

УДК 622.271

Б.Р. Байбурин

ТЕХНОЛОГО-ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ СХЕМЫ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ: РАЗВИТИЕ И ЗНАЧЕНИЕ

Результаты исследований характеристик рабочей зоны карьеров высотно-глубинного типа, организации использования календарного времени оборудования и управления производительностью экскаваторно-автомобильных комплексов, позволяют определить возможность достижения заданных значений главных параметров карьера.

Ключевые слова: рабочая зона, производительность оборудования, наклонные слои, время работы и простоя, ширина рабочей площадки

Семинар № 17

Нами исследуются характеристики технолого-организационных схем для карьеров высотно-глубинного типа, разрабатывающих крутопадающие залежи, с равномерно распределенным содержанием полезных компонентов, основанные на развитии положений, разработанных проф. В.В. Истоминым [1].

Особенности разработки месторождений высотного типа потребовали выполнения следующих исследований параметров рабочей зоны: - распределение площади карьеров с выделением площади элементов карьера; установление зависимостей, позволяющих определить долю подготовленных запасов на площади карьера от угла наклона рабочего борта; исследование зависимости угла наклона борта от ширины рассредоточенных рабочих площадок; установление объема подготовленных запасов от ширины рабочих площадок; исследование зависимости объемов взорванных блоков от подготовленных запасов уступов.

Анализ перечисленных выше зависимостей позволит реализовать

более четко функции планирования, организации, распорядительности и контроля, а также процессов коммуникации и принятия решений. В свою очередь в процессе принятия решений (посредством действия обратной связи) осуществляется управление параметрами рабочей зоны. Так же, как и весь процесс проектирования, формирование рабочей зоны выполняется интерактивно.

Предлагается следующая последовательность оценки параметров рабочей зоны:

1. Задаются углы откоса поверхности месторождения и расстояние от откоса до конечного (промежуточного) борта карьера;

2. Определяется угол наклона борта в промежуточном положении (крутом слое выемки);

3. Задаются несколько вариантов промежуточных контуров в пределах этапа разработки;

4. Принимаются значение высоты рабочего уступа;

5. Определяется угол наклона рабочего борта (для действующих карьеров, как правило, в пределах сложившегося угла наклона);

6. Определяется ширина рабочих площадок по соответствующей зависимости;

7. Определяется количество рабочих площадок:

а) величина горизонтального заложения рабочей зоны определяется по формуле:

$$\text{Ш}_{\text{р.з}}^{\text{гор.}} = \text{В}_{\text{п.к}}^{\text{гор.}} \sin \gamma_{\text{б.к}} \cos \gamma_{\text{р.б}} / \sin(\gamma_{\text{б.к}} - \gamma_{\text{р.б}}), \quad (1)$$

где $\text{В}_{\text{п.к}}^{\text{гор.}}$ - горизонтальное заложение промежуточного контура, м; $\gamma_{\text{б.к}}$ - угол наклона борта в конечном или промежуточном положении; $\gamma_{\text{р.б}}$ - угол наклона рабочего борта.

б) количество рабочих площадок на борту при сплошном расположении

$$n_{\text{раб.пл.}}^{\text{сплош.}} = \text{Ш}_{\text{р.з}}^{\text{гор.}} / \text{Ш}_{\text{р.п}} + h_{\text{у}} * \text{ctg} \alpha_{\text{уст.}}; \quad (2)$$

в) количество рабочих площадок при рассредоточенном расположении

$$n_{\text{раб.пл.}}^{\text{рассред.}} = (\text{Ш}_{\text{р.з}}^{\text{гор.}} - \text{Ш}_{\text{берм}} - \text{Ш}_{\text{зал.}}^{\text{вну}}) / (\text{Ш}_{\text{р.п}} + h_{\text{уст.}} * \text{ctg} \alpha_{\text{уст.}}), \quad (3)$$

где $\text{Ш}_{\text{берм}}$ и $\text{Ш}_{\text{зал.}}^{\text{вну}}$ - суммарные ширина берм и заложений временно-нерабочих уступов;

8. Определяется площадь рабочей зоны

$$S_{\text{зоны}}^{\text{раб.}} = \text{Ш}_{\text{р.з}}^{\text{гор.}} * L_{\text{р.б}}^{\text{средн.}}, \quad (4)$$

где $L_{\text{р.б}}^{\text{средн.}}$ - средняя протяженность уступов рабочего борта;

9. Задаётся схема вскрытия рабочих горизонтов;

10. Выполняется графическое изображение рабочего борта в исходном положении;

11. Классифицируется распределение площади карьера (см. табл. 1);

12. Определяется площадь рабочей зоны в которой происходит понижение горных работ;

13. Устанавливается доля подготовленных запасов горной массы в рабочей зоне;

14. Определяется объем подготовленных запасов по формуле:

$$V_{\text{зап.}}^{\text{под.}} = S_{\text{раб.зоны}} h_{\text{у}}^{\text{раб.}} D_{\text{под.}}, \quad (5)$$

где $D_{\text{под.}}$ - доля подготовленных запасов в площади рабочего борта карьера;

15. Принимается количество готовых к выемке (взорванных) запасов при открытом цикле выполнения горных работ (как правило, оно соответствует половине подготовленных запасов);

16. Выполняется расчет объемов взорванных блоков по каждой рабочей площадке (при работе экскаваторов по закрытому циклу).

Рационализация параметров рабочих бортов может быть осуществлена за счет широких рабочих площадок, рассредоточенных между высокими уступами (временными целиками), вместо сплошного расположения рабочих площадок минимальной ширины. Так, например, конструкция рабочего борта с углом откоса 28° может складываться из рабочих площадок шириной 26 м на каждом уступе высотой 15 м; рабочих площадок шириной 45 м, при высоте уступа 30 м; рабочих площадок шириной 67 м и высоте уступа 45–60 м. Таким образом, применение рабочих площадок шириной 45 м (против 26 м) позволяет увеличить объем взорванных запасов в два раза, а при увеличении ширины рабочих площадок до 100 м объем взорванных запасов увеличивается почти в три раза.

На карьерах высотного типа выявляется следующая особенность: скорость понижения здесь зачастую выше скорости горизонтального подвигания горных работ. Так, на карьере Мукуланский за период с 1969 г. по 1980 г. скорость понижения горных работ по горному склону с углом откоса $40^\circ - 50^\circ$ в среднем соотносилось со скоростью горизонтального подвигания

Таблица 1

Распределение площади карьеров по отдельным элементам

Наименование показателей	Высотный	Мукуланский	Сорский
Объем выполненной горной массы, тыс. м ³	3226	13683	16400
Площадь карьера, тыс. м ² /%	240/100	1215/100	2275/100
в том числе :			
площадь рабочих площадок всего, тыс. м ² /%	142,5/59,4	364,3/30,4	1153,6/50,7
из них по основному направлению, тыс. м ² /%	142,5/59,4	364,3/30,4	583,11/25,6
площадь активного фронта, тыс. м ² /%	40,6/16,9	109,3/9,0	382/16,8
резервные площадки, тыс. м ² /%	32,2/13,4	61,6/5,1	126/5,5
бермы промежуточные, тыс. м ² /%	24,9/10,4	103/8,5	139,9/6,2
Карьерные автодороги, тыс. м ² /%	75,6/31,6	341,7/28,1	222,9/9,8
из них:			
в рабочей зоне, тыс. м ² /%	44,8/18,8	90,4/7,4	146,3/6,4
в нерабочей зоне, тыс. м ² /%	30,8/12,8	251,3/20,7	76,6/3,4
Откосы уступов, тыс. м ² /%	66,8/27,8	598,42/49,3	654/28,8
Средний темп понижения горных работ в рабочей зоне, м/год	25	36	15

рабочей зоны как 1,27 к 1. В отдельные годы это соотношение достигало величины 3:1. Развитие горных работ с такими соотношениями скоростей характерно при отработке карьера крутыми слоями [3].

Исходя из ширины и протяженности слоя, угла направления понижения горных работ, производительности комплексов выемочно-погрузочного оборудования, скорость понижения горных работ в наклонном слое составит:

а) при сплошном расположении рабочих площадок

$$U_{г.н}^{сплш.} = P_{год}^{сист.} / (Ш_{кон.}^{сп.} L_6^{сп.} \sin \beta), \quad (6)$$

где $P_{год}^{сист.}$ - годовая производительность системы выемочно-погрузочных комплексов карьера; $Ш_{кон.}^{сп.}$ - средняя ширина понижаемого контура, м; $L_6^{сп.}$ - средняя длина понижаемого борта, м; β - угол наклона направления понижения работ, градус.

б) при рассредоточенном расположении рабочих площадок

$$U_{г.н}^{распр.} = \sum_{i=1}^n P_{год_i}^{подс.} / (Ш_{сл.i} L_{6i} \sin \beta_i), \quad (7)$$

где $P_{год_i}^{подс.}$ - мощность группы (подсистемы) выемочно-погрузочных комплексов, работающих на i -ом концентрационном горизонте; n - количество рабочих площадок (концентрационных горизонтов) на рассматриваемом рабочем борту.

Возможная производительность карьера по полезному ископаемому при разработке крутопадающей пластообразной залежи с учетом скорости понижения горных работ в наклонном слое, определяется по формуле:

$$Q_{кар.}^{п.и} = Ш_{руд.} Ш_{кон.}^{сп.} U_{г.н} \sin \beta_{сп.} \eta_0 (1 + r_0) \gamma_{п.и}, \quad (8)$$

где $Ш_{руд.}$ - протяженность рудного тела, м; η_0 - потери полезного ископаемого при добыче; r_0 - разубоживание вмещающими породами; $\gamma_{п.и}$ - объемный вес полезного ископаемого, т/м³.

Для достижения карьером заданной производительности по полезному ископаемому необходимо организовать систему учета, контроля и отчетности использования производственного фонда времени. Предлагается анализ строить на оценке двух категорий:

- время производительной работы;

– простои оборудования.

В свою очередь простои могут происходить по следующим основным причинам:

– потери времени в связи с установленным режимом работы (Преж);

– потери времени из-за климатических условий (Пмет);

– потери времени в связи с недостаточной распорядительностью (Порг);

– потери времени из-за технического состояния оборудования (Птех);

– потери из-за недостаточного обеспечения материалами, энергетическими ресурсами и вспомогательным оборудованием (Прес);

– потери времени, связанные с неоптимальными параметрами технологии (Пто).

Доля рабочего времени экскаваторов на анализируемых карьерах составляет от 31,5% до 75,5%. Общее количество потерь времени изменяется от 68,5% до 24,5% от календарного времени. Из них простои по организационным причинам составляют от 3% до 29%, по техническим причинам от 11% до 31%, по причинам, связанным с технологией горных работ от 1% до 7%.

В результате исследований создана информационная система, позволяющая прогнозировать значения показателей потерь и обеспечения рабочего времени. В первую очередь к ним относится показатель (коэффициент) организационно-технического обеспечения горных работ:

$\text{Корг.тех} = 1 - \text{Порг.тех}$,

где Порг.тех - потери календарного времени по организационно-техническим причинам. В развернутом виде этот показатель включает пять видов потерь времени:

$\text{Порг.тех} = (\text{Преж.}; \text{Пмет.}; \text{Порг.}; \text{Птех.}; \text{Прес.})$

Поскольку потери времени, связанные с нерациональными технологическими параметрами подвергаются отдельному анализу, они представлены в особой группе, после их обоснования может быть получен коэффициент использования календарного времени:

$\text{Кик} = \text{Корг.тех} - \text{Пто}$

Суммарный показатель потерь времени по организационно-техническим причинам нельзя получить сложением показателей по отдельным событиям (табл. 2). Одновременное появление этих событий оценивается произведением вероятности событий. События, рассматриваемые нами, являются как независимыми: простои по метеорологическим условиям и в связи с режимом работы; так и зависимыми: потери времени по организационным и техническим причинам.

Пример расчета совмещенных потерь времени на основе данных карьера «Мукуланский» Тырныаузского ВМК приведен в табл.3. Доля потерь связанных с временным режимом работы карьера «Мукуланский» равна $\text{Преж}=0,125$, а потери времени по метеорологическим условиям оцениваются $\text{Пмет}=0,03$. Произведение вероятностей показывает возможную совмещенность этих событий

$\text{Преж.} * \text{Пмет.} = 0,125 * 0,03 = 0,004$.

Условная вероятность

$\text{Пмет.}/\text{реж.} = \text{Пмет.}$

$(\text{Преж.} * \text{Пмет.}) = 0,03 - 0,004 = 0,026$.

С учетом совмещения суммарные потери по этим двум факторам составят $\text{Преж.} + \text{Пмет.}/\text{реж.} = 0,125 + 0,026 = 0,151$. Следующая категория потерь по организационным причинам в этой схеме расчета совмещается с потерями $\text{Преж.} + \text{Пмет.}/\text{реж.}$ Одновременность этих событий оценивается в размере $0,167 * 0,151 = 0,025$. Совмещенные потери по организационным причинам составят $0,142$.

Таблица 2

Зависимые и независимые события (потери времени)

Показатели потерь времени		Обозначение показателей					
Наименование	Обозначения	Преж	П _{мет}	П _{орг}	П _{тех}	Прес	П _{тех-нол}
Потери, связанные с режимом работы предприятия	Преж	-	x	•	x	x	x
Простои по метеорологическим условиям	П _{мет}	x	-	•	x	x	•
Простои по организационным причинам	П _{орг}	•	•	-	x	x	x
Простои, связанные с техническим состоянием оборудования	П _{тех}	x	x	x	-	x	x
Простои, связанные с недостаточным обеспечением	Прес	x	x	x	x	-	x
Простои, связанные с неоптимальными технологическими параметрами	П _{то}	x	•	x	x	x	-

Обозначено: -одноименные события; x-зависимые события; •-независимые события.

Таблица 3

Расчет совмещенных потерь времени карьера Мукуланский

Обозначение показателя	Номинальное значение потерь времени	Значение произведений вероятностей	Условная вероятность потерь	Итоговая оценка
Преж	0,125	-	0,125	0,125
П _{мет}	0,03	0,004	0,026	0,151
П _{орг}	0,167	0,025	0,142	0,293
П _{тех}	0,18	0,053	0,127	0,42
Прес	0,10	0,042	0,058	0,478
П _{то}	0,167	0,080	0,087	0,565
Итого	0,769			

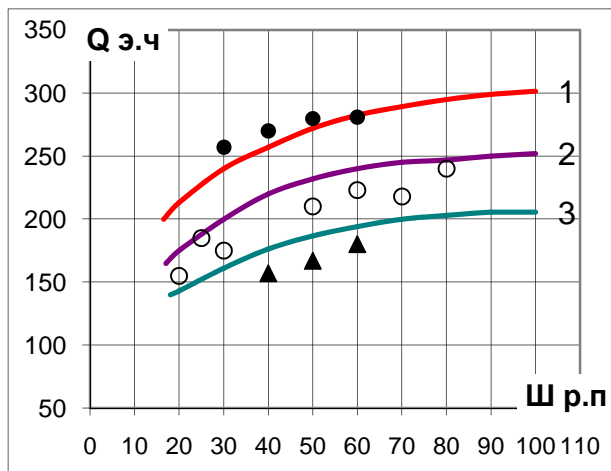
Итоговые совмещенные потери по трем факторам: $0,151+0,142=0,293$.

Расчет совмещения потерь времени позволит оптимизировать значение этого показателя. Наиболее ощутимые результаты получаются при рассмотрении организации производственных процессов на протяжении периодов времени от квартала до года.

Значение установления достаточно точных показателей выемочно-погрузочных работ и транспортных потоков в процессе проектирования, последующее обоснование количества и комплектности, приобретаемого оборудования, поддержание требуемой производительности в процессе экс-

плуатации мощных погрузочно-транспортных комплексов остается актуальным. На ряде действующих и проектируемых карьеров по добыче полезных ископаемых объем выемки горной массы превысил 100 млн.т. Относительная ошибка в определении производительности в размере $\pm 5\%$ при таких масштабах погрузочно-транспортных работ в абсолютном выражении равна производительности нескольких комплексов оборудования.

Существует большое количество методик расчета и нормативных документов, определяющих производительность погрузочно-транспортных



Зависимость эксплуатационной среднечасовой производительности экскаваторов ($Q_{эч}$) от ширины рабочих площадок ($Ш_{р.п.}$) во взорванных породах: - коэффициенты обеспечения автосамосвалами: 1 - 0,9; 2 - 0,8; 3 - 0,7.

Фактические значения производительности

- - карьер Мукуланский;
- - карьер Высотный;
- ▲ - карьер Центральный ГМК Печенганикель.

комплексов. Наряду со значительными достижениями, полученными в результате предшествующих исследований и разработок, имеется ряд недостатков, которые затрудняют их применение. К ним можно отнести: недостаточную точность результатов расчетов, малый диапазон значений, использование ряда характеристик, не поддающихся измерению. Существующие методики не учитывают влияние технологического ресурса – оперативных запасов взорванной горной массы, разнообразие годового режима работы предприятия и т.д. Поэтому нами рассматривается возможность совершенствования методики прогнозирования производительности выемочно-погрузочных комплексов и их систем на основе методологии, предложенной школой открытых горных работ МГУ [2].

Расчет мощности комплексов основывается на значении часовой производительности. В качестве аргументов, определяющих часовую производительность, рассмотрены: ширина рабочих площадок; обеспеченность автотранспортом; характеристики разрушенных горных пород. На рисунке показаны графики зависимости эксплуатационной среднечасовой производительности экскаваторов от ширины рабочих площадок с учетом обеспеченности автосамосвалами. При изменении ширины рабочих площадок от минимальной ширины (20-30 м) до нормальных значений (70 м), производительность может быть увеличена в 1,3 раза.

Графики зависимости получены путем обработки большого массива данных. В поле рисунка приведены фактические значения производительности экскаваторов ЭКГ-8И карьеров Мукуланский и Высотный Тырныаузского ВМК и карьера Центральный ГМК «Печенганикель». Коэффициент вариации значений часовой производительности составляет $\pm 7\%$.

Нами установлено, что значения часовой производительности комплексов на отечественных и зарубежных карьерах практически соответствуют. Значительное различие годовой производительности обусловлено степенью использования календарного времени комплексов.

Рассчитать объем работ за любой период времени можно по формуле:

$$P_t = P_{ч} T_{\text{периода}} K_{\text{орг.тех}}, \quad (9)$$

где P_t - объем работ за период времени; $P_{\text{ч}}$ - часовая производительность комплекса, т/ч; $T_{\text{периода}}$ - календарное время расчетного периода, ч; $K_{\text{орг.тех.}}$ - прогнозируемый показатель организационно-технологического обеспечения времени работы комплекса:

$$K_{\text{орг.тех.}} = 1 - \sum_{i=1}^m K'_{\text{потерь } i} \quad (10)$$

где $\sum_{i=1}^m K'_{\text{потерь } i}$ - суммарная оценка совмещенных потерь времени в связи с ожидаемыми производственными условиями; m - количество факторов, приводящих к потерям времени.

Если рассматривается погрузочный комплекс другого типоразмера или с гибкой связью ковша и стрелы, то для расчета часовой производительности необходимо знать продолжительность одного цикла перемещения груза:

$$P_{\text{ч}}^{\text{цикл.}} = 3600 G_{\text{п}} / T_{\text{цикл.}} \quad (11)$$

где $P_{\text{ч}}^{\text{цикл.}}$ - часовая производительность комплекса циклического дейст-

вия, т/ч; $G_{\text{п}}$ - вес груза в одном подъеме, т; $T_{\text{цикл.}}$ - время выполнения одного цикла, перемещения груза, с.

Мощность системы комплексов (предприятия) определяется по формуле:

$$P_{\text{год.}}^{\text{сис.}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ч}i} T_{\text{календ.}} K_{\text{орг.тех.}i} N_i \quad (12)$$

где $T_{\text{календ.}}$ - годовой календарный фонд времени, ч; N - количество комплексов одного типоразмера; n - количество типоразмеров комплексов.

Значение развития технологических организационных схем открытых горных работ заключается в выходе решений на более высокий уровень точности. Коэффициент вариации показателей составляет $\pm 5\%$ при поисковом прогнозировании для действующих и $\pm 10\%$ при нормативном прогнозировании для вновь проектируемых предприятий. **ГЛАВ**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Истомин В. В.* Исследование развития горных работ на рудных карьерах: Автореф. дис. докт. техн. наук. - М.: МГИ, 1991. - 36 с.
2. *Ржевский В. В.* Открытые горные работы. Ч. 1. Производственные процессы. - М.: Недра, 1985. - 509 с.
3. *Ржевский В. В.* Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. - М.: Недра, 1985. - 549 с.

Коротко об авторе

Байбури́н Б.Р. - Херсонский национальный технический университет, Керченский факультет, E-mail: bayburin48@mail.ru

