

Сергеев С.В., д-р техн. наук, проф.
Чувацкий государственный университет им. И.Н. Ульянова

Воробьев Е.Д., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Фролов Н.В., ассистент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОБСЛЕДОВАНИЕ СТВОЛА ШАХТЫ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

frolov_pgs@mail.ru

Объект исследования – крепь вертикального ствола шахты. В процессе работы проведено обследование тюбинговой и бетонной крепи. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния крепи по измеренным напряжениям в тюбингах. Определены величины давлений на крепь в наиболее характерных интервалах по глубине. Дан прогноз ее конструктивной безопасности. Установлено, что крепь обладает необходимым уровнем эксплуатационной надежности.

Ключевые слова: шахтный ствол, комбинированная крепь, бетон, тюбинг, оперативный контроль, деформометр, напряжение, деформация, нагрузка на крепь.

Введение. Рассматриваемый ствол шахты эксплуатируется с 40-х годов XX-го века в сложных инженерно-геологических условиях. При строительстве из-за повреждения ствола шахта была затоплена. Поэтому в интервале высотных отметок +108,5 м – +80,7 м выполнено усиление и произошло уменьшение диаметра с 4,0 до 3,4 м. По причине длительной эксплуатации ствола шахты в сложных инженерно-геологических условиях возникла необходимость определения его надежности в наиболее опасных интервалах. Состояние ствола шахты определялось по результатам комплексного обследования в интервалах, выполненных из кирпича, бетона, чугунных элементов и бетона. При обследовании применялась отработанная и проверенная ранее на стволах аналогичных шахт методика.

В процессе работы выполнено обследование ствола шахты из чугунных элементов и бетона. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния элементов ствола шахты по измеренным напряжениям. Определены величины давлений в характерных интервалах по глубине. Выполнен прогноз ее конструктивной безопасности. Определен уровень эксплуатационной надежности.

Основная часть. Оценка инженерно-геологических условий. В геологическом строении месторождения принимают участие докембрийские рудно-кристаллические метаморфические образования, перекрытые рыхлыми фанерозойскими осадочными породами.

Физико-механические свойства пород рыхлой толщ. Разрез по стволу в интервале отметок +180,140 м – +73,732 м приведен на рис. 1 и рис. 2. Породы представлены лесовидными суглинками, мелом, песками и песчаными глина-

ми. Их свойства определяются дисперсностью, плотностью сложения, плотностью минеральной части и естественной влажностью.

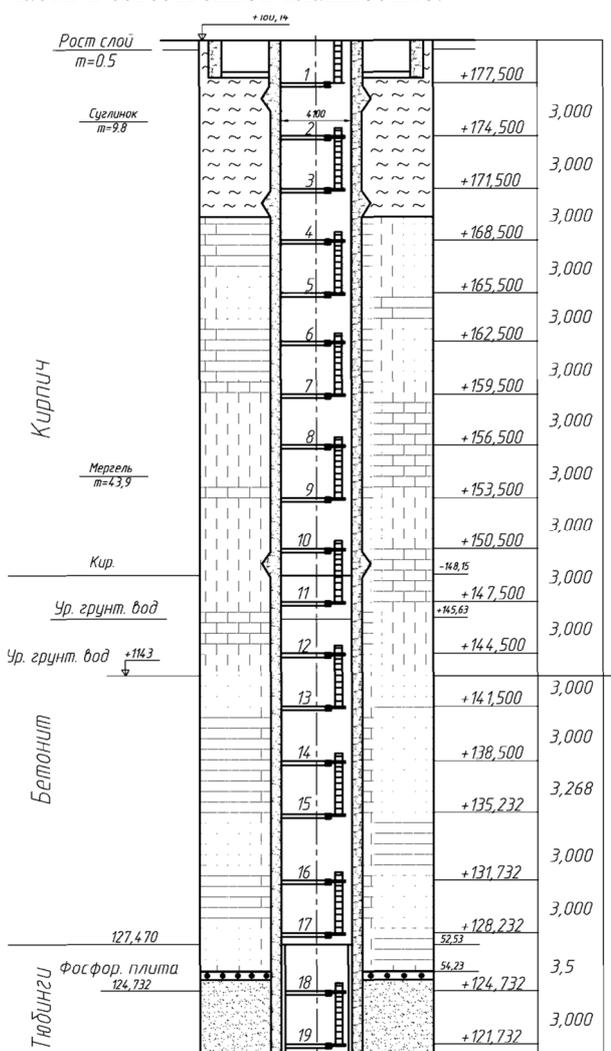


Рис. 1. Разрез по стволу в интервале отм. +180,140 м – +121,732 м

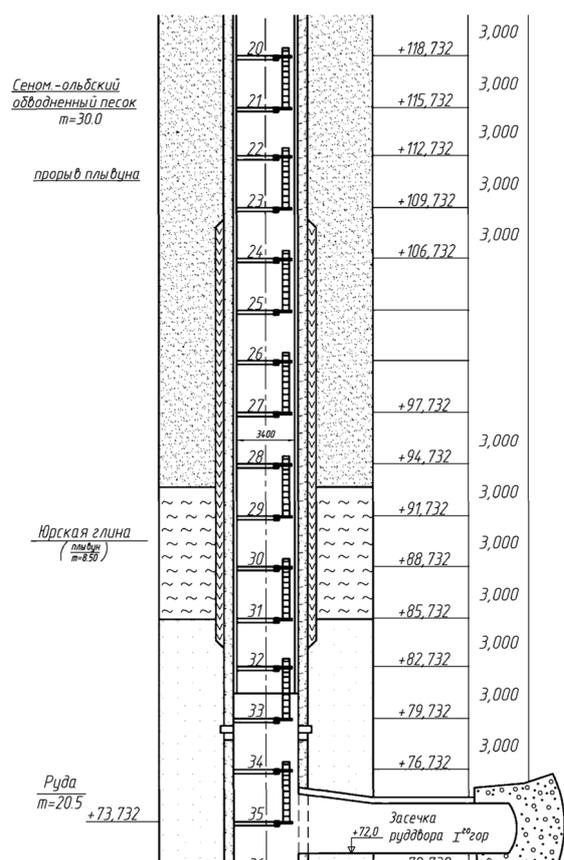


Рис. 2. Разрез по стволу в интервале высотных отметок +121,732 м – +73,732 м

Суглинки залегают в интервале высотных отметок +179,6 м – +169,8 м. Мощность составляет 9,8 м. Суглинки имеют следующие показатели физических свойств: плотность от 1,81 до 1,95 г/см³, естественная влажность от 19 до 23 %, пористость от 31 до 41 %. Нормативные значения прочностных показателей при сдвиговых испытаниях имеют следующие значения: угол внутреннего трения – 28°, удельное сцепление – 16,5 кПа. Модуль деформации при замоченном состоянии составляет – 24,6 МПа. Предел прочности суглинков на одноосное сжатие изменяется от 0,14 до 0,17 МПа.

Мел залегают в интервале высотных отметок +169,8 м – +125,9 м. Общая мощность составляет 43,9 м. Значения физических показателей следующие: плотность 1,96 г/см³, влажность 20 %, пористость 38,9 %. Прочностные и деформационные показатели имеют следующие значения: угол внутреннего трения – 20,7°, удельное сцепление – 53,14 кПа, модуль деформации при замачивании – 33,7 МПа. Прочность меловых пород по данному слою изменяется в пределах от 2,31 до 2,67 МПа при нормативном значении 2,46 МПа.

В основании меловых отложений в интервале высотных отметок +125,9 м – 124,9 м залегают фосфоритовая плита, представленная сильно трещиноватыми полускарльными породами.

Мощность фосфоритовой плиты составляет около 1,0 м. Физико-механические свойства характеризуются следующими показателями: плотность 2,23–2,30 г/см³, влажность 3–7 %, пористость 15–18 %. Прочностные показатели определены при испытаниях на одноосное сжатие и растяжение. Прочность пород имеет следующие значения: угол внутреннего трения – 33°, удельное сцепление – от 7,1 до 8,4 МПа.

Песок кварцевый буровато-серый мелкозернистый залегают в интервале высотных отметок +124,9 м – +94,9 м. Общая мощность песка составляет 30,0 м. Плотность песка изменяется от 1,75 до 1,86 г/см³, при нормативном значении 1,81 г/см³, влажность от 15 до 20 %, пористость 41–42 %, коэффициент фильтрации от 2,2 до 7,6 м/сутки. Нормативные значения прочностных свойств следующие: угол внутреннего трения – 30,5°, удельное сцепление – 0,5 кПа. Модуль деформации – 26,0 МПа. С учетом дисперсности гранулометрического состава и водонасыщения данной толщи пески склонны к оплыванию.

Глина темно-серая песчаная залегают в интервале высотных отметок +94,9 м – +86,4 м. Общая мощность глины составляет 8,5 м. Нормативные значения основных водно-физических показателей следующие: плотность 1,95 г/см³, влажность 20 %, пористость 39,7 %, коэффициент фильтрации – 0,007 м/сут. Нормативные значения прочностных и деформационных свойств имеют следующие значения: угол внутреннего трения – 9,3°, удельное сцепление – 40,67 кПа, модуль деформации – 26 МПа.

Физико-механические свойства пород скальной толщи. Руда маритовая залегают в интервале высотных отметок +86,4 м – +65,9 м. Мощность составляет 20,5 м. Основные нормативные физико-механические показатели имеют следующие значения: плотность – 3,21 г/см³, угол внутреннего трения – 37,8°, удельное сцепление – 6,33 МПа, модуль упругости – 43,0 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,32, модуль всестороннего сжатия – 39,8 ГПа.

Кварцит залегают в интервале высотных отметок +65,9 м – –128,0 м. Мощность кварцитов составляет 193,9 м. Основные нормативные показатели имеют следующие значения: плотность – 3,36 г/см³, угол внутреннего трения – 41,3°, удельное сцепление 25,0 МПа, модуль упругости – 113,15 ГПа, модуль всестороннего сжатия – 67,4 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,22.

Гидрогеологическая характеристика. Месторождение находится в зоне нарушенного режима подземных вод за счет осушения расположенных рядом карьеров и действующих водозаборов. Водоносными горизонтами являются: 1. Современный аллювиальный водоносный гори-

зонт; 2. Турон-коньякский водоносный горизонт (K_{2t-k}); 3. Альб-сеноманский водоносный горизонт ($K_{1,2al-s}$); 4. Юрский водоносный комплекс (J_{2-3}); 5. Архейско-протерозойский водоносный комплекс ($AR-PR_1$).

Методика обследования состояния ствола шахты. Вертикальные стволы шахт относятся к одним из самых сложных объектов горных предприятий. Это вызвано отсутствием прямой доступности для инструментального контроля их состояния. Работы по обследованию стволов шахт являются трудоемкими и сложными.

Обследование эксплуатируемых столов шахт производится, в основном, по косвенным признакам. Полнота обследования зависит от степени доступности. Обследование ствола шахты проводилось в следующем порядке: 1. Внешний осмотр участков; 2. Определение геометрических размеров конструкции; 3. Определение упругих характеристик материалов; 4. Определение коррозионной активности бетона; 5. Определение напряжений; 6. Прогноз надежности.

Внешний осмотр участков проводили с целью определения объема работ и выбора методик оценки напряжений.

Определение геометрических размеров конструкции включало в себя: измерение радиусов (диаметров), кривизны, выявление разрушений, профилировка стенки ствола. Наиболее полные данные получены исходя из значений радиусов. По ним определялась форма и величина средних радиальных нагрузок.

Определение характеристик материалов производилась исходя из марок бетона и чугуна. Марка чугуна определялась по проектной документации. Определение характеристик бетона производилось по отобранным образцам. При этом определялись тип заполнителя, связь заполнителя с цементом, наличие пор и микро трещин в цементном камне. Упругие характеристики определялись акустическим методом. Определение коррозионной активности бетона производили исследованием состояния цемента.

Напряжения в чугунных стенках определялись методом неполной разгрузки с применением тензодатчиков [6]. Сущность методики заключается в одностороннем распиле чугунной стенки на месте с приклеенным тензодатчиком (рис. 3). Исследования, проведенные нами показали, что при одностороннем распиле чугунной стенки с закрепленным тензодатчиком происходит его разгрузка равная 50–60 % от полной. Например, в ребре кольца при частичной разгрузке получено значение деформации равно $\varepsilon_{\theta} = 210 \times 10^{-5}$, а при полной разгрузке (распил с двух сторон) – $\varepsilon_{\theta} = 350 \times 10^{-5}$.

На рис. 4 показана методика распила, проведенная в стволе.

По измеренным тангенциальным деформациям определяются напряжения по закону Гука:

$$\sigma_{\theta} = E_{\text{чуг}} \cdot \varepsilon_{\theta}, \quad (1)$$

где $E_{\text{чуг}}$ – модуль упругости чугуна, МПа; ε_{θ} – измеренные относительные деформации.

Определение модуля упругости чугуна по зависимости $\sigma=f(\varepsilon)$ для серого чугуна см. рис. 5.

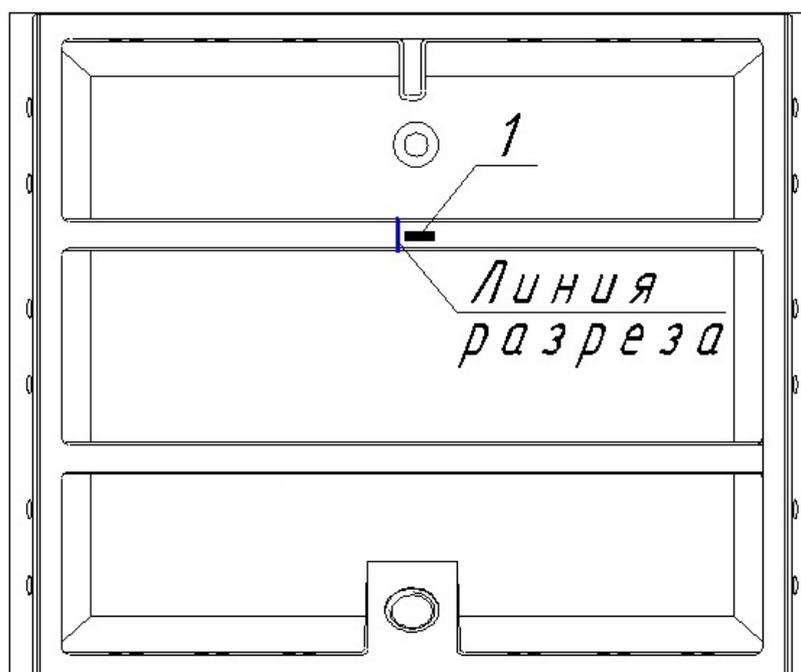


Рис. 3. Схема определения напряжений методом частичной разгрузки: 1 – тензодатчик



Рис. 4. Чугунная стенка ствола с тензодатчиком после применения метода частичной разгрузки

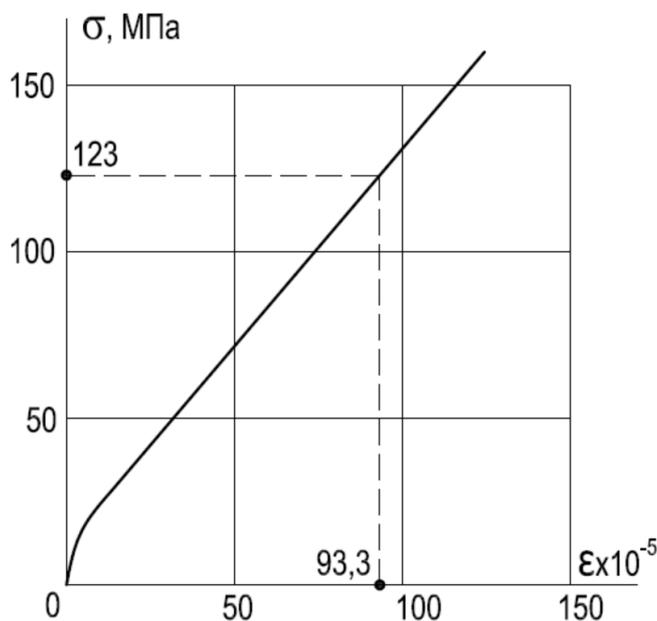


Рис. 5. Диаграмма «σ-ε» для серого чугуна

По измеренным напряжениям по методике проф. Н.С. Булычева определяются величины давления на внешний контур [4].

В стволе по этой методике проводилось определение напряжений на глубинах: 61,6 м – в обводненных меловых породах; 76,6 м – в песках, насыщенных водой; 84,0 м – в глинах.

Выводы. В процессе работы проведено обследование вертикального ствола шахты. Анализ результатов обследования и оценки технического состояния позволил сделать прогноз уровня его конструктивной безопасности с учетом напряженно-деформированного состояния. По итогам работы были разработаны рекомендации, применение которых обеспечит необхо-

димый уровень безопасности и уменьшит влияние природных и техногенных факторов на надежность крепи ствола при его эксплуатации в сложных горно-геологических условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крупенников Г.А., Булычев Н.С., Козел А.М., Филатов Н.А. Взаимодействие массивов горных пород с крепью вертикальных выработок. М.: Недра, 1966. 314 с.
2. Обручев Ю. С., Очнев В. К., Поппель Н. В. и др. Исследование проявлений горного давления в вертикальном стволе на большой глубине // Шахтное строительство. 1983. № 9. С.

18-19.

3. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. М.: Недра, 1982. 272 с.

4. Казикаев Д.М., Сергеев С.В. Диагностика и мониторинг напряженного состояния крепи вертикальных стволов. М.: Горная книга, 2011. 245 с.

5. Влох Н.П. Напряженное состояние обделки из чугунных тубингов // Метрострой. 1990. № 1. С. 17–19.

6. Черныш А.С. Исследование закономерностей депрессионных деформаций толщи осадочных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 1999. № 4. С. 219–220.

7. Сергеев С.В., Мишедченко А.Д. Причины разрушения крепи стволов в соляных породах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2004. № 11. С. 215–217.

8. Ильин С.Р., Трифанов Г.Д., Воробель С.В. Повышение безопасности эксплуатации шахтных стволов путем динамического мониторинга систем «сосуд-армировка» портативными

измерительными станциями // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 3. С. 2–8.

9. Сентябов С.В. Анализ современного состояния строительства вертикальных стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 7. С. 415–420.

10. Масленников С.А. Методика определения рационального модуля деформации бетона в комбинированной чугунно-бетонной крепи // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. № 4. С. 205–210.

11. Прокопов А.Ю., Масленников С.А., Шинкарь Д.Н. К ВОПРОСУ О влиянии технологических факторов на деформационные характеристики бетона в многослойной крепи // Научное обозрение. 2013. № 11. С. 97–101.

12. Плешко М.С., Плешко М.В. Инновационные подходы к проектированию конструкций крепи глубоких вертикальных стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 7. С. 223–227.

Sergeev S.V., Vorobyev E.D., Frolov N.V.

MINE SHAFT INSPECTION THE TRUNK OF MINE OPERATED IN DIFFICULT ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS

Object of research-shoring the vertical trunk of mine. In the course of work survey tubing and concrete shoring. The analysis of the mode of deformation shoring on the measured strain in tubing. Defined values compressions the shoring in the most specific depth intervals. Shows the forecast its constructive safety. Revealed that shoring has the necessary level of maintainability.

Key words: shaft, combined shoring, concrete, tubing, compulsory checking, extensometer, strain, deformation, load on the shoring.

Сергеев Сергей Валентинович, доктор технических наук, профессор.

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова.

Адрес: Россия, 428015, г. Чебоксары, пр-т Московский, д. 15.

E-mail: sergey.sergeev.v@mail.ru

Воробьев Евгений Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной геологии и горного дела.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Адрес: Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85.

E-mail: vorobev@bsu.edu.ru

Фролов Николай Викторович, ассистент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: frolov_pgs@mail.ru