

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Донецький Національний Технічний Університет
(DONETSK NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY)

ПРОБЛЕМИ ГІРСЬКОГО ТИСКУ
(GROUND CONTROL IN MINING)

Збірник наукових праць

Заснований у грудні 1995 року

№ 16

Донецьк
Донецький національний технічний університет
2008

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ВОКРУГ ПРОТЯЖЕННОЙ ВЫРАБОТКИ

Шашенко А.Н., Солодянкин А.В.
(НГУ, г. Днепрпетровск, Украина)

Виконано аналіз впливу несучої здатності кріплення на зміщення контуру виробки. На підставі шахтних досліджень встановлена емпірична залежність, що дозволило оцінити ступінь впливу несучої здатності кріплення для різних геомеханічних умов експлуатації виробок.

The analysis of influence of bearing strength support on displacement of a contour of excavations is executed. On the basis of mine researches empirical dependence that has allowed to estimate a degree of influence of bearing strength support for various geomechanical conditions of operation of excavations is carried out.

Введение. Напряжения в массиве горных пород возникают под влиянием веса вышележащей толщи, давления газов, остаточных тектонических напряжений и др. При соответствующих напряжениях породы могут проявлять пластические или хрупкие свойства, обуславливающие ряд особенностей проявления горного давления. Последние, в свою очередь, определяют размеры области разрушений вокруг выработки, величину смещений породного контура, величину и характер нагрузки на крепь, которые должны быть учтены при ее проектировании.

Управляющими параметрами деформационных процессов, происходящих в окрестности выработок, являются относительное среднее объемное разрыхление пород – $\bar{\epsilon}_v$ и относительный радиус области пластических деформаций – r_L . Их произведение пропорционально величине смещений на контуре выработки u .

Обеспечить устойчивое состояние выработки, предупредить возможное вспучивание пород почвы, вызванное значительными

деформациями приконтурного массива, как было показано в [1], можно:

- 1) уменьшая величину r_L ;
- 2) уменьшая величину ε_v ;
- 3) ограничивая смещения контура выработки u .

В любом случае управление геомеханическими процессами в окружающем выработку массиве должно выполняться после проведения выработки путем установки крепи соответствующей несущей способности и податливости в комплексе с различными мероприятиями по упрочнению массива, сохранению его остаточной прочности, предупреждению опасных смещений породного контура. Важным вопросом в осуществлении указанных мероприятий является установление степени влияния несущей способности крепи на параметры геомеханических процессов вокруг выработки – размер ЗНД, величину смещений ее контура и степень разрыхления пород приконтурной зоны.

О влиянии отпора крепи на размеры ЗНД. Основываясь на результатах решения упругих, упруговязких, упругопластических задач и шахтных экспериментах в устойчивых породах, ряд исследователей считают, что отпор крепи незначительно влияет на размер ЗНД и смещение породного контура, поскольку его величина несоизмеримо меньше гравитационного давления γH на глубоких горизонтах шахт.

Исследуем влияние отпора крепи в аналитическом решении упругопластической задачи [2], выбранной в качестве модели геомеханических процессов в выработках глубоких шахт. Выражение, принятое для определения радиуса ЗНД вокруг выработки вне зоны влияния очистных работ с учетом отпора крепи P_o имеет вид:

$$r_L = \exp \left(\frac{\gamma H - 0,5P_o}{R_c \sqrt{\psi + \frac{2(1-\psi)\gamma H}{R_c}}} - 0,5 \right), \quad (1)$$

где $\psi = R_p/R_c$ - коэффициент хрупкости пород, R_p , R_c - соответственно пределы прочности образцов горных пород на одноосное растяжение и сжатие.

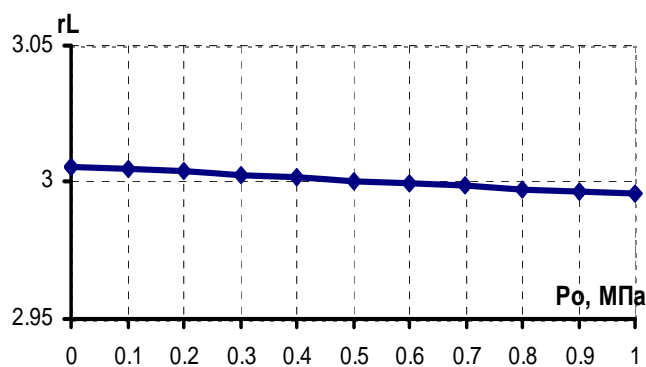


Рис. 1. Зависимость радиуса ЗНД от отпора крепи P_o

Как видно из рис. 1 для $r_L = 3$ и $\psi = 0,12$, существенного влияния на изменение радиуса ЗНД отпор крепи не оказывает даже при больших значениях P_o . Ряд шахтных исследований и результаты моделирования также подтверждают полученные результаты [3-5].

Таким образом, следует признать, что когда речь идет о незначительном влиянии отпора крепи на размеры зоны неупругих деформаций, принятые в аналитических исследованиях допущения вполне приемлемы и практически не влияют на конечный результат. Эти выводы справедливы и для смещений породного контура, но только для условий, когда не происходят запредельное деформирование и разрыхление пород (дилатансия).

Уменьшить радиус области неупругих деформаций и тем самым повысить устойчивость выработки можно путем увеличения прочности приконтурного массива. Для этого необходимо, во-первых, провести его предварительное упрочнение минеральными или синтетическими вяжущими веществами. Это должно быть проведено в призабойном пространстве до образования ЗНД, что не всегда возможно по технологическим и горно-геологическим причинам. Особенно маловероятно эффективное выполнение этого мероприятия в случае обводненных вмещающих пород, содержащих большое количество глинистых частиц.

Упрочнение приконтурного массива непосредственно в забое выработки может быть осуществлено также путем установки анкеров с закреплением их по всей длине. Как отмечается в [6, 7], коэффициент упрочнения пород при плотности анкерования $0,7...2,5$ шт/м² составляет: для скальных пород – $1,11...1,49$; для пластичных – $1,07...1,46$; для углевмещающих – $1,15...1,91$.

Во-вторых, весьма эффективной мерой при существующих глубинах разработки может стать изоляция боковых пород, препятствующая возможности контакта с рудничной атмосферой, предупреждая их размокание и потерю прочности. Известно, что породы, намокая в обнажениях, теряют до 80% своей первоначальной прочности. В особенности это характерно для углевмещающих пород – аргиллитов и алевролитов, содержащих большое количество глинистых частиц. Так, по данным [8], повышение влажности пород в три раза приводит к снижению их прочности на одноосное сжатие в 5...6 раз. При создании изолирующих покрытий может быть применена набрызгбетонная технология.

Анализ исследований влияния отпора крепи на смещения породного контура. Разрушение массива пород в окрестности выработки в условиях больших значений напряженного состояния и концентрации напряжений, обусловленных влиянием забоя выработки, часто начинается впереди забоя и его влияние сказывается на небольшом расстоянии от него. При этом если на некотором достаточном удалении от выработки породный массив является практически сплошным и упругим, то у контура выработки породы переходят в разрыхленное состояние, причем степень разрыхления тем больше, чем меньше расстояние от контура. Максимальная степень разрыхления наблюдается на самом контуре выработки. Формирование зоны разрушенных пород заканчивается в относительно короткий промежуток времени и не приводит к полному разрушению пород. Отмеченные структурные изменения в породах вблизи выработки происходят под влиянием давления со стороны окружающего упругого породного массива, размеры и “жесткость” которого бесконечно велики по отношению к породам, расположенным в области неупругих деформаций.

Принято считать, что процесс разупрочнения породного массива после проведения в выработки подобен процессу разрушения породного образца на «жестком» прессе при заданных деформациях. При этом можно получить график деформирования породного материала вплоть до предела прочности, а также построить его ниспадающую ветвь, характеризующую для данной породы и условий деформирования постепенное разупрочнение материала до значения остаточной прочности

Многочисленные работы посвящены изучению поведения пород на жестких прессах, с помощью которых получена полная диаграмма напряжение-деформация. Одним из направлений отмеченных исследований является изучение закономерностей изменения прочности и деформируемости горных пород с ростом бокового давления. По мере роста давления все в большей степени проявляются пластические свойства пород.

Вместе с тем ряд авторов отмечает, что эта закономерность не является всеобщей. При наличии силикатного цемента поведение кварцевых песчаников приближается к поведению кварцитов, которые разрушаются хрупко при достигнутых в лабораторной практике давлениях [10]. Для глин с пластическими связями прочность не зависит от вида напряженного состояния.

Повышение бокового давления существенно влияет на величину объемного разрыхления и сохранение остаточной прочности. При этом несущая способность нарушенных горных пород оказывается весьма «чувствительной» к увеличению бокового давления, в несколько раз превышая рост несущей способности у ненарушенных пород. Результаты этих исследований, выполненные под руководством А.Н. Ставрогина [3], приведены на рис. 2, а. Причем, чем ниже прочность пород, тем сильнее сказывается эффект подпора. На рис. 2, б приведены зависимости достигнутой на запредельной стадии разрушения величины коэффициента разрыхления $K_{p \max}$ от величины бокового давления для разных по степени хрупкости пород по данным [11]. Влияние бокового давления, тем больше, чем пластичнее порода.

В выработках роль бокового давления для приконтурного массива играет отпор крепи P_0 . При деформировании окружающего выработку породного массива на глубоких горизонтах, в пределах области неупругих деформаций образуются зоны полного и частичного разрушения, что можно использовать для управления состоянием окружающих выработку пород.

Многочисленные инструментальные наблюдения за смещениями пород в основном проводились в выработках с арочными податливыми крепями из спецпрофиля СВП, что обусловлено массовым применением этого вида крепи. Их несущая способ-

ность зависит от типа применяемого спецпрофиля, плотности установки, характеристик узла податливости и других факторов. Для применяемых на практике типоразмеров СВП (массой от 17 до 33 кг/пм) несущая способность одной рамы составляет 140...220 кН. Подпор, создаваемый арочными податливыми крепями породам кровли выработок сечением от 6,4 до 17,1 м² при условии качественного выполнения забутовочных работ, составляет 0,02...0,06 МПа при плотности 1 рама/м. Поскольку в соответствии с классификацией [12] такие крепи могут быть отнесены к маломощным, можно считать, что они существенно не влияют на геомеханические процессы, вызванные проведением выработки.

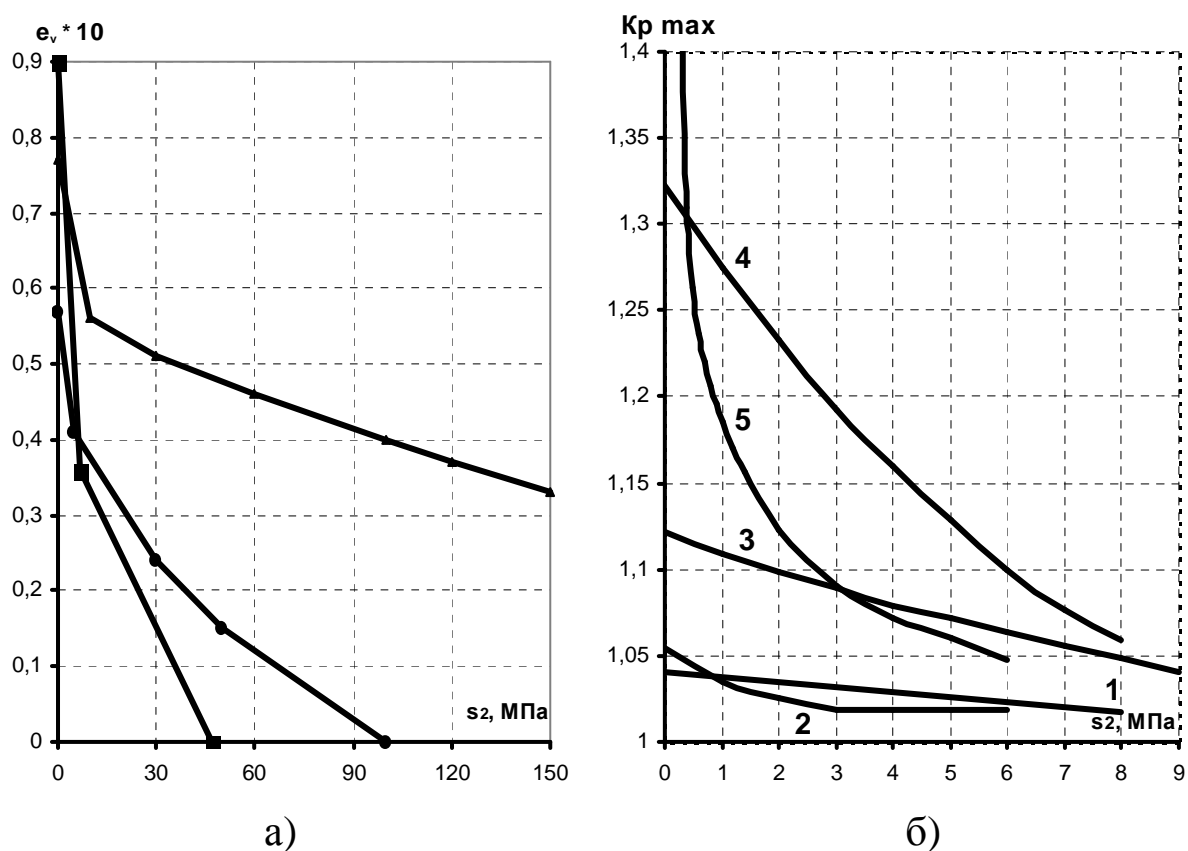


Рис. 2. Влияние бокового подпора на: а - величину относительного объемного разрыхления пород; б - степень разрыхления пород на стадии запредельного деформирования: 1 – известняк, 2 - уголь, 3 – мрамор, 4 – горючий сланец, 5 – каменная соль

В породах I и II категорий устойчивости по СНиП II-94-80 [13] приконтурная зона вблизи выработок нарушена на глубину 0,5-0,7 м трещинами, вызванными в основном взрывными работами. ЗНД не превышает 1,5 м, зона нарушенных пород часто отсутствует, а если она имеется, ее размер не превышает 1 м.

Потеря несущей способности горного массива в приконтурной зоне в породах II категории устойчивости происходит, как правило, с постепенным переходом от связно-нарушенного к нарушенному состоянию в результате хрупкого разрушения. ЗНД в большинстве случаев имеет неправильную форму. В слоистых породах одинаковой или близкой прочности ЗНД формируется в виде овала, вытянутого в направлении, перпендикулярном к плоскостям напластования. При наличии вблизи выработки пород различной прочности зона развивается в направлении менее прочных пород. Размер зоны нарушенных пород зависит от хрупкости пород и составляет 0,7...2,6 м.

В породах III категории устойчивости потеря несущей способности в зависимости от их литотипа может происходить в результате хрупкого разрушения или пластического течения. В пластичных породах формирование ЗНД происходит без существенного изменения физико-механических свойств. В хрупких породах развитие геомеханических процессов сопровождается не только разупрочнением, но и разрыхлением. Непосредственно вблизи контура выработки формируется зона разрыхления, глубже - зона нарушенных пород, а за ней - зона неупругих деформаций. В данных условиях ЗНД принимает более округлую форму, размер большей полуоси достигает 4...8 м. Соотношение размеров остальных зон определяется хрупкостью и остаточной прочностью пород. Анализ данных наблюдений показывает, что породы III категории весьма чувствительны к любым дополнительным воздействиям (увлажнение, буровзрывные работы, проведение близлежащих выработок, очистные работы и др.), влияние которых немедленно проявляется в возрастании скорости смещений контура выработки. Рост смещений контура при дополнительных разупрочняющих воздействиях происходит в основном в результате увеличения степени разрыхления приконтурных пород, а не из-за увеличения размеров ЗНД.

При перекреплении выработок, обустройстве сопряжений визуальными наблюдениями выявлено, что разрушение пород II-III категорий устойчивости в приконтурной зоне происходит в результате появления трещин, параллельных поверхностям обнажений; в целом зона нарушенных пород разбита трещинами на блоки, которые чаще всего имеют достаточно большие размеры. Разрыхление приконтурной зоны в таких условиях является результатом поворотов отдельных систем блоков и увеличения расстояния между блоками [14, 15].

Анализ результатов шахтных исследований, выполненных в 1960-70 гг. привел к выводу о нецелесообразности управления состоянием приконтурного массива пород путем увеличения несущей способности крепи [9]. Основной причиной разрушения крепи считалась ее недостаточная податливость. В связи с этим в условиях пород III и IV категорий устойчивости для крепления выработок применялась преимущественно податливая крепь из СВП.

Тем не менее, положительный опыт применения крепей высокой несущей способности с ограниченной податливостью, комбинированных крепей, учитывающих геомеханические процессы, происходящие в приконтурном массиве, податливых блочных бетонных крепей высокой несущей способности и ряд других немногочисленных, но эффективных крепей, свидетельствует об ином пути решения вопроса обеспечения устойчивости выработок. Особенность механизма управления геомеханическими процессами вокруг выработки состоит в том, что с одной стороны, увеличение несущей способности крепи не вызывает снижения радиуса ЗНД, но с другой стороны это приводит к упрочнению приконтурного массива, уменьшает величину разрыхления и снижает смещения контура выработки.

Поэтому механизм управления состоянием массива в окрестности горных выработок должен быть связан с механизмом деформирования приконтурной зоны пород и основан на предупреждении разрушения и смещений контура выработки, если этого можно достичь применением крепей с высокой несущей способностью, или же снижении разрыхления и смещений приконтурных пород с помощью крепей высокой несущей способности при ограниченной их податливости.

Существенное ухудшение состояния выработок в связи с увеличением смещений породного контура на глубоких горизонтах шахт вызвало целый ряд опытных экспериментов с применением крепей усиления, гидростоек, установленных под верхняк крепи, узлов податливости повышенной несущей способности. Результаты некоторых шахтных исследований о влиянии отпора крепи на величину смещений контура выработок показаны на рис. 3.

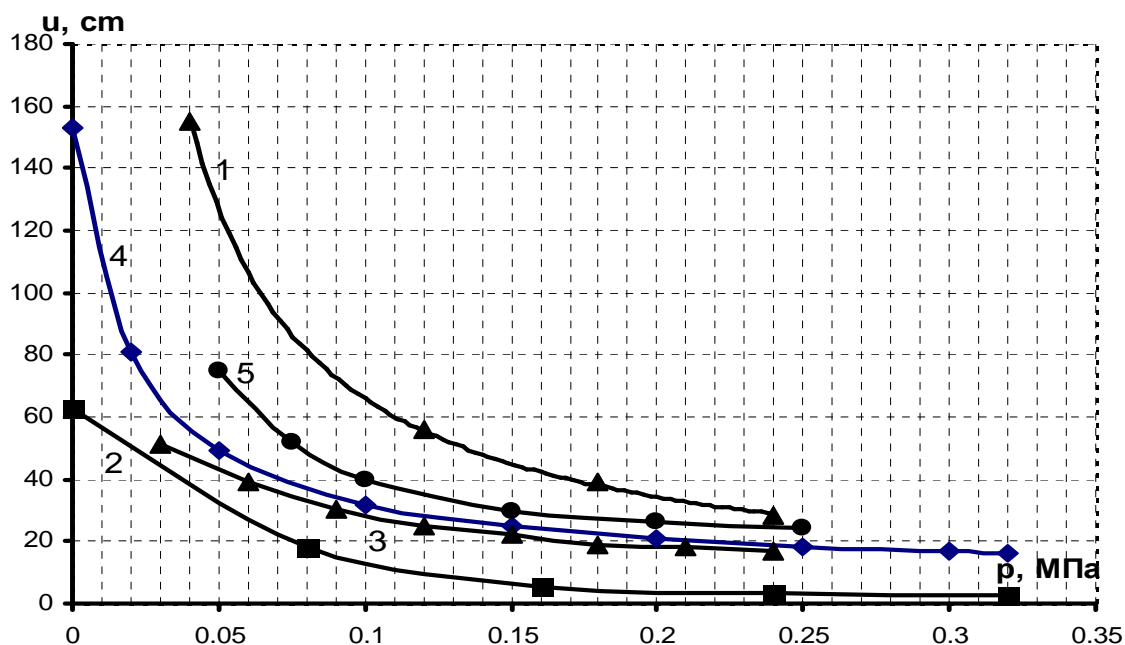


Рис. 3. Результаты шахтных исследований о влиянии отпора крепи P_o на смещения контура выработки: 1 – по данным [16], 2, 3 – по [4], 4 – по [3], 5 – по [17]

Исследования проводились в подготовительных выработках шахт Центрального Донбасса (шахты им. А.Ф. Засядько, им. Е.Т. Абакумова, им. А.Г. Стаханова, №10 бис «Глубокая»), вне зоны влияния очистных работ, закрепленных металлической арочной податливой крепью. Изменение сопротивления крепи на экспериментальных участках производилось с помощью установки гидравлических стоек. Результаты в [17] получены с помощью применения замков податливости повышенной несущей способности.

Анализ результатов шахтных исследований показал:

- при формировании вокруг выработки зоны разрушенных пород, роль крепи сводится к уменьшению их объемного разрыхления;
- современная технология проведения выработок при низком качестве забутовочных работ приводит к тому, что взаимодействие крепи с окружающими породами начинается на некотором расстоянии от забоя после образования зоны разрушенных пород;
- для достижения максимального эффекта крепь должна устанавливаться в забое с сопротивлением 180-240 кПа. Такой отпор крепи может обеспечить смещения пород без существенного нарушения ее естественной сплошности и снижения прочности;
- так как формирование зоны разрушенных пород происходит вблизи забоя выработки, то обеспечение повышенного сопротивления может быть осуществлено временными усиливающими крепями, установленными особым образом на типовую крепь.

Шахтные исследования влияния отпора крепи на смещения породного контура выработок. Аналитические исследования вопросов горного давления, проведенные различными учеными на основе механики сплошной среды, в зависимости от принятых идеализаций и упрощений, дают самые противоречивые численные значения нагрузок на крепь.

Получение эмпирических зависимостей с помощью шахтных инструментальных исследований при существующем многообразии горно-геологических условий позволяют решать задачи только для конкретной горнотехнической обстановки. Попытка дать обобщенные зависимости на основе только натуральных замеров положительных результатов не дала.

Большее практическое значение имеют инженерные методы прогнозирования поведения системы «крепь-породный массив», основанные на комбинации аналитических решений и результатов шахтных инструментальных измерений. При таком подходе вначале определяется аналитическое решение, отвечающее физическому смыслу явления. Качественная картина процесса устанавливается или подтверждается моделированием на эквивалентных материалах и шахтными инструментальными наблюдениями. Уточнение аналитического решения, вызванное рядом допуще-

ний, корректируется эмпирическими коэффициентами или зависимостями, значения которых находятся из шахтных замеров.

Учет влияния отпора крепи производим по такой схеме. Критерий потери упругопластической устойчивости окружающего выработку массива в виде величины критических смещений контура выработки, был получен в [1] на основе решения А.Н. Шашенко [2]. Принятое в указанном решении допущение о незначительном влиянии отпора крепи на размеры зоны неупругих деформаций вполне справедливо. Конечное решение о величине ЗНД для различных горнотехнических условий с высокой степенью достоверности соответствует данным натуральных измерений. Однако в данном решении не рассматривался вопрос о влиянии параметров крепи на величину смещений породного контура выработки и объемное разрыхление приконтурного массива.

В качестве исходного запишем выражение для определения смещений контура выработки, принятое в [2] без учета отпора крепи

$$u = \varepsilon_v^* \left(0,5 - \sqrt{\frac{\mathcal{H}}{2R_c k_c}} \right). \quad (2)$$

Для получения более общих рекомендаций по повышению устойчивости выработок и оценки степени влияния несущей способности крепи, необходимо получить зависимость величины объемного разрыхления от несущей способности крепи, т.е. $\varepsilon_v^* = f(P)$.

Как было показано выше, отпор крепи оказывает существенное влияние на степень объемного разрыхления приконтурного массива и смещения контура.

Следует заметить, что среди результатов натуральных замеров нагрузки на крепь, полученных разными экспериментаторами в одинаковых выработках и даже на замерных станциях, расположенных в одной и той же выработке с помощью динамометров имеются большие несоответствия. Это объясняется тем, что часто условия установки динамометрических станций не отвечают технологии возведения крепи, а величины показателей, получаемых этим методом, зависят от ряда факторов, к которым следует отнести:

- расстояние от замерной станции до забоя (чем ближе к забою установлена динамометрическая крепь, тем большую нагрузку она воспринимает);

- время возведения динамометрической крепи (если ее установить сразу после проходки, когда возможные пластические деформации еще не проявились, то замеренное давление на крепь окажется большим, чем позднее, когда это явление пройдет);

- плотность и материал забутовки закрепного пространства, конструкция и жесткость крепи, контур выработки в черне, качество динамометрической аппаратуры и точность ее тарировки.

В связи с этим, для получения зависимости смещений контура выработки от отпора крепи были установлены специальные замерные станции.

Шахтные исследования были выполнены на шахте «Алмазная» ГХК «Добропольеуголь» в выработке не подверженной влиянию очистных работ. Во 2-м южном конвейерном штреке (ЮКШ) пласта m_5^{1B} гор. 365 м было оборудовано 4 участка с сопротивлением крепи 60, 120, 180 и 240 кПа и контрольный участок. Протяженность каждого участка составляла 6 м. Выкопировка из плана горных выработок в районе экспериментальных участков показана на рис. 4. Штрек проводился по пласту комбайном 4ПП2 с подрывкой пород кровли и почвы. Площадь поперечного сечения штрека в свету $S_{св} = 11,2 \text{ м}^2$, крепь – металлическая арочная податливая из СВП-27 с шагом установки 0,8 м и железобетонной затяжкой.

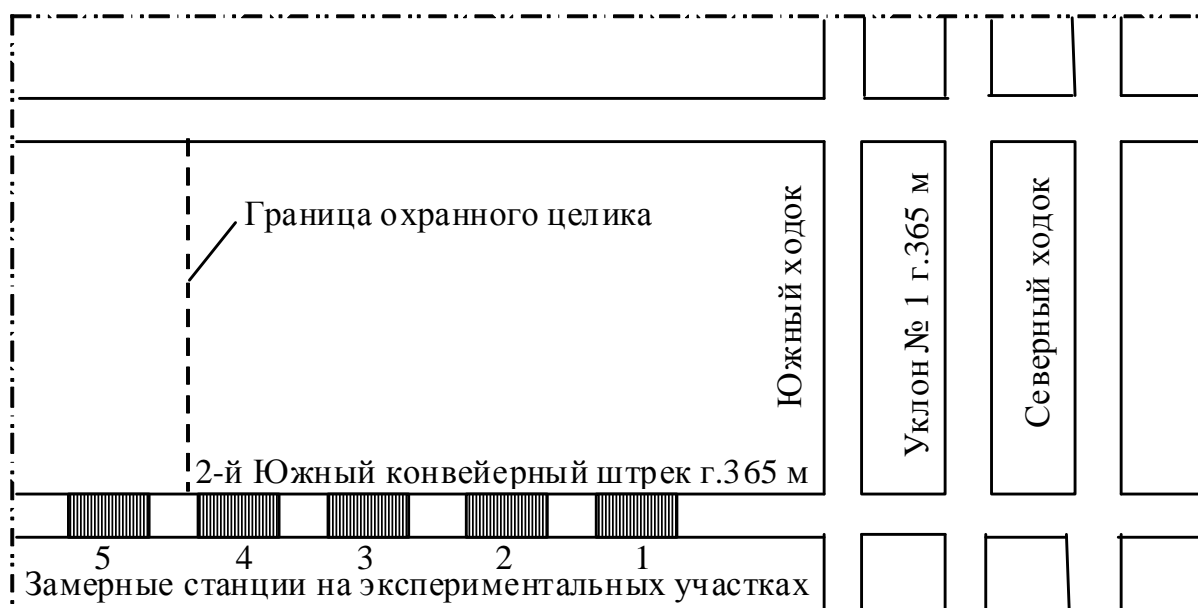


Рис. 4. Схема расположения экспериментальных участков: 1 – контрольный с обычной крепью; 2 – крепь с $P_0 = 60$ кПа; 3 - крепь с $P_0 = 120$ кПа; 4 - крепь с $P_0 = 180$ кПа; 5 - крепь с $P_0 = 240$ кПа

Сопротивления крепи на экспериментальных участках регулировалось с помощью установки гидравлических стоек ГСК под верхняки рам. Стойки верхним концом устанавливались под специально изготовленные кронштейны, а нижним – на металлические плиты, уложенные на почву выработки (рис. 5). Тарировкой гидростоек и установкой определенного сопротивления каждой стойки, отпор крепи изменялся от 60 до 240 МПа. Измерение сопротивления стоек производилось с помощью манометров, включенных в гидросистему стойки. Гидростойки под рамы крепи устанавливались и подключались к гидросистеме на расстоянии 10...12 м от забоя выработки при ее проведении.

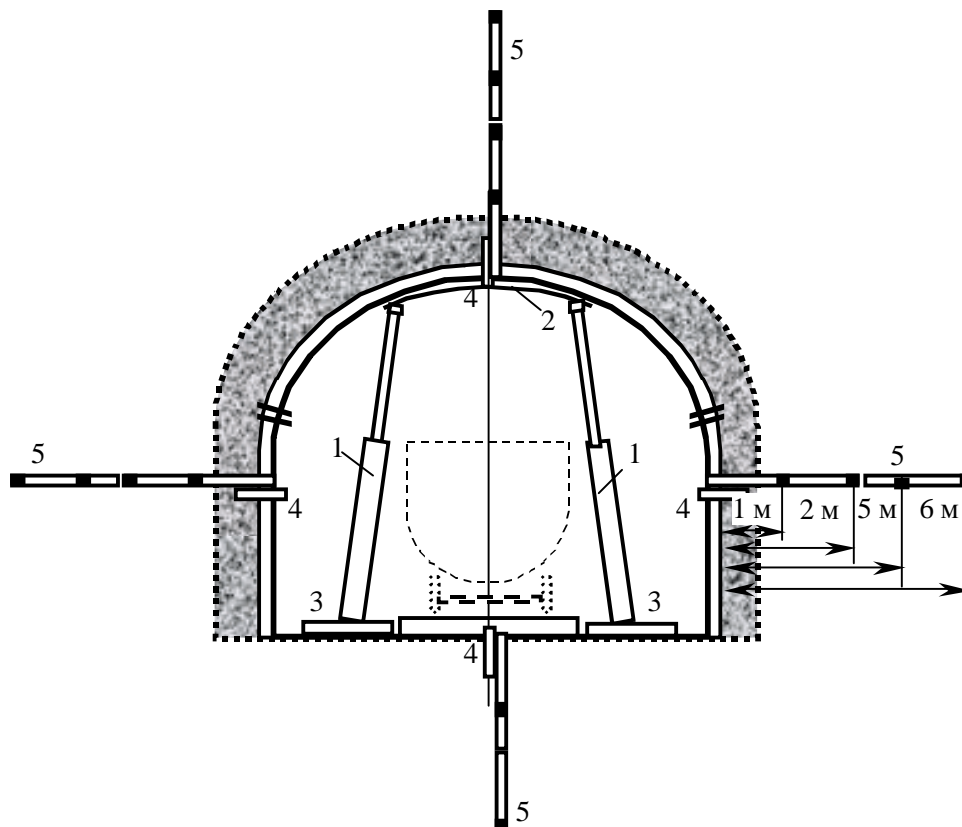


Рис. 5. Схема экспериментального участка и замерной станции:
 1 – гидростойка; 2 – кронштейн из СВП; 3 – опорная плита; 4 -
 контурный репер; 5 – глубинный репер

Степень влияния несущей способности крепи контролировался по характеру деформирования окружающих выработку пород. Для этого с определенной периодичностью выполнялось измерение смещений породного контура и участков массива по глубине с помощью контурных и глубинных реперных станций.

Углевмещающие породы на участке исследований представлены аргиллитами, алевролитами и песчаниками (табл. 1). Следует отметить, что в пределах изучаемой площади, в связи с наличием крупных тектонических нарушений значительно развита сеть мелких тектонических нарушений и тектонических зон, что отрицательно сказывается на устойчивости пород при проведении очистных и горнопроходческих работ, способствует образованию завалов и преждевременной деформации крепи.

Таблица 1

Параметры угольного пласта и свойства вмещающих пород
на экспериментальном участке

Пласт	Параметры пласта			Вмещающие породы	Свойства вмещающих пород					
	Полезная мощность, м	Глубина отработки, м	Угол падения, град		Непосредственная кровля			Непосредственная почва		
					Предел прочности на одноосное сжатие, МПа		Коэффициент снижения прочности при водонасыщении, k_v	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа		Коэффициент снижения прочности при водонасыщении, k_v
					В нормальном состоянии	При водонасыщении		В нормальном состоянии	При водонасыщении	
m_5^{1B}	0,97	360-455	5-12	аргиллит	15,5-55,4	3,8-18,5	0,45-0,33	7,5-56,7	3,8-38,0	0,67-0,5
				алевролит	16,6-55,1	10,2-46,0	0,63-0,83	-	-	-

Наблюдения на экспериментальных участках проводились в течение 145 суток. За это время забой выработки подвинулся на 585 м от замерной станции. Изменения смещений породного контура по результатам выполненных замеров показаны на рис. 6.

Условия эксплуатации участка замерных станций являются сложными. Показатель устойчивости $\theta = R_c k_c / \gamma H$ составляет 0,96, что относит этот участок выработки к категории неустойчивых. Однако на момент окончания эксперимента контрольный участок находился в удовлетворительном состоянии. Скорость смещений контура резко увеличилась на расстоянии около 15 м от забоя выработки. Существенное снижение скоростей смещений произошло через 39-40 суток после проведения выработки. Максимальные смещения контура на контрольном участке на 145-е сутки составили 110 мм и не превысили предельных значений.

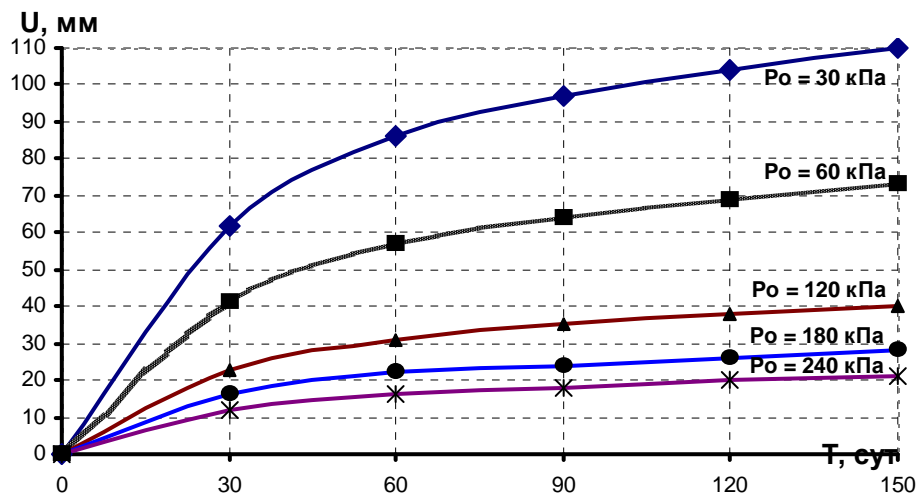


Рис. 6. Изменение смещений пород кровли 2-го южного конвейерного штрека ш. «Алмазная» на экспериментальных участках

Анализ смещений глубинных реперов показал, что за период наблюдений вокруг выработки сформировалась ЗНД радиусом около 6 м. При этом, основные смещения породного контура произошли за счет разрушения 2-метровой зоны приконтурных пород (90 % смещений), 70-75% из которых – за счет разрыхления пород метрового слоя. За пределами этой зоны деформации слоев пород составили 10-11 мм. Размер этой зоны составил 4 м.

Из графиков (рис. 7), видно, что несущая способность крепи оказывает влияние на смещения пород до глубины 2 м, причем наибольший эффект сказывается при увеличении отпора крепи до 120 кПа. Повышение несущей способности крепи до 240 кПа уменьшило смещения на контуре выработки в 5,2 раза и максимально снизило разрушение и расслоение пород приконтурной зоны.

Определение зависимости объемного расширения пород и смещений контура выработки от несущей способности крепи. Влияния несущей способности крепи на смещения контура основано на ограничении расслоения пород и предупреждении их разрушения за счет создания бокового подпора. Как было установлено выше, максимальное разрыхление, определяющее смещения контура выработки, испытывают породы в пределах метрового слоя. Поскольку любой произвольный объем породы у контура выработки может деформироваться только в направлении обнажения, выразим объемное разрыхление участка пород-

ного массива через изменение смещений соответствующих реперов в пределах рассматриваемого направления.

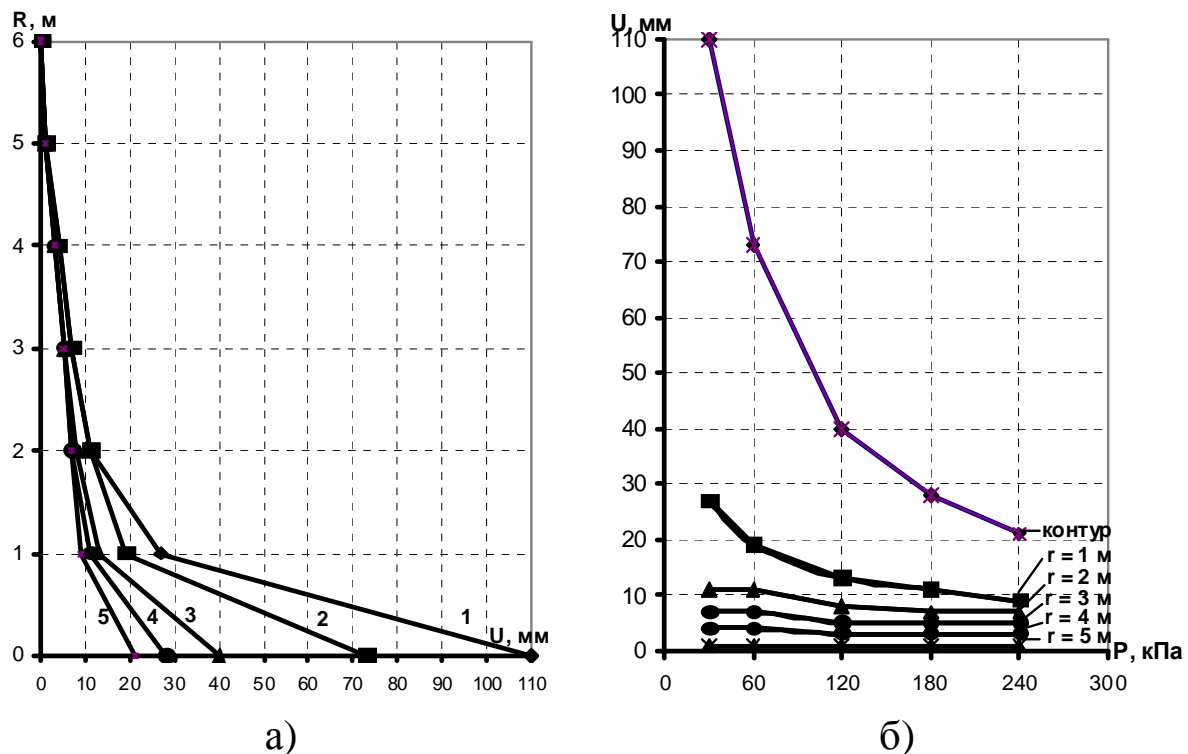


Рис. 7. Изменение смещений пород кровли 2-го ЮКШ ш. «Алмазная» на экспериментальных участках с разным отпором крепи

Величину объемного расширения пород определим по формуле

$$\varepsilon_v^{*N(n-1)-n} = \frac{(U_{n-1}^N - U_{n-1}^{N-1}) - (U_n^N - U_n^{N-1})}{h_n}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_v^{*N(n-1)-n}$ – объемное расширение пород на момент замера N (между рассматриваемой парой смежных реперов, имеющих номера $(n-1)$ и n); U_{n-1}^N, U_n^N – абсолютные смещения рассматриваемых реперов на момент текущего замера N ; U_{n-1}^{N-1}, U_n^{N-1} – абсолютные смещения рассматриваемых реперов на момент предыдущего замера $(N-1)$; h_n – базовое расстояние между реперами.

Величины объемного расширения пород между смежными реперами приконтурного массива, рассчитанные по (3) приведены в табл. 2. На рис. 8 показаны значения объемного расширения пород приконтурного массива в зоне максимального расширения между контуром выработки и репером на глубине 1 м. Экспери-

ментальные данные с высокой степенью точности описываются уравнением гиперболы, принятое в [3] для описания дилатансии θ пород в ближней зоне около контура выработки:

$$\varepsilon_v^* = \frac{a}{(P+b)}, \quad (4)$$

где a и b – параметры аппроксимации.

Таблица 2

Объемное расширение пород на экспериментальных участках

Участки с отпором крепи, кПа	Объемное расширение пород между реперами				
	Контур - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5
Контрольный	0,083	0,016	0,004	0,003	0,003
60	0,054	0,007	0,004	0,003	0,003
120	0,028	0,005	0,003	0,002	0,002
180	0,018	0,004	0,002	0,002	0,002
240	0,015	0,002	0,002	0,002	0,002

Значения этих параметров для экспериментальных данных шахты Алмазная составляют: $a = -0,04$, $b = 0,017$.

В табл. 3 приведены значения объемного расширения пород, полученные экспериментально по данным шахтных замеров смещений глубинных реперов и теоретические, определенные по (4). Анализ этих данных свидетельствует об удовлетворительной сходимости экспериментальных и расчетных значений мак-

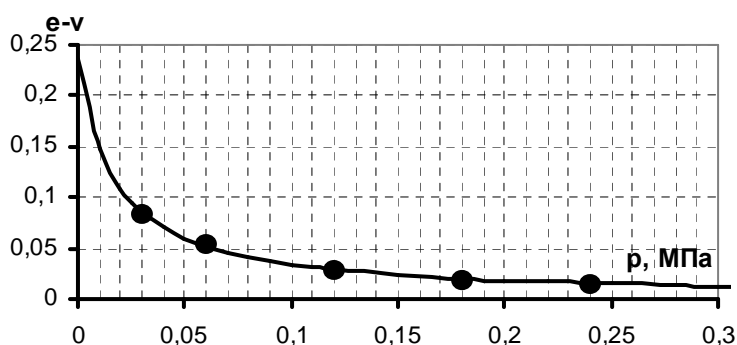


Рис. 8. Изменение объемного разрыхления пород кровли 2-го ЮКШ ш. Алмазная

Таблица 3

Данные о величине объемного расширения пород на контрольном и экспериментальных участках

Участки с несущей способностью крепи, кПа	Объемное расширение ε_v^*	
	экспериментальная	теоретическая
Контрольный	0,083	0,085
60	0,054	0,052
120	0,028	0,029
180	0,018	0,020
240	0,015	0,016

симального объемного расширения приконтурной зоны массива горных пород.

Для сравнения на рис. 9 показаны значения максимального объемного расширения, построенные по (4) для условий шахты им. Стаханова и шахты им. Абакумова. Данные по условиям проведения экспериментов и параметрам аппроксимации теоретической зависимости (4) приведены в табл. 4.

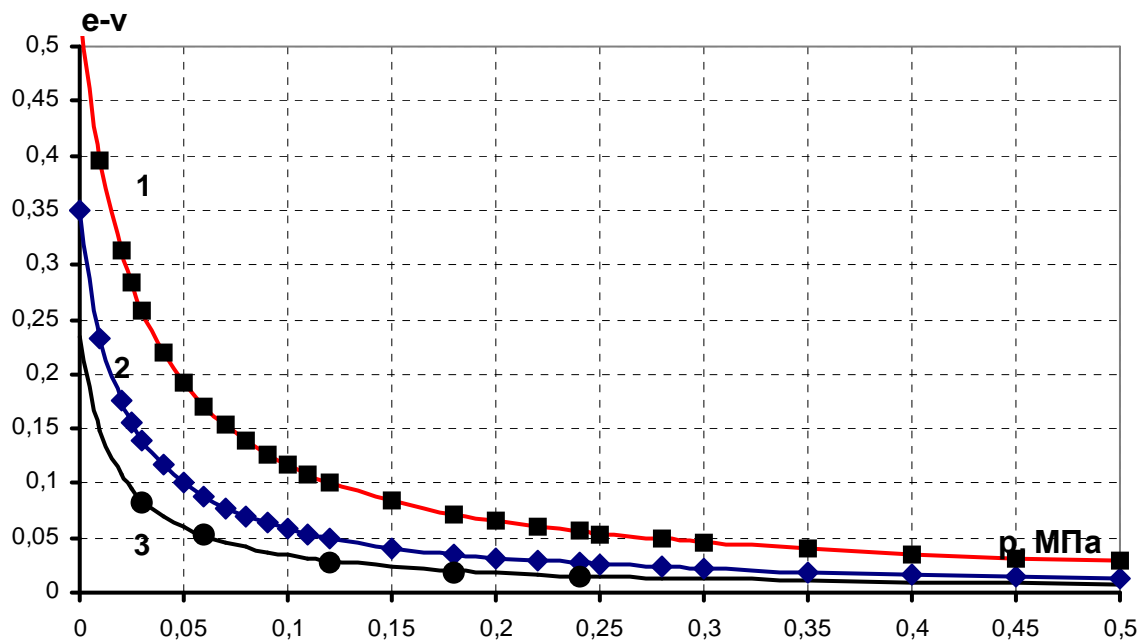


Рис. 9. Зависимости объемного разрыхления приконтурного массива пород от отпора крепи: 1 – ш. им. Абакумова, 2 – ш. им. Стаханова, 3 – ш. «Алмазная».

Полученную эмпирическую зависимость объемного разрыхления от отпора крепи (4) введем в выражение для определения смещений контура выработки (2):

$$u = \frac{a}{(P+b)} \left(0,5 - \sqrt{\frac{\gamma H}{2R_c k_c}} \right). \quad (5)$$

Результаты расчетов, выполненных по (5) для условий шахты им. Стаханова приведены на рис. 10.

Таблица 4

Краткая характеристика условий проведения экспериментов и установленные параметры аппроксимации

Шахта, выработка, вмещающие породы	Параметры аппроксимации	
	a	b
<p>«Алмазная», ГХК «Добропольеуголь» 2-й южный конвейерный штрек пласта m_5^{1B} гор. 365 м, $S_{CB} - 11,2 \text{ м}^2$, крепь – АПЗ, $L_k - 0,8 \text{ м}$, $H - 360-455 \text{ м}$, $m_y = 0,97 \text{ м}$, вмещающие породы: кровля – аргиллит $\sigma_{сж} = 15,5-55,4 \text{ МПа}$, алевролит $\sigma_{сж} = 16,6-55,1 \text{ МПа}$, почва – аргиллит $\sigma_{сж} = 7,5-56,7 \text{ МПа}$</p>	- 0,004	0,017
<p>Им. Стаханова, ГХК «Красноармейскуголь» 4-я северная бортовая пл. l_3, Сечение в свету $S_{CB} - 11,2 \text{ м}^2$, крепь – металлическая арочная податливая АПЗ, шаг крепи $L_k - 0,8 \text{ м}$, глубина залегания $H - 820-950 \text{ м}$, мощность угольного пласта $m_y = 1,9-2,0 \text{ м}$, вмещающие породы: кровля – песчанистый сланец мощностью $m_k = 10 \text{ м}$ и прочностью $\sigma_{сж} = 45 \text{ МПа}$, выше – песчаник мощностью $m_k = 4-6 \text{ м}$, почва – песчанистый сланец мощностью $m_{п} = 10-14 \text{ м}$.</p>	- 0,007	0,02
<p>Им. Абакумова, ГХК «Донецкуголь» 5-й восточный конвейерный штрек пл. m_5, $S_{CB} - 11,2 \text{ м}^2$, крепь – АПЗ, $L_k - 0,8 \text{ м}$, $H - 700-720 \text{ м}$, вмещающие породы: кровля – глинистый сланец мелкослоистый $m_k = 8-10 \text{ м}$, $\sigma_{сж} = 30 \text{ МПа}$, почва – песчаник $m_{п} = 5 \text{ м}$.</p>	- 0,015	0,028

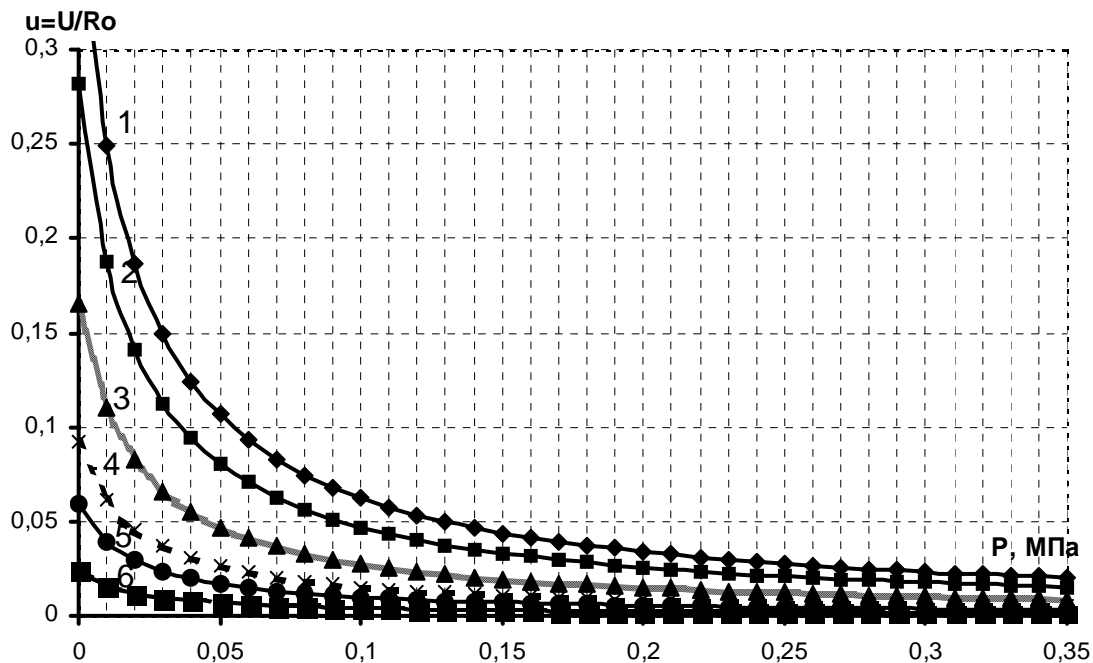


Рис. 10. Зависимость смещений контура выработки от отпора крепи: 1 - $r_L = 4,0$; 2 - $r_L = 3,0$; 3 - $r_L = 2,0$; 4 - $r_L = 1,5$; 5 - $r_L = 1,3$; 6 - $r_L = 1,1$

Выводы.

1. Увеличение несущей способности крепи сказывается лишь на уменьшении смещений в зоне приконтурных разрушенных пород на глубину до 2 м. На деформацию пород, залегающих дальше и до границы ЗНД, увеличение несущей способности крепи заметного влияния не оказывает, ввиду незначительных деформаций и разрыхления пород в этой зоне. Деформации этих пород порядка $1-2 \cdot 10^{-2}$ м относят к упруго-вязко-пластическим и считают происходящими без разрыва сплошности (без раскрытия трещин).

2. Образование зон разрушенных пород вблизи забоя выработки, а также частичное или полное затухание смещений пород, особенно с увеличением сопротивления крепи, указывает на то, что при обеспечении взаимодействия крепи с массивом пород увеличение сопротивления крепи необходимо на определенном участке выработки, в пределах которого происходят интенсивные деформационные процессы. Дальнейшее существование выработки (вне зоны влияния очистных работ) может быть обеспечено сопротивлением применяемых в настоящее время конструкций крепей.

3. Специфика механизма управления геомеханическими процессами вокруг выработки состоит в том, что с одной стороны, увеличение несущей способности крепи не приводит к снижению радиуса ЗНД, но с другой стороны это вызывает упрочнение приконтурного массива, уменьшает величину разрыхления и снижает смещения контура выработки.

4. Эффект от повышения сопротивления крепи тем выше, чем больше зона неупругих деформаций вокруг выработки (r_L), и в связи с этим – больше зона разрушенных пород у контура выработки и степень их разрыхления.

5. Для более неблагоприятных условий разработки (большая величина ЗНД) наибольший эффект достигается при увеличении отпора крепи до 120-150 кПа. Дальнейшее увеличение сопротивления крепи не приводит к существенному снижению смещений пород. Однако при этом значительно увеличивается стоимость крепи и способов охраны выработки.

6. Механизм управления состоянием массива в окрестности горных выработок в условиях возможного вспучивания должен быть связан с механизмом деформирования приконтурной зоны пород и основан на предупреждении разрушения контура выработки, если этого можно достичь применением крепей с высокой несущей способностью, или же снижении их разрыхления и смещений с помощью крепей высокой несущей способности при ограниченной податливости.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В. Оценка устойчивости пород почвы горных выработок // Проблеми гірського тиску. Зб. наук. праць. – Донецьк, ДонНТУ. – 2006. – Вып. 14. – С. 85-103.
2. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве. – Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.04, 05.15.11. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
3. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Механика деформирования и разрушения горных пород. – М.: Недра, 1992. – 224 с.
4. Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. – М.: Недра, 1984. – 304 с.
5. Шашенко А.Н., Янко В.И., Терещук Р.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния однородного породного массива в окрестности выработки, закрепленной анкерной крепью // Науковий вісник НГА України. – 2002. – № 3. – С. 14-18.
6. Тимофеев О.В. Методика расчета параметров штанговой крепи при упругопластическом деформировании массива пород // Устойчивость и крепление горных выработок. – Л.: ЛГИ, 1976, №3. - С. 30–34.
7. Широков А.П., Лидер В.А., Писляков Б.Г. Расчет анкерной крепи для различных условий применения. – М.: Недра, 1976. – 208 с.
8. О повышении устойчивости горных выработок / В.Е. Забигаило, В.В. Репка, В.Н. Калиниченко, В.Б. Демченко // Изв. Вузов. Горный журнал. – 1986. - _ 3 1. – С. 25-27.

9. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
10. Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах / Л.А. Шрейнер, Б.В. Байдюк, Н.Н. Павлова и др. – М.: Недра, 1968. – 358 с.
11. Ардашев К.А., Матвеев Б.В., Ильинов М.Д. Показатели сопротивления и разрыхления и механизм разрушения горных пород в условиях объемного сжатия // ФТПРПИ. – 1981. - № 2. С. 24-29.
12. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкции крепей. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
13. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 272 с.
14. Шемякин Е.И. Две задачи механики горных пород, связанные с освоением глубоких месторождений угля и руды // ФТПРПИ. – 1975. - № 6. – С. 22-45.
15. Ревуженко А.Ф. О напряженно-деформированном состоянии разупрочняющегося массива вокруг выработки // ФТПРПИ. – 1978. - № 2. – С. 10-20.
16. Черняк И.Л., Ильюшенко В.Г., Звягильский Е.Л. Влияние сопротивления крепи на устойчивость подготовительных выработок // Уголь Украины. – 1990. - № 8. – С. 27-28.
17. Шевченко В.И., Степанников В.В. Повышение надежности работы и отпора податливых крепей подготовительных выработок // Совершенствование технологии сооружения горных выработок. – Кемерово, 1986. – С. 25-30.

*Здано до редакції 08.10.08 р.
Рекомендовано до друку д.т.н. Сдвижковою О.О.*