

**От редакции.** Публикуемая статья известного российского ученого А. И. Арсентьева, старейшины горной науки, представляет читателям «Горного журнала» разработанный автором графоаналитический метод и особенности его применения в проектировании основополагающих (стратегических) параметров карьеров. Фундаментальный методологический багаж научных трудов А. И. Арсентьева не утрачивает своей ценности для широкого круга ученых, проектировщиков и специалистов-практиков в области горного дела.

УДК 622.271.001.2

**А. И. АРСЕНТЬЕВ** (СПГИ)

## СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ



**А. И. АРСЕНТЬЕВ,**  
проф., д-р техн. наук

В процессе проектирования приходится решать многие задачи, связанные с будущими параметрами и показателями карьера. Эти решения целесообразно разделить на стратегические и тактические. К стратегическим относят такие проектные решения, которые в случае возникшей необходимости весьма трудно, а иногда и невозможно изменить, а также расчет масштаба предприятия, его проектной мощности. К ним можно отнести определение конечных границ карьера, способа вскрытия карьерного поля, направления развития горных работ в плане и по глубине (траектории понижения дна карьера) и производительности карьера по руде, породам и горной массе. К тактическим относятся проектные решения, обеспечивающие реализацию стратегических решений. Это углы откосов рабочего борта карьера, высота уступов, ширина рабочих площадок, длина эксплуатационных (например, экскаваторных) блоков и т. д.

В данной статье рассмотрены методы определения производительности карьера по руде, породам и горной массе на примере простого крутопадающего месторождения, для которого уже установлены конечные границы и направление углубки. Конечная глубина карьера по проекту — 270 м, направление углубки — по контакту лежачего бока залежи и борту карьера, высота уступов 15 м. В процессе углубки будет образован рабочий борт карьера с углом откоса  $\varphi$ , для определения которого рассмотрены четыре возможных варианта при значениях  $\varphi$  0°, 10, 15, 20° (рис. 1). Для каждого угла откоса рабочего борта рассчитывают пло-

щади и объемы руды, пустых пород и горной массы по мере углубления карьера.

При определении производительности карьера обычно приходится рассматривать три основных варианта решений:

постоянную производительность карьера по руде в соответствии с мощностью предусмотренной к строительству обогатительной фабрики;

постоянную производительность карьера по горной массе с отгрузкой руды потребителям с накопительных складов;

постоянную производительность карьера как по горной массе, так и по руде, с организацией промежуточных рудных складов или без них.

Для варианта стабилизации производительности карьера по руде на основе расчетных данных строят график  $V = f(P)$  нарастающего объема вскрышных пород в зависимости от нарастающего объема руды в процессе углубки карьера. Полученные четыре линии (I–IV) характеризуют работу карьера с углами откоса  $\varphi$  рабочего борта соответственно 0°, 10, 15, 20° (рис. 2) и область планирования горных работ в пределах между линиями I (0°) и IV (20°). Теоретическая ширина рабочих площадок  $B$  определяется по формуле  $B = h(\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\alpha)$ , где  $\alpha$  — угол откоса рабочего уступа ( $\alpha = 70^\circ$ ). Соответственно ширина рабочей площадки составит: при  $\varphi = 10^\circ B_{10} = 74$  м; при  $\varphi = 15^\circ B_{15} = 51$  м; при  $\varphi = 20^\circ B_{20} = 36$  м.

При стабильной производительности по руде карьер должен работать с переменной производительностью по вскрыше, что потребует периодически менять количество экскаваторов, автосамосвалов, численность рабочих и т. д. Поэтому проектировщики обычно стремятся стабилизировать производительность по вскрышным породам путем усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши. Решить эту сложную для проектировщиков и ученых-горняков задачу удалось на основе разработанного автором метода с использованием кумулятивного графика  $V = f(P)$ . Его особенность заключается в том, что тангенс накло-

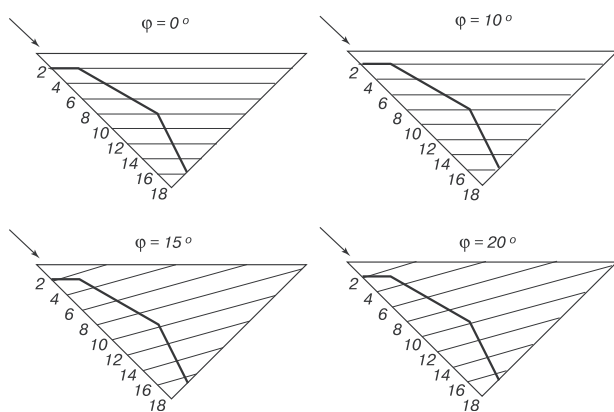


Рис. 1. Поперечные разрезы для расчета площадей и объемов по мере углубления карьера при различных значениях угла откоса  $\varphi$  рабочего борта

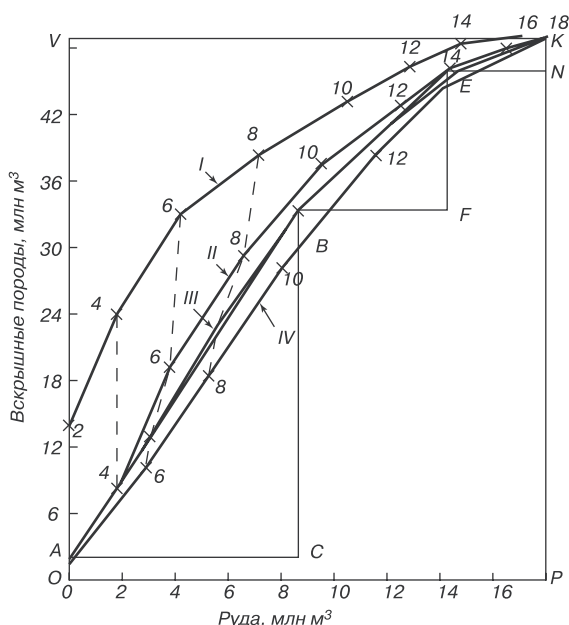


Рис. 2. Кумулятивный график  $V = f(P)$ , характеризующий зависимость нарастающего объема вскрышных пород от нарастающего объема добычи руды в процессе углубления карьера:

*I–IV* — линии, соответствующие углам откоса рабочего борта карьера  $0^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ ; точки 0, 2, 6 ... 18 на линиях *I–IV* — номера горизонтов

на касательной в любой точке кривых определяет величину коэффициента вскрыши в данной точке. Отсюда следует, что работа карьера с постоянным коэффициентом вскрыши будет выражаться на графике прямой линией.

В качестве примера примем работу карьера при угле откоса  $\varphi$  рабочего борта в пределах  $10^\circ$ – $20^\circ$  по прямым *OABEK* (см. рис. 2), т. е. в четыре периода, каждый из которых характеризуется следующими расчетными параметрами. *Период 1* (прямая *OA*): работы

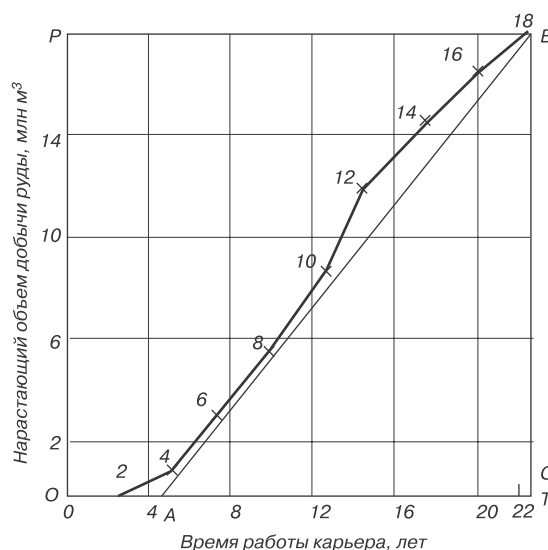
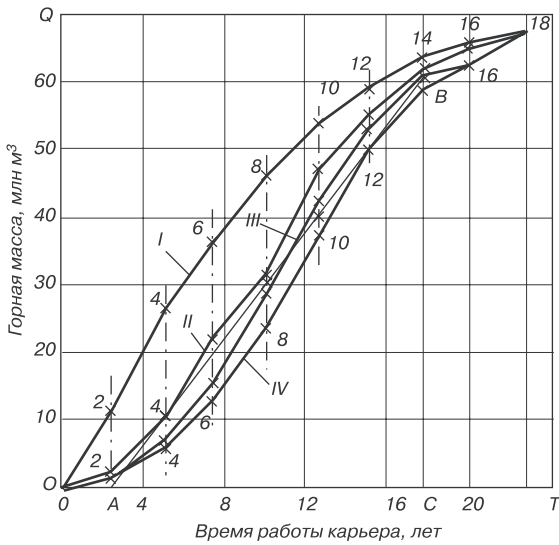


Рис. 3. Зависимость нарастающего объема добычи руды  $P$  от времени разработки  $T$

проводят на горизонтах 1 и 2 только по выемке пустых пород в объеме 2 млн  $\text{м}^3$  (горно-капитальные работы). *Период 2* (прямая *AB*): вскрышные и добычные работы на горизонтах 1–10; усредненный коэффициент вскрыши составит  $n_1 = BC / AC = 3,71 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . В интервале до горизонта 4 угол откоса  $\varphi$  рабочего борта изменяется от  $13^\circ$  до  $15^\circ$ , ширина рабочих площадок — 60–51 м; в интервале до горизонта 6 —  $\varphi = 15^\circ$ , ширина рабочих площадок — 51 м; в интервале работ от горизонта 2 до горизонта 8  $\varphi$  изменяется в пределах  $15^\circ$ – $18^\circ$ , ширина рабочих площадок — 51–40 м; в интервале от горизонта 8 до горизонта 10  $\varphi$  изменяется в пределах  $18^\circ$ – $15^\circ$ , ширина рабочих площадок — 40–51 м. *Период 3* (прямая *BE*): вскрышные и добычные работы на глубине от горизонта 10 до горизонта 14; усредненный коэффициент вскрыши составит  $n_2 = EF / BF = 1,9 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ; угол откоса  $\varphi$  рабочего борта — от  $15^\circ$  до  $10^\circ$ , ширина рабочих площадок — 51–74 м. *Период 4* (прямая *EK*): работы на глубине от горизонта 14 до горизонта 18 м; усредненный коэффициент вскрыши  $n_3 = KN / EN = 0,9 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Возможная скорость углубки карьера зависит от угла откоса рабочего борта. Для рассматриваемого карьера среднее значение скорости углубки принято по аналогии с подобными карьерами равным 12 м/год, соответственно общее время его отработки составит  $T_0 = 270 : 12 = 22,5$  года. Далее для определения периода стабильной производительности карьера по руде строят график зависимости нарастающего объема добываемой руды  $P$  от времени разработки  $T$ :  $P = f(T)$  (рис. 3). Стабильная производительность по руде может быть выражена прямой *AB* и составляет  $A_p = BC / AC = 18 : 18 = 1 \text{ млн м}^3/\text{год}$ . Приняв это за основу, определим расчетную производительность карьера по горной массе и вскрышным породам по тем же периодам.

*Период 1* (прямая *OA*): работа только по пустым породам с производительностью 0,8 млн  $\text{м}^3/\text{год}$ . *Период 2*



**Рис. 4.** Зависимость нарастающего объема горной массы  $Q$  от времени разработки  $T$  при постоянной скорости углубления карьера  $h_r = 12$  м/год

(прямая  $AB$ ): производительность по вскрыше 3,7, по горной массе 4,71 млн м<sup>3</sup>/год. *Период 3* (прямая  $BE$ ): производительность по вскрыше 1,9, по горной массе 2,9 млн м<sup>3</sup>/год. *Период 4* (прямая  $EK$ ): производительность по вскрыше 0,9, по горной массе 1,9 млн м<sup>3</sup>/год.

Для обеспечения заданной (принятой) средней скорости углубления карьера при проектировании необходимо определить скорость подвигания рабочих уступов (фронта работ), которая может быть рассчитана по формуле  $V_\phi \geq h_r(\text{ctg}\phi + \text{ctg}\beta)$ , где  $h_r$  — скорость углубки карьера, м/год;  $\beta$  — угол направления углубки карьера (для рассматриваемого карьера  $\phi = 40^\circ$ ). Тогда при значениях угла откоса  $\phi$  рабочего борта карьера 10, 15 и 20° получим значения  $V_\phi$  82,4; 59 и 47 м/год соответственно.

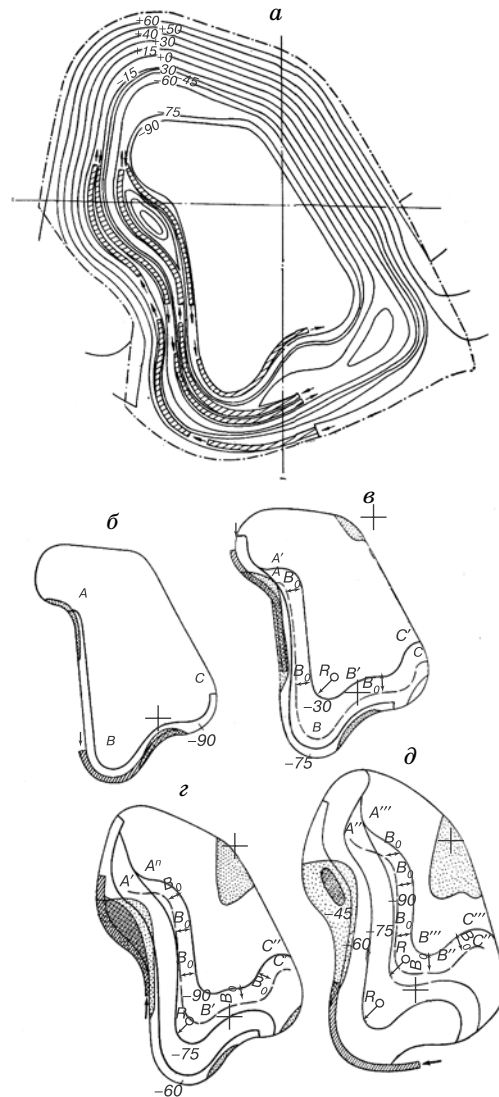
В результате приведенных выше расчетов определено, что работа карьера с постоянной производительностью по руде обеспечивается в течение 13,4 лет. При этом в каждом из четырех периодов необходимо менять производительность карьера по вскрышным породам и горной массе, а также скорость углубки карьера, угол откоса рабочего борта и ширину рабочих площадок.

Вариант проектного решения со стабилизацией производительности по горной массе предполагает возможность поддерживать длительное время постоянное количество горнотранспортного оборудования в карьере. При этом вариант может быть реализован в двух подвариантах: при постоянном угле откоса рабочего борта карьера (стабильной ширине рабочих площадок) и при постоянной скорости углубки карьера с переменным углом откоса рабочего борта.

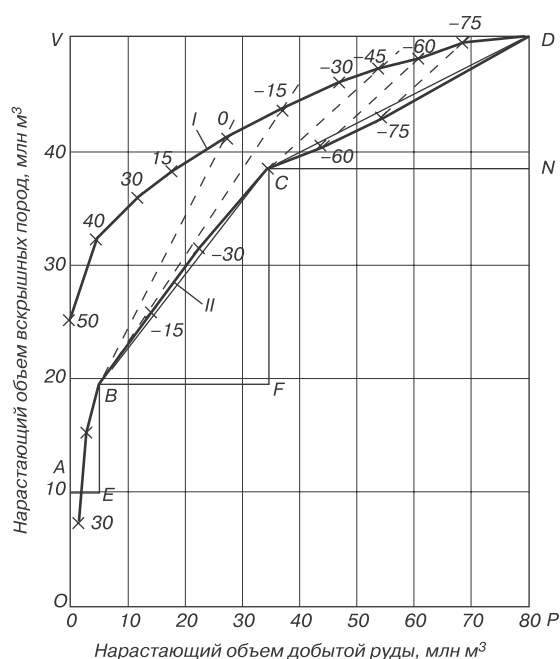
При рассмотрении первого подварианта используются данные прежних расчетов и, задавая определенный угол откоса  $\phi$  рабочего борта, рассчитывают необ-

ходимые параметры при стабильной производительности карьера по горной массе 4 млн м<sup>3</sup>/год, которая будет достигнута через 4,65 года при понижении дна карьера до горизонта 5. Эту производительность можно поддерживать в течение 14 лет, изменяя скорость углубки от 8,7 до 14 м/год, а также сохраняя стабильную ширину площадок на всех рабочих уступах ( $B = 51$  м). При этом производительность карьера по руде будет переменной — от 0,42 до 1,21 млн м<sup>3</sup>/год, что потребует создания накопительно-расходных рудных складов. Общий срок разработки составит 24 года.

При рассмотрении второго подварианта (стабильной производительности по горной массе при постоянной скорости углубления карьера) также используют прежние расчетные данные и строят график зависимости нарастающего объема горной массы от времени  $Q = f(T)$  при постоянной (средней) скорости углубления карьера 12 м/год (рис. 4). При углах отко-



**Рис. 5. Проект карьера:**  $a$  — сводный план горных работ;  $b-d$  — последовательность погоризонтного построения (снизу вверх) сводного плана горных работ



**Рис. 6.** Кумулятивный график  $V = f(P)$ , характеризующий зависимость нарастающего объема вскрышных пород от нарастающего объема добытой руды в процессе развития рассматриваемого железорудного карьера: *I, II* — линии, соответствующие разным углам откоса рабочего борта карьера; точки 50, 40 ... -60, -75, -90 — абсолютные отметки горизонтов

сов рабочего борта в пределах 10–20° наиболее целесообразный режим работы карьера соответствует прямой *AB*, а стабильная производительность по горной массе составит  $A_r = BC / AC \approx 4$  млн м<sup>3</sup>/год (см. рис. 4). Исходя из графика, эта производительность достигается, когда карьер углубится на два уступа, т. е. через 2,5 года. Но в связи с недостаточным фронтом работы для горнотранспортного оборудования целесообразно осуществить выход на стабильную производительность (4 млн м<sup>3</sup>/год), когда карьер углубится на 60 м (горизонт 4), т. е. через 5 лет. Далее, используя рис. 4, а также приведенные выше формулы и методы расчетов, определяют основные параметры по каждому горизонту карьера.

При развитии горных работ по второму подварианту необходимо обеспечивать постоянство скорости углубки карьера и синхронное изменение ширины рабочих площадок (угла откоса рабочего борта) на всех рабочих уступах. В значительной степени это происходит автоматически за счет поддержания постоянной суммарной производительности (4 млн м<sup>3</sup>/год) задействованного в карьере горнотранспортного оборудования. При этом производительность карьера по руде изменяется, что потребует организации рудных складов.

Второй подвариант стабилизации производительности карьера по горной массе со стабильной скоростью его углубки более прост в организации горных работ.

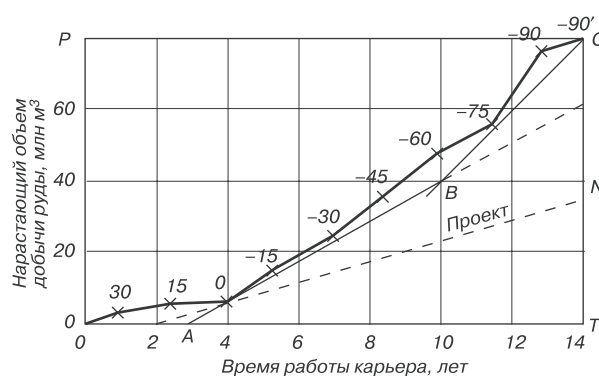
Наконец, вариант стабилизации производительности карьера одновременно по горной массе и руде

является наиболее желаемым, но трудно реализуемым на практике, так как необходимо постоянно иметь временные склады руды для синхронной работы карьера и обогатительной фабрики. Данный вариант рассчитывают с использованием параметров не только карьера, но и обогатительной фабрики: производительность карьера по горной массе, млн м<sup>3</sup>/год; нарастающее время работы карьера, лет; нарастающий объем руды, добытой в карьере, млн м<sup>3</sup>; нарастающее время работы обогатительной фабрики, лет; нарастающий объем руды, переработанной фабрикой, млн м<sup>3</sup>; объем руды на временном складе, млн м<sup>3</sup>; производительность карьера по вскрыше, млн м<sup>3</sup>/год. Теоретически при работе по данной схеме необходимо создавать временные рудные склады с определенным объемом. Однако при годовом планировании обычно есть возможность маневрировать работами в рудной зоне карьера и добывать руду только в объемах подачи на обогатительную фабрику с производительностью по вскрышным породам.

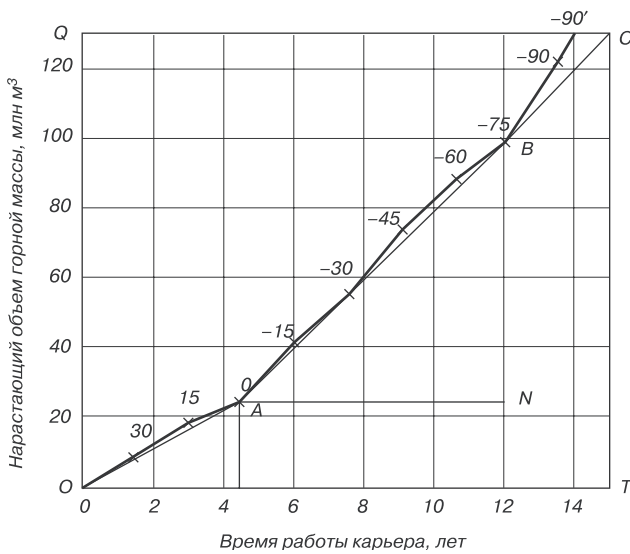
Представленная выше технология проектирования вариантов производительности карьера по руде, вскрышным породам и горной массе основана на методе использования поперечных разрезов (см. рис. 1). В качестве более точного и надежного автором предложен метод использования погоризонтных планов, представленный ниже на примере реального железорудного месторождения.

Для разработки месторождения был запроектирован карьер (I очередь) с абсолютной отметкой дна -90 м. Определены его размеры и принято направление углубки по западному борту с применением железнодорожного транспорта. На основании контуров карьера и геологических данных для моделирования хода отработки карьерного поля все погоризонтные планы построены в масштабе 1:5000 с нанесением на них геологических данных (рис. 5). Рабочие площадки приняты шириной  $B = 50$  м, что соответствует углу откоса рабочего борта  $\varphi = 15^\circ$ . На плане каждого горизонта прорисованы въездная и разрезная траншеи, а также линия фронта работ, которая обеспечивает возможность вскрытия и подготовки нижележащего горизонта.

Вскрытие и подготовка самого нижнего горизонта -90 м показаны въездной и разрезной траншеями



**Рис. 7.** Зависимость нарастающего объема добычи руды от времени работы карьера



**Рис. 8. Зависимость нарастающего объема горной массы от времени работы карьера**

(см. рис. 5, б). Линия фронта работ на вышележащем горизонте  $-75$  м должна опережать линию  $ABC$  на горизонте  $-90$  на величину, равную ширине рабочей площадки плюс заложение откоса уступа. С этой целью план горизонта  $-75$  накладывают на горизонт  $-90$ , совмещая их по координатам, и наносят линию  $A'B'C'$  (см. рис. 5, в), отложив от линии  $ABC$  на горизонте  $-90$  м величину  $B_0 = 50 + 15 \operatorname{ctg} \alpha$ , где  $\alpha$  — угол откоса уступа. Таким способом обрабатывают все погоризонтные планы снизу вверх, получая систему линий фронта работ, обеспечивающих вскрытие, подготовку и нормальную работу нижележащих горизонтов (см. рис. 5, а).

На каждом горизонте определяют площади и рассчитывают объемы между нанесенными линиями с разделением их на породу и руду и формируют сводную погоризонтную таблицу объемов породы и руды, разрабатываемых в границах проектного карьера; ее данные используются в дальнейших расчетах. Построение погоризонтных планов в масштабе 1:5000 и подсчет объемов породы и руды — самый трудоемкий и ответственный этап проектных работ.

На основе данных сводной таблицы строят следующие графики:  $V = f(P)$  — нарастающий объем породы в зависимости от нарастающего объема добытой руды по мере углубления карьера (рис. 6);  $P = f(T)$  — нарастающий объем руды от времени работы карьера, начиная с горизонта 40 м (рис. 7);  $Q = f(T)$  — нарастающий объем горной массы в зависимости от времени работы карьера (рис. 8). При этом скорость углубления карьера с использованием железнодорожного транспорта принята в расчетах  $h_T = 10$  м/год.

Технология построения и использования указанных кумулятивных графиков аналогична той, которая описана выше (см. рис. 2–4), и обеспечивает возможность проектной проработки стратегических решений по вариантам развития рассматриваемого конкретного железорудного карьера. По каждому характерному периоду, обозначенному на рис. 6–8, рассчитывают параметры, обеспечивающие оптимальное решение стратегической задачи (производительность карьера по руде, вскрышным породам и горной массе, коэффициенты вскрыши, углы откосов рабочего борта, периоды стабильной производительности и др.) в зависимости от рассматриваемого варианта.

Представленный в настоящей статье графоаналитический метод решения стратегических задач развития карьеров на протяжении многих лет находит широкое применение в исследованиях, проектировании и практике открытых горных работ. **РЖ**

**СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

**Арсентьев А. И.**

Представлены разработанные автором графоаналитический метод и технология его применения в проектировании оптимальных вариантов производительности карьера по руде, вскрышным породам и горной массе в процессе его развития (углубления).

**Ключевые слова:** открытые горные работы, производительность карьера, проектирование, графоаналитический метод.



**ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ**

Посетите нас в Интернете

[http:// www.rudmet.ru](http://www.rudmet.ru)