

Н.Н. Касьян, А.К. Носач, И.Г. Сахно

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ВЛАГОНАСЫЩЕНИЯ УГЛЯ, ПРИ ГИДРООБРАБОТКЕ КРАЕВОЙ ЧАСТИ ПЛАСТА, НА НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА

Рассмотрен способ обеспечения устойчивости почвы горных выработок за счет разгрузки вмещающего массива путем увлажнения краевой части пласта. Проведено численное моделирование, положенное в основу анализа изменения напряжений в массиве при различной степени влагонасыщения пласта, что позволило определить параметры способа.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ВОЛОГОНАСИЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ, ПРИ ГІДРООБРОБЦІ КРАЙОВОЇ ЧАСТИНИ ПЛАСТА, НА НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН МАСИВУ

Розглянуто спосіб забезпечення стійкості підшви гірничих виробок за рахунок розвантаження масиву шляхом зволоження крайової частини пласта. Проведено чисельне моделювання, покладене в основу аналізу зміни напружень у масиві при різному ступені вологонасичення пласта, що дозволило визначити параметри способу.

RESEARCH OF INFLUENCE THE DEGREE OF COAL MOISTURE SATURATION, THE HYDROPROCESSING EDGE PORTION OF THE FORMATION ON THE STRESS-STRAIN STATE

The method of soil stability ensuring of mine workings by means of stress relaxation of bearing massif via sludging of selvage seam is described. The numerical simulation based on analysis of stress variation in massif under different ratio of seam water saturation that allowed to determine the method parameters is carried out.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обеспечения устойчивости почвы горных выработок остается актуальной для угольных шахт Донбасса на протяжении нескольких последних десятилетий. Изменение глубины горных работ и темпов отработки запасов привело к интенсификации сдвижений контура подготовительных выработок. Так в современных условиях

конвергенция пород в штреках, обслуживающих очистной забой, нередко достигает их высоты. Совершенствование средств крепления и поддержания выработок направлено в основном на обеспечение устойчивости пород кровли, в то время как породы почвы остаются практически незакрепленными.

Мировой опыт поддержания горных выработок показывает, что их устойчи-

вость определяется напряженно-деформированным состоянием (НДС) окружающего породного массива. Существующие способы обеспечения эксплуатационного состояния выработок базируются на активном и пассивном воздействии на массив путем его разгрузки или укрепления, исходя из учета горно-геологической ситуации. Наибольшую эффективность для почвы выработок показали способы, основанные на разгрузке массива. Реализация этой группы способов предусматривает принудительное изменение НДС пород, вмещающих горную выработку.

Учитывая, что обеспечение устойчивости почвы подготовительных выработок за счет крепления не имеет перспектив при значительных смещениях контура, в качестве способа уменьшения пучения в данной статье рассмотрен способ разгрузки за счет увлажнения краевых частей угольного пласта поверхностно-активными веществами. Принципиальная схема способа приведена на рис. 1.

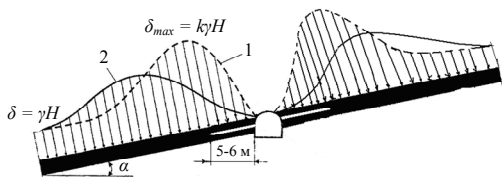


Рис. 1. Схема разгрузки массива путем увлажнения краевых частей пласта: 1, 2 – эпюры распределения напряжений до и после увлажнения соответственно

Гидрообработка краевых частей водными растворами поверхностно-активных веществ осуществляется через буровые скважины длиной не больше 6 – 7 м диаметром 42 – 43 мм. Расстояние между буровыми скважинами 4 – 6 м. Вследствие гидрообработки пик опорного давления уменьшается по величине и откатывается вглубь массива. При этом величина смещений почвы на уровне лавы и скорость смещений уменьшается больше чем в 2,6 раза (рис. 2).

Оценка эффективности того или иного способа обеспечения устойчивости выработок должна основываться на анализе изменения геомеханической ситуации при его реализации. Исследование изменений НДС породного массива является одной из важнейших и в то же время сложных практических и научных задач.

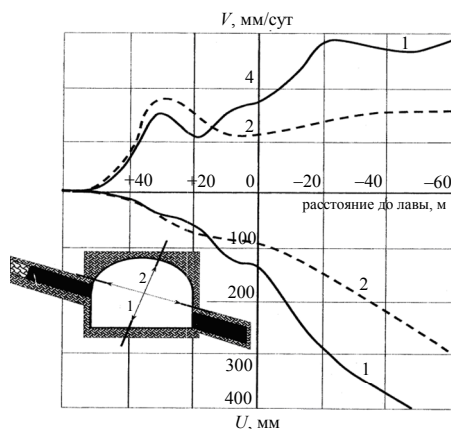


Рис. 2. Графики смещений и скоростей смещений боковых пород при гидрообработке краевых частей водными растворами ПАВ: 1 – перпендикулярно напластованию; 2 – по напластованию

Особенностью исследования геомеханических процессов является широкое применение физического и математического моделирования. Методы физического моделирования, реализуемые в основном на моделях из эквивалентных материалов, позволяют получать качественную картину сдвижений и разрушений в породной толще. Однако реализация этих методов связана с большой трудоемкостью изготовления моделей, их тарировки, значительными затратами времени и относительно небольшим количеством получаемой информации. Кроме того, при применении этого метода достаточно сложно обеспечить точность условий приготовления эквивалентного материала и пригрузки модели при проведении серии однотипных экспериментов. Математическое моделирование, реализуемое с помощью аналитических и

численных методов, является одним из основных современных инструментов, позволяющих исследовать НДС породного массива при решении различных задач геомеханики, который позволяет получать качественные характеристики и количественные зависимости. Учитывая, что в последнее время широко используются численные методы моделирования, выберем в качестве метода исследований метод конечных элементов (МКЭ) [1].

Таким образом, целью работы является исследование влияния увлажнения краевых частей пласта на изменение градиента напряжений в окрестности выработки и на ее контуре с помощью МКЭ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задача решалась в объемной постановке в программном комплексе ANSYS. Масштаб моделирования 1:1. Моделировалась горизонтальная выработка, пройденная по пласту угля мощностью 1,0 м. Непосредственная кровля – песчаный сланец мощностью 5 м, прочностью на одноосное сжатие 45 МПа, основная кровля – песчаник мощностью 15 м, прочностью 65 МПа. Непосредственная почва – глинистый сланец мощностью 4 м, прочностью 30 МПа, основная почва – песчаный сланец 9 м, прочностью 45 МПа. Глубина залегания пласта 1000 м. Размеры модели по простиранию 34×40×110 м. Общий вид модели представлен на рис. 3.

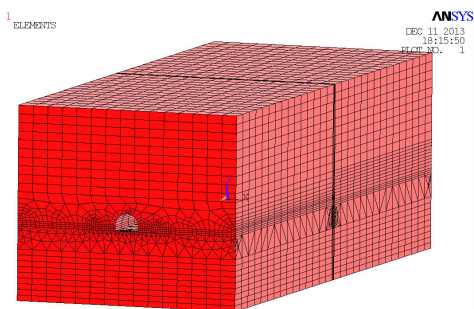


Рис. 3. Общий вид расчетной конечно-элементной модели

Согласно описанной структурной колонке пласта для каждого слоя задавались модуль деформации (МПа), коэффициент поперечной деформации, угол внутреннего трения, коэффициент сцепления, угол дилатансии. Данные для моделирования взяты из кадастра физико-механических свойств горных пород [2].

Физико-механические свойства углей и горных пород изучены недостаточно, особенно изменение этих свойств при насыщении водой. Угли и горные породы сильно различаются по своему строению, минералогическому составу зерен и цемента, что весьма усложняет характер указанного выше взаимодействия.

Экспериментальные исследования, проведенные в ИФГП НАНУ на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия (УНТС) [3, 4] позволили установить изменение физико-механических свойств углей при повышении их влажности. Так исследования [3] позволили установить изменение прочности на одноосное сжатие углей при увеличении их влажности W от 0,15 до 3%. Наиболее интенсивное снижение прочности происходит при повышении влажности до $W = 2,0\%$. Прочность углей марок «Ж», «К» и «Т» уменьшается в 2,8 – 3,5 раза. Водонасыщение существенно уменьшает трещиноватость горных пород, снижая сопротивляемость развитию трещин почти на порядок (до 8 раз). Водонасыщение уменьшает упругие свойства пород, увеличивает деформации и приводит к пластификации, локализует разрушение, которое происходит путем сдвига.

Исследования [4] показали, что модуль деформации и предел прочности при водонасыщении зависят также от вида напряженного состояния. Так при влажности 1,6% для обобщенного сдвига модуль деформации снижается в 2,4 раза, для обобщенного сжатия в 1,15 раза, для обобщенного растяжения в 1,15 раза.

Таким образом, поскольку в рассматриваемом способе предполагается принудительное нагнетание воды в пласт, можно предположить максимальное уменьшение

модуля деформации до 8 раз. Исследуем влияние влагонасыщения путем изменения модуля деформации от 2 до 8 раз. Поскольку скважины имеют длину 6 м, изменение свойств будем имитировать именно на этом участке по всей мощности пласта. Изменяем указанные свойства угля в указанной зоне.

При проведении анализа исходили из предположения, что деформации контура выработки определяются в основном уровнем напряжений. Анализ проводился по картинам распределения напряжений по первой теории прочности S3 (максимальные сжимающие напряжения, МПа) и по

IV теории прочности, или критерию максимальной энергии формоизменения (по эквивалентным напряжениям SEQV). Эффективность способа определялась коэффициентом k_c изменения напряжений на контуре, равным отношению соответствующих напряжений σ_{i0} на участке без применения способа к напряжениям, возникающим на контуре выработки при применении предлагаемого способа σ_{in} . Результаты расчета напряжений в модели при уменьшении модуля деформации в зоне разгрузки пласта в 8 раз приведены на рис. 4 и 5.

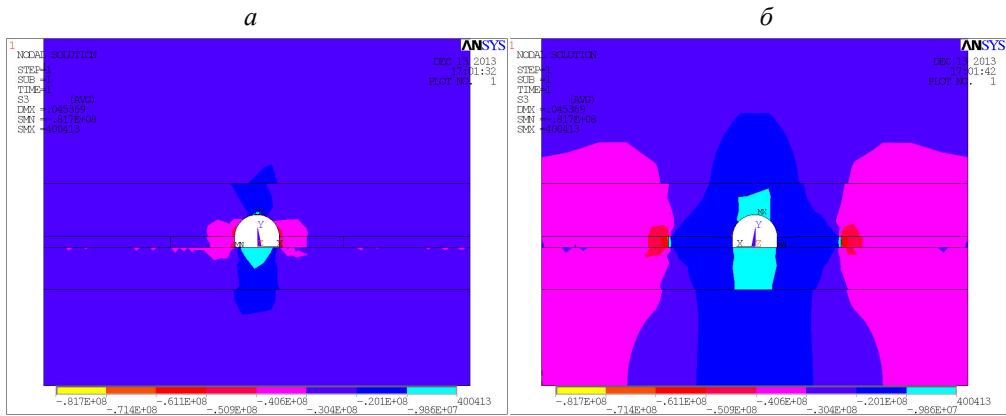


Рис. 4. Эпюра распределения максимальных сжимающих напряжений вокруг выработки: а – без увлажнения; б – с увлажнением

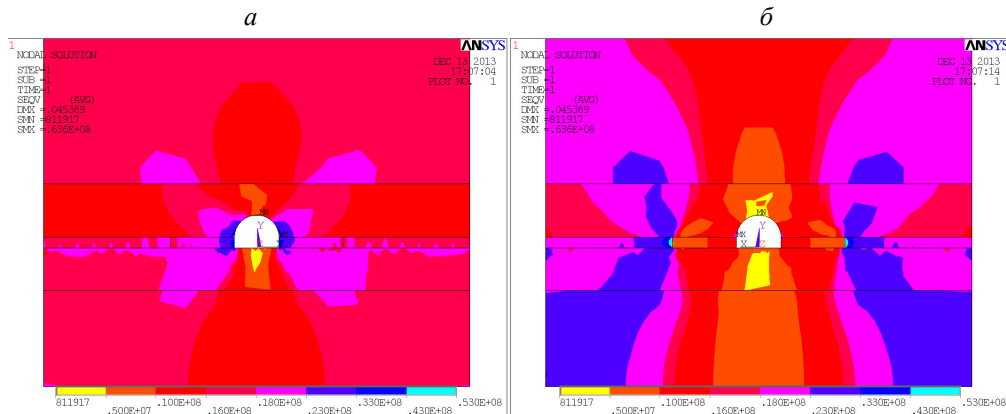


Рис. 5. Эпюра распределения эквивалентных напряжений по энергетической теории прочности вокруг выработки: а – без увлажнения; б – с увлажнением

Из рис. 4, а видно, что в боках выработки образуются зоны повышенных сжимающих напряжений в массиве, превышающих вертикальные напряжения вне зоны влияния выработки в 1,2 – 2 раза с размерами по простиранию 0,7 – 0,8 диаметра выработки. При применении увлажнения (рис. 4, б) вблизи контура выработки повышенные напряжения не образуются, выработка находится в зоне пониженных напряжений. Повышенные напряжения переносятся в бока выработки за контур зоны нагнетания. Аналогичные результаты можно сделать, анализируя рис. 5. Для варианта без разгрузки зоны повышенных напряжений, формирующиеся в основном в боках выработки, соразмеримы с диаметром выработки в каждую сторону. А в случае проведения разгрузки выработка полностью находится в зоне пониженных напряжений, в то время как повышенные напряжения переносятся вглубь массива на контур неразупрочненной части пласта. Таким образом, эффективность способа подтверждается численным методом.

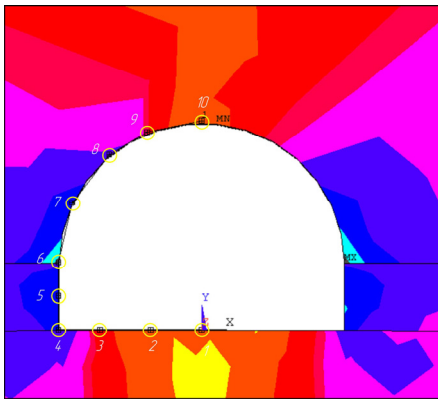


Рис. 6. Расчетные точки на контуре выработки

Для количественной оценки проведено сравнение напряжений на контуре выработки. Точки, в которых рассчитывались напряжения, приведены на рис. 6, а расчетные напряжения на рис. 7.

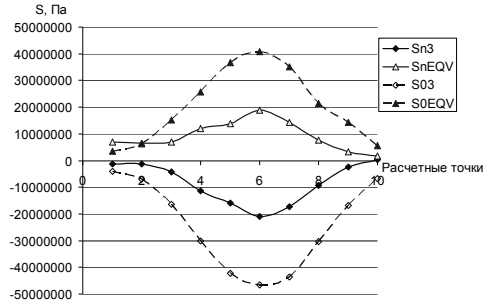


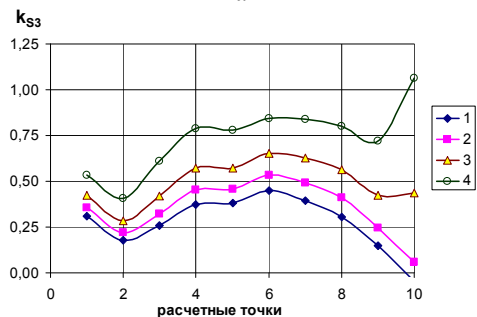
Рис. 7. Расчетные напряжения по периметру выработки: S03 – максимальные сжимающие напряжения; S0EQV – напряжения по IV теории прочности без применения способа разгрузки; Sn3 – максимальные сжимающие напряжения; SnEQV – напряжения по IV теории прочности с применением способа разгрузки

Таким образом, можно сделать вывод, что максимальные сжимающие напряжения S3 по всему контуру при применении разгрузки меньше исходных в 2,2 – 6,7 раз. SEQV в боку выработки и в кровле при разгрузке меньше в 2,0 – 4,2 раза, а в центре почвы больше в 2 раза. Однако при этом следует отметить, что в исходном варианте в почве выработки формируется зона пониженных напряжений.

Значения коэффициентов изменения напряжений при уменьшении модуля деформации при влагонасыщении угля в 2, 4, 6 и 8 раз приведено на рис. 8.

$$k_{S3} = \frac{S_{n3}}{S_{03}}; k_{SEQV} = \frac{S_{nEQV}}{S_{0EQV}}$$

а



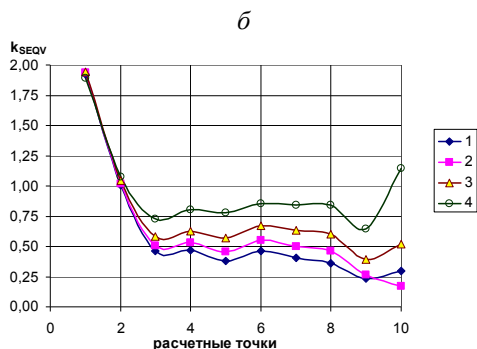


Рис. 8. Изменение коэффициентов k_{S3} (а) k_{SEQV} (б) на контуре выработки при гидрообработке краевой части пласта и уменьшении модуля деформации в зоне разгрузки в: 1 – 8; 2 – 6; 3 – 4; 4 – 2 раза

ВЫВОДЫ

Применение гидрообработки приводит к снижению максимальных сжимающих

напряжений $S3$ по контуру. При этом в боку выработки и ее почве это снижение закономерно можно описать линейной зависимостью при снижении модуля деформации угля при разгрузке (от 0,84 до 0,45 в боку выработки, от 0,53 до 0,31 в почве). В кровле выработки коэффициент снижения напряжений описывается логарифмическим законом, и для рассматриваемого случая изменяется от 1,06 до –0,05.

Эквивалентные напряжения $SEQV$ в боку выработки также снижаются по зависимости, близкой к линейной, коэффициент k_{SEQV} от 0,86 до 0,46. В средней части почвы выработки $SEQV$ увеличивается при разгрузке, независимо от уменьшения модуля деформации угля примерно в 2 раза, а в кровле изменяется по зависимости близкой к квадратичной, k_{SEQV} изменяется от 1,15 до 0,17.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / Фадеев А.Б. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
2. Мельников Н. В. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / Мельников Н.В., Ржевский В.В., Протодьяконов М.М. – М.: Недра, 1975. – 279 с.
3. Рева В.Н. Развитие научных основ деформирования и разрушения горных пород при объемном неравнокомпонентном сжатии: дисс... доктора техн. наук: 05.15.11 / Рева Владимир Николаевич. – Донецк, 2005. – 322 с.
4. Молодецкий А.В. Влияние неравнокомпонентности объемного нагружения и глубины залегания на физико-механические свойства углей: дисс. ... кандидата

техн. наук: 05.15.09 / Молодецкий Андрей Владимирович. – Донецк, 2012. – 183 с.

ОБ АВТОРАХ

Касьян Николай Николаевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых Донецкого национального технического университета.

Носач Александр Константинович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой разработки пластовых месторождений Красноармейского индустриального института ДонНТУ.

Сахно Иван Георгиевич – к.т.н., доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Донецкого национального технического университета.