



**ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НЕОБХОДИМОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ БУРЕНИИ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН
В СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МАССИВАХ ГОРНЫХ ПОРОД**

А. С. Реготунов, Р. И. Сухов, Д. А. Гращенко

*Институт горного дела УрО РАН, E-mail: pochta8400@inbox.ru,
ул. Мамина-Сибиряка 58, г. Екатеринбург 620075, Россия*

Предложен методический подход, позволяющий выявлять влияние изменяющихся условий на показатели буровых работ горного предприятия с открытым способом добычи полезных ископаемых. Буровые работы представлены как подсистема более общей системы “горнодобывающее предприятие”, на устойчивость которой влияет множество разнообразных факторов. Приведено описание первого этапа реализации предлагаемого подхода для выявления факторов процесса бурения взрывных скважин, предопределяющих осуществление переходных процессов как необходимых реакций подсистемы “буровые работы” для адаптации к изменяющимся условиям функционирования. Представлены результаты выявления основных факторов, которые оказывают влияние на устойчивость подсистемы “буровые работы” на уровне непосредственного получения взрывных скважин, установленные на опытном участке горного предприятия.

Система, факторы, переходные процессы, карьер, бурение взрывных скважин, измерение, аппаратура

**IDENTIFICATION OF FACTORS AFFECTING THE NEED
TO IMPLEMENT TRANSITION PROCESSES OF BLASTHOLE DRILLING
IN ROCK MASSES WITH COMPLEX STRUCTURE**

A. S. Regotunov, R. I. Sukhov, and D. A. Grashchenko

*Institute of Mining, Ural branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: pochta8400@inbox.ru, ul. Mamina-Sibiryaka 58, Ekaterinburg 620075, Russia*

A new methodological approach is proposed to identify the effect of changing conditions on the performance of drilling operations of a mining enterprise using an open-pit method. Drilling is presented as a subsystem of the more general system called “mining enterprise”, the stability of which is affected by multiple factors. The first stage of implementing the proposed methodological approach to identify the factors of blasthole drilling determining the transition processes as necessary reactions of the “drilling operations” subsystem to adapt for changing conditions is described. The results of revealing the main factors which affect the stability of “drilling operations” subsystem at the level of blastholes at the pilot site of a mining enterprise are presented.

System, factors, transition processes, open-pit mine, blasthole drilling, measurement, equipment

Горнодобывающее предприятие как система развивается в постоянно изменяющихся условиях внешней и внутренней среды. Эти изменения отражаются на состоянии важнейших подсистем, одна из которых — подсистема “буровые работы”, обладающая определенной структурой. Элементами подсистемы являются работники, массив горных пород, технология бурения взрывных скважин, применяемые буровые станки и буровой инструмент. Развитие подсистемы сопровождается внутренними противоречиями, преодолеваемыми через реализацию переходных

процессов как необходимых действий при осуществлении принимаемых инновационных решений по адаптации подсистемы “буровые работы” предприятия к изменяющимся условиям функционирования [1]. Основными переходными процессами являются: изменение конструкции долота под конкретные породы, способа бурения, режима бурения, совершенствование конструкции бурового станка, контроль процесса бурения и уточнение свойств горных пород, повышение качества системы технического обслуживания и ремонтов. Устойчивое развитие подсистемы “буровые работы” согласно [2] может нарушаться по следующим причинам: внедрение инновационных технологий, улучшение технико-технологических параметров буровых работ в условиях роста производства, модернизация действующих технологий с целью предотвращения нежелательного проявления внешней среды (природной, экономической, социальной и др.), изменение параметров в условиях сокращения объемов производства при затухании горных работ или устойчивом снижении спроса на продукцию предприятия.

На крупнейших ГОКах уже сегодня имеет место ряд проблем устойчивого развития подсистемы “буровые работы”, главным образом, из-за нежелательных проявлений внешней и внутренней среды. С увеличением глубины карьеров размеры рабочей зоны, ширина рабочих площадок, длина фронта работ на уступах уменьшаются, в то время как общая протяженность фронта работ возрастает. Это приводит к уменьшению общего числа взрывных скважин в блоках, увеличению количества одновременно буримых блоков, частым перемещениям буровых станков на значительные расстояния. Структура парка буровых станков в карьерах не в полной мере соответствует прочностным свойствам разрабатываемого массива горных пород и руд, объемам добычи горной массы в карьере, режимы бурения применительно к физико-механическим свойствам буримых сложноструктурных массивов горных пород часто не способствуют достижению максимальной производительности бурового станка и наибольшей износоустойчивости шарошечных долот. Вследствие этого затраты на буровой инструмент, особенно в крепких и крепчайших породах, могут достигать до 70 % в себестоимости буровых работ [3]. Кроме того, дефицит достоверной прогнозной информации о состоянии массива горных пород при планировании буровых работ часто создает условия для неправильного выбора шарошечных долот и повышенного физического износа бурового оборудования и инструмента при последующем их применении. Дисбаланс в функционировании подсистемы “буровые работы” на предприятиях в существующих экономических реалиях служит причиной повсеместного использования морально устаревшей и отслужившей нормативный срок буровой техники, требующей замены [4]. В такой ситуации для приведения подсистемы “буровые работы” к устойчивому эффективному и безопасному развитию на каждом горнодобывающем предприятии необходимо осуществлять тщательный анализ производственной деятельности для выявления рациональных переходных процессов. Сложность при выборе переходных процессов, наиболее соответствующих изменяющимся условиям, состоит в недостаточном уровне объективной информации о комплексном влиянии множества различных факторов (таблица) на важнейшие показатели подсистемы “буровые работы” в текущих условиях добычи полезных ископаемых — скорость, производительность, энергоемкость и себестоимость бурения взрывных скважин.

В области шарошечного бурения взрывных скважин к настоящему времени выполнен большой объем исследований. Раскрывая физику и многофакторность разрушения массива горных пород в процессе шарошечного бурения, созданные теоретические основы позволяют выявить взаимосвязи между отдельными факторами. Механизм их действия настолько сложен, что установить теоретически взаимосвязь между всеми действующими факторами до сих пор не удалось. Из-за этого процесс бурения технологических скважин часто представляют в упрощенном виде. Однако такой подход не учитывает факторы неопределенности, обусловленные влиянием вариабельной в пространстве и во времени среды, объединяющей комплекс свойств массива горных пород и многое другое.

Факторы, вызывающие необходимость осуществления переходных процессов в подсистеме “буровые работы”

Факторы, вызывающие необходимость реализации переходных процессов	Разновидность
Внешние, не зависящие от деятельности горнодобывающего предприятия	
Социально-экономические	Инфляция, социальная нестабильность, изменения налоговой системы, законодательства, кризисные явления; другие рыночные факторы
Горно-технологические	Горное давление, интенсивность добычи полезных ископаемых, проектные параметры карьера и рабочей зоны
Горно-геологические	Физико-механические, структурные (трещиноватость, техногенная нарушенность, прочность, блочность массива горных пород) и текстурные свойства горных пород, гидрологические условия массива горных пород, содержание ценного компонента в руде
Требования безопасности	Санитарно-гигиенические условия труда, требования действующего законодательства и регламентов в области промышленной безопасности
Внутренние, зависящие от деятельности горнодобывающего предприятия	
Управленческие	Недостаточное знание конъюнктуры рынка, неэффективная система управления, состояние основных средств производства (буровое оборудование)
Технологические	Параметры технологии буровых работ (диаметр и длина скважин, сопротивление по подошве уступа, расстояния между скважинами в ряду и между рядами на блоке), режимы эксплуатации бурового оборудования, мощность оборудования, параметры конструкции буровой техники и инструмента; параметры и состояние рабочих площадок
Организационные	Разведанность запасов, своевременная подготовка блоков для бурения скважин, система технического обслуживания и ремонтов (своевременность и полнота проводимых ремонтных работ), объем вспомогательных работ (чистка скважин, дублирование скважин, переезды), полнота соблюдения инструкций по эксплуатации бурового оборудования и инструмента

Таким образом, решение задачи выявления рациональных переходных процессов в подсистеме “буровые работы” для обеспечения ее устойчивого развития как необходимых реакций на изменяющиеся факторы, задаваемые переменными условиями среды, должно основываться на измерении в реальных условиях производства буровых работ и последующем анализе комплекса природных, технологических, технических и экономических факторов.

В Институте горного дела УрО РАН ведется разработка методического подхода для выявления комплекса факторов, задаваемых изменяющимися условиями протекания процессов бурения взрывных скважин, который включает анализ исходных данных и нормативных показателей буровых работ, измерение специальной аппаратурой параметров процессов бурения, статистический анализ фактических значений показателей буровых работ, определение возможного перечня рациональных переходных процессов согласно факторам, в наибольшей степени влияющих на показатели буровых работ, совместную оценку экономической эффективности и безопасности выбранных переходных процессов.

На первом этапе реализации методического подхода создана опытная версия аппаратуры для инструментального контроля параметров бурения взрывных скважин. Аппаратура обеспечивает измерение и запись данных о работе основных двигателей бурового станка, шарошечного долота и синхронизирует их с измеренными данными о текущей глубине скважины. Поступающая со

станка информация о контролируемых параметрах далее используется для уточнения прочностных свойств массива горных пород, определения режимных параметров, энергоемкости процесса бурения. Программа на основе исходных данных предусматривает выполнение статистического анализа полученного материала (определение первой и третьей квантилей, медианы, среднего значения, максимального и минимального значений параметров бурения скважины).

На блоке карьера ОАО “Ураласбест”, намеченного к выемке, проведено опытное бурение скважин в сложноструктурном массиве горных пород с целью выявления с помощью аппаратуры основных факторов, влияющих на устойчивость подсистемы “буровые работы” на уровне процесса получения взрывных скважин. В качестве индикатора состояния подсистемы “буровые работы” на данном уровне ее функционирования принят показатель механической скорости бурения. На рис. 1 и 2 представлены результаты измерения факторов, полученных в процессе бурения одной из скважин на блоке. Таким же образом были выявлены факторы при измерениях характеристик процесса бурения остальных взрывных скважин на блоке.

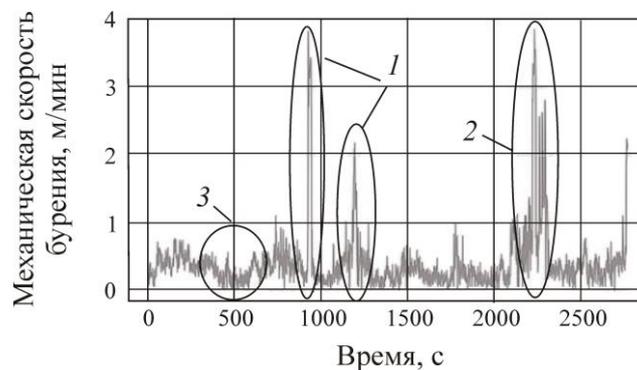


Рис. 1. Изменение во времени механической скорости бурения

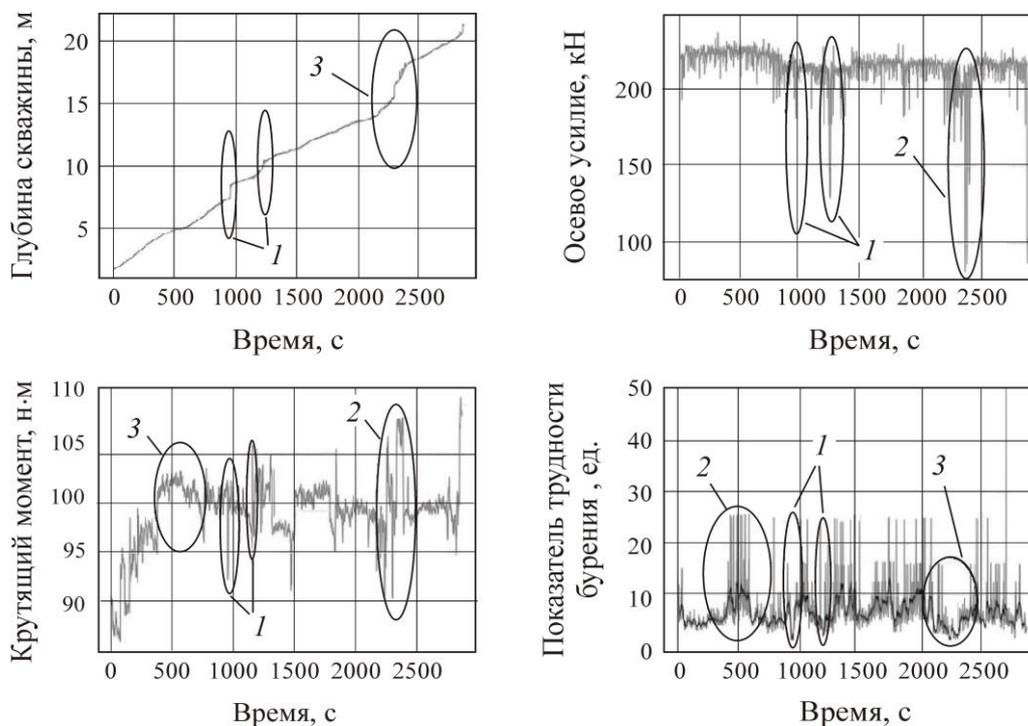


Рис. 2. Изменение во времени факторов, влияющих на механическую скорость бурения скважины

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что возникновение моментов неустойчивого состояния подсистемы “буровые работы” при бурении взрывной скважины

обусловлено главным образом природными факторами сложноструктурного массива горных пород: резкими и кратковременными 1 и относительно плавными продолжительными 2 и 3 изменениями прочностных свойств горных пород, выраженных в исследованиях показателем трудности бурения В. В. Ржевского. В таких условиях бурения опоры шарошечного долота испытывают интенсивные динамические нагрузки, что способно значительно снизить надежность всей конструкции бурового инструмента и привести к преждевременному выходу его из строя. Поэтому в качестве переходного процесса, переводящего подсистему в устойчивое состояние, может быть рекомендовано применение наддолотного амортизатора, уменьшающего нежелательные динамические нагрузки на элементы опоры шарошечного долота.

Продолжение экспериментальных исследований факторов на более длительных временных базах — неделя, месяц, год, по всей видимости, позволит получить более полную информацию об изменениях, происходящих в состоянии подсистемы “буровые работы”. Это обеспечит выявление дополнительных рациональных переходных процессов (технических решений) с целью снижения нежелательного влияния вариабельной среды на устойчивость подсистемы.

ВЫВОДЫ

Разработан методический подход для выявления комплекса факторов, предопределяющих необходимость осуществления переходных процессов в подсистеме “буровые работы”, который включает анализ исходных данных и нормативных показателей буровых работ, измерение специальной аппаратурой параметров бурения, статистический анализ фактических значений показателей буровых работ, определение перечня рациональных переходных процессов, совместную оценку экономической эффективности и безопасности выбранных переходных процессов.

На первом этапе реализации методического подхода создана аппаратура для определения факторов процесса бурения взрывных скважин и апробирована при их бурении в сложноструктурном массиве горных пород. Испытания решено продолжить для выявления дополнительных факторов, влияющих на состояние подсистемы “буровые работы” в более продолжительные интервалы ее функционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Yakovlev V. L.** Transition processes in the technology of development of complex structural mineral deposits, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2015, no. S1-1, pp. 65–76. [**Яковлев В. Л.** Переходные процессы в технологии разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // ГИАБ. — 2015. — № S1-1. — С. 65–76.]
2. **Yakovlev V. L.** Research of transition processes — a new direction in the development of the methodology of integrated development of georesources. *Yekaterinburg, Ural Branch, Russian Academy of Sciences*, 2019, 284 pp. (in Russian) [**Яковлев В. Л.** Исследование переходных процессов — новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов. — Екатеринбург, УрО РАН, 2019. — 284 с.]
3. **Butkin V. D., Gilev A. V. et al.** Selection and rational exploitation of drilling tools and machines in quarries. *Krasnoyarsk, Siberian Federal University*, 2010, 236 pp. (in Russian) [**Буткин В. Д., Гилев А. В и др.** Выбор и рациональная эксплуатация буровых инструментов и станков на карьерах. — Красноярск: СФУ, 2010. — 236 с.]
4. **Sukhov R. I. and Regotunov A. S.** Analysis of the state of the drilling rigs fleet and directions for improving drilling technology, *Technology and safety of explosive works*, 2019, pp. 37–42. [**Сухов Р. И., Реготунов А. С.** Анализ состояния парка станков и направлений совершенствования технологии бурения // Технология и безопасность взрывных работ. — 2019. — С. 37–42.]