

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН НАРУШЕНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ И ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ

Урбаев Д. А., Иванов Д. Г.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия (660041, Красноярск, пр. Свободный 79), e-mail: urbaev2011@mail.ru

Представлены данные о нарастании сложности горно-геологических и горнотехнических условий с понижением горных работ, в частности, на рудниках Норильского промышленного района. Подтверждена актуальность научно-технической задачи по выявлению причин возникновения нарушений устойчивости крепи вертикальных стволов шахт. Перечислены конкретные горно-геологические условия на рудниках ЗФ ОАО «Норильский никель» и возникшие при этом нарушения устойчивости крепи стволов. Причинами возникновения данных нежелательных явлений являются несоответствие проектных и технологических решений сложным горно-геологическим и горнотехническим условиям строительства. Устойчивость крепи зависит от многих факторов вероятностной природы, которые учитываются в разработанной теории надежности. Предложены математические модели по определению общей вероятности безотказной работы любой технологической схемы строительства. Осуществлена формализация всего производственного цикла строительства через оценку надежности отдельных технологических процессов. Обоснован оптимальный уровень показателя надежности крепи, обеспечивающий низкие эксплуатационные затраты.

Ключевые слова: сложные горно-геологические условия, вертикальные стволы, нарушения устойчивости крепи, показатель надежности.

DETERMINATION OF CAUSES OF LINING INSTABILITY IN VERTICAL SHAFTS AND JUSTIFICATION OF ADDITIONAL MEASURES IN TERMS OF RELIABILITY

Urbaev D. A., Ivanov D. G.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (660041, Krasnoyarsk, Svobodny St., 79), e-mail: urbaev2011@mail.ru

The article presents data on deterioration of geological and mining conditions down mining operations, particularly in the mines of Norilsk industrial area. The relevance of scientific and technical task of identifying the causes of lining instability in vertical shafts is confirmed. The article describes specific mining and geological conditions in the mines of OJSC "Norilsk Nickel" Polar Division and instability in shaft lining. Inconformity of design and technology solutions to complex geological and mining conditions is the cause of these undesirable events. Shaft lining stability depends on many factors of stochastic nature, and they are considered in the developed reliability theory. The authors propose a mathematical model to determine general probability of no-failure operation for any technological scheme of mining development. They give formal characterization of the entire construction cycle with reliable assessment of certain working operations. The optimal level of lining reliability with low operating costs is proved.

Keywords: complex mining and geological conditions, vertical shafts, lining instability, reliability.

Введение

На территории Норильского промышленного района насчитывается 31 действующий вертикальный ствол с общей глубиной 27,9 км [1].

Целью данной статьи является разработка математических моделей на основе показателя надежности технологических схем и операций, позволяющих обосновать оптимально необходимый объем проведения дополнительных инженерных мероприятий по продлению безремонтного срока службы крепи вертикальных стволов.

Для условий ведения горных работ на рудниках ЗФ ОАО ГМК «Норильский никель» характерно резкое повышение нарушенности руд и пород на вскрываемых участках шахтных полей с увеличением глубины разработки. На шахте «Скалистая» рудника «Комсомольский» этому способствует интенсивная тектоническая нарушенность массива горных пород.

Отличаясь своей уникальностью и важностью в производственном комплексе горнодобывающего предприятия, вертикальные стволы требуют постоянного поиска и разработки эффективных решений по интенсификации их строительства и безремонтной эксплуатации [2], что, в свою очередь, является актуальной научно-технической проблемой развития горнорудной промышленности России. Особый интерес вызывают вопросы, касающиеся причин возникновения нарушений устойчивости крепи вертикальных стволов шахт.

Имевшие место случаи нарушения устойчивости крепи стволов на рудниках ЗФ ОАО ГМК «Норильский никель» обуславливаются наличием в пересекаемой стволами толще многолетнемерзлых пород соляных пластов, агрессивных и напорных подземных вод, сильно трещиноватых и склонных к набуханию пород. Все это связано со значительной тектонической нарушенностью массива и особенностями процесса сдвижения горных пород под сильным влиянием очистных работ, ведущихся в пределах околоствольных предохранительных целиков [3].

На рудниках ЗФ ОАО ГМК «Норильский никель» наиболее распространенной является монолитная бетонная крепь. Но в осложненных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях (в верхней части) ствола крепились комбинированной тубинго-бетонной крепью. Такая же крепь применена в некоторых стволах на больших глубинах (шахта «Маяк») и в сложных геологических условиях (шахта «Скалистая»).

В период проходки стволов происходили вывалы сильно трещиноватых пород, достигавшие, как например, в Западном закладочном стволе шахты «Комсомольская», глубины 2–3 м в интервале глубин 307–319 м в переслаивающихся трещиноватых алевролитах, песчаниках и долеритах. После закрепления участка нарушений устойчивости крепи не происходило. Повреждения крепи вертикальных стволов на рудниках района, требовавшие периодических ремонтов, наблюдались большей частью в районах пересечения крупных тектонических нарушений. В различных местах отмечалась коррозия крепи и её разрушение, особенно в районах технологических швов [3].

В клетевом стволе шахты «Комсомольская» в месте пересечения соляного пласта в интервале глубин 593–608 м образовались обширные закрепные пустоты, начиная со времени проходки ствола (1966–1970 гг.), и это несмотря на периодический тампонаж этих пустот. По мнению ВНИМИ происходит постепенное вымывание соли водой, поступающей

из трещиноватых вмещающих солевой пласт пород и, возможно, за счет утечек технической воды на вышележащем горизонте. Наблюдения свидетельствуют о медленном и немономонном нарастании деформаций бетонной крепи как в радиальном, так и в вертикальном направлениях.

Возможные причины нарушения устойчивости крепи стволов в районе следующие:

- несоответствие монолитной бетонной крепи конкретным сложным горно-геологическим условиям;

- технологические причины: отсутствие надлежащей гидроизоляции технологических швов между заходками крепи; крепь малой толщины в местах недоборов пород; сейсмическое воздействие взрывов шпуров в забое на свежешуложенный бетон;

- факторы, обусловленные горно-геологической обстановкой в местах сооружения стволов; разрушение доломитизированных мергелистых пород под действием воды, проникающей в породу через крепь по естественным и технологическим трещинам; снижение прочности породы “в куске”; набухание пород при контакте с водой; снижение сцепления по трещинам и сползание отдельных блоков по наклонным плоскостям в сторону ствола (долериты); развитие технологической трещиноватости и изменение механических свойств породы в результате действия взрыва; геологические нарушения в толще осадочных пород, в пределах которых породы вторично изменены, отличаются раздробленностью и низкой прочностью; коррозия бетона под действием агрессивных примесей в составе воды, стекающей по стволу.

Из этого следует, что в большинстве описанных случаев имеет место несоответствие проектных решений и применяемых технологий строительства сложным горно-геологическим и горнотехническим условиям возведения вертикальных стволов. Другими словами, усложнение горно-геологических и горнотехнических условий требует разработки дополнительных мероприятий, позволяющих повысить безотказность системы «массив-крепь», т.е. повысить надежность как отдельных технологических операций, так и всей технологии строительства в целом.

Устойчивость крепи рассматривается в зависимости от числа отказов и относится к формальной математической теории надежности. Учитываются факторы, влияющие на тот или иной вид отказа: требуется построение математической модели надежности горной выработки, для оценки состояния исследуемого объекта и особенностей его функционирования при исследовании состояния выработки и ее надежности [4].

Исследование вопроса устойчивости крепи в зависимости от вероятностных значений прочности материалов крепи и внешних нагрузок относится к математической теории надежности, обеспечения нормальной эксплуатации подземного сооружения при

минимальных затратах. Здесь учитываются как технологические факторы строительства выработки, так и горнотехнические и экономические параметры.

Указанные факторы и параметры по своей природе являются случайными величинами и могут быть определены только с некоторой степенью достоверности.

Вероятность пребывания отдельных процессов при строительстве в любом из состояний определяется с учетом показателей надежности элементов системы, составляющих общую технологию строительства вертикального ствола. Тогда общая вероятность безотказной работы любой технологической схемы строительства определится [5]:

$$P_i(t) = \lambda_{i-1} \times P_{i-1}(t) - (\lambda_i + \mu_i) \times P_i(t) + \mu_{i+1} \times P_{i+1}(t) \quad (1)$$

где λ_i , μ_i – интенсивность отказа и восстановления элемента в i -ом состоянии, $P_i(t)$ – вероятность пребывания элемента (операции, оборудования) в i -ом состоянии в момент времени t после начала эксплуатации.

Оценка надежности строительства вертикального ствола определяется числом (N) и уровнем готовности ($K_{Гi}$) отдельных структурных элементов, составляющих производственный цикл работ [5]:

$$K_{Г.С}(t) = 1 + \sum_0^N \left[\frac{1 - K \cdot K_{Гi}}{K \cdot K_{Гi}} \right]^{-1} \quad (2)$$

Основным принципом формализации производственного цикла строительства подземного сооружения является условие, что система состоит из самостоятельно действующих элементов и подсистем. Их безотказность работы обусловлена изменчивостью характеристик массива, нарушениями и отклонениями параметров технологических операций от проектных, поломкой оборудования, разрушением крепи выработок, прорывами воды.

При выборе типа крепи исходят из значений величины горного давления, горнотехнологических условий строительства подземного сооружения и механики взаимодействия породы и крепи.

Повышение надежности при строительстве вертикального ствола и возведения крепи связано с ростом капитальных затрат из-за дополнительных мероприятий, обеспечивающих увеличение срока безремонтного поддержания выработки. Это ведет к уменьшению продолжительности ремонтных работ, повышает вероятность устойчивости крепи, снижает эксплуатационные затраты по ее содержанию. Расчеты показывают, что при увеличении показателя надежности крепи от 0,5 до 0,7 затраты снижаются на 20 % и в дальнейшем увеличиваются на 30 % при надежности 0,9.

Список литературы

1. Дипломное проектирование: учеб. пособие / М. С. Скачков и др.; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2007. – 266 с.
2. Борщевский С. В. Современное направление развития технологии сооружения вертикальных стволов шахт // Сб. научн. трудов НГУ. – № 17.– Т.1 – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – С. 406-412.
3. Урбаев Д. А., Сураев В. А. Разработка мероприятий по увеличению срока службы крепи вертикальных стволов в условиях рудников Норильского промрайона // Молодежь и наука: материалы конф. – Красноярск: СФУ, 2011 – С. 173-175.
4. Вохмин С. А., Иванов Г. Н., Зайцева Е. В., Иванов Д. Г. Обеспечение безопасных условий строительства подземных сооружений на основе теории надежности // В мире научных открытий: материалы конф. – № 6.1. – Красноярск: НИЦ, 2010. – С. 145-147.
5. Иванов Г. Н. Определение оптимальной производительности добычного блока с использованием теории надежности: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Красноярск, 2000. – 20 с.

Рецензенты:

Анушенков Александр Николаевич, профессор, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Подземной разработки месторождений полезных ископаемых», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Гилев Анатолий Владимирович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Горных машин и комплексов», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.