

УДК 622.837:622.016.25

Критические деформации массива горных пород при подрботке технических скважин

Хохлов Б. В.

Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела, Донецк, Украина

Аннотация

Проведен расчет ожидаемых смещений и деформаций массива горных пород по 71 случаю подрботки технических скважин. На основе анализа экспериментальных данных установлены критические деформации горного массива, при которых скважины теряют свои функциональные возможности.

В последние десятилетия в угледобывающей отрасли Украины используется все большее количество скважин для технических целей за счет улучшения технологии бурения и увеличения мощности буровых установок, применение которых позволило снизить энергозатраты проходки технических скважин в три–четыре раза при сокращении сроков в два раза [1].

Вопросы исследования влияния подрботки технических скважин и разработки способов охраны их от вредного влияния горных работ раньше не стояли так остро, как в последнее время. Это объясняется тем, что удельный вес технических скважин в общей протяженности горных выработок возрос, а, следовательно, увеличилось количество случаев проведения очистных выработок в зонах влияния на них [2, 3].

Основными видами нарушений крепи технических скважин при подрботке являются разрывы и срезы обсадных труб [3]. Разрывы труб происходят в условиях интенсивных вертикальных деформаций растяжения массива в зонах разгрузки, а срезы возникают в зонах послойных сдвигов породных слоев с максимальными величинами их наклонов. Вертикальные деформации и деформации наклонов породного массива оказывают, как правило, совместное влияние на крепь подрбатываемых скважин. То, какая из них оказывается определяющей в нарушении крепи скважины, зависит от локализации последней в области сдвижения подрбатываемого массива горных пород. Поэтому, поскольку крепь в условиях сдвигающегося массива работает, в основном, в режиме заданных деформаций, важно знать величины таких критических деформаций массива горных пород, при которых происходят разрушения обсадных труб.

Для их определения воспользуемся известными теориями прочности [4]: второй – наибольших линейных деформаций, и третьей – наибольших касательных напряжений.

Согласно теории наибольших линейных деформаций прочность материала в исследуемой точке будет обеспечена, если наибольшие относительные деформации ε в ней не превысит предела прочности образца из этого же материала, испытываемого на растяжение-сжатие.

Математическое выражение закона Гука при растяжении-сжатии имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости стали, которая является материалом крепи скважин (2×10^5 МПа [5]);

σ – нормальное напряжение, МПа.

Подставив в формулу (1) значения предельного нормального напряжения $\sigma = \sigma_{пр}$ для стали, получим величину предельных относительных деформаций $\varepsilon_{пр} = 2,1 \times 10^{-3}$.

Теория наибольших касательных напряжений предполагает, что прочность сложонапряженного элемента обеспечена, если наибольшее касательное напряжение τ_{max} в его сечениях не превосходит допустимого касательного напряжения $[\tau]$ для линейно-напряженного образца из этого же материала:

$$\tau_{max} \leq [\tau], \quad (2)$$

Касательное напряжение τ согласно закону Гука при сдвиге прямо пропорционально относительному сдвигу γ :

$$\tau = \gamma G, \quad (3)$$

где G – модуль сдвига стали (8×10^4 МПа [5]).

Следует подчеркнуть, что соединение между секциями обсадных труб технических скважин производится преимущественно при помощи электросварки. Образующиеся при этом швы являются наиболее уязвимыми участками в крепи технических скважин. Поэтому расчет предельного относительного сдвига следует производить для материала швов при сварке.

Подставив в формулу (3) значения предельного касательного напряжения на срез $\tau_{пр}$ для материала швов при автоматической сварке, определим относительный сдвиг γ , при котором возможно появление среза скважины по сварному соединению. В нашем случае величина такого относительного сдвига составит $2,75 \times 10^{-3}$.

Известно, что величина абсолютного послойного сдвига ξ при определенных условиях пропорциональна наклону слоев i , изгибающихся в процессе подработки без расслоения по напластованию [3]:

$$\xi = h \cdot i, \quad (4)$$

Наклон изгибающегося слоя с некоторыми допущениями можно интерпретировать как относительный сдвиг поперечного сечения (3). Следовательно, величина наклонов изгибающихся породных слоев может служить оценкой величины сдвига, вызывающего срез скважин.

С целью сопоставления полученных выше критических деформаций крепи скважин с деформациями породного массива обратимся к результатам экспериментов, имеющихся в УкрНИМИ [2, 6, 7, 8], и проведем анализ результатов подработки технических скважин.

Нами были собраны материалы по 146 случаям частичной или полной подработки технических скважин за весь период их эксплуатации на шахтах Украины, начиная с 50-х годов прошлого столетия. Из общего числа подработанных скважин к анализу был привлечен 71 случай, когда на скважину непосредственно влияла только одна лава. В связи с тем, что технические скважины, как правило, являлись недоступными для проведения натурных наблюдений, нами была введена следующая система оценки их состояния: скважина считалась нарушенной, если после геомеханического воздействия на нее очистной выработки она теряла свои функциональные способности; в противном случае скважина считалась ненарушенной. Такой подход согласуется с исходной идеей метода расчетных предельных состояний [4], где одним из основных критериев, определяющим достижение предельного состояния конструкцией, является потеря ею функциональных способностей.

Так, например, в 1975 г. на поле шахты «Добропольская» ГП «Добропольеуголь» была подработана лесоспускная скважина № 1905, пройденная в 1969 г. диаметром 0,31 м на глубину 302 м. Подработка осуществлялась 6-й южной лавой пласта k_8 в следующих условиях (рис. 1, 2): средняя глубина разработки 345 м, вынимаемая мощность пласта 0,70 м, угол падения 10° . Граница очистных работ отстояла от скважины в плане на расстоянии 10 м со стороны восстания пласта, кратность подработки забоя скважины составила 60. Поскольку состояние скважины было удовлетворительным как в процессе подработки, так и после, результат влияния на нее очистной выработки был квалифицирован нами как положительный, т. е. без возникновения нарушений.

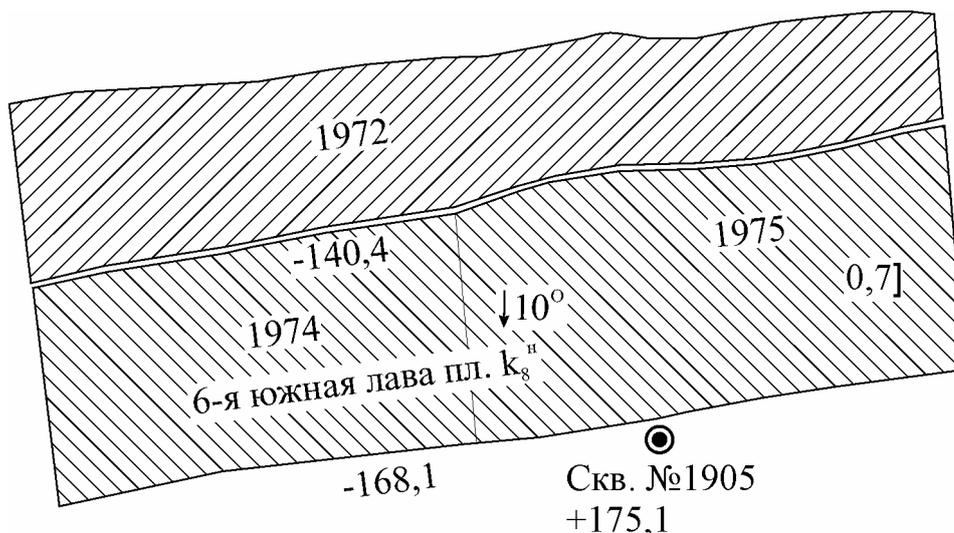


Рис. 1. План горных выработок пласта k_8^n шахты «Добропольская»

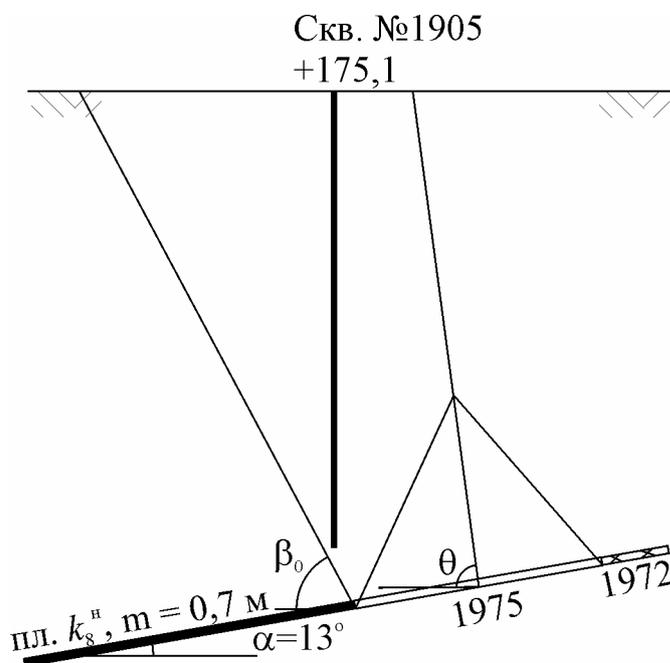


Рис. 2. Вертикальный разрез вкрест простирания пласта k_8^n шахты «Добропольская» по оси скважины №1905.

В другом случае на шахте «Пионер» ГП «Добропольеуголь» в 1975 г. была полностью подработана водоподающая скважина № 2004, пройденная в 1970 г. на глубину 235 м диаметром 0,273 м. Вынимаемая мощность пласта l_8 составила 0,97 м, угол падения 13° , средняя глубина подработки 235 м (рис. 3, 4). После подработки функциональные способности скважины были полностью утрачены, а сама скважина была погашена, поэтому она была отнесена к категории нарушенных.

Из всех привлеченных к анализу случаев подработки скважин нарушенными оказались 15, а 56 продолжали функционировать в штатном режиме.

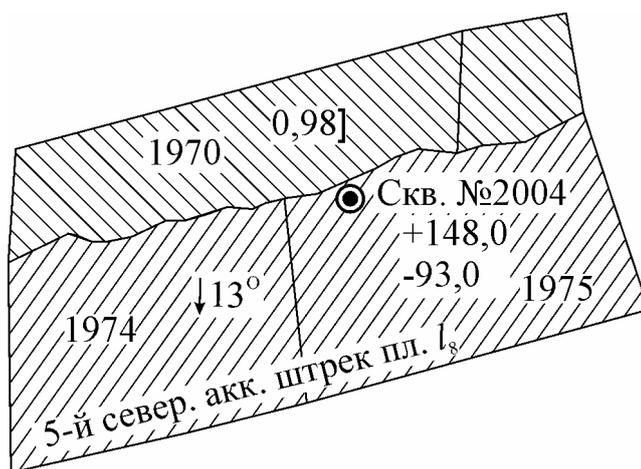


Рис. 3. План горных выработок пласта l_8 шахты «Пионер».

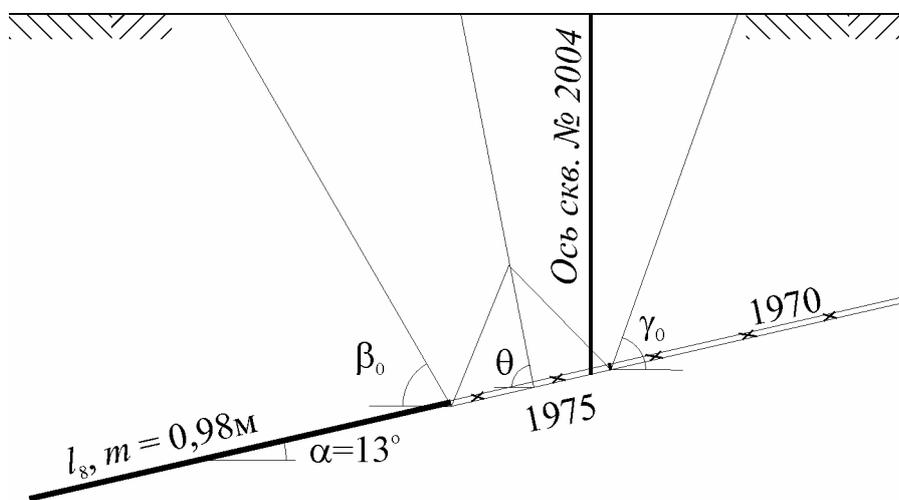


Рис. 4. Вертикальный разрез вкрест простирания пласта l_8 шахты «Пионер».

Для определения значений величин наклонов и относительных вертикальных деформаций массива, при которых произошли нарушения крепи скважин, для всех случаев подработки нами был проведен расчет ожидаемых сдвижений массива горных пород по методике [9]. На рис. 5 показан график распределение нарушенных (черные точки) и ненарушенных (белые точки) технических скважин при различных величинах наклонов i и относительных вертикальных деформаций массива ε . На нем можно выделить область, обозначенную пунктиром, где сконцентрирована большая часть ненарушенных скважин. С определенной степенью приближения эту область можно ограничить значениями параметров: $|\varepsilon| \leq 2,1 \times 10^{-3}$, рассчитанному по формуле (1), и $|i| \leq 2,75 \times 10^{-3}$, рассчитанному по формуле (3) с учетом принятого выше допущения $\gamma = i$.

Таким образом, можно заключить, что в качестве граничных критериев допустимости подработки технических скважин могут служить значения соответствующих деформаций подрабатываемого породного массива, равные их предельным величинам для линейно-напряженного элемента образца, выполненного из того же материала, что и крепь скважин.

Анализ графика на рис. 5 также показывает, что основная масса нарушенных скважин находится в области положительных значений вертикальных деформаций массива, т. е. при совместном влиянии деформаций вертикального растяжения массива и наклонов породных слоев. Это говорит о том, что крепь технических скважин в этих условиях более уязвима, чем при совместном влиянии деформаций вертикального сжатия и наклонов.

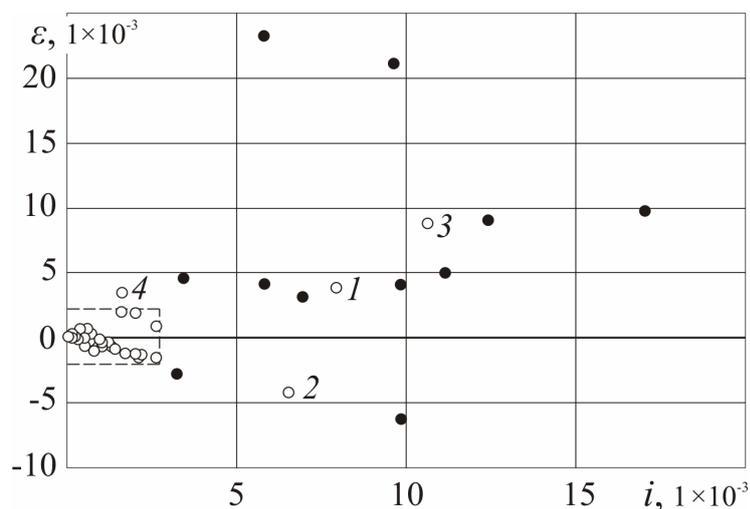


Рис. 5. Состояние технических скважин при различных величинах наклонов i и относительных вертикальных деформаций массива ε .

В область графика, оконтуренную пунктиром, не попали четыре случая, в которых подработанные скважины оказались ненарушенными, несмотря на то, что ожидаемые наклоны и относительные вертикальные деформации массива превысили определенные выше критические значения (рис. 5, точки 1–4). Для анализа возможных причин отклонения этих случаев от общей тенденции, рассмотрим их подробнее.

Скважина № 1066 шахты «Елизаветовская» ГП «Донбассантрацит» (точка 1 на графике рис. 5) при бурении на глубину 455 м диаметром 0,152 м была искривлена в сторону восстания пластов, т. е. в зону меньших деформаций массива (рис. 6). Этот факт, очевидно, повлиял на точность расчетов сдвижений и деформаций по указанной выше методике, ориентированной на строго вертикальные выработки.

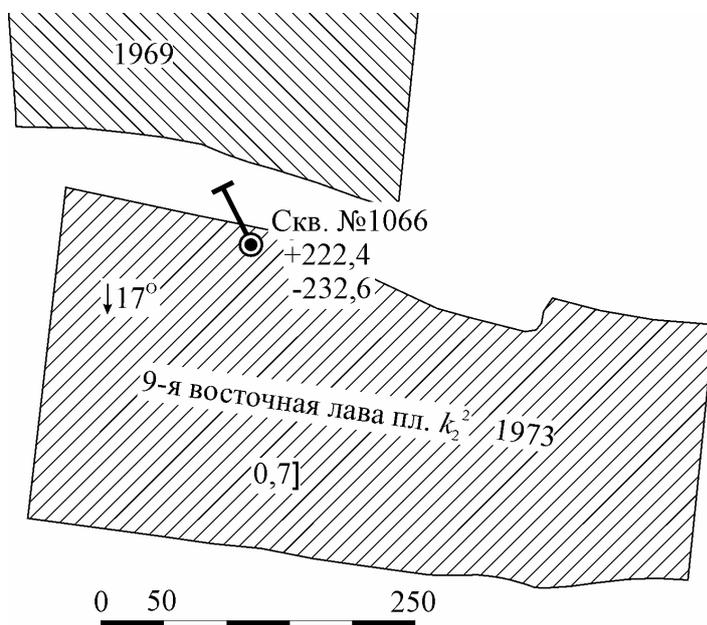


Рис. 6. План горных выработок пласта k_2^2 шахты «Елизаветовская».

Подработанная в 1977 г. в условиях шахты «Никанор» ГП «Луганскуголь» энергетическая скважина № 792-Э (точка 2 на графике рис. 5) имела диаметр 0,243 м (рис. 7). Осмотр ее крепи был невозможен, поэтому вероятным является предположение о том, что вследствие подработки ее крепи была нарушена, но энергетические кабели при этом порваны не были.

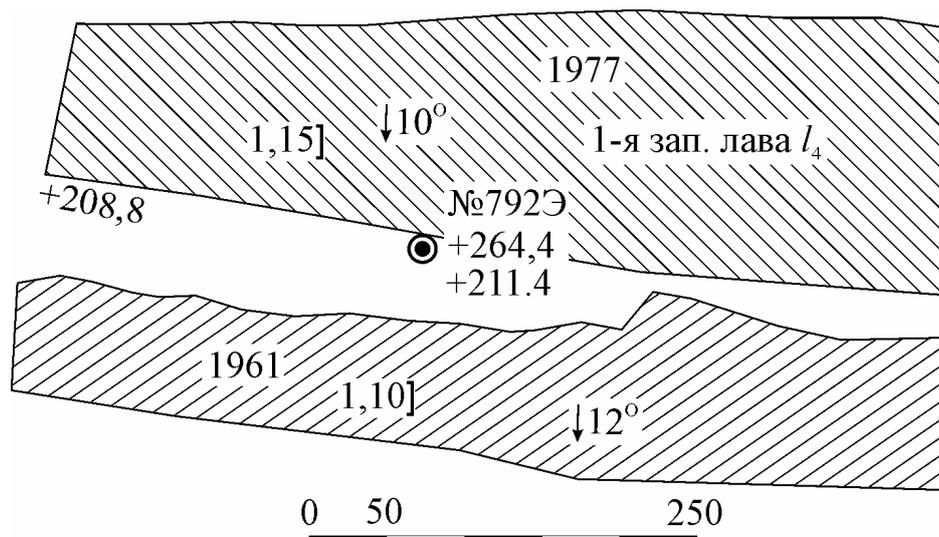


Рис. 7. План горных выработок пласта l_4 шахты «Никанор»

Шурф № 4 шахты «Россия» ГП «Селидовуголь» (точка 3 на графике рис. 5) пройден диаметром 2,1 м на глубину 75 м был оборудован подъемным комплексом. После его подработки 3-й северной лавой пласта l_8^1 (рис. 8, 9) на промплощадке наблюдался перекоп копра, в связи с чем подъем был демонтирован и тем самым исключена возможность послеосадочного осмотра крепи. Однако, учитывая, что эксплуатационные функции по выводу исходящей воздушной струи продолжали выполняться, эта скважина, согласно принятой системе оценок, была нами отнесена к категории ненарушенных, что в данном случае является достаточно условным.

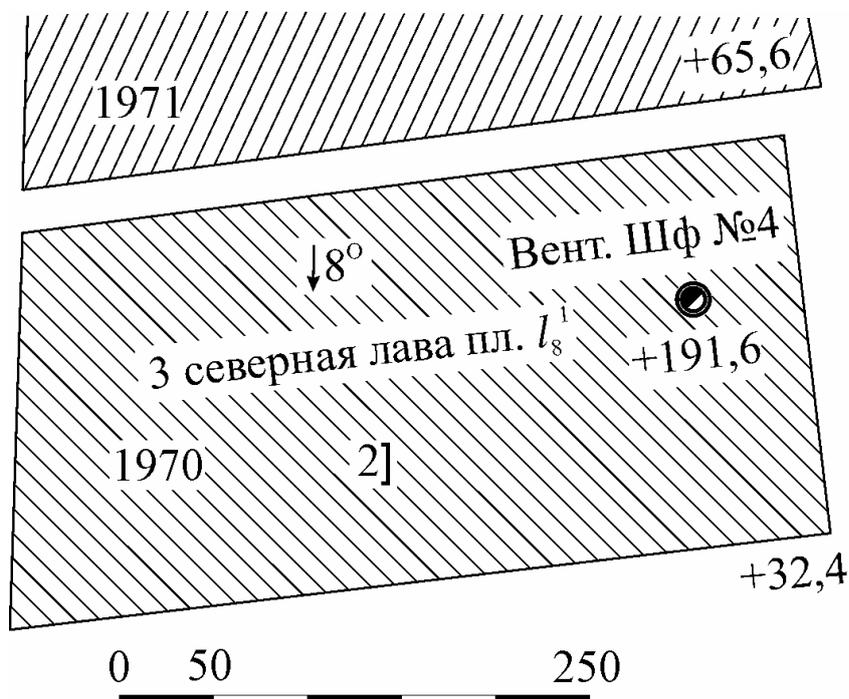


Рис. 8. План горных выработок пласта l_8^1 шахты «Россия».

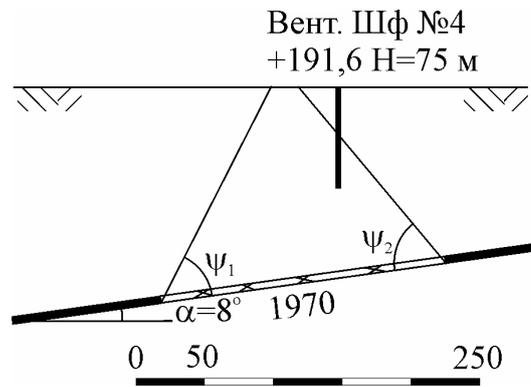


Рис. 9. Вертикальный разрез вкрест простирания пласта l_8^1 шахты «Россия».

На шахте «Трудовская» ПО «Донецкуголь» вентиляционная скважина ВЗД-1 (точка 4 на графике рис. 5), пройденная диаметром 2,1 м на глубину 167,5 м, была подработана 2-й западной лавой пласта l_4 на глубине 359 м (рис. 10, 11).

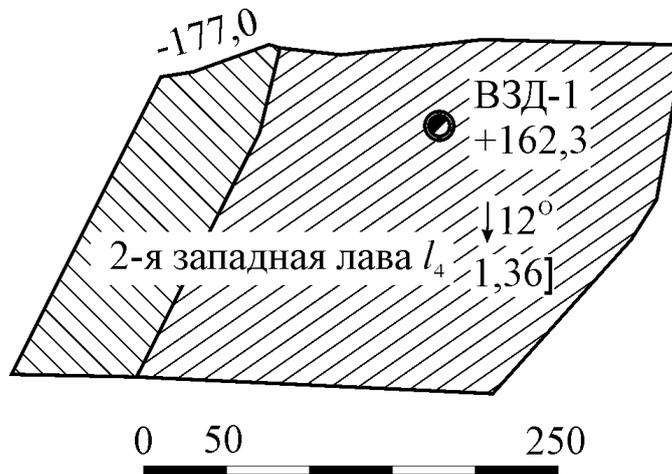


Рис. 10. План горных выработок пласта l_4 шахты «Трудовская».

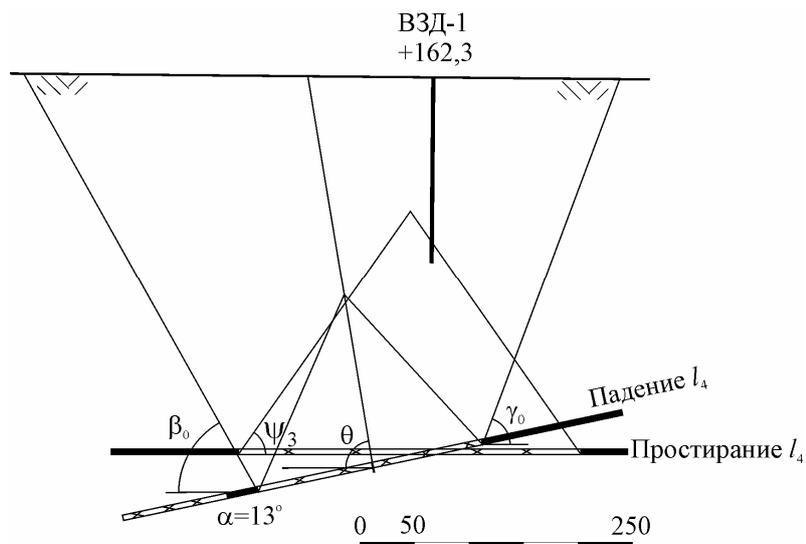


Рис. 11. Совмещенный вертикальный разрез по падению и простиранию пласта l_4 шахты «Трудовская»

После подработки состояние крепи скважины было оценено как удовлетворительное, поскольку скважина продолжала функционировать. Проведенный расчет ожидаемых сдвижений и деформаций массива горных пород показал, что величины наклонов не превысили предельного значения $2,75 \times 10^{-3}$, а ожидаемые величины вертикальных деформаций оказались больше предельного значения $2,1 \times 10^{-3}$, а именно составили $3,3 \times 10^{-3}$. В данном случае при малых изгибах слоев массива, вероятно, произошло перемещение (проскальзывание) горных пород относительно обсадной колонны труб [10, 11, 12].

Следовательно, причинами отклонения от общей тенденции рассмотренных четырех случаев могли явиться неточности методики расчета сдвижений и деформаций массива горных пород и принятой системы оценок состояния скважин после подработки. Тем не менее, несмотря на эти отдельные отклонения, общая тенденция очевидна.

Таким образом, на основании опыта охраны технических скважин и результатов анализа их подработки установлено следующее.

1. Имеется принципиальная возможность подработки технических скважин без нарушения их эксплуатационных способностей.

2. Технические скважины сохраняют свои функциональные способности при условии не превышения ожидаемыми величинами наклонов и относительных вертикальных деформаций подрабатываемого породного массива некоторых критических значений. Анализ экспериментальных данных показывает, что в качестве таких критических значений с определенной степенью приближения могут быть использованы предельные величины соответствующих деформаций для линейно-напряженного элемента образца, выполненного из того же материала, что и крепь скважин, составляющие для наклонов и относительных вертикальных деформаций соответственно $2,75 \times 10^{-3}$ и $2,1 \times 10^{-3}$.

3. Сочетание наклонов с деформациями вертикального растяжения является менее благоприятным для состояния крепи скважины при подработке, чем сочетание наклонов с деформациями вертикального сжатия.

Библиографический список

1. Левит В.В., Турчин В.А., Горелкин А.А. О перспективах сооружения стволов и скважин большого диаметра // Уголь Украины. – 2007. – № 8. – С. 14-16.
2. Кулибаба С.Б., Хохлов Б.В., Дзюбак В.С. Проблема охраны технических скважин от вредного влияния очистных выработок // Уголь Украины. – 2005. – № 11. – С. 44 - 46.
3. Кулибаба С.Б., Хохлов Б.В. Влияние размеров вертикальных горных выработок на степень их нарушенности при воздействии очистных работ // Праці Міжнар. конф. "Форум гірників – 2007". – Д.: НГУ. – 2007. – с 134-138.
4. Улитин Н.С. Соппротивление материалов. – М.: Высш. школа, 1988. – 265 с.
5. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Наукова думка, 1975. – 704 с.
6. Акимов А.Г., Левченко И.А. О величине предохранительных целиков для охраны технических скважин в Донбассе // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техніка, 1980. – Вып. 55. – С. 45-47.
7. Левченко И.А. Об охране технических скважин. Сб. Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев; Техника, 1975, вып. 40. – С. 119 - 122.
8. Кулибаба С.Б., Хохлов Б.В. Оценка влияния очистных выработок на технические скважины // Уголь Украины. – 2004. – № 9. – С. 26-27.
9. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания: КД 12.01.01.201-98: Утв. Минуглепромом Украины 25.06.98. – Донецк: УкрНИМИ, 1998. – 154 с.
10. Левченко И.А., Бошнятов Е.В., Агарков А.К. Охрана технических скважин от сдвижения пород при подработке // Уголь Украины. – 1983. – № 10. – С. 40-41.
11. Козел А.М., Борисовец В.А., Репко А.А. Горное давление и способы поддержания вертикальных стволов. М., Недра, 1976. – 293 с.
12. Добровольский Г.Б., Казикаев Д.М., Петриченко В.П. Крепление скважин большого диаметра. – М.: Недра, 1988. – 238 с.