

4. Наиболее значительный расширяющий эффект получен при введении в состав тампонажного раствора 10% оксида магния.

5. Добавка 4% РД сульфоалюминатного расширения повышает прочность камня и в значительной степени его адгезию, однако увеличение концентрации указанного реагента приводит к загущению раствора и снижению прочности камня.

6. Появление микротрещин в цементном камне с добавкой MgO вызвано, значительными объемными деформациями на заключительной стадии твердения, что требует проведения дальнейших исследований по регулированию кинетики гидратации РД.

Литература

1. Белоусов Г.А., Скориков Б.М., Майгуров И.В. Особенности крепления наклонно направленных и горизонтальных стволов скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – №4. – с.47-50.
2. Николаев Н.И., Кожевников Е.В. Повышение качества крепления скважин с горизонтальными участками // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – №11. – с. 29-37.
3. Новохатский Д.Ф. Методика определения долговечности цементного камня на основе расширяющихся тампонажных цементов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011. – №10. – с.37-42.

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Н.А. Антропова, В.Г. Крец, В.Г. Лукьянов

***Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, Россия***

При проведении горизонтальных горных выработок для различных целей нередко наблюдается задалживание излишнего резервного оборудования. При занижении же ресурсов (техника, люди и др.) и нечёткой организации планируемая цель не достигается [3]. В статье предложена методика оценки надёжности технологических схем

проходки горизонтальных горных выработок на основе математического моделирования. Для условий проходки горизонтальной горно-разведочной выработки на основе фактического материала построена математическая модель и подсчитаны вероятности безотказной работы элементов технологической схемы проходки. Приведённый метод оценки надёжности технологических схем позволяет выявить поэлементно организационные, технологические и технические резервы повышения эффективности проходки и влиять на технико-экономические показатели в целом.

При проведении горных работ для прокладки коммуникаций, трубопроводов, горно-разведочных работ и т.д. используются горизонтальные горные выработки. При проектировании технологических схем проходки горизонтальных горных выработок обеспечение надёжности базируется на использовании нормативных документов, опыта передовых бригад, традиций предприятия. При этом, нередко, наблюдается излишнее задерживание резервного оборудования, привлечение завышенного количества вспомогательных рабочих. При занижении же ресурсов (техника, люди, количество забоев и др.) и нечёткой организации, как правило, планируемая цель не достигается.

Наряду с увеличением скоростей и объемов проведения горноразведочных работ приобретают актуальное значение вопросы исследования надёжности технологических схем горных выработок и оценка степени влияния их надёжности на общие результаты проходки.

Исследование фактических статистических данных проходки горных выработок показывают, что имеются большие потери рабочего времени из-за недостатка оборудования в действующих забоях (вагонеток, перфораторов, электровозов), выполнения ряда непроизводительных

работ (ремонт оборудования, постанровка сошедших с рельсов вагонеток, электровозов), простоев по организационно-техническим причинам (отсутствие электроэнергии, сжатого воздуха, загазованность выработок). Даже наличие резервного оборудования не будет гарантировать нормального течения производственного процесса ввиду высокой аварийности горнопроходческого оборудования. Поэтому метод резервирования, который служит распространенным методом повышения надежности, не может быть определяющим.

Одним из методов описания надежности технологических схем проходки, оценки и повышения их безотказной работы является метод математического моделирования, пригодный для описания надежности при любых способах проведения выработок.

Представим технологию проходки как сложную систему из j элементов ($j= 1, 2, k, \dots, n$). В качестве элементов могут быть приняты машины и механизмы для бурения шпуров, погрузочные машины, электровозы, вентиляторы, схемы обмена вагонеток, число смен в сутки, система оплаты труда, горно-геологические условия и т.п. Выбор элементов производится в прямой зависимости от конкретных условий проходки, целей исследования с тем, чтобы конечные результаты были практически удобны для применения.

Элементы системы соединяются в сеть-граф $G(\mathcal{E}_j)$, где \mathcal{E}_j – множество дуг графа [1]. Все дуги в соответствии с технологической схемой проходки соединяются между собой таким образом, что параллельные дуги отображают независимую работу цепи, а последовательные – зависимую (рис.). И конкретно наиболее вероятными элементами системы могут быть:

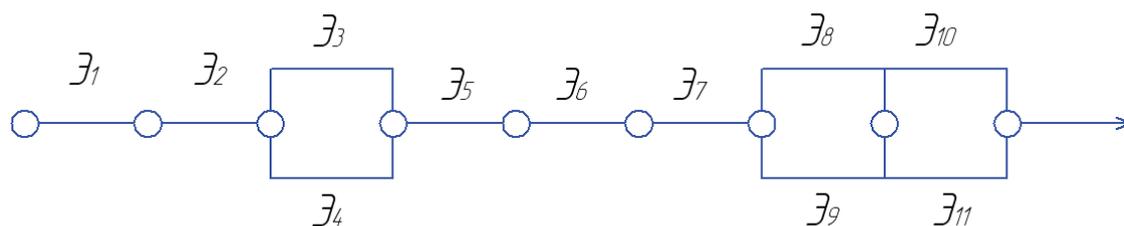


Рис. Граф надежности $G(\mathcal{E}_j)$, где \mathcal{E}_1 – наличие электроэнергии; \mathcal{E}_2 – наличие сжатого воздуха; \mathcal{E}_3 – процесс бурения; \mathcal{E}_4 – крепление; \mathcal{E}_5 – зарядка и взрывание; \mathcal{E}_6 – проветривание; \mathcal{E}_7 – работа электровоза; \mathcal{E}_8 – погрузка и обмен; \mathcal{E}_9 – наличие порожняка; \mathcal{E}_{10} – вспомогательная работа; \mathcal{E}_{11} – настилка временных путей.

На графе 11 дуг, отображающих взаимосвязанные элементы и технологические процессы. Каждая дуга оценивается функцией распределения плотности вероятностей отказов ($P_j(t)$, $j=1, 2, k, \dots, n$).

Исследования [2] показали, что функция $P_j(t)$ может быть представлена в виде экспоненциального закона распределения плотности вероятностей безотказной работы элементов технологической сети:

$$P_j(t) = 1 - \alpha_j e^{-\beta_j t}. \quad (1)$$

Функция (1) получается путем статистической обработки частоты отказов элементов \mathcal{E}_j за наблюдаемый промежуток времени $[0, t]$.

При переборе дуг от \mathcal{E}_I до \mathcal{E}_{II} на пути η_j , основываясь на гипотезе независимости случайных величин, можно записать вероятность безотказной работы технологической схемы в виде произведения по всем дугам путей η_j :

$$P_{\eta_j} = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_k = \prod_{j=1}^k P_j. \quad (2)$$

Для технологической сети, представленной на рис. 1, эти пути следующие:

$$\eta_1 = (\mathcal{E}_1 \mathcal{E}_2 \mathcal{E}_3 \mathcal{E}_5 \mathcal{E}_6 \mathcal{E}_7 \mathcal{E}_8 \mathcal{E}_{10}),$$

.....

$$\eta_8 = (\mathcal{E}_1 \mathcal{E}_2 \mathcal{E}_4 \mathcal{E}_5 \mathcal{E}_6 \mathcal{E}_7 \mathcal{E}_9 \mathcal{E}_{11}).$$

В результате имеем 8 значений оценки надежности технологической схемы проведения горноразведочной выработки: $P_{\eta_1} = 0,535, P_{\eta_2} = 0,528, P_{\eta_3} = 0,518, P_{\eta_4} = 0,512, P_{\eta_5} = 0,51, P_{\eta_6} = 0,54, P_{\eta_7} = 0,521, P_{\eta_8} = 0,529$.

Пусть $\eta_{j\min} = \min(P_i, \dots, P_k)$ будет предельно минимальной оценкой надежности из всех путей проходки, а путь $\eta_{j\max} = \max(P_i, \dots, P_k)$ будет давать возможное наличие резерва в повышении надежности технологической цепи на величину $\Delta p = P_{\eta_j \max} - P_{\eta_j \min}$ при условии, что более повысить надежность на пути $\eta_{j\max}$ невозможно.

Так, выбрав элементы \mathcal{E}_j с низкой вероятностью безотказной работы (табл. 1), принимаем меры по повышению их надежности [4]. Новая оценка $P_{\eta_j}' > P_{\eta_j}$, и это повышение можно довести до уровня $P_{\eta_j \max}$, который и будет новой оценкой надежности этого пути.

Для проверки модели надежности собран статистический материал за 7,6 мес., за этот период отработано 4788 чел.-ч по Магианской ГРЭ. При этом затраты времени на операции технологического цикла составляют: погрузка горной породы. (\mathcal{E}_8) – 1180 ч; откатка горной породы (\mathcal{E}_9) – 702 ч; настилка путей вспомогательными рабочими (\mathcal{E}_{11}) – 540 ч; бурение шпуров (\mathcal{E}_3) – 1252 ч; зарядание и взрывание (\mathcal{E}_5) – 270 ч; проветривание (\mathcal{E}_6) – 250 ч; вспомогательные работы (\mathcal{E}_{10}) – 324ч.

Потери рабочего времени составили по Магианской ГРЭ в среднем 22% или 1053 ч, в том числе: из-за отсутствия сжатого воздуха, электроэнергии – 311 ч, материалов – 105 ч, из-за неисправности оборудования – 242 ч, из-за отсутствия транспорта – 134 ч, из-за поломки буров, коронок – 37 ч, из-за постановки сошедших с рельсов вагонеток – 56 ч, прочие условия – 169 ч.

В таблице приведены численные значения вероятности безотказной работы элементов технологической цепи.

Таблица

Вероятности безотказной работы элементов технологической цепи

Э _j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P _j	0,94	0,94	0,99	0,98	0,85	0,92	0,95	0,97	0,98	0,85	0,84

Анализируя таблицу, видим, что наибольшие потери времени происходят при проведении вспомогательных работ, погрузке и обмене вагонеток, неисправности оборудования, внутрисменных простоях, возникающих главным образом по организационно-техническим причинам – надежность этих элементов технологической цепи низкая. Есть резервы её повышения: так, по элементу Э₉ – вспомогательные работы – надежность цепи можно значительно улучшить, если бригаду освободить от непроизводительного труда (заправка батарей электровоза, доставка рельсов, труб, ремонт перфораторов); по элементу Э₅ – путем применения более совершенных конструкций призабойных путей, применения более совершенных схем обмена вагонеток (перегрузатели, вагоноперестановщики), по элементу Э₆ – повысить надежность можно, не производя особых затрат, обеспечив забой определенными запасными частями, улучшив работу ремонтной службы. Эффективны меры по упорядочению снабжения и созданию необходимого запаса наиболее часто выходящих из строя запасных частей к основному оборудованию, улучшению культуры производства, исключению перебоев в снабжении электроэнергией, сжатым воздухом.

Расчеты показывают, что в условиях Магианской ГРЭ, управляя только организационными факторами на научной основе, без дополнительных капитальных вложений можно увеличить

производительность труда до 29 %. Таким образом, использованный метод оценки надежности технологических схем позволяет выявить поэлементно организационные, технологические и технические резервы повышения эффективности проходки и влиять на технико-экономические показатели в целом.

Литература

1. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.
3. Горные машины и проведение горно-разведочных выработок: учебник / В.Г. Лукьянов, В.Г. Крец: Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2014. – 342 с.
4. Рогинский В.М. Надежность технологических систем и резервирование оборудования на подземных горноразведочных работах // Разведка и охрана недр. – М.: 1975. – №5. – С. 34 – 38.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛЕГЧАЮЩИХ ДОБАВОК

П.С. Куликов

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, Россия*

Актуальность работы обусловлена бурением скважин в сложных геологических условиях. В процессе строительства которых зачастую возникают проблемы (недоподъем цемента за колонной, поглощение цементного раствора, и т.д), связанные с использованием не правильно подобранных рецептур тампонажных растворов, которые в полной мере не удовлетворяют геологическим требованиям.

В большинстве случаев при использовании облегчающих добавок удается добиться требуемой плотности тампонажного раствора, однако, появляются новые проблемы, связанные с использованием облегчающих добавок. В качестве примера можно привести некачественную усадку тампонажного раствора в заколонном пространстве. Для лучшего