

УДК 622.281.42

В.Е. Боликов, С.А. Рыбак, И.Л. Озорнин

К ВОПРОСУ О ПРОВЕДЕНИИ СТВОЛОВ В ТЕКТОНИЧЕСКИ-НАПРЯЖЕННОМ ГОРНОМ МАССИВЕ

Обосновано проведение вертикальных стволов по комбинированной схеме в тектонически напряженном горном массиве с целью обеспечения устойчивости крепи на глубину до 1000 м. Исследования показали, что в первоначальном напряженном состоянии массива горных пород шахтного поля присутствуют значительные по своей величине компоненты тектонических напряжений. Второй особенностью явилась достаточно высокая анизотропия тектонических напряжений, выражающаяся в том, что величины горизонтальных тектонических напряжений, действующим по двум главным взаимно перпендикулярным направлениям отличались в 1,5 раза и более. Опыт строительства вертикальных стволов по совмещенной схеме в условиях Донского ГОКа доказывает, что обеспечить нормативную прочность крепи в монолитном бетоне или чугунных тубингах невозможно на глубоких горизонтах ниже 450–500 м. В связи с экспериментально установленным резким возрастанием напряжений в крепи (бетонной или чугунные тубинги) в период проходки ствола были выполнены исследования по формированию напряжений в массиве пород при совмещенной технологии проходки ствола. Для обеспечения нагружения крепи в пределах нормативной прочности предложена комбинированная схема проходки ствола.

Ключевые слова: тектонические напряжения, массив горных пород, вертикальные стволы, крепь, предел прочности крепи.

Многолетней практикой строительства подземных сооружений отработаны технологические схемы проходки и крепления стволов в различных горно-геологических условиях. Все эти технологические решения успешно использовались на Донских хромитовых месторождениях до глубины 550–600 м.

Строительство подземных сооружений на достигнутой глубине показывает, что при проходке и креплении стволов при совмещенной схеме проходки в тектонически напряженном горном массиве приводит к достижению высокого уровня напряжений на контуре крепи вплоть до разрушающей величины. Согласно действующего СНиП-П-94–80 «Подземные горные выработки» уровень напряжений в крепи на период окончания строительства капитальных подземных со-

оружений (стволов, камер) не должен превышать 50% от предельной несущей способности крепи.

Комплекс натурных исследований по формированию напряжений в крепи стволов проведен на шахтах Донского ГОКа, где горный массив вмещающих пород представлен скальными породами с отсутствием связи между блоками по трещинам. Характерной особенностью данного месторождения является неравномерное поле напряжений, действующее в массиве, где ниже 500 м уровень напряжений превышает прочностные свойства горного массива, т. е. массив находится в запредельном состоянии и приобретает блочный дискретный характер деформирования. В результате, вокруг подземных выработок, сооружаемых по традиционным схемам без учета и нейтрализации этого

фактора, образуется обширная область нарушенных пород, перешедших в разуплотненное состояние.

Инструментальные измерения напряжений проводились на шахте «ДНК» в Казахстане методом шелевой разгрузки на большой базе в процессе проходки в крепи стволов «Вспомогательный» и «Клетевой».

Выполненные исследования показали, что в первоначальном напряженном состоянии массива горных пород шахтного поля присутствуют значительные по своей величине компоненты тектонических напряжений. Второй особенностью явилась достаточно высокая анизотропия тектонических напряжений, выражающаяся в том, что величины горизонтальных тектонических напряжений, действующим по двум главным взаимно перпендикулярным направлениям отличались в 1,5 раза и более.

Вследствие анизотропии первоначальных напряжений в массиве горных пород в бетонной и тюбинговой крепи клетевого ствола напряжения распределились по периметру ствола неравномерно. В отдельных горизонтальных сечениях разница между минимальными и максимальными величинами достигла 2-кратного значения. Это подтверждается при применении любого вида крепи, бетонной или в чугунных тюбингах. Практика применения этих видов крепи в условиях Донских хромитовых месторождений по совмещенной схеме проходки показывает, что чем мощнее крепь применяется, тем выше уровень напряжений в крепи, достигающий при проходке на расстоянии 3-х диаметров ствола от забоя.

При любом виде крепления (монолитная бетонная, чугунные тюбинги) напряжения в крепи при проходке достигают высокой величины, близкой к пределу прочности, а при рассечке сопряжения, где величина напряже-

ний увеличивается в 1,5–1,8 раза [1] происходит разрушение крепи.

Таким образом, при применении совмещенной схемы проходки стволов в тектонически напряженном горном массиве невозможно создать напряжения в крепи в пределах нормативной прочности даже на стадии проходки ствола.

Так как в эксплуатационном отношении стволы шахт относятся к долговременным, главным в комплексе горных выработок, обеспечивающих связь всех подземных выработок с поверхностью к стволам предъявляются повышенные требования по обеспечению их устойчивости в процессе строительства и эксплуатации. Стволы первые из всего комплекса капитальных выработок испытывают вредное влияние высокого горного давления, так как в основном проходятся на полную глубину отработки месторождения. С увеличением глубины работ горнорудных предприятий условия поддержания вертикальных стволов резко ухудшаются из-за усилившегося горного давления, вызванного образованием выработанного пространства. В условиях Донского ГОКа проблемы обеспечения устойчивости стволов возникают сразу в период проходки. Основными причинами осложнения условий проходки стволов в условиях Донского ГОКа являются:

- возрастание горного давления с глубиной;
- недостаточно обоснованный подход к месту их расположения;
- неравномерность давления пород на крепь по периметру, вызванная анизотропией поля напряжений в горном массиве.

Интенсивное проявление горного давления в капитальных, подготовительных и очистных горных выработках, закономерности процесса сдвижения в налегающей толще пород – все это свидетельствует о высоком

уровне тектонических напряжений в районе залегания месторождения, проявляющиеся в процессе строительства и эксплуатации подземных предприятий. Особенно остро проблема проявилась при строительстве первой очереди шахты «ДНК», когда происходили аварии в стволах, их сопряжениях и камерах.

Институтом горного дела УрО РАН в районе промплощадки шахты «Десятилетия независимости Казахстана» (ДНК) инструментальными исследованиями с применением системы GPS установлены современные геодинамические движения, создающие специфику в развитии геодинамических процессов [2].

В результате исследований максимальные трендовые смещения пунктов полигонометрии имели место на площадке Вспомогательного ствола «ДНК», где они составили в плане 231 мм. Вызванные ими горизонтальные деформации при равномерном распределении по всему периметру достигли 0,846 мм/м, что свидетельствует приращению тектонических напряжений в пределах 4,5–5,0 МПа. Полученный уровень изменений напряжений составляет в пределах 30–50% от тектонических компонентов и 15–20% от полных напряжений, задаваемых в качестве граничных условий при работе крепи.

Как показала практика при проходке клетового ствола ш. «ДНК», в отдельных случаях уровень напряжений в районе сопряжений достиг критической величины и уровень колебаний тектонических напряжений в крепи составил 4,5–5,0 МПа, что оказывает существенное влияние на устойчивость ствола.

Все стволы шахт «ДНК» и «Молодежная» на Дон ГОКе проходились с применением совмещенной схемы проходки и крепления с помощью буровзрывных работ и передвижной ме-

таллической опалубки. Проведение стволов шахт до глубины 450–500 м не вызывало никаких сложностей, но с глубины 500 м во всех стволах увеличилось количество вывалообразований породы из стенок, что привело к увеличению толщины крепи в данных местах.

Как показали исследования, приведенные в работе [3], в монолитной бетонной крепи с глубины 500 м в отдельных местах действующие напряжения близки или даже превышают предел прочности крепи. На отметке клетового ствола -88,5 м (493 м) напряжения в бетонной крепи достигли 19,7 МПа (близки к пределу прочности). При завершении проходки клетового ствола на глубине 765 м произошел крупный вывал и разрушение существующей крепи до глубины \approx 565 м т.е. 200 м ствола было разрушено. Было принято решение о восстановлении разрушенной части ствола и дальнейшей его проходки до глубины 1090 м с применением тюбинговой крепи и тампонажем закрепного пространства.

Применение тюбинговой крепи при креплении клетового ствола обеспечило устойчивость его лишь только при проходке по разрушенной части ствола до отметки 765 м, а при дальнейшей проходке в ненарушенном массиве до гор. – 400 м, с разделкой сопряжения, произошли деформации тюбингов ствола над сопряжением – 400 м. Напряжения в отдельных тюбингах достигли величины – 323 МПа [4]. Ниже гор. – 400 м было решено применить чугунные тюбинги толщиной 60 мм вместо 40 мм. Повышенный уровень напряжений, близкий к пределу прочности тюбинговой крепи, 230 – 270 МПа создавался снова при проходке ствола, вместо планируемых нормативных напряжений 120 МПа.

Результаты экспериментальной проходки, определенной ниже расщетки – 400 м, показали, что нагру-

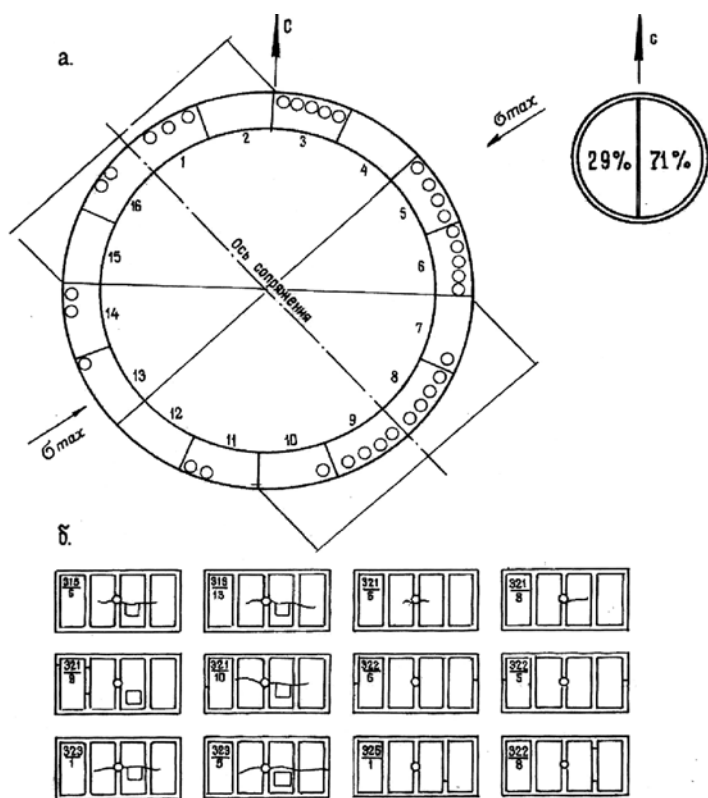


Рис. 1. Деформация и разрушение тубингов по периметру клетьевого ствола

жение чугунной крепи по периметру ствола идет неравномерно (рис. 1). Разрушение тубингов происходит в направлении перпендикулярно максимальным первоначальным напряжениям действующих в массиве горных пород. Нагружение тубинговой крепи происходит сразу вслед за продвижением забоя ствола. Крезь получает максимальную нагрузку от массива горных пород в период строительства ствола, а в районе сопряжений, где возникает дополнительная концентрация напряжений, происходит деформация крепи в виде образования трещин вокруг тампонажных отверстий.

После проходки ствола до отметки -762 м он был законсервирован (мокрая консервация ствола составила около 10 лет), а далее одновременно с откачкой воды из ствола производили

оценку напряженного и общего состояния крепи.

Результаты исследований показали, что консервация ствола не вызвала повышения уровня напряжений в крепи, они остались на прежнем уровне. Крезь не подвергалась коррозионным явлениям [4].

Кроме того, на этой же шахте деформация с разрушением бетонной крепи скипо-клетьевого ствола шахты «Центральная» произошла в отметках - 220± -232 м в период начала проходки дозаторной камеры, которая сопрягается со стволом. Экспертная комиссия определила, что бетонная крепь ствола была предельно нагружена в период строительства и дальнейшая проходка дозаторной камеры вызвала деформации крепи ствола [3].

Институтом горного дела УрО РАН было определено состояние крепи ствола методом разгрузки и установлено, что напряжения в крепи составляли 29 МПа, т.е. близки к пределу прочности. Решили произвести дополнительное усиление крепи ствола спаренными кольцами из СВП. Повышенный уровень напряжений в бетонной крепи других стволов шахт «ДНК» и «Молодежная» был установлен в процессе замеров ИГД УрО РАН [1].

Таким образом, опыт строительства вертикальных стволов по совмещенной схеме в условиях Донского ГОКа доказывает, что обеспечить нормативную прочность крепи в монолитном бетоне или чугунных тубингах невозможно на глубоких горизонтах ниже 450–500 м.

Напряженное состояние массива горных пород на месторождении складывается из гравитационных и тектонических сил присущих рассматриваемому участку земной коры, а гравитационная составляющая создает предпосылки к изотропному строению естественного поля напряжений в горизонтальной плоскости.

Приоритет в создании особенностей первоначального напряженно-деформированного состояния, вызывающих аномалии в развитии геомеханических процессов, принадлежат тектоническим силам, которые по главным направлениям могут существенно отличаться, придавая анизотропные свойства первоначальному полю напряжений.

Наряду с анизотропией, для первоначального поля напряжений харак-

терна высокая степень неоднородности в распределении его параметров, обусловленная комплексом факторов глобального, регионального и местного масштабов, среди которых преобладающая роль принадлежит структурным нарушениям различных уровней и неоднородностям физико-механических свойств слагающих пород.

При применении более мощной крепи (толщина спинки 60 мм) уровень максимальных напряжений в отдельных тубингах достиг 386 МПа, минимальных 250 МПа, такой уровень напряжений близкий к пределу прочности тубинговой крепи в период проходки ствола является недопустимым, т.к. в дальнейшем окажут влияние на стволы очистные работы. В вертикальном направлении тубинги испытывают растягивающие напряжения, их средняя величина составляла от 40 до 70 МПа, что также превышает расчетные значения для чугуна СЧ-21–40. Чем мощнее крепь используется, тем выше уровень максимальных напряжений возникает в период проходки ствола. Величина напряжений превышает нормативную прочность крепи и близка к разрушающей.

В связи с экспериментально установленным резким возрастанием напряжений в крепи (бетонной или чугунные тубинги) в период проходки ствола были выполнены исследования по формированию напряжений в массиве пород при совмещенной технологии проходки ствола.

По данным графиков смещения породных стенок получена зависимость

Усредненные деформации (U_{min} , U_{max}) породных стенок ствола

	Деформация породных стенок ствола, см						
	Расстояние от забоя ствола, м						
	2	4	6	8	10	12	14
Минимальные деформации (U_{min})	3,3	5,8	7,3	8,6	9,9	10,6	11,2
Максимальные деформации (U_{max})	5,9	9,1	12,0	14,8	16,1	16,8	17,2

деформаций стенок незакрепленного ствола в зависимости от расстояния до груди забоя (таблица, рис. 2). Как видно из графика и таблицы максимальные деформации породных стенок ствола наиболее интенсивно проявляются до 6,0 м от забоя ствола.

Причем, на протяжении 6,0 м от забоя ствола максимальные деформации породных стенок составляют 70% от полных деформаций. Максимальные деформации породных стенок при расстоянии от забоя 6,0 м достигают 14,0 см.

Таким образом, при совмещенной схеме проходки ствола в тектонически напряженном массиве горных пород, формирование напряжений в крепи происходит неравномерно по периметру ствола и максимальное их направление перпендикулярно максимальному напряжению, действующему в массиве горных пород. Максимальной величины напряжения в крепи достигают на расстоянии 25–28 м от груди забоя.

Величина фактических полученных напряжений в отдельных кольцах достигает при совмещенной схеме проходки:

$\sigma_{\text{сж. макс}} = -386 \text{ МПа}$, $\sigma_{\text{сж. мин}} = -250 \text{ МПа}$,
 $\sigma_{\text{рас. сред.}} = 40 \div 70 \text{ МПа}$, что превышает расчетные значения сопротивления для чугуна СЧ-21-40 и близки к предельным.

По данным статистики, совмещенная технологическая схема проходки стволов получила наибольшее распространение в России и в странах СНГ. В настоящее время ее доля составляет 95–98%. Эта схема и применяемое оборудование позволяют получить стабильную техническую скорость проходки ствола 75 м в месяц и более при хорошей организации труда.

Как показывает практика, применения совмещенной схемы проведения стволов не может эффективно применяться в массиве пород подвер-

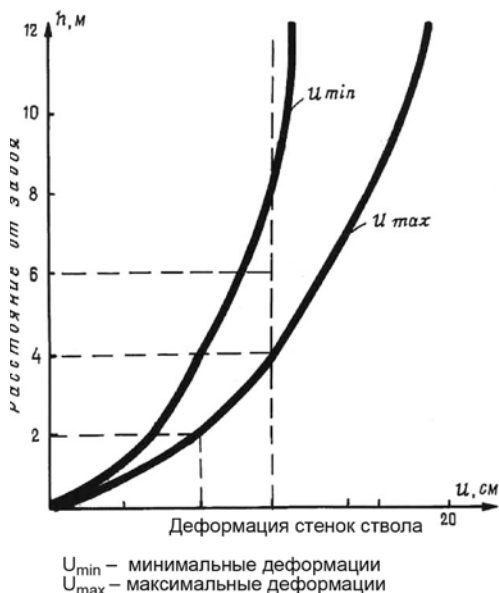


Рис. 2. Деформации стенок незакрепленного ствола при проходке в зависимости от расстояния до забоя

женному влиянию тектонических напряжений к каким и относятся шахты Донского ГОКа.

При возведении монолитной бетонной крепи из быстротвердеющего бетона, непосредственно за подвиганием забоя в глубоких стволах, возникают значительные деформации за счет конвергенции вмещающих пород, которые неблагоприятно влияют на еще не совсем затвердевшую крепь и приводят ее к деформированию или разрушению.

Это и происходило при проходке стволов на шахте ДНК, когда при снятии опалубки монолитный бетон еще не успевший набрать большой прочности под воздействием деформаций массива от тектонических напряжений подвергался разрушению. От забоя ствола на протяжении около 3-х диаметров ствола (рис. 3) происходит деформация стенок ствола и на расстоянии 6 и 10 м от забоя ствола максимальные напряжения достигают 12 и 18 см. Конечно, такая деформация

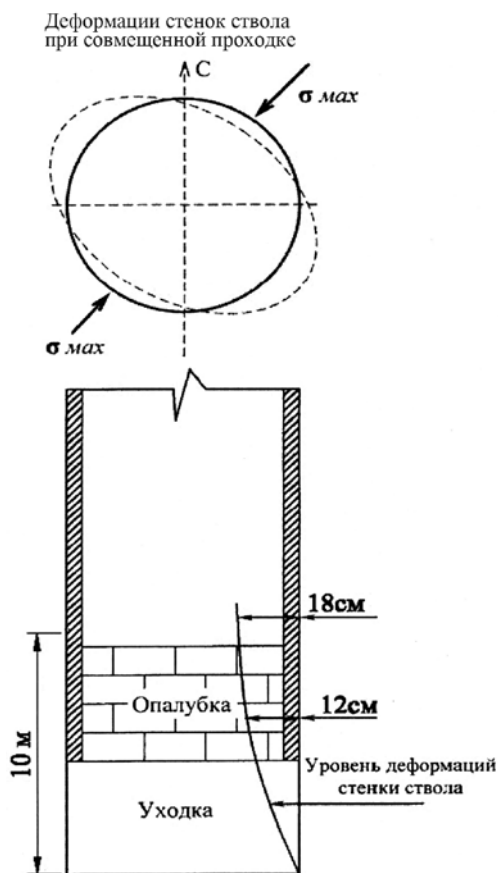


Рис. 3. Механизм деформирования массива пород и воздействия на крепь в стволах мДонского ГОКа

кольца тубинга вызовет разрушающее действие в области концентратора напряжений – тампонажного отверстия в тубингах.

Таким образом, в тектонически напряженном массиве горных пород, к каким относится Кимперсайское месторождение, проходкой стволов по совмещенной схеме невозможно создать нормативные нагрузки в крепи. В связи с этим для проходки новых стволов на Донских хромитовых месторождениях необходимо применять новую технологическую схему, обеспечивающую нормативные нагрузки в крепи в процессе строительства.

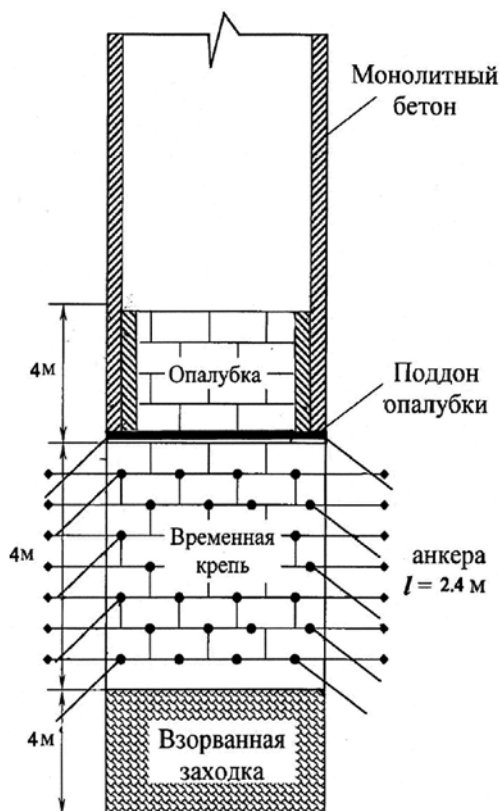


Рис. 4. Комбинированная схема проведения и крепления ствола с применением монолитного бетона (опалубка $L = 4,0$ м)

Как видно из зависимости на рис. 2, основным условием для снижения действующих напряжений в крепи, необходимо, чтобы крепь находилась на определенном расстоянии от забоя и крепь была нагружена в пределах нормативной прочности. На период проходки необходимо отставание крепи от забоя не менее 8–9 м и действующие напряжения в крепи тогда будут составлять примерно 30% от ее несущей способности. Таким образом, для обеспечения нагружения крепи в пределах нормативной прочности предлагается комбинированная схема проходки ствола (рис. 4).

Сущность метода заключается в том, что постоянная крепь (монолитный бетон) отстает от забоя на 8 м. Временная крепь, в виде анкера $L = 2,4$ м, с закреплением полимерными составами. В нижней части опалубки расположен поддон, который должен обеспечить герметичность от выливания бетона из-за закрепного пространства.

Полное отставание постоянной крепи от забоя составляет 8 м, в том числе участок, закрепленный анкерной крепью по металлической сетке с параметрами между анкерами $1,0 \times 1,0 - 4$ м т.е. одна заходка. Одна заходка – 4 м, порода взорвана и не убирается. Расстояние между днищем (поддоном) опалубки и забоем в стволе постоянно составляет 8 м. После заливки монолитного бетона, убирается порода на глубину 1,0 м, устанавливается анкерная крепь, так чтобы опережение крепления анкерной крепью всегда присутствовало. Этим самым мы обеспечиваем снижение деформаций приконтурного массива ствола и исключение вывалообразований при проходке. Применение данного анкерного крепления должно обеспечить полное исключение вывалообразований. Для этого необходимо параметры анкерного крепления в натуральных условиях, изменяя сетку расположения анкеров,

в сторону уменьшения $0,7 \times 0,7$ м и $0,5 \times 0,5$ м.

Расчет параметров крепи из монолитного бетона, с отставанием от забоя на 8 м можно считать как для обычных условий по стандартным методикам, но в целом толщина монолитного бетона должна быть не менее 500 мм, это подтверждается расчетом по Инструкции разработанной проф. Н.С. Бульчевым для условий шахт Донского ГОКа.

Результаты экспериментальной проходки стволов ниже гор. -400 м подтвердили, что при совмещенной схеме проходки ствола рост напряжений в крепи происходит от забоя на расстоянии около 3-х диаметров ствола и достигают значительной величины, превышающей нормативную прочность бетона или чугунных тубингов. Максимальный рост деформаций стенки ствола происходит на расстоянии 8 м от забоя ствола и составляет 70% от общих деформаций и достигает 16 см.

На основании выполненного комплекса исследований разработана комбинированная схема проходки стволов в условиях шахт Донского ГОКа, с отставанием постоянного крепления, в виде монолитного бетона, 8–9 м от забоя и применения опережающей временной анкерной крепи с быстротвердеющим закреплением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боликов В.Е., Константинова С.А. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 374 с.

2. Сашурин А.Д., Боликов В.Е. Диагностика геодинамической активности горного массива в районе промплощадки шахты «Десятилетия независимости Казахстана». Отчет о НИР. Фонды ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2002. – 230 с.

3. Влох Н.П., Боликов В.Е. Определение напряжений приконтурного массива горных

пород в крепи и разработка технических решений по проходке стволов шахты «Центральная». Отчет о НИР. Фонды ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 1988. – 66 с.

4. Сашурин А.Д., Боликов В.Е. Исследование по напряженному состоянию крепи и структуры массива закрепленного пространства клетового ствола шахты «Десятилетия независимости Казахстана». Отчет о НИР. Фонды ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2004. – 54 с.

Боликов Владимир Егорович – доктор технических наук, профессор,
зав. лабораторией,
Рыбак Светлана Александровна – инженер,
Озорнин Иван Леонидович – инженер,
Институт горного дела Уральского отделения РАН,
e-mail: direct@igd.uran.ru.

UDC 622.281.42

SHAFT SINKING IN ROCK MASS UNDER THE ACTION OF TECTONIC STRESSES

Bolikov V.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory,
Rybak S.A., Engineer,
Ozornin I.L., Engineer,
Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, e-mail: direct@igd.uran.ru.

The article substantiates the mixed technology of shaft excavation in rocks under the action of tectonic stresses aimed at stable shaft lining down to a depth of 1000 m. According to the research, initial stress state of rocks within a mine field contains high-value components of tectonic stresses. Another feature is the comparatively high anisotropy of the tectonic stresses, that shows itself in more than 1.5 times difference between horizontal tectonic stresses along two principal orthogonal directions. The shaft excavation experience using the mixed technology in the conditions of the Donskoy Mining-and-Processing Integrated Works proves that it is impossible to ensure the characteristic strength of cast-in-place concrete lining or cast iron liner at deep levels beneath 450–500 m. In connection with the detected sharp rise of stresses in the lining (concrete or cast iron), the research into the stress generation under the shaft excavation by the mixed technology has been performed. Aimed at the shaft lining loading within the range of its characteristic strength values, the mixed scheme of the shaft excavation has been proposed.

Key words: tectonic stress, rock mass, vertical shaft, lining, ultimate stress limit of lining.

REFERENCES

1. Bolikov V.E., Konstantinova S.A. *Prognoz i obespechenie ustoichivosti kapital'nykh gornykh vyrabotok* (Prediction and maintenance of stability in permanent roadways), Ekaterinburg, UrO RAN, 2003, 374 p.
2. Sashurin A.D., Bolikov V.E. *Diagnostika geodinamicheskoi aktivnosti gornogo massiva v raione prom-ploshchadki shakhty «Desyatiletie nezavisimosti Kazakhstana»*. Otchet o NIR. Fondy IGD UrO RAN (Diagnostics of geodynamic activity in rock mass in the vicinity of the industrial site of the Kazakhstan Independence's Tenth Anniversary Mine. R&D Report. Funds of the Institute of Mining, Ural Branch RAS), Ekaterinburg, 2002, 230 p.
3. Vlokh N.P., Bolikov V.E. *Opreделение napryazhenii prikonturnogo massiva gornykh porod v krep'i i razrabotka tekhnicheskikh reshenii po prokhodke stvolov shakhty «Tsentral'naya»*. Otchet o NIR. Fondy IGD UrO RAN (Assessment of stresses in lining-adjacent rocks and development of engineering solutions on shaft excavation in the Tsentralnaya Mine. R&D Report. Funds of the Institute of Mining, Ural Branch RAS), Ekaterinburg, 1988, 66 p.
4. Sashurin A.D., Bolikov V.E. *Issledovanie po napryazhennomu sostoyaniyu krep'i i struktury massiva zakreplennogo prostranstva kletevogo stvola shakhty «Desyatiletiya nezavisimosti Kazakhstana»*. Otchet o NIR. Fondy IGD UrO RAN (Analysis of lining stresses and rock mass structure in the lined area of the cage shaft in the Kazakhstan Independence's Tenth Anniversary Mine. R&D Report. Funds of the Institute of Mining, Ural Branch RAS), Ekaterinburg, 2004, 54 p.

