УДК 622.258

В.В.ЛЕВИТ, *д-р техн. наук*, *профессор*, *ген. директор*, *postmaster@sshb.donbass.com*
ГХК «*Спецшахтобурение*», *г.Донецк*, *Украина*
С.В.БОРЩЕВСКИЙ, *д-р техн. наук*, *borshevskiy@gmail.com*
Донецкий национальный технический университет, *Украина*

V.V.LEVIT, *Dr. in eng. sc.*, *professor*, *General director, postmaster@sshb.donbass.com*
Spetsshakhtoburenie, Donetsk, *Ukraine*
S.V.BORSHCHEVSKIY, *Dr. in eng. sc.*, *borshevskiy@gmail.com*
Head of Chair of the Donetsk Technical University, *Ukraine*

ГЕОЛОГО-ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ СООРУЖЕНИЯ ГЛУБОКИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА

Разработан литолого-геомеханический тренд условий крепления вертикальных стволов угольных шахт, который взаимоувязывает и объединяет в систему литолого-геомеханические и горно-технические факторы.

Ключевые слова: неоднородности многослойных углепородных толщ, устойчивость породных обнажений, характер разрушения породных слоев, учет трещиноватости, дезинтеграции тиксотропии пород.

GEOLOGO-GEOMECHANICAL DEVELOPMENTS OF STRUCTURES OF DEEP VERTICAL SHAFTS AT COAL MINES IN DONBASS

The lithologo-geomechanical trend of conditions for strengthening the vertical shafts of collieries which coordinates and unites the lithologo-geomechanical and mining factors into a system has been developed.

Key words: inhomogeneities of multilayer coal measure strata, stability of rock exposures, pattern of failure of rock layers, account of fracturing, disintegration of rock thixotropy.

Отсутствие теоретических подходов определения показателей неоднородности многослоистых углепородных толщ для создания типизации условий проходки и крепления шахтных стволов обусловило обработку и статистический анализ больших массивов данных о взаимосвязи структурных и прочностных показателей пород в увязке с их устойчивостью в обнажениях. При этом обоснование коэффициентов структурной и прочностной неоднородности массива пород, усовершенствование зависимости оценки длительной приведенной прочности многослойной толщи, установление показателей вывалообразования в стволах угольных шахт с учетом мощности пластов и прочности пород, вероятностная оценка горного давления на крепь стволов являются актуальными задачами, стоящими перед шахтостроителями.

Нельзя не отметить, что на протяжении многих лет, стволы, проходимые трестом, служили полигоном для испытания новых идей ведущих горных инженеров и ученых страны и головных научно-исследовательских институтов: ЦНИИПодземмаш, ВНИМИ, НИИОМШС, УкрНИМИ, НИГМ им.М.М.Федорова, ИГТМ НАН Украины, МГГУ, ТулГУ, НГУ, ДонНТУ и др.

Направленность исследований наших практиков и ученых всегда была обусловлена, в первую очередь, тем, что вертикальные стволы отнесены к первому клас-

су горных выработок по важности [6], поэтому эксплуатационная надежность должна быть высокой, а принимаемые конструктивно-технологические решения по сооружению должны обеспечить их быстрый ввод и безремонтную эксплуатацию.

Научная предпосылка состоит в том, что согласно современной точке зрения вертикальный ствол – это локальная геотехническая система (ГТС), строительство которой вызывает возмущения в геосреде, что, в свою очередь, оказывает влияние на инженерные конструкции, находящиеся в недрах Земли. Такая геотехническая система состоит из природной и технологической компонент, а характер и интенсивность их взаимодействия определяются величиной и направленностью технологических воздействий.

Определяя геотехническую систему [7] как взаимодействующие между собой часть земной коры (литосферы) и расположенные в ее недрах (или на поверхности) промышленные и иные комплексы, обеспечивающие решение задач жизнеобеспечения общества, правомерно в качестве ее оценки принять: геолого-геомеханический, горно-технологический и энергетический факторы.

Именно глубокое изучение взаимосвязи указанных факторов позволило создать специалистами треста и учеными университета новые интенсифицирующие, эколого-ориентированные технологии сооружения стволов, открывающие перспективы в шахтном строительстве, основу которых составляют следующие постулаты [1]:

1. Деформативность монолитной крепи – способность ее приспосабливаться к возможному неравномерному давлению – определяется ее «жесткостью» – EI, где E – модуль упругости бетона, а I – момент инерции сечения крепи, зависящий в третьей степени от ее толщины. Таким образом, наиболее оптимальны для крепления низкомодульные, прочные бетоны, способные обеспечить уменьшение расчетной толщины крепи.

2. С позиции геомеханики вертикальный ствол находится в условиях отличных от горизонтальных и наклонных выработок:

- ствол проходится вкрест простирания пород (инструментальными наблюдениями доказано, что такие выработки намного устойчивее выработок, пересекающих массив по простиранию);
- состояние породного массива, ослабленного стволом, зависит от напряжений, которые действуют в горизонтальной плоскости. Эти напряжения составляют только часть от веса вышележащей толщи, т.е. нагрузка от толщи пород корректируется коэффициентом бокового распора пород. Следовательно, разрушающие напряжения в массиве, вмещающем вертикальную выработку, будут меньше, чем при горизонтальной или наклонной плоскости;
- осесимметричное распределение напряжений в породах, ослабленных круглой выработкой, обусловливает равномерное смещение контура и всестороннее обжатие крепи, т.е. ее более высокую несущую способность;
- сползающий породный вывал, который может возникнуть в местах локального ослабления массива, оказывает меньшее влияние на крепь ствола, чем, например, вывал в своде горизонтальной выработки.

Следовательно, геомеханическая обстановка при строительстве стволов благоприятнее, чем при сооружении горизонтальных выработок. Поэтому монолитная бетонная или набрызгбетонная жесткие крепи на протяженных участках, как правило, не разрушаются и достаточно надежно поддерживают ствол, а наблюдаемые деформации крепи чаще всего инициированы подработкой охранных целиков, коррозией бетона под влиянием внешних агрессивных агентов, нарушениями технологии работ. Эти основополагающие выводы были положены в основу унифицированных типов крепей, а также использованы в СНиПе «Подземные горные выработки» и послужили руководством для проектировщиков и строителей на долгие годы.

С увеличением глубины изменились условия сооружения стволов. Научная мысль о геомеханических процессах опирается на предпосылку, что на больших глубинах породы приобретают высокие реологические и пластические свойства [8], поэтому усиливается асимметрия нагрузок на ствол, а коэффициент неравно-

мерности достигает больших значений [2, 4]. В таких условиях весьма важен выбор податливых, надежно контактирующих с приконтурным массивом пород крепей, эффективно управляющих горным давлением в стволах. Базой для этого являются знания об особенностях разрушения как отдельных слоев прочных и слабых пород, так и их ассоциаций: трещинообразований, дезинтеграций, тиксотропных явлений и др. Именно эти показатели являются основой для выбора современных способов технологии крепления шахтных стволов.

Развитие этих идей позволило научно обосновать и классифицировать условия поддержания стволов с помощью такого понятия, как литолого-геомеханический тренд (ЛГТ).

Особенностями в новой классификации условий являются: увеличение количества учитываемых показателей, использование метода пересчета геологических характеристик пород в комплексную характеристику массива, группирование условий по балльной оценке с определением граничных величин для категорий. Исследование и оценка условий в завершающей стадии предполагают расчет потенциального показателя устойчивости $K_{\text{ЛГТ}}$ по аналитическому выражению:

$$K_{\text{ЛГТ}} = \frac{(K_{\text{п.н}}/K_{\text{с.н}})R_t(1-\rho_{\text{в}})K_{l_{\text{от}}}}{\gamma H g_t K_{\text{рд}}}, \qquad (1)$$

где $K_{\text{п.н}}$ и $K_{\text{с.н}}$ – коэффициенты прочностной и структурной неоднородности массива пород; R_t – приведенная длительная прочность массива пород, МПа, зависящая от реологического показателя χ/β; $\rho_{\text{в}}$ – вероятность вывалообразования в стволе; $K_{l\text{от}}$ – величина, обратная отходу забоя ствола, м$^{-1}$; γH – уровень напряженности пород, МПа; g_t – частота трещин, м$^{-1}$; $K_{\text{рд}}$ – коэффициент разгрузки массива вблизи ствола.

Разработанный ЛГТ (см.таблицу) позволяет осуществить вероятностную оценку типов условий поддержания вертикальных стволов, существенно повысив надежность их оценки в предельном случае функционирования системы крепь ствола – неоднородный породный массив в зависимости от особенностей проявления горного давления, технологических факторов. Систематизация геолого-геомеханических условий проходки и крепления стволов угольных шахт Донбасса осуществлена с таких позиций впервые. ЛГТ может быть использован как при планировании шахтных исследований, так и разработке комбинированных способов крепления стволов шахт.

Данная классификация, рассмотренная с точки зрения различных характеристик системы крепь – массив, связана с важнейшим показателем вероятности вывалообразования в стволах, в увязке его с состоянием вмещающих пород и технологией проходки (темпами, величиной отхода, показателями БВР и т.п.). Установленная зависимость вероятности вывалообразования ($\rho_{\text{в}}$) от глубины забоя (H) и крепости вмещающих пород (f) имеет вид

$$\rho_{\text{в}} = 88 - 0{,}073H. \qquad (2)$$

Выявлено, что с глубиной работ и увеличением прочности пород отмечаются три зоны интенсивности вывалов с различной вероятностью их образования: первая – $f \le 6$ (0,81-0,92), вторая – $f = 6$-12 (0,29-0,56), третья – $f \ge 12$ (0,11-0,47).

Использование этих результатов весьма важно для оценки устойчивости стволов и принятия решений ее повышения, так как затраты на крепление составляют 70-80 % стоимости работ по сооружению всего ствола. Эти показатели повышаются при больших глубинах.

С переходом горных работ на глубину > 1000 м проектная несущая способность крепи повышается в 2 раза, затраты материалов возрастают в 1,5-2,0 раза, трудоемкость – до 2,5 раз, а производительность труда уменьшается в 1,3-1,8 раза [3]. Установлено, что основными причинами деформирования крепи являются сложные непредсказуемые горно-геологические условия (32,1 %), несоответствие технологии крепления (33,6 %), неучет особенностей неоднородности породного массива, возрастающей с глубиной асимметрии нагрузок на ствол.

Оценивая результаты геомеханических исследований и осуществленных геофизических экспериментов [5], можно сделать следующие выводы:

Литолого-геомеханический тренд условий сооружения шахтных стволов Донбасса

Категория устойчивости	Степень устойчивости пород	Показатели неоднородности массива		$(\chi / \beta)_{ср}$	$\rho_в$	$G_т$, м$^{-1}$	$K_{ЛГТ}$
		$K_{сн}^{ср}$	$K_{пн}^{ср}$				
I	Весьма устойчивые, прочные монолитные	0,20	0,20	до 0,16	0,11-0,47	1	>5,0
II	Устойчивые, прочные, квазимонолитные	0,20	0,20	0,16-1,25	0,29-0,56	1-5	0,50-5,00
III	Средней устойчивости и прочности, контактно-слоистые	0,60	0,40	0,25-0,40	0,29-0,56	5-10	0,05-0,50
IV	Неустойчивые, малопрочные явно слоистые	1,0	0,50	0,40-0,63	0,81-0,92	10-20	0,01-0,05
V	Весьма неустойчивые, слабые с легко деформирующимися слоевыми отдельностями	1,0	0,50	0,63-1,00	0,81-0,92	>20	<0,01

1) вокруг ствола формируется две зоны нарушенных пород: I – 0,4-0,8 м; II – 1,2-1,6 м;

2) максимальные значения коэффициентов асимметрии нагрузок на крепи стволов достигают 1,4, а их возрастание наблюдается при слабых породах;

3) асимметрия нагрузок на ствол является одним из определяющих факторов его деформирования, поэтому снижение ее является базовым принципом повышения устойчивости ствола;

4) уменьшение асимметрии нагружения может быть достигнуто за счет применения воздействий на обнаженный массив при проходке ствола и на крепь после ее возведения;

5) несмотря на имеющий место дрейф зон нагружения ствола на протяженных его участках, наиболее вероятная ориентация зоны с повышенным уровнем напряжений в крепи, вне зависимости от ее вида и горно-геологических условий, имеет направление в сторону восстания (восстание-падение) пород.

Полученные результаты позволили улучшить понимание физико-механической сущности процессов в системе крепь – породный массив, а их количественные показатели широко используются при геомеханическом обосновании способов сооружения стволов. Разработанный ЛГТ позволяет осуществить вероятностную оценку типов условий поддержания вертикальных стволов угольных шахт, существенно повысив надежность их оценки в начальной стадии и в предельном случае функционирования системы крепь ствола – неоднородный породный массив в зависимости от особенностей проявления горного давления, технологических факторов.

Таким образом, впервые с таких позиций осуществлена систематизация и обобщение информации о геолого-геомеханических условиях проходки и крепления стволов угольных шахт Донбасса, на базе которых разработан ЛГТ их диагностики, открывающий возможности оценки направлений дифференцированного выбора конструктивно-технологических решений по поддержанию вертикальных стволов. ЛГТ использован при планировании шахтных исследований и разработке комбинированных способов крепления стволов шахт.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Заславский Ю.З.* Исследования проявлений горного давления в капитальных выработках угольных шахт Донецкого бассейна. М.: Недра, 1966. 180 с.

2. *Козел А.М.* Исследование и управление горным давлением в вертикальных шахтных стволах // Исследование, прогноз и контроль проявления горного давления. ЛГИ. Л., 1982. С.116-117.

3. Косков И.Г. Проблемы шахтного строительства / И.Г.Косков, В.Ф.Морозов // Бизнес-Информ. 1995. № 17-18. С.22-24.

4. *Репко А.А.* Особенности деформаций крепи вертикальных стволов // Шахтное строительство. 1987. № 1. С. 15-16.

5. Руководство по геофизической диагностике состояния системы крепь – породный массив вертикальных стволов (Дополнение к «Пособию по восстановлению крепи и армировки вертикальных стволов» РД 12.18.073-88) / А.Ф.Булат, Б.М.Усаченко, А.А.Яланский и др./ ИГТМ НАНУ, Днепропетровск, 1998. 42 с.

6. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. М.: Стройиздат. 1983. 272 с.

7. *Толстухин О.Н.* Земля в руках людей. М.: Недра, 1981. 160 с.

8. *Усаченко Б.М.* Свойства пород и устойчивость горных выработок. Киев: Наукова думка, 1979. 135 с.

REFERENCES

1. *Zaslavsky Yu.Z.* Investigations of rock pressure manifestations in permanent workings of coal mines at the Donetsk basin. Moscow: Nedra.1966. 180 p.

2. *Kozel A.M.* Investigation and rock pressure control in vertical mine shafts // Investigation, prediction and control of rock pressure manifestations. LGI. L., 1982. P.116-117.

3. *Koskov I.G.*, *Morozov V.P.* Problems in mine construction // Business Inform. 1995. N.17-18. P.22-24.

4. *Repko A.A.* Peculiarities of deformation of the supports of vertical shafts // Mine C. 1987. P.15-16.

5. Manual on geophysical diagnostics of state of the system «support-rock mass» of vertical shafts (Supplement to «Manual on restoration of supports and reinforcement of vertical shafts» RD 12.18.073-88) / A.F.Bulat, B.M.Usachenko, A.A.Yalansky et al. Ievit: Dnepropetrovsk, 1998. 42 p.

6. Manual on designing of underground mine workings and calculation of supports. Moscow: Stroiizdat. 1983. 272 p.

7. *Tolstukhin O.N.* The Earth in hands of people. Moscow: Nedra,1981. 160 p.

8. *Usachenko B.M.* Rock properties and stability of mine workings, Kiev: Naukova dumka, 1979. 135 p.