

С.А. Масленников

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ*

Представлены результаты анализа продолжительности проходческих процессов при проходке протяженной части вертикальных стволов. В настоящее время погрузка и выдача осуществляются преимущественно без перещепки, использования призабойных перегружателей, бадьями емкостью, ограниченной возможностями подъемных машин. С увеличением глубин св. 1–1,2 км подобный подход приводит к значительному росту продолжительности строительства стволов. Погрузка и выдача породы являются длительными процессами, занимающими до 50% продолжительности проходки, при этом за один цикл выдается до 100 и более бадей. В связи с этим совершенствование процессов погрузки и выдачи породы позволяет существенно повысить скорость проходки, и, соответственно, является перспективным. При строительстве скипового ствола рудника «Мир» авторами проводились хронометражные наблюдения, данные были получены по 1118 проходческим циклам, и 1270 циклам подъема бадей. На основе анализа и статистической обработки замеров предложены зависимости для определения продолжительности погрузки бадьи, обоснована необходимость дифференцированного расчета в зависимости от квалификации проходчиков. Доказана необходимость использования забойных перегружателей при проходке глубоких стволов. Полученные результаты позволяют усовершенствовать технологию строительства стволов и повысить скорость их строительства.

Ключевые слова: ствол, горное предприятие, бадьа, грейфер, проходка, погрузка, проходческий подъем.

При проходке стволов в настоящее время подъем осуществляется преимущественно без перещепки, использования призабойных перегружателей, бадьями емкостью, ограниченной возможностями подъемных машин. С увеличением глубин св. 1–1,2 км подобный подход приводит к значительному росту продолжительности строительства стволов. Погрузка и выдача породы являются длительными процессами, занимающими до 50% продолжительности проходки, при этом за один цикл выдается до 100 и более бадей [1, 2, 3].

Для анализа процесса выдачи породы была использована следующая модель:

$$T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n t_i$$

где t_i – продолжительность отдельных этапов цикла выдачи породы, с.

Подставляя выражения для определения t_i , получаем:

$$T_{\text{ц}} = 4 \cdot \frac{V_1 - V_0}{a_1} + \\ + 2 \cdot \frac{H - 2 \cdot \frac{V_1^2 + V_0^2}{2a_1} - 40}{V_1} + \\ + 2 \cdot \frac{H_{\text{заб}}}{V_{\text{пон}}} + \frac{V_0 \cdot \tau_{\text{чер}}}{V_{\text{гр}} \cdot n_{\text{гр}} \cdot \phi_{\text{гр}} \cdot K_{\text{гр}}} + t_{10}$$

* Представленные результаты получены в рамках выполнения Госзадания Минобрнауки России № 1.10.14 по теме «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии освоения подземного пространства на основе комплексного мониторинга всех стадий жизненного цикла инженерных объектов и систем» и гранта МК-6986.2015.8 по теме «Разработка инновационных конструктивных и технологических решений при креплении вертикальных стволов шахт и рудников».

Таблица 1

	V_1 , м/с	a_1 , м/с ²	H , м	$H_{заб}$, м	$V_{пон}$, м	V_6 , м ³	$V_{гр}$, м ³	$n_{гр}$, шт	t_{10} , с
min	5	0,3	100	26	0,5	2	0,65	1	87
max	12	0,6	1200	46	1,5	5	1	2	117

где V_1 – максимально допустимая скорость движения бады, м/с; V_0 – начальная скорость движения бады при спуске, м/с; a_1 – максимально допустимое ускорение движения бады, м/с²; H – глубина рассматриваемого участка, м; $H_{заб}$ – расстояние от уровня б м над полком до забоя, м; $V_{пон}$ – средняя скорость движения бады на участке $H_{заб}$, м/с; V_6 – объем бады, м³; $\tau_{чер}$ – продолжительность одного черпания, с; $V_{гр}$ – объем грейфера, м³; $n_{гр}$ – число одновременно работающих грейферов, шт.; $\varphi_{гр}$ – коэффициент, учитывающий одновременность работы грейферов; $K_{гр}$ – коэффициент заполнения грейфера; t_{10} – время разгрузки бады, с.

Анализ влияния входящих в данное уравнение членов был выполнен с учетом следующих возможных пределов их варьирования (см. табл. 1).

Учитывая, что наибольший вклад в продолжительность проходческого цикла процесс выдачи породы вносит при строительстве на значительных глубинах, величина H была ограничена значениями от 700 до 1200 м. С помощью методов планирования эксперимента (2(k-p) стандартного плана) при уровне значимости $\alpha = 0,05$ были выделены основные влияющие факторы. Результаты представлены в виде карты Парето на рис. 1. Как видим, в этом случае все факторы остаются значимыми, а наибольший вклад вносит скорость подъема бады.

Скорость подъема ограничивается либо требованиями правил безопасности (12 м/с при выдаче породы), либо технической возможностью подъемных машин. Переходя к производительности подъема видим, что рост скорости приводит к увеличению производитель-

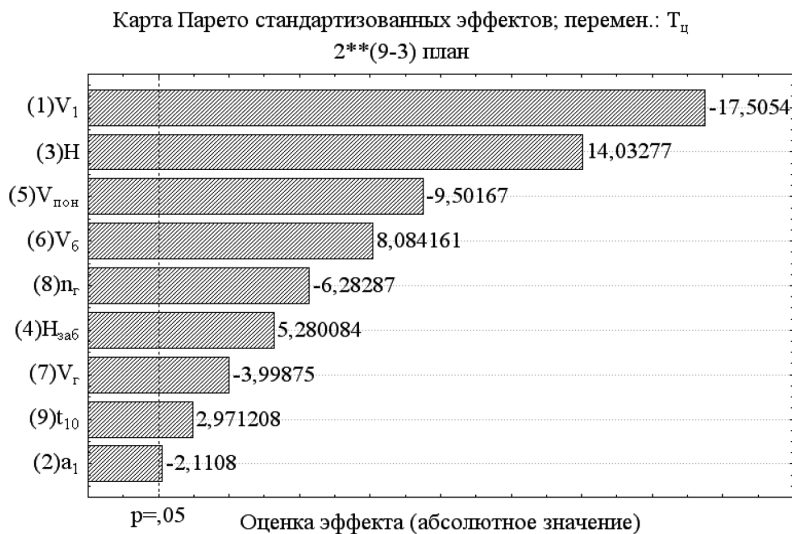


Рис. 1. Карта Парето стандартизованных эффектов

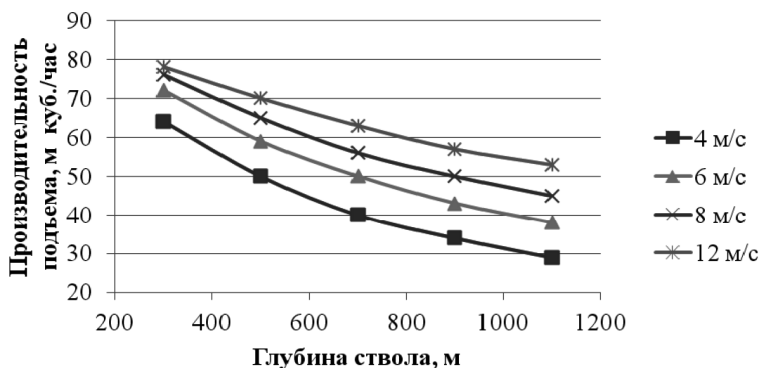


Рис. 2. Зависимость производительности подъема от скорости движения бады по стволу

ности, но наиболее эффективно применение более мощных машин на значительных глубинах (см. рис. 2). При проходке глубоких стволов их оборудуют машинами МПП-17,5, и, при необходимости, машинами МПБК-20/25 с максимально возможной скоростью – 8 м/с. Как показывает выполненный расчет увеличение скорости подъема с 4 до 6 м/с приводит к росту производительности подъема в интервале глубин 300–1100 м на 12–31%, с 6 до 8 м/с на 5–18%, а с 8 до 12 м/с на 2–9%. Т.е. повышение скорости движения свыше 8 м/с приводит к пропорциональному росту производительности подъема и может быть рациональным (рост более 10%) только в стволах глубиной свыше 1200 м.

Как видим (рис. 1, объемы бады и грейфера) существенный вклад в продолжительность выдачи породы вносит время погрузки бады. С ростом глубин для повышения производительности подъема необходимо увеличивать емкость применяемых бадей, в этом случае влияние погрузки на продолжительность выдачи будет расти (см. рис. 3).

Как видно из рис. 3 вклад продолжительности погрузки может достигать 30 и более процентов, что позволяет сделать вывод о перспективности совершенствования ее технологии.

Анализ процесса погрузки бады был выполнен на основе хронометражных наблюдений проводившихся авторами на скиповом стволе рудни-

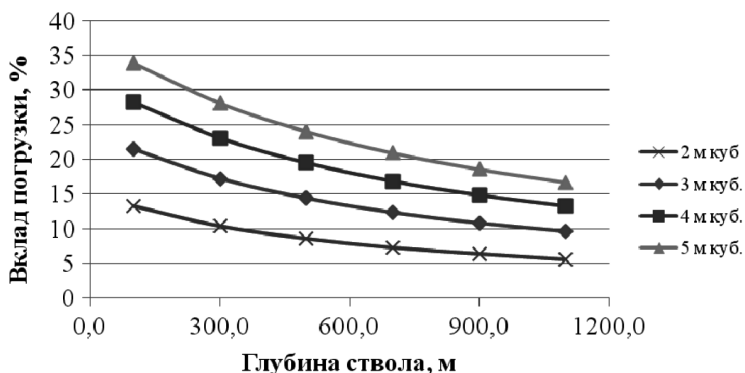


Рис. 3. Вклад погрузки в продолжительность цикл выдачи бады

Таблица 2

№	\bar{x}	\bar{S}^2	\bar{S}	<i>max</i>	<i>min</i>	CAO	$\left \frac{CAO}{\bar{S}} - 0,7979 \right $	$\frac{0,4}{\sqrt{n}}$	Мода	V
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	49,4	42,3	6,5	64	35	5,53	0,052	0,04	44	13,2

\bar{x} – среднее значение; \bar{S}^2 – дисперсия; \bar{S} – среднеквадратическое отклонение; *max* – максимальное из наблюдаемых значений, с; *min* – минимальное из наблюдаемых значений, с; CAO – среднее абсолютное отклонение; V – коэффициент вариации.

ка «Мир», где было выполнено более 1270 замеров на различных глубинах [4, 5]. На первом этапе имеющиеся данные были подвергнуты проверке на наличие грубых погрешностей, при уровне доверительной вероятности 95%. После этого в случайном порядке была отобрана информация о 100 циклах загрузки бадей. Статистическая обработка данных выявила существенное отклонение от нормального распределения (см. табл. 2 столбцы 7 и 8).

Было выдвинуто предположение, о влиянии на продолжительность загрузки бадей опыта и стиля работы машинистов грейфера. При визуальном наблюдении было отмечено два способа существенного сокращения времени погрузки:

1. Грейфер наполняется породой заранее, а выгрузка осуществляется еще до момента касания дном бадей забоя. Дальнейшее наполнение обеспечивается за два черпания каждого грейфера. Недостатком такого способа является возможность поврежде-

ния лопастями грейфера при разгрузке каната подъемной машины.

2. При уменьшении толщины слоя оставшейся породы во время ожидания бадей породу аккумулируют в кучи, благодаря чему заполнение грейфера остается близким к максимальному до окончания погрузки.

Рассматривая выдвинутое предположение, имевшиеся данные были сгруппированы по звеньям. Наиболее полные данные (более 50 наблюдений по каждому звену) имелись по трем из них. Случайным образом было отобрано равное количество наблюдений для каждого звена. В строках 1–3 табл. 3 приведены результаты статистической обработки данных. Информация ранжирована по величине средней продолжительности погрузки. Как видим, при дифференцированном рассмотрении отклонение от нормального распределения имеется только в одном случае, в двух остальных данные соответствуют нормальному распределению. Если между средними значения

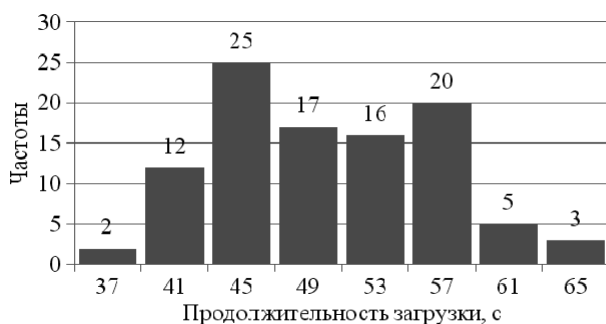


Рис. 4. Гистограмма распределения продолжительности погрузки бадей

Таблица 3

№	\bar{x}	\bar{S}^2	\bar{S}	<i>max</i>	<i>min</i>	CAO	$\left \frac{CAO}{\bar{S}} - 0,7979 \right $	$\frac{0,4}{\sqrt{n}}$	Мода	V
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	44,2	21,4	4,6	57	35	3,2	0,1	0,07	45	10,5
2	48,2	22,8	4,8	60	40	3,9	0,01	0,07	47	9,9
3	55,9	12,9	3,6	64	50	2,8	0,01	0,07	55	6,4

\bar{x} – среднее значение; \bar{S}^2 – дисперсия; \bar{S} – среднеквадратическое отклонение; *max* – максимальное из наблюдаемых значений, с; *min* – минимальное из наблюдаемых значений, с; CAO – среднее абсолютное отклонение; V – коэффициент вариации.

ми первой и второй строк разница составляет всего 4 с, а с учетом выбора менее строгого уровня доверительной вероятности их значения частично пересекаются, то данные по третьему звену существенно отличаются, разница по среднему значению достигает 8 с.

Таким образом, можно сделать вывод, что время погрузки бады существенным образом будет зависеть не только от ее объема и объема грейфера, но и от квалификации машинистов. Соответственно предложены формулы для определения продолжительности загрузки бады.

При высокой квалификации машинистов

$$t_{\sigma} = 4 + \left[\frac{V_{\sigma}}{V_{гр} \cdot n_{гр} \cdot \varphi_{гр}} - 1 \right] \cdot \tau_{чerp} \quad (1)$$

в остальных случаях

$$t_{\sigma} = \left[\frac{V_{\sigma}}{V_{гр} \cdot n_{гр} \cdot \varphi_{гр}} \right] \cdot \tau_{чerp} - 4 \quad (2)$$

Для двухгрейферной погрузочной машины с объемом грейфера 0,65 м куб. (2КС-2У40) приведенные формулы принимают вид

$$t_{\sigma} = 4 + 19,8[V_{\sigma} - 1]$$

и

$$t_{\sigma} = 19,8 \cdot V_{\sigma} - 4$$

при работе с перцепкой бадей используя данные, приводимые в [6] продолжительность операций в забое составляет $t_{\sigma} = 35$ с и включает отвод и установку, прицепку груженой бады, устранение раскачивания и очистку дна. Рассчитывая продолжительность погрузки бадей с перцеп-

Таблица 4

Минимальный объем бады, м куб., при $V_{гр} = 0,65$ м куб., $n_{гр} = 2$	Минимальный объем бады, м куб., при $V_{гр} = 1$ м куб., $n_{гр} = 2$	Минимальный объем бады, м куб., при $V_{гр} = 0,65$ м куб., $n_{гр} = 1$	Минимальный объем бады, м куб., при $V_{гр} = 1$ м куб., $n_{гр} = 1$
при расчете по формуле (1)			
2	3,5	1	2
$\Delta t = 19,76V_{\sigma} - 38,94$	$\Delta t = 12,87V_{\sigma} - 39,05$	$\Delta t = 39,56V_{\sigma} - 38,99$	$\Delta t = 25,73V_{\sigma} - 39,05$
при расчете по формуле (2)			
3	4	1,5	2
$\Delta t = 19,76V_{\sigma} - 50,75$	$\Delta t = 12,86V_{\sigma} - 50,82$	$\Delta t = 39,56V_{\sigma} - 50,82$	$\Delta t = 25,72V_{\sigma} - 50,81$

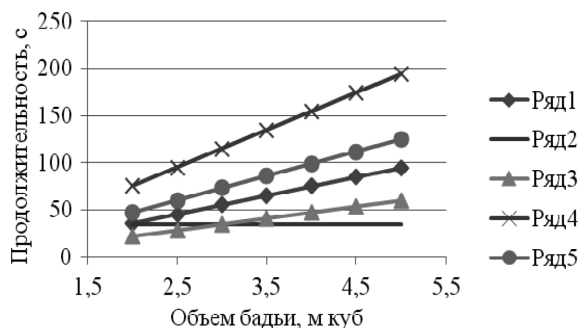


Рис. 5. Зависимость продолжительности погрузки бадьи от ее объема: ряд 1 – при $v_{гр} = 0,65$ м куб., $n_{гр} = 2$; ряд 2 – t_5 при погрузке с перецепкой; ряд 3 – при $v_{гр} = 1$ м куб., $n_{гр} = 2$; ряд 4 – при $v_{гр} = 0,65$ м куб., $n_{гр} = 1$; ряд 5 – при $v_{гр} = 1$ м куб., $n_{гр} = 1$

Таблица 5

\bar{x}	\bar{S}^2	\bar{S}	<i>max</i>	<i>min</i>	CAO	$\left \frac{CAO}{\bar{S}} - 0,7979 \right $	$\frac{0,4}{\sqrt{n}}$	Мода	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19,84	6,782	2,604	29	13	2,0256	0,02002	0,04	22	13,1

\bar{x} – среднее значение; \bar{S}^2 – дисперсия; \bar{S} – среднее квадратическое отклонение; *max* – максимальное из наблюдаемых значений, с; *min* – минимальное из наблюдаемых значений, с; CAO – среднее абсолютное отклонение; V – коэффициент вариации.

кой и без нее, получаем минимальные значения объема бадь, при которых использование перецепки ведет к сокращению времени нахождения бадьи в забое (Δt), см. табл. 4 и рис. 5.

Данные по циклу черпания грейфера комплекса 2КС-2У/40 приведены в табл. 5. Используя их, а также данные, приводимые в табл. 2 и 3 можно оценить величину коэффициента заполнения грейфера. Так как фактически в среднем бадья БПСМ-3 загружается за 6,1 черпаний грейфера в первой фазе погрузки, БПСМ-4 за 7,8 черпаний, т.е. при емкости грейфера 0,65 м. куб. коэффициент заполнения в первом случае 0,75, во втором 0,79. При дальнейших расче-

тах может быть принята средняя величина 0,77. Время одного черпания варьируется от 13 с до 29 с.

Совершенствование технологии погрузки породы, использование забойных перегружателей, и применение подъемных машин, обеспечивающих скорость подъема не менее 8 м/с, позволяет сократить продолжительность цикла выдачи бадьи на величину до 43–51% и продолжительность проходческого цикла до 15–25%. Полученные авторами зависимости разработаны на основе фактического материала, позволяют на стадии проектирования параметров проходки подобрать рациональную технику и технологию ведения работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопов А.Ю., Страданченко С.Г., Базавова О.В. К вопросу о расчете параметров проходческого подъема // Научное обозрение. – 2014. – № 10. – С. 419–422.

2. Страданченко С.Г., Прокопов А.Ю., Склетчук В.Л. Обоснование параметров скоростного проведения вертикального клетового ствола подземного рудника «Айхал» //

Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 6. – С. 258–264.

3. Прокопов А.Ю., Масленников С.А., Склячук В.Л. О структуре трудовых затрат времени при сооружении скипового ствола подземного рудника «Мир» на участке нефтегазопоявлений // Збірник наукових праць НГУ. – 2010. – № 34, т. 1. – С. 75–79.

4. Прокопов А.Ю., Масленников С.А., Шинкарь Д.И. К вопросу о влиянии технологических факторов на деформационные

характеристики бетона в многослойной крепи // Научное обозрение. – 2013. – № 11. – С. 97–102.

5. Langefeld O., Maslennikov S.A., Stand und Ausblick des Schachtbaus in der Russischen Föderation // Bergbau. – 2011. – № 10. – pp. 437–439.

6. Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. – М: Недра, 1982. – 295 с. **ПЛАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Масленников Станислав Александрович – кандидат технических наук, доцент,

e-mail: MaslennikovSA@mail.ru,

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)

Донского государственного технического университета в г. Шахты.

UDC 622.28(06)

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY SHAFTS

Maslennikov S.A., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: MaslennikovSA@mail.ru, Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch) Don State Technical University in Shakhty, Shakhty, Russia.

The article presents the results of the analysis duration sinking cycle in the extended part of the sinking of vertical shafts. Currently loading and delivery are carried out mainly without the changing of buckets, the use of entry loader, hoppet capacity, limited winders. With increasing depth of over 1–1.2 km, this approach leads to a significant increase in the duration of construction sinking cycle. Loading and delivery of the breed is a lengthy process, taking up to 50% the length of penetration, with a single cycle is issued to 100 or more hoppet. In this regard, improvement of the loading and egress can significantly increase the rock penetration rate, and hence is promising. During the construction of the skip shaft mine "Mir" the authors conducted chronometer observation, data were obtained on the driving cycle in 1118, and 1270 cycles of lifting hoppet. Based on the analysis and statistical processing of measurements proposed for determining the length depending on the loading bucket, the necessity of differential calculation, depending on the qualifications of drifters. The obtained results allow us to improve the technology of construction barrels and increase the speed of their construction.

Key words: shaft, mining enterprise, hoppet, mining, rock loading, raising.

ACKNOWLEDGEMENTS

Presents the results obtained in the framework of execution of state assignment of Ministry of education and science No 1.10.14 on «resource-Saving and ecologically safe technologies of underground space development on the basis of comprehensive monitoring of all stages of the life cycle engineering objects and systems» and the grant МК-6986.2015.8 on the topic «Development of innovative structural and technological solutions for the fastening of vertical trunks of mines».

REFERENCES

1. Prokopov A.Yu., Stradanchenko S.G., Bazavova O.V. *Nauchnoe obozrenie*. 2014, no 10, pp. 419–422.
2. Stradanchenko S.G., Prokopov A.Yu., Sklepchuk V.L. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 6, pp. 258–264.
3. Prokopov A.Yu., Maslennikov S.A., Sklepchuk V.L. *Zbirnik naukovikh prats' NGU*. 2010, no 34, vol. 1, pp. 75–79.
4. Prokopov A.Yu., Maslennikov S.A., Shinkar' D.I. *Nauchnoe obozrenie*. 2013, no 11, pp. 97–102.
5. Langefeld O., Maslennikov S.A. *Stand und Ausblick des Schachtbaus in der Russischen Föderation. Bergbau*. 2011, no 10. pp. 437–439.
6. Pokrovskiy N.M. *Tekhnologiya stroitel'stva podzemnykh sooruzheniy i shakht* (The technology of construction of underground structures and mines), Moscow, Nedra, 1982, 295 p.