времени относительна и должна приниматься во внимание при выборе месторождения первоочередного освоения. Под первоочередным освоением следует понимать оба этапа – этапы разведки и строительства предприятия.

Очередность строительства предприятия определяется, в том числе, величиной приведенных затрат [3]:

$$Z_{\text{ПР}} = Q + \varepsilon \cdot K_{\text{УД}},$$

где  $Q$  – себестоимость 1 т минерального сырья;  $\varepsilon$  – нормативный коэффициент приведения, равный 0,06–0,25;  $K_{\text{УД.к}}$  – удельные капитальные вложения на 1 т концентрата, которые в свою очередь равны:

$$K_{\text{УДК}} = \frac{K_{\text{УДР}} \cdot C_{\text{К}}}{C_{\text{Р}} \cdot K_{\text{И}}},$$

где  $K_{\text{УДР}}$  – удельные капитальные вложения на 1 т руды;  $C_{\text{К}}$  и  $C_{\text{Р}}$  – содержание полезного компонента в концентрате и в товарной руде;  $K_{\text{И}}$  – коэффициент разубоживания.

Низкая величина приведенных затрат при заданных нормативах указывает на кандидата первоочередного освоения.

Затягивание сроков проведения детальной разведки приводит к замораживанию капитала, ранее уже вложенного в разведку, и наносит ощутимый ущерб. Сравнение вариантов разведки по срокам и величине удельных капитальных вложений можно произвести по уровню приведенных удельных затрат в направлении окончания разведки с нормативным коэффициентом  $(1+r)^t$ . Величина приведенных капитальных затрат зависит от общего срока детальной разведки с учетом распределения их по периодам разведки.

Что касается этапа разведки, то замедление вложения капитала в конце разведки приносит наименьший ущерб от замораживания средств.

Приведенная стоимость разведки быстро возрастает по мере увеличения ее сроков, так как разведанные запасы остаются неиспользованными. С другой стороны, большие резервы детально разведанных месторождений (запасов), но не вовлеченных в эксплуатацию, резко снижают экономическую эффективность разведки.

Фактор времени в аспекте освоения месторождений как на стадии разведки, так и эксплуатации позволяет достаточно точно установить масштабы обесценивания запасов. Детально разведанные запасы через 10–15 лет, как правило, доразведываются в связи с изменением сроков освоения. Противоположным вектором, влияющим на порядок освоения, является необходимый запас разведанных залежей. Вместе с тем, большое количество разведанных месторождений, не вовлеченных промышленностью в разработку, расточительно в целом для экономики страны.

Анализ приведенных выше уравнений, свидетельствует о прочной связи технологии добычи и разведки. Критерий удельных капитальных вложений четко указывает, что снижение качества добытой руды за счет разубоживания, как и увеличение расхода руды на 1 т концентрата, их повышают. С другой стороны, первоочередное освоение более богатых залежей снижает удельные затраты.

На пути освоения разведанного детальной разведкой месторождения, как правило, встречаются две основные взаимосвязанные задачи: как правильно распределить во времени стадии развития горного проекта и предстоящее вложение инвестиций в соответствии с этапами освоения.

При решении этих задач необходимо учитывать современные тенденции производства и потребления того или иного конечного продукта горного производства, степени их устойчивости от колебаний, которые происходят на фоне общих закономерностей развития мировой экономики.

Мировая экономика, несмотря на усилия, направленные на ее регулирование, все же развивается скачкообразно в пределах локальных периодов времени. Два, по сути, разнонаправленных вектора развития отражаются на производстве и финансовой системе, в том числе на активах банков, в целом приобретают характер саморегулирования. На стихийное развитие экономики накладывается мощный вектор управления со стороны общества через его демократические возможности или авторитарные институты.

Финансовые институты давно стремятся прогнозировать ход изменения курса валют, систематически изменяющийся во времени, с целью решения многочисленных задач экономики и политики ведущих стран мира.

Для Кыргызстана, относительно небольшой страны и с пока не очень развитой экономикой, имеющиеся ресурсы, к которым можно отнести месторождения золота, некоторых редких металлов и гидроресурсы, очень важно предвидеть характер и темпы изменения курса основных валют. Это непосредственно отражается на изменении во времени стоимости унции золота на Лондонской бирже металлов.

Рассмотрим порядок изменения стоимости унции или 1 г золота на промежутке времени последних 20–25 лет (рис. 1), при этом в первую очередь установим факт наличия или отсутствия тренда. Для этого воспользуемся методами смены знака или количества скачков. Сущность обоих методов состоит в том, что оценивается вероятность реализации гипотезы о существовании или отсутствии тренда по имеющейся статистике [4]. Число точек смены знака в случайных последовательностях зависит только от общего количества элементов  $N$ . Математическое ожидание  $M(\varphi)$  и дисперсия  $\sigma^2(\varphi)$  методами скачков и смены знака вычисляются:

$$M(\varphi) = \frac{2N - 4}{3}, \quad \sigma^2(\varphi) = \frac{16N - 29}{90} \quad \text{— метод скачков,}$$

$$M(\varphi) = \frac{2n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2} + 1,$$

$$\sigma^2(\varphi) = \frac{2n_1 \cdot n_2 (2n_1 \cdot n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2 \cdot (n_1 + n_2 - 1)} \quad \text{— метод смены знака.}$$

Проверка гипотезы основана на сравнении фактического значения числа точек смены знака  $\varphi$ , полученного по графику (рис. 1) с теоретическим его значением  $M(\varphi)$ , при этом критерием служит нормированный показатель:

$$Z = \frac{\varphi - M(\varphi)}{\sqrt{\sigma^2(\varphi)}}.$$

Если он существенно отличается от табличного значения, следовательно, вероятность больших величин критерия  $Z$  будет мала. Это означает, что гипотеза о случайном характере изменения признака отвергается и, значит, исследуемый ряд имеет тренд.

Мы располагаем тремя рядами стоимости унции платины, золота и палладия, по которым определены статистические показатели и вычислен тренд. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Платина		Золото		Палладий	
Метод определения наличия тренда					
смены знака	скачков	смены знака	скачков	смены знака	скачков
Вероятность наличия тренда					
0,723	0,880	0,758	0,881	-	0,980

Применительно к нашему примеру действительно наблюдается закономерное изменение стоимости унции по времени с явной тенденцией роста.

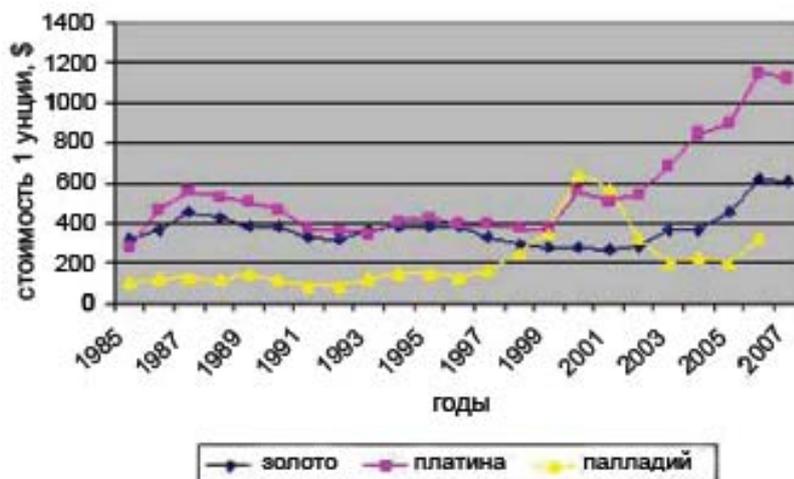


Рис. 1. Изменение стоимости металлов по годам.

Поскольку за интервал времени в рассматриваемом случае принят 1 год, а внутри каждого из них также происходили колебания курса валют, то их можно представить случайными функциями, стационарность которых доказывается существованием соотношений:

$m(t) = const$ ,  $D(t) = const$ ,  $K(t, t+r) = K_t(r)$ , где  $m(t)$  и  $D(t)$  – математическое ожидание и дисперсия;  $K_t(r)$  – корреляционная функция между соседними аргументами, зависящая только от промежутка времени между ними.

Корреляционная функция выражается через корреляционный момент по аргументу  $r$  и характеризует степень связи между значениями случайной функции в соответствующих сечениях, т.е. через интервал времени  $(t+r)$ :

$$K(r) = \frac{1}{T+r} \int_0^{N-r} [f(t) - m(t)] \cdot [f(t+r) - m(t)] dt$$

где  $T$  – длина исследуемого профиля, в данном случае равная 23 годам;  $r$  – расстояние между точками наблюдений такое, что  $t(1+r)-t(1)=r$ ;  $f(t)$  – переменная величина, т.е. стоимость унции металла в ряду, начинающимся со значения  $t$  и заканчивающегося значением  $t_n - r$ ;  $f(t+r)$  – переменная величина со значением стоимости унции в ряду, которая начинается со значения  $t+r$  и до

значения  $t_n$ ;  $m(t)$  – среднее значение переменной величины  $f(t)$  в интервале от 0 до  $T$ .

Другой характеристикой стационарной случайной функции является ее структурная функция, как средние квадраты разности значений стоимости унции в точках, отстоящих друг от друга по времени  $t$  и которая по существу является обратной коэффициенту корреляции (рис. 2):

$$\gamma(t) = \frac{1}{T-r} \int_0^{T-r} [f(t+r) - f(t)]^2 dt \quad \text{или}$$

$$\gamma(t) = 2[K_t(0) - K_t(r)],$$

где  $K_t(0)$  и  $K(r)$  – корреляционные функции в точках  $t=0$  и  $t+r$ .

Расчеты указанных показателей стационарных случайных функций по металлам и времени наблюдений за 23 года приведены в табл. 2.

Известно, что цена унции металлов изменяется в пределах года по месяцам и даже в пределах одного месяца, поэтому имеющиеся данные представляют собой одну реализацию стационарной случайной функции.

В этом случае вычисление ее показателей производится следующим образом [5]. В табл. 2

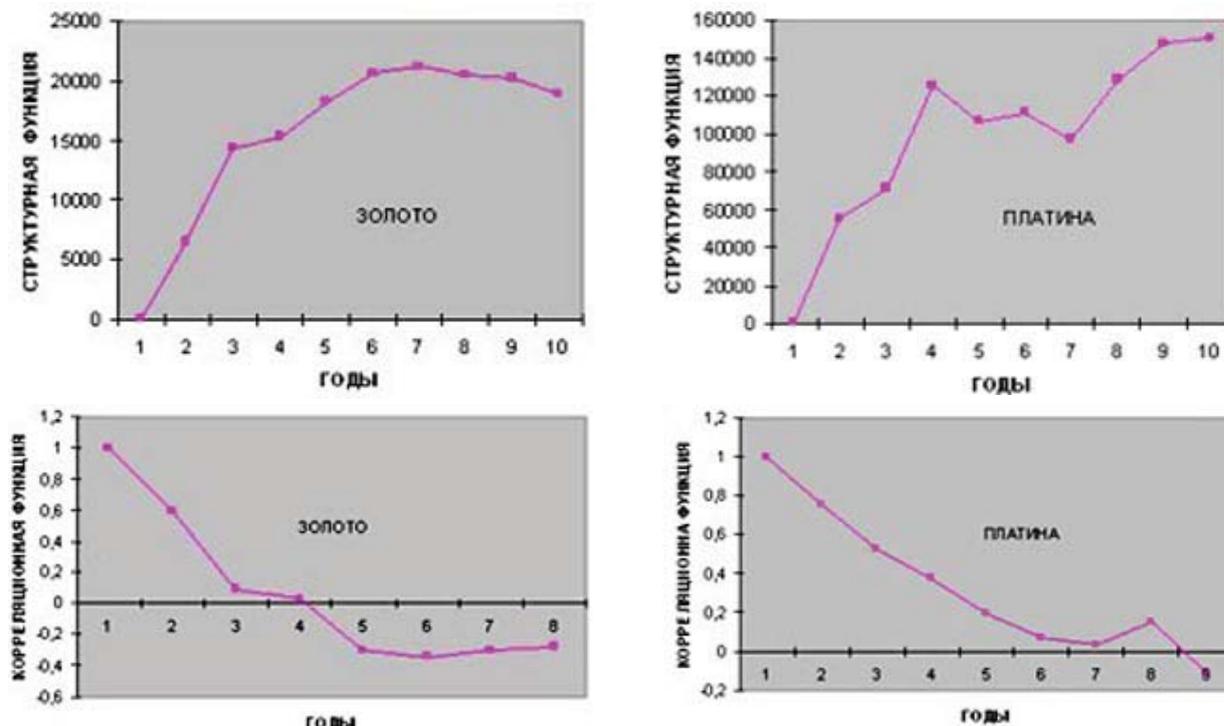


Рис. 2. Структурные и корреляционные функции.

Таблица 2

	Время между сечениями, г, лет							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Платина								
Корр. функц. К(г)	957288	630432	432720	209003	4185	1716	8777	-6909
Коэфф. корр. Ψ(t)	0,758	0,523	0,377	0,192	0,07	0,03	0,15	-0,12
Структ. функц. γ(t)	57390	54348	71518	92740	106418	111358	97236	128608
Матем. ожидан. mс	546,7	546,7	546,7	546,7	546,7	546,7	546,7	546,7
Статист. дисперс. D(t)	54900	54900	54900	54900	54900	54900	54900	54900
Золото								
Корр. функц. К(г)	4647	724	214	-1218	-2334	-2699	-2350	2243
Коэфф. корр. Ψ(t)	0,59	0,09	0,03	-0,15	-0,30	-0,34	-0,30	-0,28
Структ. функц. γ(t)	6486	14332	15352	18216	20648	21171	20492	20266
Матем. ожидан. mс	376,3	376,3	376,3	376,3	376,3	376,3	376,3	376,3
Статист. дисперс. D(t)	7890	7890	7890	7890	7890	7890	7890	7890

для примера приводятся вычисления для платины и золота.

Считая процесс изменения цены унции стационарным, определим (табл. 2):

- математическое ожидание цены на унцию

$$m_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_{(ii)}}{n};$$

- центрируем случайную функцию  $C'_i = C_{ii} - m_c$ ;

- дисперсию  $D_c$  случайной функции  $C_i$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_c$ :

$$D_c = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n C'_{(ii)} \right]^2}{n}; \sigma_c = \sqrt{D_c};$$

- корреляционную функцию

$$K_c \left( \frac{mT}{n} \right) = \frac{1}{n-m} \cdot \sum_{i=1}^n C'_i \cdot C'_{(i+m)},$$

где  $m=1,2,3, n$ ;

- коэффициент корреляции  $\rho_c(\tau) = \frac{K_c}{D_c}$ .

Убывание коэффициента корреляции с ростом периода времени от начала фиксирования стоимости унции металлов вполне естественно, что подтверждается наличием тренда на локальном отрезке времени (рис. 2).

Структурная функция с ростом  $\tau$  возрастает, в то время как корреляционная – убывает.

Таким образом, устанавливается период эффективного влияния стоимости унции на стремление инвестора к кредитованию проекта. Этот

период следует связать с этапами подготовки месторождения к освоению, а также можно установить его достаточность для осуществления полного цикла до продажи готовой продукции. Время этого цикла можно определить, если из всего графика (рис. 2) вырезать отдельно участки с длиной волны колебаний. Вероятно, эти участки не равны между собой, но все же позволяют установить некоторый средний промежуток времени, который оказался равным 10, 6,3 и 5,3 года соответственно для платины, золота и палладия.

Анализ поведения каждой реализации случайной функции показал, что продолжительность времени от спада до подъема (полная волна) по всем трем металлам почти полностью идентична, причем, начиная с 1985 г., первая волна укладывается в 10 лет, вторая в период с 1995 по 2000 г. в 6,3 года и последняя с 2001 по 2007 г. – в 5,3 года. Это свидетельствует, что интенсивность финансирования проектов возрастает, в том числе по Кыргызской Республике.

Анализ поведения коэффициента корреляции и структурной функции подтверждает вывод, сделанный по реализации случайной функции, так как коэффициент корреляции для трех видов металла на оси абсцисс отсекает время, когда корреляция близка к 0 в районе 5–8 лет. Это означает, что если условно в полуволе распределить поровну время между подъемом и спадом, то на них приходится от 2,5 до 4 лет. Именно это время следует учитывать при организации стадий освоения залежи.

Рассмотрим этот промежуток времени с позиций начала строительства горного предприятия и времени его эксплуатации. Если, например, длина волны от минимума к максимуму составляет 2,5–4 года, то очевидно, что максимум прибыли можно получить при установившемся (плановом) объеме добычи, который будет достигнут именно в этот период времени. Следовательно, начало строительства нужно отнести на 2–3 года ранее появления первого максимума, и чтобы производство металла началось через 4 года. В данном случае 4 года – это время составления предварительного ТЭО и проектирования предприятия. Это время определяет период начала инвестиций и эффективного возврата капитала. Применительно к открытым горным работам, когда из карьера (горизонта) извлекается вся горная масса, возможна дифференциация запасов по качеству сырья на более богатую и относительно бедную части с приоритетом извлечения более богатых запасов с целью ско-

рейшего возврата капитала, вплоть до полного погашения капитальных затрат. Другие сорта полезного ископаемого могут складироваться во временных или усреднительных складах.

Для случаев отработки подземным способом разделение добычных участков на богатые и бедные возможно в соответствии с морфологией залежи и тогда, когда для разработки второго и третьего этапов не требуется больших капитальных затрат на подготовительно-нарезные работы и на дополнительные вскрывающие выработки и затраты на их поддержание.

Определение наличия тренда все же не дает ответ на вопрос о характере тенденции, т.е. стремление к убыванию или возрастанию в пределах прогнозного времени. Для решения этой задачи воспользуемся фрактальным анализом, составной частью которого является закон Херста (H). Он связывает топологическую размерность и размерность Хаусдорфа–Безиковича (D), указывающую на степень сложности процесса [6].

Известно [6], что размерность D связана с показателем Херста соотношениями:

$D+H=2$  для плоскости, и  $D+H=3$  для объема.

Здесь имеется в виду, что числа 1, 2, 3 есть топологические размерности соответственно прямой линии, плоскости и объема.

Показатель Херста H связан со статистическими величинами размаха R и среднеквадратическим отклонением  $\sigma$  соотношениями:

$$R = C_{(t)} \max - C_{(t)} \min \quad \text{и} \quad \sigma = \frac{\sum (C_{it} - \bar{C}_t)^2}{n-1},$$

$$\frac{R}{\sigma} = \left(\frac{r}{2}\right)^H,$$

где r – весь период наблюдений.

В пределах каждого года приращение и спад цены унции в среднем дает нулевые приращения и дисперсию:

$$\{[(C_H(t) - C_H(t_0))]^2 \cong (t - t_0)^{2H}\}.$$

Показатель Херста H лежит в интервале 0 и 1.

Если  $H=0,5$  – корреляция отсутствует, так как коэффициент корреляции равен:

$$\varphi(t) = \frac{\{-C_H(t) \cdot C_H(t)\}}{\{C_H^2(t)\}} = 2^{2H-1} - 1$$

или

$$\varphi(t) = 2^{2H-1} - 1,$$

откуда следует, что если известен показатель Херста, можно вычислить коэффициент корреляции.

Вычисление показателя Херста H для наших исходных данных и коэффициента корреляции

Таблица 3

Показатель	Платина	Золото	Палладий
Размах $C_{\max} - C_{\min}$ , \$	871,7	344,2	556,5
Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$ , \$	234,3	88,8	145,7
Показатель Херста Н	0,534	0,555	0,547
Коэффициент корреляции $r(t)$	0,06	0,08	0,07

процесса изменения стоимости унции металлов, которые в совокупности позволяют установить характер тенденции, при периоде наблюдений, равным 23 годам, показаны в табл. 3.

Во всех трех случаях показатель Херста больше 0,5. Если  $H \neq 0,5$ , то  $\varphi(t)$  не зависит от времени  $t$ . Случай  $H > 0$  соответствует  $\varphi(t) > 0$  и  $H < 0,5$  означает, что  $\varphi(t) < 0$ . Независимость  $\varphi(t)$  от времени, индикатором чего является  $0 < H < 1$ , свидетельствует о том, что при  $H > 0,5$  – поддерживается имеющаяся тенденция. Если приращения были положительными в прошлом, то и впредь в среднем будет происходить увеличение при любых  $t$ , что характеризуется персистентностью. Для  $H < 0,5$  картина иная. Если в прошлом был рост, то в будущем будет снижение и, наоборот, что означает антиперсистентность, т.е процесс обладает памятью.

С точки зрения методических основ следует, что при ограниченном времени наблюдений невозможно получить достоверные данные о средних параметрах процесса. Тогда при использовании исходных данных для оценки тенденций по ограниченной выборке, необходимо в обязательном порядке определение показателя Херста.

Выявление тренда и характера тенденции изменения цены готовой продукции позволяет наложить этот процесс на стадии развития горного проекта.

Ю.Е. Капутин [7] выделяет три основные стадии развития проекта освоения месторождения: планирование, проектирование и строительство и производство. В свою очередь планирование включает этапы: разработка концепции, предварительное и окончательное ТЭО. Этот этап позволяет в большей степени минимизировать капитал, более того, здесь возможна наибольшая степень влияния на предстоящие затраты. Принятие решения, с чего начинается проектирование и строительство, в значительной мере ниже по своим возможностям влияния на эффективность инвестиций в проект, а на этапе производства этих возможностей уже не бывает.

В то же время на этих трех этапах затраты обратно пропорциональны стадиям развития. Дело в том, что для осуществления концептуальных разработок, предварительного и окончательного ТЭО требуется соответственно 1–2, 2–3 и 5–8 специалистов, которые работают с имеющейся документацией по детальной разведке. Их работа заканчивается представлением отчетов по предварительному и окончательному ТЭО, некоторые части которых дополняют и развивают друг друга. Эти отчеты являются серьезными банковскими документами. Стадия планирования имеет целью произвести оценку капитальных и эксплуатационных затрат, погрешности которых соответственно составляют:

- концептуальный этап  $\pm 30\%$ ;
- технико-экономический расчет  $\pm 20\%$ ;
- технико-экономическое обоснование,  $\pm 10\%$ .

Если сегодняшняя стоимость кредита  $PV_1 = K_0$  при банковском проценте  $i$ , то сегодняшняя стоимость платежей по возврату кредита составит:

$$PV_2 = K_1 \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{0,1(1+i)^n} \right], \quad (1)$$

где  $K_1$  – сумма ежегодных платежей;  $K_0$  – сегодняшняя стоимость кредита.

Кредит должен быть возвращен, когда чистая сегодняшняя стоимость окажется равной 0, т.е.:

$$NPV = PV_1 + PV_2 = 0$$

или

$$NPV = -K_0 + K_1 \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{0,1(1+i)^n} \right] = 0. \quad (2)$$

Отсюда методом итераций, подставляя вместо  $n$  число лет кредитования, например, 1, 2, ...,  $n$ , можно определить то время, когда  $NPV \rightarrow 0$ .

Понятно, что кредит можно вернуть, если предприятие начнет работать и приносить прибыль. Возвращение кредитов для производств с высоким риском вложения капитала, к каким относится и добывающая промышленность, должно быть по времени существенно меньше полно-

го срока отработки месторождения на 2–3 года. В случае, если необходимо определить норму возврата инвестиций (ROR), то можно (2) решить относительно  $i$ , подставляя различные  $i$  в % при фиксированном  $p$  и отысканию момента, когда  $NPV \rightarrow 0$ .

Объем капитальных вложений, как правило, прямо пропорционален запасам полезного ископаемого и, следовательно, срокам освоения залежи, включающим этапы планирования, проектирования и строительства. Поэтому нахождение конкретного периода времени на эти два этапа для каждого месторождения сугубо индивидуально.

### Литература

1. *Пожарицкий К.Л.* Критерии экономической эффективности геологоразведочных работ и их роль в хозрасчете // Советская геология. – 1968. – №12.
2. *Пожарицкий К.Л.* Элементы оценки месторождений при разведке и подсчете запасов недр // СОПС АН СССР. – 1969. – 123 с.
3. *Погребицкий О.Е., Терновой В.И.* Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1974.
4. *Каждан А.Б., Гуськов О.И., Шиманский А.А.* Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. – М.: Недра, 1979.
5. *Вентцель В.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964.
6. *Потапов А.А.* Фракталы в дистанционном зондировании // Успехи современной радиоэлектроники. – 2000. – №6. – С. 3–62.
7. *Капутин Ю.Е.* Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб.: Недра, 2002.