

УДК 622.272

**А.В. Корчак, А.А. Мишедченко**

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ КРЕПИ ИЗ ЧУГУННЫХ ТЮБИНГОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ОТКАЗАМ И АВАРИЯМ**

*Проанализированы существующие критерии надежности крепи. Проведены исследования по выявлению причин отказов крепи, выявлены основные виды аварий. Предложена методика прогнозирования отказа крепи, позволяющая проектировать крепь с заданной надежностью. Предложен способ повышения экономичности и несущей способности тюбинговой крепи, заключающийся в применении в качестве внешнего слоя бетона с повышенным модулем деформации.*

*Ключевые слова: критерий надежности крепи, тюбинговая крепь, отказы крепи., надежность работы крепи.*

**О**дной из характерных особенностей современного подземного строительства является увеличение глубины месторождений, и, как следствие, усложнение горно-геологических условий, что, в свою очередь, сопряжено с увеличением глубины вскрытия неустойчивых обводненных пород, требующих применения специальных способов строительства, в частности — искусственного замораживания пород. При этом постоянная крепь строящихся шахтных стволов должна обладать повышенной прочностью и водонепроницаемостью, способностью не изменять свои физико-механические свойства при замораживании и оттаивании, стойкостью по отношению к разрушающему воздействию агрессивных подземных вод и рассолов.

Аналитический обзор аварийных ситуаций разрушения крепи из чугунных тюбингов вертикальных шахтных стволов показал, что многие крепи находятся в дефектном состоянии и эксплуатируются дольше проектного срока. При этом риск аварийного разрушения крепи возрастает с нако-

плением дефектов и повреждений, а также, в связи с отсутствием профилактических ремонтных работ и мер по обеспечению безопасности эксплуатируемого ствола в целом.

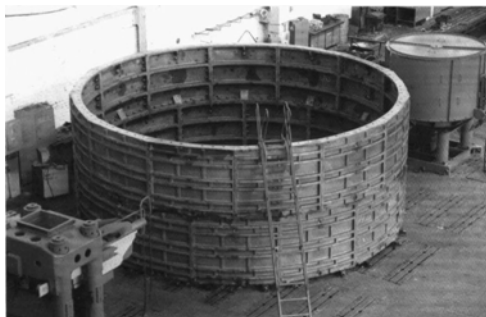
В сложившихся экономических условиях необходимо разработать механизм прогнозирования развития риска аварийного разрушения крепи, разработать план мероприятий по поддержанию в безотказном состоянии крепей выработок, для чего необходимо производить постоянный мониторинг последних. Поэтому разработка критериев достоверной и оперативной оценки возможности возникновения аварийной ситуации при диагностируемых дефектах чугунной тюбинговой крепи является важной практической задачей.

Для представления общей картины разрушений и отказов чугунной тюбинговой крепи вертикальных шахтных стволов по литературным источникам была проведена систематизация 68 случаев аварийных ситуаций. По данным приводимых ниже описаний нарушений крепи была сформирована база данных для моделирова-

ния аварийных ситуаций, учитывающая процесс накопления повреждений крепи, вид предельного состояния и возможные сценарии развития аварийной ситуации.

Необходимо сразу пояснить, почему такое внимание уделяется именно чугунной крепи. Тюбинг — это литой круговой чугунный сегмент (рис. 1) в виде криволинейной спинки, снабженной со всех сторон внутренними бортами, внутренними горизонтальными ребрами, специальными приливами, в которых при механической обработке сверлятся болтовые, тампонажные и заливные отверстия. На наружной стороне спинки отливаются наружные круговые усилительные ребра и система наружных вертикальных ребер, обеспечивающая сцепление с бетоном в шахтном стволе. Тюбинговая крепь является предельно нагруженной конструкцией, работающей при высоких гидростатических нагрузках, изменяющихся от 0 до 60 атм. и выше. Поэтому, с глубиной ствола толщины спинок тюбинговых колец из серого чугуна изменяются от 20 мм до 120 мм с шагом 10 мм.

Чугун — высокопрочный материал практически без выраженной пластичности, с четко установленным пределом разрушения, и полным отсутствием понижения механических



**Рис. 1. Тюбинговое кольцо в заводских условиях**

свойств материала в зависимости от температуры вплоть до температуры минус  $-80^{\circ}\text{C}$ , с прекрасными противокоррозионными свойствами, что исключает необходимость покраски изделий. Отливки тюбингов изготавливаются из серого чугуна с включениями пластинчатого графита по ГОСТ 1412—85 марок СЧ20 — СЧ35 в соответствии с требованиями разработчика для конкретного тюбинга с соответствующей толщиной спинки. Прочность на растяжение чугуна, отлитого в тюбинг, должна составлять не менее  $20\text{ кг/мм}^2$ , не зависимо от толщины спинки. Тюбинги, как изделия невосстанавливаемые в соответствии с ГОСТ 27.003-90, не подлежат замене при эксплуатации стволов, относятся ко II группе по показателям надежности.

Вероятность безотказной работы тюбингов на все время эксплуатации сооружения (50 лет) равна единице. При этом скрепляющие элементы крепи не должны обладать такими свойствами, ибо в процессе эксплуатации ствола нормами предусматривается постоянный надзор за крепью и периодическая ревизия основных элементов крепи, а в случае выхода элемента из работы — замену уплотнительных шайб прокладки, замену определенного количества болтов или пробок.

Критерием отказов для тюбингов является частичное или полное их разрушение.

Выявлены три основных вида аварийных ситуаций: полное разрушение тюбинговой крепи — 22 случая; развитие трещин, не приводящих к потере устойчивости тюбинговой колонны — 38 случаев и случаи увеличения и разгерметизации швов тюбинговой колонны. При этом пре-

дельное состояние тюбинговой крепи в виде распространения трещин и хрупкого разрушения чугуна имеет место только при наличии и совместном проявлении факторов, характеризующих внезапное изменение как самого чугуна так и изменение напряженного состояния массива вмещающих пород.

При этом наиболее характерные условия, присущие появлению аварийных ситуаций, следующие:

- разрушение под действием преобладающей поверхности при водопонижении (где возможна просадка поверхности от 0,5 м до 3,5 м по практическим наблюдениям);

- разрушение под действием процесса изменения свойств породного массива при замораживании пород;

- разрушение при потере устойчивости тюбинговых крепей стволов большого диаметра.

Известно, что в сложных горно-геологических условиях давление на крепь определяется не только гравитационными силами, но и другими действующими факторами. Однако, в эксплуатируемых стволах достаточно трудно получить надежную информацию о состоянии крепи, вследствие недоступности многих участков для экспериментальных определений.

Особые условия работы тюбинговой крепи возникают в соляных месторождениях на глубинах свыше 300 м, где массив пород обладает значительной ползучестью. Например, крепь ствола «Главный» Калушского калийного рудника за 10 лет эксплуатации была разрушена полностью, при этом радиальные смещения крепи превысили 200 мм. Разрушилась также крепь стволов Третьего Березниковского рудника на глубинах 435-

470 и Закарпатского солерудника. Некоторые интервалы вентиляционного ствола рудника «Пийло» Калушского калийного рудника перекреплялись трижды: после разрушения бетонной крепи было произведено перекрепление ствола тюбингами с толщиной спинки 30 мм, а после их разрушения — тюбингами с толщиной спинки 70 мм. Осмотр ствола после консервации показал, что ниже 350 м произошло полное разрушение крепи из тюбинговой колонны и бетона.

На Южном стволе ЗЖРК, спустя два года после сдачи ствола в эксплуатацию, при осмотре были обнаружены трещины в чугунных тюбингах на глубинах 292-296 м и 311-313 м. Осложнения были отмечены и в стволах Яковлевского рудника КМА. Например, в стволе № 3 на глубине 345 м произошло разрушение крепи из чугунных тюбингов с толщиной спинки 70 мм. Устранить аварию удалось только за счет уменьшения диаметра крепи в районе аварии. Основной причиной такого положения следует считать отсутствие методов прогноза напряженного состояния крепи в замороженных породах.

Замерами проф. Сергеева С.Е., Булычева Н.С. и других исследователей получены данные о закономерном росте напряжений в тюбингах после возведения постоянной крепи с 27 МПа до 29 МПа. При этом в бетоне происходит рост напряжений с 5,3, до 8,1 МПа. Это говорит о том, что рост напряжений в бетоне может происходить за счет его собственных деформаций расширения, что косвенно подтверждается равенством тангенциальных и радиальных напряжений в бетоне.

Таблица 1

**Систематизация дефектов чугунной тюбинговой крепи**

<b>Вид дефекта</b>	<b>Нежелательные</b>	<b>Опасные</b>	<b>Необратимые</b>
дефекты литья: — количество дефектов на одном элементе тюбинга, шт	3	4	8
— глубина дефекта относительно спинки тюбинга, %	20	20	30
— ширина дефекта, мм	10	15	25
— длина, мм	70	100	300
Расстояние дефектов от края внутреннего борта, мм	60	60	25

Например, на Ахалцихском угольном месторождении, на глубине 129 м, в период замораживания пород они соответственно равнялись  $\sigma_{\theta} = 10.3$  МПа,  $\sigma_R = 9.0$  МПа. Это соотношение сохранилось и в последующие периоды работы крепи: в период размораживания  $\sigma_{\theta} = 3.6$  МПа,  $\sigma_R = 3.1$  МПа; после завершения проходки:  $\sigma_{\theta} = 4.7$  МПа,  $\sigma_R = 4.2$  МПа. Таким образом, не только со стороны горных пород, а также со стороны бетона, который при твердении сжимается до 0.2 мм/м, а при замерзании или увлажнении набухает, возможно, дополнительное нагружение тюбинговой крепи.

По опубликованным результатам измерений проф. Сергеева С.В. известно, что на всех тюбингах, спинки в тангенциальном направлении работают на растяжение. Однако величина деформаций мала и составляет  $\epsilon = 30 \times 10^{-4}$ . Для серого чугуна марки СЧ 21-40 это соответствует напряжениям растяжения равным:  $\sigma = \epsilon E = 30 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^5 = 3$  МПа, что составляет 3,3 % от допустимых и 1,4 % от предела прочности. Различия в деформациях: в спинке — растяжение; в ребре — и растяжение, и сжа-

тие, объясняется неплотной стыковой вертикальных швов, вызванной неточной сборкой тюбинговых колец.

При этом отмечено, что большинство разрушений чугунных тюбингов приурочено к местам концентрации напряжений — отверстиям в тюбинге, трещинам и т.д.. При этом происхождение дефектов распределяются следующим образом:

- монтажные — 70-80 %,
- дефекты, образовавшиеся в результате нарушения требований проекта — 35 %,
- эксплуатационные 30 %, в том числе коррозионные повреждения — 25 %.

В результате обработки статистических данных предлагается следующая систематизация деформаций чугунных тюбингов по степени опасности (табл. 1.).

По возможным последствиям можно выделить так же три категории дефектов:

- аварийные, снижающие общую несущую способность конструкции,
- опасные, которые со временем могут привести к развитию аварийных разрушений и к снижению несущей способности конструкции;



**Рис. 2. Разрушение тубинговой крепи**

— нежелательные, снижающие прочность и долговечность конструк-

ции и нарушающие нормальные условия эксплуатации, вызывающие необходимость ремонта поврежденных участков.

Проведя теоретические исследования видов разрушений тубинговой крепи и разработав критерий оценки надежности для диагностики эксплуатируемых стволов, мы предлагаем провести диагностические исследования современного состояния чугунной крепи с целью предотвращения аварийных ситуаций и повышения надежности работы конструкции.

---

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Gröbl P.; Weigler H., Sieghart K. *Beton. Arten, Herstellung und Eigenschaften*. Berlin: Ernst&Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, 2001. — 789 S.
2. Weber R. *Guter Beton: Ratschläge für die richtige Betonherstellung*. Düsseldorf: Verlag Bau+Technik GmbH, 2006. — 150 S.
3. *Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчёту крепи / ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР*. — М.: Стройиздат. — 1983. — 272 с. **ГИАБ**

---

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРЕ**

Корчак Андрей Владимирович — доктор технических наук, профессор,  
Мишелченко Анатолий Анатольевич — аспирант,  
Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru



---

### **ПОДПИСКА - 2013 НА ГОРНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ (НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ) (ГИАБ) MINING INFORMATIONAL AND ANALYTICAL BULLETIN (SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL) (GIAB)**

#### **Все направления горных наук, теория и практика горных работ – в одном журнале!**

Периодичность издания – 12 номеров в год. Объем номера 432 страницы.  
ГИАБ выпускается в книжном формате, в твердом переплете, на мелованной бумаге.  
Стоимость годовой подписки – 10740 рублей.  
Подписной индекс в каталоге Агентства «Роспечать» – 46466.

#### **Возможны любые формы оплаты по реквизитам:**

ЗАО «Горная книга», 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 6, тел.: (499) 230-27-80,  
факс (495) 737-32-65, ИНН 7706700864, КПП 770601001, БИК 044525225,  
Московский банк ОАО Сбербанка России, ОАО Сбербанк России, г. Москва,  
р/сч. № 40702810438110011545, корр. сч.30101810400000000225.  
Подписка на ГИАБ-2013.

#### **Пожалуйста, не забудьте указать свой почтовый адрес для отправки журналов.**

По вопросам подписки, получения экземпляров ГИАБ, комплектов отдельных выпусков ГИАБ и их издания позвоните по телефонам: (495) 230-27-80, (495) 737-32-65, передайте запрос по факсу (495) 956-90-40 или по e-mail: info@gomaya-kniga.ru.