УДК 624.131.1

С.В.СЕРГЕЕВ
Белгородский государственный университет, Россия

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОХОДКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Приведены результаты инженерно-геологического сопровождения строительства вертикальных шахтных стволов. Исследования проводились в региональных тектонических нарушениях на глубинах до 1200 м, в соленосных породах на глубинах до 540 м, в осадочной замороженной толще мощностью 620 м. Методика сопровождения апробировалась в течение 30 лет и позволила значительно увеличивать безопасность строительства и эксплуатации вертикальных стволов.

The results of geotechnical support of vertical shaft construction are described. The study was performed in regional zones of tectonic dislocation at a depth of 1200 m, in saliniferous rock at a depth of 540 m, in sedimentary frozen rock with a thickness of 620 m. The method has been tested for 30 years. It ensures greater vertical shaft construction and operation safety.

Методы инженерно-геологических исследований при разведке месторождений полезных ископаемых и подземном строительстве разработаны и используются в течение многих лет [5]. Например, при сооружении стволов проходится контрольно-стволовая скважина, по результатам которой производится выбор параметров и технологии крепления. Однако, как показывает опыт, в сложных горно-геологических условиях результаты предпроектных изысканий не позволяют достаточно надежно прогнозировать значение горного давления, что приводит к тяжелым авариям. Наиболее показательным является катастрофическое разрушение крепи клетевого ствола шахты «Центральная» Донского ГОКа.

Исключение таких явлений возможно в результате инженерно-геологического сопровождения проходческих работ, при котором уточняются свойства массива и производится корректировка параметров крепления. В вертикальных стволах такие работы нами выполнялись в течение 30 лет в следующих геологических условиях:

- субширотных и региональных тектонических нарушениях (Донское месторождение хромитов и Норильский горно-металлургический комбинат);
- соленосных и соляных породах (Закарпатский солерудник и рудник «Пийло» Прикарпатского калийного месторождения);
- замороженных осадочных породах Яковлевского железорудного месторождения Курской магнитной аномалии (КМА).

На Донском месторождении хромитов предпроектное изучение физико-механических характеристик пород выполнялось по кернам скважин, пробуренных на промплощадке в районе стволов. При этом околоствольный массив, по данным Всесоюзного научно-исследовательского и проектно-конструкторского института по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу (ВИОГЕМ), характеризуется следующими показателями свойств:

1. Средние коэффициенты крепости образцов горных пород по шкале М.М.Протодьяконова равны: для слаботрещиноватых разностей – 2-6; средне- и сильнотрещиноватых – 0,7-1,2; раздробленных и сильнотрещиноватых – 0,3-1,1.

2. Прочностные и деформационные показатели горных пород в массиве с учетом степени трещиноватости, выветрелости, петрографического состава, характера

поверхностей ослабления и типа заполнителя характеризуются следующими значениями: для раздробленных и сильнотрещиноватых разностей пород предел прочности на сжатие в массиве $\sigma_{сж}$ = = (5,4÷15,5)10^5 Па, модуль упругости $E_м$ = (0,15÷0,72)10^{10} Па, для средне- и сильнотрещиноватых $\sigma_{сж}$ = (13,7÷24,5)10^5 Па, $E_м$ = (0,64÷1,12)$\cdot 10^{10}$ Па; слаботрещиноватые породы имеют $\sigma_{сж}$ = (58,8÷158,7)10^5 Па, $E_м$ = (2,05÷3,29)10^{10} Па.

3. Прочностные показатели по поверхностям ослабления зависят от типа заполнителя: для кремнисто-карбонатного сцепления С = (0,68÷2,40)10^5 Па, угол внутреннего трения φ = 7°; для талькослюдистого – С = (0,42÷1,5)10^5 Па, φ = 33°; для серпентинового С = (2,40÷8,40)10^5 Па, φ = 41°.

На основании изученности физико-механических свойств в качестве проектной была принята модель околоствольного массива как однородная изотропная линейно-деформируемая среда. Исходя из этого были выбраны параметры крепи. Однако при проходке клетевого ствола бетонная крепь не выдержала горного давления и в интервалах глубин 568-766 м произошло ее разрушение.

Начиная с момента восстановления ствола нами проводилось инженерно-геологическое сопровождение проходки. Оно заключалось в измерении деформаций тюбинг-бетонной крепи по мере выемки пород. По деформациям определялись значения горного давления и косвенным методом уточнялись деформационные характеристики околоствольных пород. Было установлено, что нагружение крепи, в основном, происходит за счет микросдвижений в массиве, вызванных выемкой пород из забоя. Исходя из фактических закономерностей нагружения крепи на разных глубинах было установлено, что в зоне дробления тектонических нарушений массив, содержащий в трещинах серпентинит и талькобрейнерит, может быть рассмотрен в виде вязкоупругой модели с переменным коэффициентом вязкости. При этом давление на крепь описывается выражением [2]

$$D_{(t)} = \frac{\sigma}{1+(G/BZ_0)}\left[1-\exp\left(\frac{2G+BZ_0}{2\eta_t}t\right)\right],$$

где σ – напряжения в нетронутом массиве; B – жесткость крепи; η – переменный коэффициент вязкости.

Дальнейшая проходка ствола, с учетом корректировки давления на крепь, прошла без нарушений.

Инженерно-геологическое сопровождение проходки проводилось также на руднике «Скалистый» концерна «Норильский никель» (стволы ВЗС-1 и ВСС-1) в зоне влияния Хараелахского разлома в интервале глубин H = 500÷1200 м. Здесь массив пород представлен толщей аргиллитов, алевролитов, песчаников, известняков, долеритов и роговиков с зонами дробления до 70 м. Анализ результатов натурных наблюдений показывает, что в условиях рудника «Скалистый» нагрузки на крепь P при одинаковой глубине меньше, чем на шахте «Центральная». Это объясняется тем, что в зонах дробления на Донском ГОКе трещины заполнены серпентинитом и талькобрейниритом, которые повышают подвижность околоствольного массива при выемке пород из забоя. Значения нагружения крепи в зоне влияния Хараелахского разлома следующие:

Ствол	H, м	P, МПа	P/H
ВЗС-1	825	1,28	0,0016
	903	2,00	0,0022
	990	1,20	0,0012
	1035	6,61	0,0064
ВСС-1	538	1,05	0,0019
	643	1,40	0,0021
	854	0,94	0,0011
	1199	1,71	0,0031

По результатам инженерно-геологического сопровождения была оперативно скорректирована технология сооружения и параметры крепления стволов [1, 6].

Случаи разрушения крепи стволов в солях отмечены на многих рудниках. Например, некоторые интервалы вентиляционного ствола калийного рудника «Пийло» перекреплялись трижды. Такое положение было

обусловлено тем, что влияние специфических свойств соляных пород на характер нагружения крепи был исследован недостаточно. Исследования в основном проводились теоретически, исходя из реологических характеристик пород, определенных на образцах. Нами натурные исследования в стволах, сооружаемых в соляных породах, проводились на Закарпатском солеруднике и вентиляционном стволе рудника «Пийло» в интервале глубин 480-524 м. На последнем объекте продолжительность непрерывных наблюдений составила 7,5 лет. Было установлено, что, несмотря на разное геологическое строение, на Закарпатском солеруднике околоствольный массив представлен чистой каменной солью, а на руднике «Пийло» – брекчией песчано-глинистой, соленосной, с содержанием галита до 50 % – интенсивность нагружения крепи была идентичной. Следовательно, физико-механические характеристики этих пород были одинаковыми. Интенсивность нагружения крепи в соляных породах на рассматриваемой глубине происходит со скоростью 0,02 МПа/сут. Ранее предполагалось, что в соляных породах нагрузки на крепь могут достигать веса вышележащей толщи пород. На руднике «Пийло» в зоне опорного давления (район околоствольного двора) нагрузки значительно превысили эту величину. По результатам исследований были выданы рекомендации по совершенствованию технологии проходки и крепления стволов [4].

Анализ зарубежного и отечественного опыта строительства стволов способом замораживания показывает, что почти во всех случаях происходили осложнения, вызванные нарушением крепи. Причиной этого послужила недостаточная изученность характеристик замороженных осадочных пород. На Яковлевском месторождении КМА нами были проведены комплексные исследования взаимодействия замороженного массива крепью стволов. Здесь впервые было применено низкотемпературное (до –25 °С) глубокое (до 620 м) замораживание пород. В общей сложности в трех стволах по разработанной нами методике было установлено около 30 замерных станций [3]. Они были размещены во всех типах пород, характерных для месторождения: в мелах, мергелях, глинах, суглинках, песках, известняках, песчаниках, каолине. Исследования проводились в период активного, пассивного замораживания и размораживания ледопородного цилиндра [7].

По характеру воздействия замороженных пород на крепь ствола можно выделить три типа пород: глинистые, песчаные и полускальные трещиноватые. Установлено, что в замороженных глинистых породах давление на крепь превышает вес вышележащей толщи пород. В стволе № 1 на глубине 306 м (супесь) и 383 м (глина киммердж-оксфорда) абсолютное значение радиальных нагрузок достигло соответственно 11,6 и 11,7 МПа. Значительные нагрузки на крепь были вызваны дополнительными напряжениями в ледопородном цилиндре, возникшими при фазовом переходе поровой воды в лед. Одновременно с натурными наблюдениями в лаборатории специальных горных работ НИИ ВИОГЕМ были определены физико-механические и реологические характеристики замороженных пород, отобранных из стволов при их естественной влажности и плотности. При этом определение напряжений пучения образцов проводились под нагрузкой, равной вышележащей толще пород (см. таблицу).

Результаты лабораторных исследований пучения глинистых пород

Тип породы; глубина, м	Влажность, %	T, °С	Начальное давление при замораживании, МПа	Относительная пучинистость, %	Напряжение пучения, МПа
Мергель; 102,0	33,2	-16	1,0	0	
		-16	2,0	0,25	5
Песок; 295,0	22,9	-20	1-10	0	0
Супесь; 305,0	16,0	-24	4	1,25	15,4
	25,0	-24	4	1,65	21,4
	21,0	-12	12	0,52	18,4

Анализ результатов исследований показывает, что предварительно замороженные

глинистые породы при их вскрытии проходкой способны оказывать давление на крепь, равное давлению морозного пучения. Ранее предполагалось, что на больших глубинах в нетронутом массиве напряжения пучения не возникают. Однако натурные наблюдения показали, что при этом происходит предварительное дополнительное напряжение массива, которое «разряжается» после вскрытия проходкой. Естественное размораживание ледопородного цилиндра происходит в течение 1,5-1,8 лет. При этом в глинистых породах наблюдается уменьшение нагрузок на 30-50 %. Интенсивность спада зависит от уровня температуры пород, достигнутой к началу размораживания. В песках после размораживания происходит восстановление гидростатического напора подземных вод на крепь.

Таким образом, на рассматриваемых объектах, благодаря инженерно-геологическому сопровождению проходки стволов, удалось избежать появления критических нагрузок на крепь за счет оперативной корректировки технологии и параметров крепления. Это позволило в значительной степени увеличить безопасность проходки и дальнейшей эксплуатации сложного горного объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Булычев Н.С.* Особенности формирования нагрузок на крепь стволов в условиях Донского месторождения хромитов / Н.С.Булычев, С.В.Сергеев // Освоение месторождений минеральный ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях: Сб. тр. / Всесоюз. науч.-исслед. и проект.-конструкт. ин-т по осушению месторожд. полезн. ископ., специальным горным работам, рудничной геолог. и маркшейдер. делу. Белгород, 1995. С.229-232.

2. Инженерно-геологические исследования при разведке месторождений полезных ископаемых / Под ред. Г.А.Голодковской. М.: Изд-во МГУ, 1975. 185 с.

3. *Казикаев Д.М.* Методические рекомендации по проведению натурных наблюдений в стволах сооружаемых в сложных горно-геологических условиях / Д.М.Казикаев, С.В.Сергеев, О.П.Борисов / Всесоюз. науч.-исслед. и проект.-конструкт. ин-т по осушению месторожд. полезн. ископ., специальным горным работам, рудничной геолог. и маркшейдер. делу. Белгород, 1985. 35 с.

4. *Казикаев Д.М.* Нагружения крепи ствола сооружаемого в солях / Д.М.Казикаев, С.В.Сергеев, А.С.Черныш // Механика подземных сооружений: Сб. научн. тр. / Тульск. политехн. ин-т. Тула, 1990. С.67-72.

5. *Сергеев С.В.* Выбор модели околоствольного массива раздробленных пород / С.В.Сергеев, А.Н.Красовский // Механика подземных сооружений: Сб. научн. тр. / Тульск. политехн. ин-т. Тула, 1993. С.73.

6. *Сергеев С.В.* Нагружение крепи глубоких стволов рудника «Скалистый» / С.В.Сергеев, А.Д.Мишедченко, А.Л.Мудрик // Горный журнал. 2000. № 2.

7. *Сергеев С.В.* Опыт сооружения стволов Яковлевского рудника / С.В.Сергеев, Г.Г.Суржин // Горный журнал. 1996. № 1-2. С.82-84.