

*Канд. техн. наук И.В. БАРУКОВ,
канд. техн. наук С.В. МОРИН,
канд. техн. наук В.П. САМАРИН
Уральский филиал ВНИИ*

ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УРАЛА

Решение вопросов сдвижения горных пород постоянно требует пересмотра представлений о сдвижении и деформировании подработанного массива и шахтных стволов при влиянии на них горных работ. В первую очередь возникает необходимость на основе результатов инструментальных наблюдений разработки методов расчета сдвижений массива горных пород и земной поверхности. При подземной разработке угольных и рудных месторождений Урала методы расчета сдвижений и деформаций были конкретизированы, получены подходящие и целесообразные для рассматриваемых условий отработки упрощенные зависимости.

Проблема охраны шахтных стволов является предметом многочисленных исследований. Ее решение зависит от развития представлений о напряженно-деформированном состоянии (НДС) массива горных пород и основано на закономерностях их сдвижения и деформирования в зонах влияния очистных работ. Возникающие на практике задачи по охране стволов опережают развитие геомеханических прогнозов ввиду многообразия горно-геологических условий и сложности происходящих в массиве процессов сдвижения и деформирования горных пород и изменения под их влиянием вторичных полей напряжений в области техногенного воздействия. К настоящему времени создалась ситуация, что шахтные стволы под влиянием горных работ в большинстве случаев получили сдвижения и деформации, которые превысили допустимые и приближаются к предельным.

В рассматриваемых условиях были разработаны мероприятия, направленные на предотвращение неуправляемого деформирования стволов посредством прогноза их состояния в зависимости от сдвижений и деформаций горных пород и напряжений в изменяющемся во времени поле деформаций.

Продолжительные инструментальные наблюдения на комплексных наблюдательных станциях позволили получить в динамике количественные изменения сдвижений и деформаций в массиве горных пород и на земной поверхности в конкретных

горно-геологических условиях при разработке Малышевского месторождения изумрудов подземным способом, в Челябинском бурогольном бассейне на шахтах «Коркинская», «Центральная», «Красная Горнячка» и др. Инструментальные наблюдения заключались в определении высотных отметок реперов на земной поверхности и в горных выработках и измерений интервалов между ними. Наблюдения показали, что граница влияния горных работ распространяется на значительное расстояние от границ очистных выработок, в зоне опасного влияния располагаются здания и сооружения промплощадок шахт, шахтные стволы, жилые здания городов и поселков (г. Копейск), промышленные объекты (КМЗ), коммуникации и трубопроводы.

Оценка проявлений сдвижений и деформаций околоствольного массива непосредственно связана с величиной сдвижения устья ствола, которая зависит от положения ствола и интенсивности ведения горных работ. Состояние деформируемых шахтных стволов зависит от величины сдвижения их устья, что отражает разную степень воздействия подземных и открытых работ при совместном изгибе и сдвиге пород, в условиях сдвижения пород по напластованию и их сползанию при крутом залегании пластов (рудных тел).

Под воздействием горных разработок наблюдается следующее: чем ближе расположены горные работы к стволу, тем больше величина оседания устья ствола $\eta_{\text{стн}}$ и проявление горного давления. С увеличением вертикальных деформаций сжатия в околоствольном массиве, соответственно выше радиальные смещения крепи и степень воздействия подработки, что проявляется в снижении устойчивости околоствольного массива и крепи, ухудшении состояния эксплуатируемого шахтного ствола.

Исходными данными для прогнозирования состояния шахтных стволов являются величины вертикальных сдвижений на земной поверхности в краевой части области сдвижения в различных горно-геологических условиях отработки угольных пластов или рудной залежи, суммарные горизонтальные и вертикальные сдвижения устья шахтного ствола расположенного в зоне влияния горных выработок.

На основе натурных исследований по взаимосвязи влияния горных работ на изменение состояния шахтных стволов установлена тенденция ухудшения состояния стояния ствола по мере увеличения суммарных сдвижений.

Для оценки состояния шахтных стволов подверженных влиянию очистных работ разработан показатель B [1, 2]. Показатель B определяется в зависимости от отношения суммарного оседания устья ствола $\eta_{\text{стн}}$ на определенный момент его эксплуатации к допустимому по формуле:

$$B = 2(\eta_{\text{стн}}/\eta_{\text{д}})^{0,6}, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{д}}$ – допустимое оседание устья ствола ($B = 2$ балла), $\eta_{\text{д}} = 0,1-0,15$ м.

Если известно состояние шахтного ствола B_1 , подверженного влиянию горных работ на момент времени t_1 (время воздействия очистных работ на ствол с начала его эксплуатации), то исходя из (1) прогнозируемое состояние шахтного ствола может быть определено из выражения (2):

$$B = B_1 (1 + \Delta\eta_{\text{стн}}/\eta_{\text{стн1}})^{0,6}, \quad (2)$$

где $\Delta\eta_{\text{стн}}$ – прогнозное изменение отметки устья ствола, мм; $\eta_{\text{стн1}}$ – оседание устья ствола на момент времени t_1 , мм.

Прогнозирование величины оседания устья ствола $\eta_{\text{см}}$ производится в зависимости от условий отработки угольных пластов или рудной залежи с учетом особенностей сдвижения околоствольного массива при увеличении глубины ведения горных работ (H) и изменении угла падения пласта (залежи) (α) на основе результатов инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности промплощадки и устьев деформируемых стволов по мере их накопления.

Величины $\eta_{\text{см}}$ и $\Delta\eta_{\text{см}}$ определяются по результатам инструментальных наблюдений за сдвижением устья ствола или рассчитываются по разработанным в Уральском филиале ВНИМИ методикам расчета сдвижений и деформаций земной поверхности.

В рассматриваемых условиях при ведении горных работ с закладкой выработанного пространства накопление оседаний устья ствола «К» на Малышевском месторождении достаточно хорошо описывается степенно-показательной функцией:

$$\eta_{\text{см}} = 5t^{1.3}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где t – промежуток времени влияния горных работ на состояние ствола, лет.

Произведена оценка состояния ствола «К» в зависимости от величины сдвижения устья, принимая во внимание, что суммарные горизонтальные смещения устья ствола не превысили к 1995 г. 380 мм. Вертикальное смещение в районе ствола шахты «К» в 1995 г. составило порядка 250–280 мм по результатам инструментальных наблюдений, а по (3) при $t=22$ $\eta_{\text{см}}=278$ мм.

Показатель B состояния ствола шахты «К» к 1995 г., равен $B = 2(0,25/0,12)^{0,6} = 3$ балла, что указывает на стадию установившегося деформирования с незначительным изгибом проводников и наличии отдельных трещин в крепи, заколов и вывалов на сопряжениях, что и проявилось в шахтном стволе по мере воздействия на него горных работ. При наблюдаемых горизонтальных смещениях до 380 мм в двух местах на расстоянии 60 м и 175 м от поверхности проявились сдвиги в крепи с появлением трещин раскрытием до 15 мм и изгиба проводников. Несмотря на то, что шахтный ствол «К» получил к 1995 г. достаточно большие по величине сдвижения, опасных деформаций его крепи и армировки не наблюдалось. К 2005 г. состояние ствола не ухудшилось в связи с прекращением очистных работ. В дальнейшем с возобновлением горных работ возникшие сдвижения и деформации сжатия в околоствольном массиве могут привести к изменению состояния ствола. В соответствии с расчетами по (1, 2) показатель B при доработке месторождения не превысит 3,5–4,0 балла.

В связи со смещениями подработанного горного массива и деформациями крепи и армировки шахтного ствола для обеспечения безопасной его эксплуатации при B более 3 балла необходимо осуществлять систематический контроль за соблюдением достаточных зазоров между движущимися сосудами и армировкой, а так же зазоров на стыках проводников. В первую очередь требуется регулярный надзор на деформированных участках ствола и принятие своевременных мер по устранению недопустимых деформаций.

Шахтные стволы в зоне влияния очистных работ подвержены искривлению вследствие смещений и сдвигов по напластованию и сместителям разрывных нарушений.

Отклонение ствола от вертикали в массиве по падению $\xi_c(y)$ может быть представлено в зависимости от смещений устья ствола $\xi_{\text{см}}$:

$$\xi_c(y) = \xi_{\text{сн}} \exp(-a_c y^{1/c}), \quad (y \geq 0), \quad (4)$$

где a_c и ϑ_c – параметры аппроксимации; y – ордината точки.

Степенной параметр ϑ_c выбирается на основе инструментальных наблюдений за смещением ствола. Исследования показали, что величина показателя ϑ_c находится в зависимости от горно-геологических условий и степени воздействия изгиба и сдвига горных пород. На угольных месторождениях Урала степенной показатель $\vartheta_c = 1,2-2,0$. Для ствола «К» на Малышевском месторождении по данным наблюдений $\vartheta_c = 1,2$, что обусловлено преобладанием деформаций сдвига в рассматриваемых условиях. Параметр аппроксимации a_c определяется в зависимости от соотношения $\xi_k/\xi_{\text{сн}}$ и глубины $H_{\text{ск}}$ от устья ствола до точки пересечения ствола и слабого контакта, где возможен сдвиг пород и наблюдается наибольшее искривление проводников.

Исходя из (4) этот параметр можно представить в виде:

$$a_c = \ln(\xi_{\text{сн}}/\xi_k)/H_{\text{ск}}^{1/c}, \quad (5)$$

где ξ_k – смещение ствола при $y = H_{\text{ск}}$, мм.

По результатам наблюдений для ствола «К» при $H_{\text{ск}} = 60$ м по (5) получено, что $a_c = 0,0028$ и по формуле (4) определены прогнозные смещения и наклоны ствола «К» в западном направлении при доработке месторождения до горизонта – 120 м.

По известным величинам горизонтальных смещений рассчитанным по формуле (4) могут быть оценены сдвиги в околоствольном массиве, которые в основном пропорционально убывают с уменьшением сдвижений в зависимости от величины отклонения ствола от вертикали в месте его пересечения со слабым контактом расположенном в верхней части подработанного массива до глубины 150–200 м.

Если сдвиг проявляется в нарушенной зоне, как это наблюдается в стволе «К» при $y_k = 175$ м, в этом случае величину сдвига $h_{\text{ск}}$ можно оценить, как разность горизонтальных смещений определяемых в соответствии с (4).

Прогноз оседаний на земной поверхности в подработанном массиве может быть осуществлен на основе результатов инструментальных наблюдений и их обобщении. В результате исследований установлено, что кривая смещений достаточно хорошо может быть представлена показательной-степенной функцией с использованием данных о смещениях в характерных точках на земной поверхности в районе промплощадки и рассматриваемом горизонте в подработанной толще в виде:

$$\eta(x, y) = \eta_k(y) K_1(y)^{a(x,y)}, \quad a(x, y) = (x/l_c(y))^c, \quad (6)$$

где $\eta_k(y)$ – наибольшее (максимальное) оседание на поверхности при $y = 0$ и в толще на уровне рассматриваемого подработанного горизонта, определяемое по результатам наблюдений, мм; $K_1(y)$ – коэффициент характеризуемый отношением оседания в точке перегиба $\eta_1(y)$ к $\eta_k(y)$, $K_1(y) = 0,2-0,35$; $l_c(y)$ – расстояние от точки с оседанием $\eta_1(y)$ до точки перегиба кривой оседаний, $(l_c(y) = \kappa L(y)$, $L(y)$ – размер области влияния горных работ в соответствии с результатами наблюдений, м); c – степенной показатель, ($c = 0,75-2,5$).

В подработанном массиве в соответствии с результатами наблюдений на Малышевском месторождении степенной показатель получен равным $c = 1,0$, коэффициент $K_1(y) = 0,3-0,35$ и $l_c(y) = (0,2-0,3)L(y)$, что позволяет прогнозировать величину оседания в подработанной толще пород по формуле (6).

На угольных месторождениях определяемые параметры в формуле (6) обусловлены изгибом и сдвигом пород. Степенной показатель, в основном, более 2,0, наибольшее (максимальное) оседание на земной поверхности и в толще прослеживается над выработанным пространством под углом максимального оседания θ , $l_c(y) = (0,5-0,7)L(y)$.

При прогнозе оседаний в толще по (6) может быть использована зависимость (4), на основе которой и установленных взаимоотношений определяется распределение оседаний по вертикали $\eta_1(y)$ в точке перегиба кривой оседаний на рассматриваемом горизонте в зоне влияния горных работ и значение коэффициента $K_1(y) = \eta_1(y)/\eta_k(y)$ при известной величине максимального оседания на горизонте.

Здания, расположенные на промплощадках шахт Челябинского угольного бассейна и шахты «К» на Малышевском месторождении, претерпели весьма существенные деформации (до 4–6 мм/м и более). На промплощадке шахты «К» здания крепоразделочной, механической мастерской находятся в аварийном состоянии и требуют конструктивного усиления. Фабрика «И», гранильный цех, здание подъемной машины, АБК, компрессорная и др. имеют видимые повреждения. В надшахтном здании ствола «К» и здании бывшей проборазделочной выполнены конструктивные меры защиты, позволяющие сохранять сооружения в безопасном эксплуатационном состоянии.

Выполненные Уральским филиалом в 1995–2006 гг. инструментальные наблюдения показали в целом снижение скоростей сдвижений на 25–30% по сравнению с 1993 г, вызванное прекращением в 1994–1995 гг. работ по добыче полезного ископаемого. Сдвигения промплощадки стали более равномерными. Скорости оседаний реперов в прибортовой полосе снизились и приблизились к скоростям оседаний реперов более удаленных от карьера «М» и рудной залежи. В дальнейшем следует ожидать более равномерного характера распределения величин сдвижений подработанного массива и снижения величин сдвижений при их постепенном накоплении.

В период с 1997 по 2005 гг. в Челябинском угольном бассейне горные работы на шахте «Коркинская» велись у северо-западной границы предохранительного целика по пласту «Подчумлякский» на расстоянии 440–640 м по простиранию и до 900 м по падению от ствола № 3. До 1997 г. пласт «Подчумлякский» в течение 6 лет отрабатывался по трем слоям 9-ю лавами, оказавшими в зависимости от их положения, вынимаемой мощности и времени отработки вблизи границ целика различное влияние на здания и сооружения промплощадки. УФ ВНИМИ было рекомендовано вести очистные работы не ближе границы области опасного влияния сдвижений по напластованию. Это в конечном итоге отразилось благоприятно на состоянии охраняемых объектов промплощадки. Наблюдаемые сдвигения и деформации и их прирост во времени уменьшились до не опасных для деформируемых сооружений значений. Тем не менее, ведение очистных работ вблизи границ предохранительных целиков является основной причиной постепенного увеличения сдвижений и деформаций земной поверхности и охраняемых объектов промплощадки, что подтверждают проведенные инструментальные наблюдения по сети грунтовых и стенных реперов и обследование зданий и сооружений.

Надшахтные здания стволов № 3 и № 4 претерпели деформации в виде трещин раскрытием до 20–30 мм, которые были отмечены визуальными и инструментальными наблюдениями за период с 1990 по 2000 гг. В шахтных стволах новых трещин не отмечено, несмотря на то, что сдвигения проводников увеличились на 100–150 мм и достигли 700–750 мм в верхней их части. К 1998 г. критических значений (более 20') достиг наклон вала подъемной машины ствола № 4. В связи с этим были даны рекомендации по дальнейшей эксплуатации подъемной машины. В настоящее время продолжается увеличение сдвижений и деформаций в районе шахтного ствола № 4 со скоростями 10–15 мм в год, а наклон вала подъемной машины ствола № 4 превысил предельную величину 8 мм/м (28').

Систематические инструментальные наблюдения за сдвижением горных пород в районе промплощадки шахты «Коркинская» показали, что на сдвижение массива пород оказывает влияние тектоническая его нарушенность. Сдвигение под влиянием горных работ распространилось вплоть до нарушения «Восточное», где крыло Коркинской мульды в районе ствола № 5 приобрело сложное блоковое строение. Исследования показали, что характер и развитие процесса сдвижения в районе стволов №4 и №5 связано с изгибом и сдвигом породных блоков между сместителями нарушений «Продольное 1,2» и «Восточное». За период наблюдений с 1965 по 1995 гг. сдвигения устьев стволов № 1, 3 и 4 достигли 750 мм и распространились вглубь массива до 250 м. На основе результатов наблюдений получено, что околоствольный массив испытал деформации при оседаниях на поверхности до 300–350 мм, что также обусловило повышенную его напряженность. Все это, по-видимому, сказалось на состоянии крепи и пород и их устойчивости по отношению к возникшим под влиянием горных работ в ослабленных зонах сдвиговых деформаций и повышенных напряжений. В рассматриваемых условиях прослеживается неравномерное распределение сдвижений и деформаций и распределение давлений на крепь шахтных стволов со стороны массива. Отсутствие инструментального контроля в стволе № 5 и проработки Проекта на основе нормативных документов, ранее созданных ВНИМИ и УФ ВНИМИ, привело к катастрофическому деформированию вновь заложенного ствола № 5 в ослабленных зонах и зонах повышенного горного давления. Ствол № 5 был ликвидирован путем его полной засыпки.

Выбор и назначение мер охраны должно производиться на основе определения прогнозируемого состояния объектов в соответствии с прогнозом сдвижений и деформаций массива горных пород и земной поверхности, в зависимости от степени нарушенности сооружений по мере воздействия на них горных работ. Меры охраны должны применяться в тех случаях, если в соответствии с расчетом ожидаемое состояние охраняемого объекта более допустимого (предельного). Меры по ликвидации нарушений крепи и армировки стволов надлежит разрабатывать на основании объективного установления и анализа причин нарушения, при этом необходимо учитывать степень воздействия очистных работ на околоствольный массив и крепь с оценкой НДС в зонах проявления горного давления и сдвига пород.

Вопрос эффективной отработки запасов вблизи шахтного ствола и других объектов промплощадки при условии обеспечения их безопасной эксплуатации требует привлечения результатов исследования процесса сдвижения горных пород, развития методов прогноза сдвижений и деформаций горных пород и на их основе оценки состояния охраняемых объектов с учетом создавшейся горнотехнической обстановки.

Предложенные подходы и методики по прогнозу сдвижений и деформаций горных пород и оценки состояния охраняемых объектов на основе инструментальных наблюдений могут быть адаптированы применительно к другим рудным месторождениям, таким как Березовское золоторудное месторождение, Гайское, Александровское и группы Подольских медно-колчеданных месторождений, Северо-уральское и Южно-уральское (СУБР И ЮУБР) месторождения бокситовых руд и др.

Л и т е р а т у р а

1. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Л. : ВНИМИ, 1986. 222 с.

2. Самарин В. П., Барсуков И. В., Морин С. В. Маркшейдерское обеспечение безопасности разработки Малышевского месторождения изумрудов // Безопасность труда в промышленности. М., 2005. № 7. С. 14–16.