

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.02.004

УДК 622:273.25-274.3

© В.В. Семенцов, М.С. Добровольский,
Е.В. Нифанов, М.П. Шабалин, 2018

В.В. СЕМЕНЦОВ

канд. техн. наук,
заведующий лабораторией
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru



М.С. ДОБРОВОЛЬСКИЙ

старший научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: m.dobrovolsky@nc-vostnii.ru



Е.В. НИФАНОВ

научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: e.nifanov@nc-vostnii.ru



М.П. ШАБАЛИН

старший научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: maxim_shabalin1975@mail.ru



ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ КРУТЫХ ПЛАСТОВ С ПОДЭТАЖНЫМ ОБРУШЕНИЕМ И ВЫПУСКОМ УГЛЯ

В статье приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород и его изменений при отработке мощных крутых угольных пластов Прокпьевско-Киселевского месторождения системами с подэтажным обрушением и выпуском угля методом математического моделирования.

Ключевые слова: ПОДЗЕМНАЯ РАЗРАБОТКА, ПОДЭТАЖНОЕ ОБРУШЕНИЕ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, МОЩНЫЕ КРУТЫЕ ПЛАСТЫ.

Технологии отработки мощных крутых пластов Прокопьевско-Киселевского месторождения углей особо ценных коксующихся марок характеризуются практически полным отсутствием механизации, высокой трудоемкостью, низким уровнем безопасности и значительными потерями угля в недрах.

За годы эксплуатации шахт в Прокопьевско-Киселевском районе были испытаны практически все известные системы разработки и их варианты, как с обрушением кровли, так и с закладкой выработанного пространства. Вместе с тем, несмотря на достаточно продолжительный период эксплуатации этого месторождения, до сих пор не найдено приемлемых

технических решений по его эффективной разработке.

Одним из перспективных направлений отработки мощных крутых пластов Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузнецкого угольного бассейна является внедрение систем разработки с подэтажным обрушением и выпуском угля с использованием механизированных секций крепи [1] (рис. 1). Как показывает мировой опыт отработки мощных крутых и крутонаклонных пластов, применение этих систем обеспечивает эффективную и безопасную отработку запасов на выемочных участках [2].

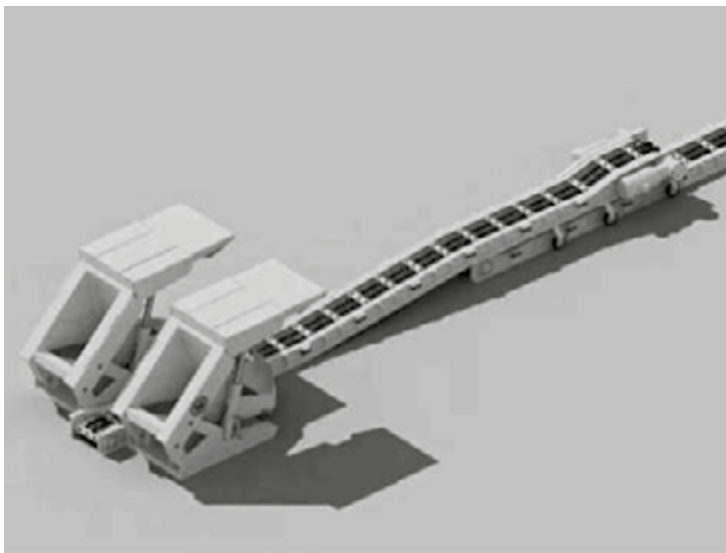


Рис. 1. Механизированные секции крепи для подэтажной выемки угля

Для обеспечения эффективного применения данной системы разработки в сложных горно-геологических условиях Прокопьевско-Киселевского месторождения необходимо провести выбор и обоснование основных параметров системы разработки.

Одним из основных параметров системы разработки с подэтажным обрушением и выпуском угля являются параметры целиков, оставляемых между подэтажами. Ширина целиков в значительной степени определяет эффективность и пожаробезопасность ведения очистных работ, а также устойчивость подэтажных штреков 2-го и последующих подэтажей, находящихся в краевой части массива на границе с выработанным пространством,

сформированным в результате отработки запасов вышерасположенных подэтажей.

С целью геомеханического обоснования и выбора рациональных параметров системы разработки с подэтажным обрушением и выпуском угля выполнены исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород (МГП) в зоне ведения горных работ и закономерностей его изменения в процессе отработки запасов, с применением метода конечных элементов. В качестве исходных данных приняты условия разработки пласта «Мощный» для шахты «Киселевская» Прокопьевско-Киселевского месторождения. При проведении исследований использовалось лицензионное программное обеспечение — программный комплекс ANSYS [3].

Анализ исходной горно-геологической информации, определяющей пространственное положение пластов и вмещающих пород, их деформационные и прочностные характеристики, позволил разработать горногеомеханическую модель (рис. 2), адекватно отражающую свойства реального массива горных пород. Характерной особенностью модели является наличие выработанного пространства ранее отработанных подэтажей, заполненного обрушенными породами.

Выполненные оценки полноты заполнения выработанного пространства обрушен-

ными породами, коэффициента разрыхления обрушенных пород, механических свойств пород в массиве позволили количественно идентифицировать размах деформационных свойств обрушенных пород с диапазоном

$$0,01 \cdot 10^4 \leq E_{обр.п} \leq 0,3 \cdot 10^4 \text{ (МПа)}, \mu_{обр.п.} \approx 0,4. \quad (1)$$

Граничные условия и геометрические параметры исследуемой области задавались в соответствии с методическими основами расчета параметров механических процессов в системе породный массив – очистная выработка. Граничные условия отражены в горно-геомеханической модели (рис. 2) [3].

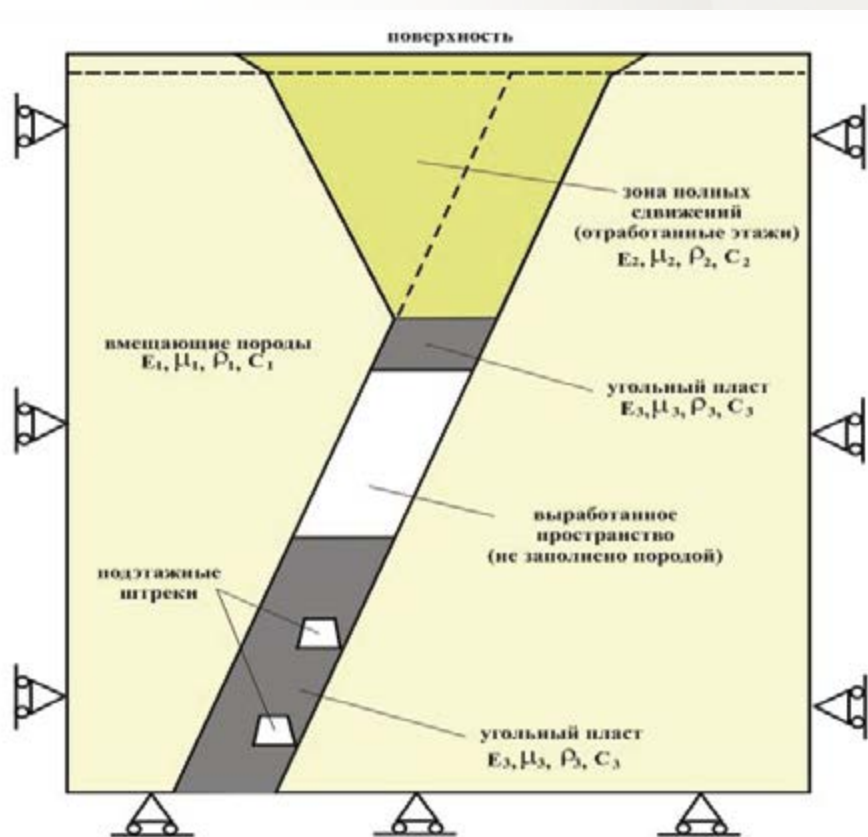


Рис. 2. Горно-геомеханическая модель

В качестве граничных приняты условия, отвечающие максимальному уровню гравитационных нагрузок на рассматриваемых глубинах отработки. Высотная отметка разрабатываемого горизонта +120 м. Отметка поверхности в условиях шахты Киселевская +300 ÷ +410 м. Таким образом, для условий разрабатываемого горизонта +120 м глубина

ведения горных работ может составлять от 180 до 290 м от поверхности земли [3].

Максимальная гравитационная нагрузка для ненарушенного массива составит:

— для глубины 180 м:

$$P = \gamma \cdot H = 25000 \text{ Н/м}^3 \cdot 180 \text{ м} = 4,5 \text{ МПа}; \quad (2)$$

— для глубины 290 м:

$$P = \gamma \cdot H = 25000 \text{ Н/м}^3 \cdot 290 \text{ м} = 7,250 \text{ МПа}. \quad (3)$$

Для установления общих закономерностей изменения НДС МГП в исследуемой области были разработаны расчетные схемы (рис. 3), соответствующие следующим горно-техническим ситуациям:

1) Первый подэтаж в пределах этажа отработан и ведется отработка второго подэтажа. Разрабатываемый подэтаж граничит по восстанию с выработанным пространством. Рассматривается сечение вкрест простирания пласта вне зоны влияния очистных работ разрабатываемого подэтажа, проходящее через участковые подготовительные выработки (рис. 3, а).

2) Первый подэтаж в пределах этажа отработан и ведется отработка второго подэтажа. Разрабатываемый подэтаж граничит по

восстанию с выработанным пространством. Рассматривается сечение вкрест простирания пласта в зоне влияния очистных работ разрабатываемого подэтажа, проходящее через среднюю часть очистной камеры, сформировавшейся после выемки угля к моменту перед обрушением пород основной кровли (рис. 3, б).

В качестве примера полученных результатов моделирования для расчетной схемы № 1 (рис. 3, а) на рисунке 4 приведены эпюры опорного давления в краевой части массива в условиях горизонта +120 м шахты «Киселевская». Напряжения в пределах зоны опорного давления представлены в прямоугольной системе координат, оси которой ориентированы соответственно — перпендикулярно (рис. 4, а) и параллельно (рис. 4, б) напластованию пород.

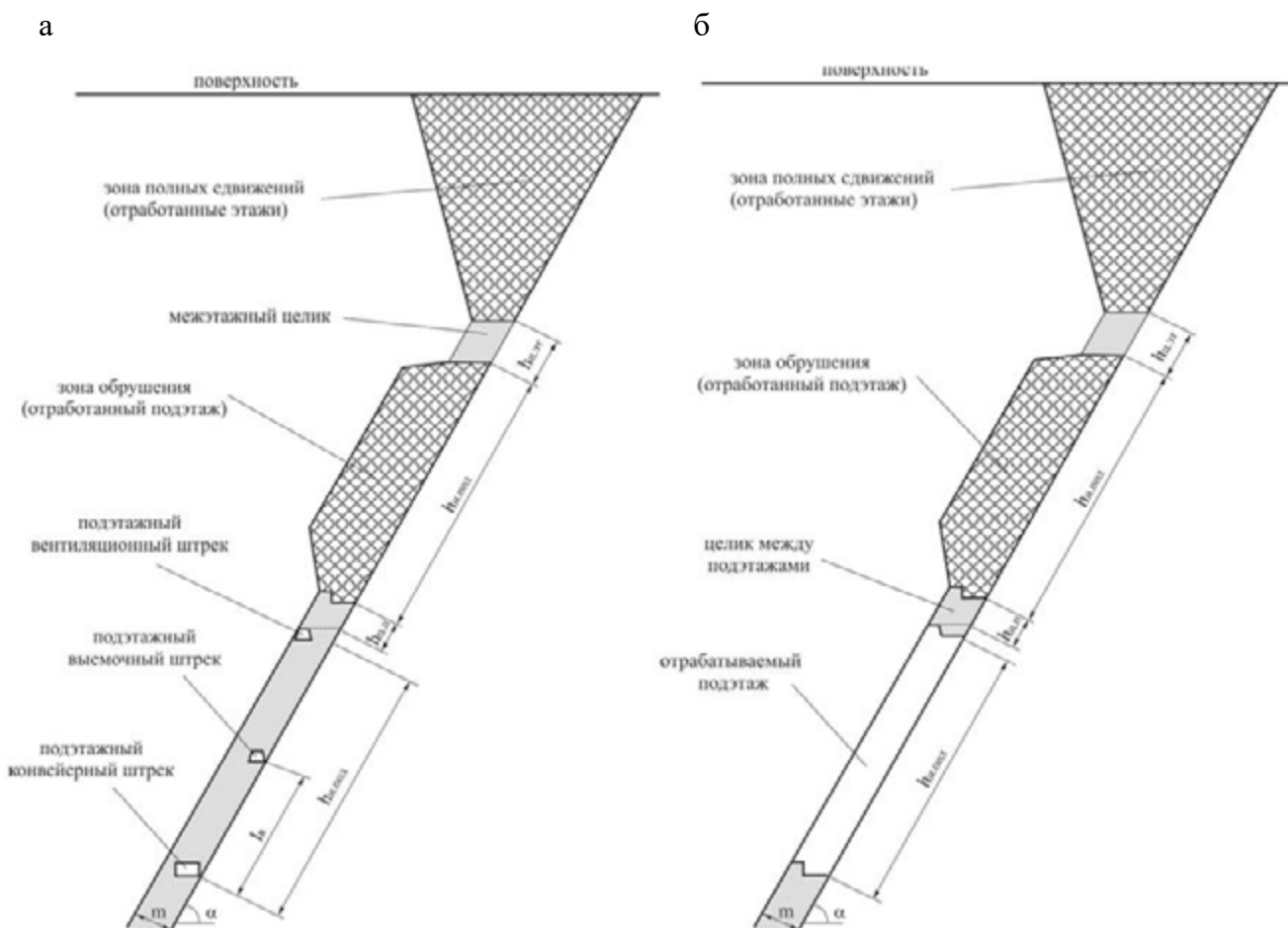


Рис. 3. Расчетные схемы: а — для оценки состояния выработок в зоне влияния очистных работ; б — для оценки состояния целиков, оставляемых между подэтажами

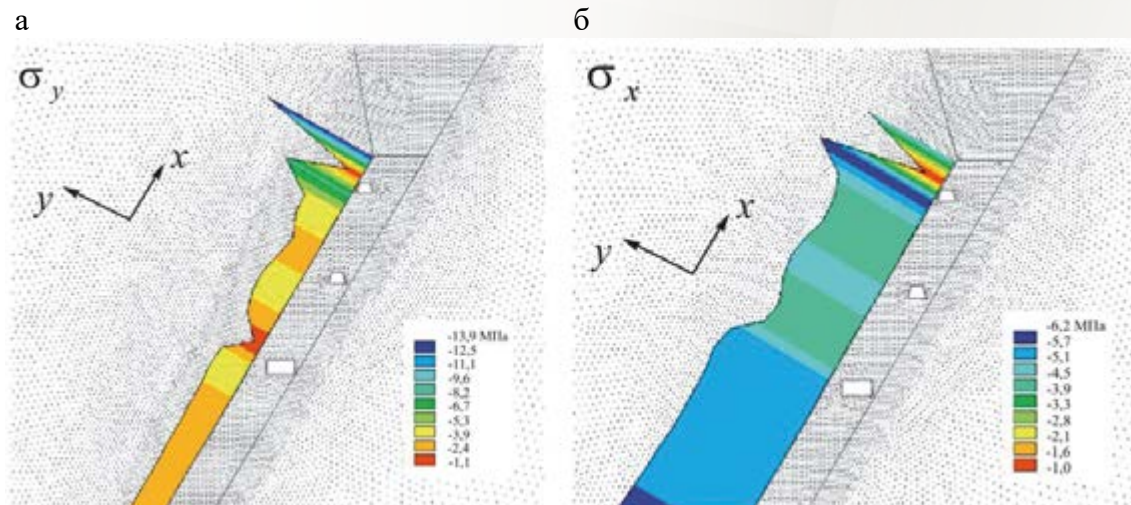


Рис. 4. Эпюры напряжений по линии контакта пласта с кровлей:
 а — напряжения, действующие в направлении нормальном к напластованию;
 б — напряжения, действующие в направлении параллельно к напластованию

Из рисунка 4, а видно, что эпюра напряжений σ_y , построенная по линии контакта пласта с породами висячего бока, имеет несколько максимумов, первый из которых — у краевой части массива — обусловлен формированием зоны опорного давления на границе с выработанным пространством вследствие отработки запасов 1-го подэтажа. Резкое снижение напряжений, наблюдаемое у вентиляционного штрека, обусловлено разгружающим эффектом, связанным с проведением указанной выработки непосредственно у пород висячего бока. Последующее увеличение напряжений в области, располагаемой ниже вентиляционного штрека, показывает, что указанная выработка находится в зоне опорного давления. Промежуточный подэтажный штрек не оказывает существенного влияния на эпюру напряжений вследствие его расположения у лежачего бока пласта за пределами зоны опорного давления, сформированной отработкой 1-го подэтажа. Резкое уменьшение напряжений на уровне добычного подэтажного штрека обусловлено его размерами, существенно превышающими параметры промежуточного и вентиляционного подэтажных штреков, и связанной с ними разгрузкой массива [3].

Следует отметить, что учитывая принятую схему подготовки запасов участка к выемке, предусматривающую проведение 3-х

подэтажных штреков в пределах подэтажа, и расположение вентиляционного подэтажного штрека 2-го и последующих подэтажей на расстоянии от краевой части массива на границе с выработанным пространством, определяемым шириной целика между подэтажами, в зоне опорного давления, сформированной вследствие отработки запасов вышерасположенных подэтажей, на данном этапе исследований следует основное внимание уделить его состоянию.

На следующем этапе исследований была выполнена оценка состояния целиков, оставляемых между подэтажами, с использованием расчетной схемы, представленной на рисунке 3, б. На рисунке 5 представлены зоны предельного состояния, сформировавшиеся в краевых частях массива при отработке углей с различными деформационно-прочностными характеристиками. Сопоставление рисунков 5, а и 5, б наглядно демонстрирует влияние механических характеристик на формирование зон предельного состояния в массиве горных пород. Так, на рисунке 5, б (по сравнению с рисунком 5, а) области предельного состояния, располагающиеся как в межэтажном целике, так и в целике между подэтажами, существенно увеличиваются, проходя через весь целик.

Таким образом, при равном уровне геостатических напряжений на рассматриваемых

глубинах состояние целиков при отработке углей средней крепости является устойчивым на протяжении длительного времени, разрушение их происходит лишь в результате накопления и развития деформаций, и, для тех же условий, целик полностью переходит в предельное состояние при отработке углей слабых и трещиноватых.

Следует подчеркнуть, что имеющиеся данные о деформационно-прочностных характеристиках литологических разностей могут быть использованы при задании характеристик реального массива только с учетом фактической природной и техногенной трещиноватости, т. е. требуют применения коэффициента структурного ослабления, который должен уточняться с учетом существующих систем трещин для каждого выемочного участка. Поэтому на данном этапе исследований использованы усредненные деформационно-прочностные характеристики с учетом реального диапазона их варьирова-

ния с целью установления закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния в функции механических характеристик.

Следует также отметить существенное влияние деформационно-прочностных характеристик угля на состояние вентиляционных подэтажных штреков, располагаемых в непосредственной близости от краевой части массива — в зоне опорного давления. Так, на рисунке 6 представлены изолинии деформаций, развивающихся в окрестности вентиляционных подэтажных штреков, при их расположении у лежачего бока пласта при отработке углей различной прочности на глубине порядка 300 м. Как видно из рисунка 6, прочностные характеристики угля, при прочих равных условиях, могут определять состояние участков подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ.

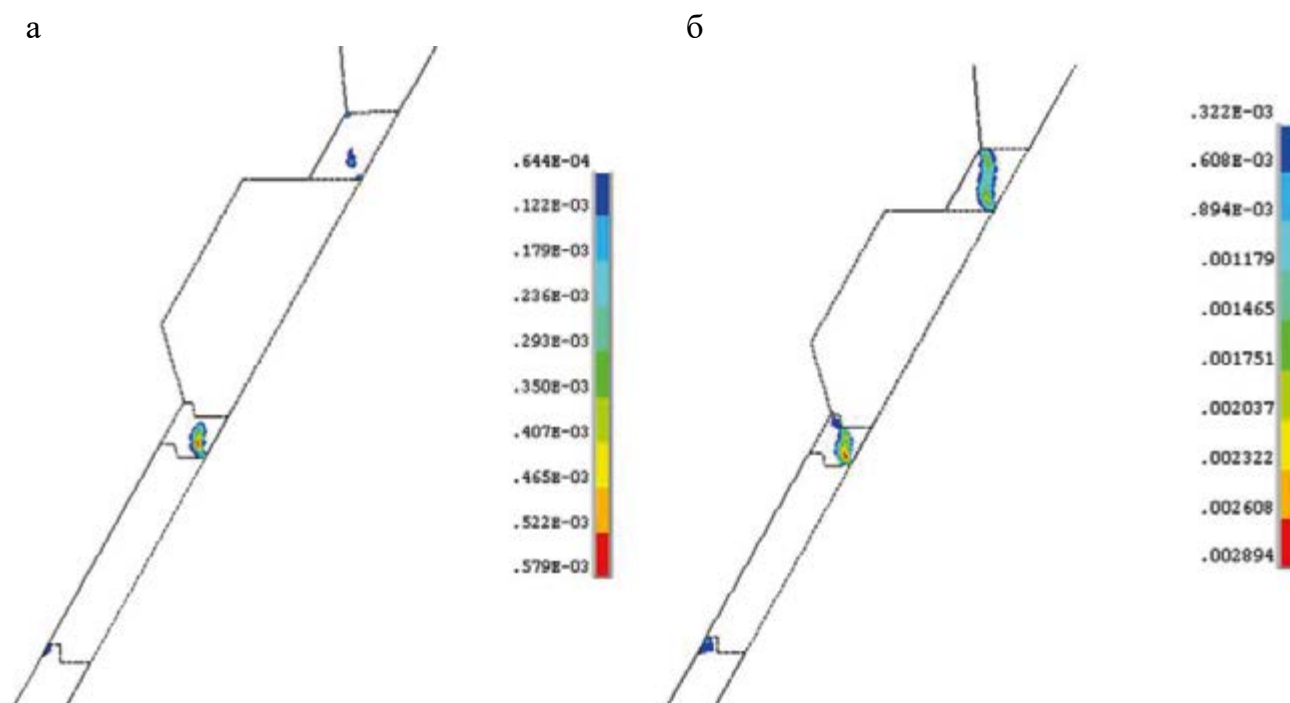


Рис. 5. Формирование зон горизонтальных деформаций при отработке запасов горизонта +0 м:
а — угли средней крепости и трещиноватости; б — слабые трещиноватые угли

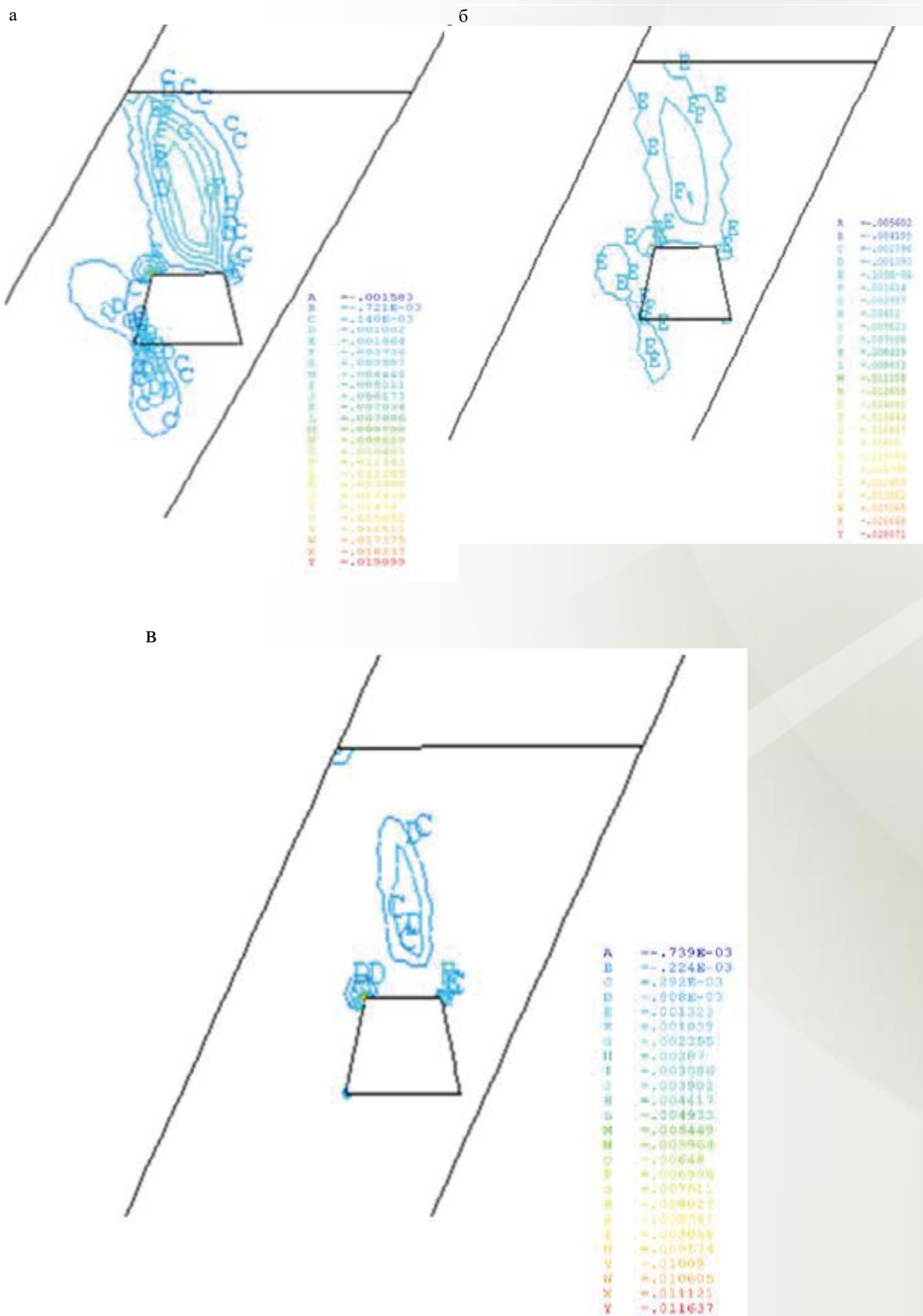


Рис. 6. Деформации в окрестности подэтажных штреков в зоне влияния очистных работ:
а — слабые трещиноватые угли; б — угли средней крепости; в — крепкие угли

Выполненные исследования НДС массива при использовании систем разработки с подэтажной отбойкой и выпуском угля позволили сделать следующие выводы:

1. Устойчивость подэтажных вентиляционных штреков 2-го и последующих подэтажей в зонах влияния очистных работ определяется шириной оставляемого целика между подэтажами, глубиной ведения горных работ и деформационно-прочностными характеристиками разрабатываемого пласта.

2. При отработке пластов мощностью 4–8 м на глубинах до 300 м эксплуатационное состояние вентиляционного штрека в течение всего срока его эксплуатации обеспечивается оставлением целика шириной 4–6 м. При этом нижнее значение указанного диапазона соответствует условиям отработки прочных слаботрешиноватых пластов, верхнее значе-

ние — слабых и трещиноватых. При переходе на более глубокие горизонты и росте уровня напряжений и деформаций в целиках указанных параметров устойчивое состояние вентиляционного подэтажного штрека не обеспечивается, в связи с чем требуется увеличение ширины целиков до 8 м.

3. Наклонная высота подэтажей для обеспечения эффективного управления кровлей должна приниматься не более 30 м. Фактическая наклонная высота подэтажей на конкретном выемочном участке определяется наклонной высотой этажа, которая существенно зависит от угла залегания пласта и может принимать значения от 100 до 156 м (в диапазоне углов залегания от $\alpha=90^\circ$ до $\alpha=40^\circ$). Кроме того, при определении высоты подэтажа следует учитывать ширину оставляемого целика между подэтажами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедарев Н.Т., Костюк С.Г., Семенцов В.В. Обоснование параметров разработки мощных крутых пластов системами с подэтажным обрушением на основе физического моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 4. — С. 5–10.
2. Оценка возможности использования подберковой системы эксплуатации крутых пластов типа «Казимеж-Юлиуш» в условиях ООО «Шахта № 12». — Краков, 2007. — Заказ № 3/01/N/2007 от 30.01.2007 г. — GEOTECH II.
3. Семенцов В.В. Обоснование параметров разработки мощных крутых газоносных пластов Прокопьевско-Киселевского месторождения с подэтажным обрушением и выпуском угля: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. — СПб., 2013. — 151 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.02.004

UDC 622:273.25-274.3

© V.V. Sementsov, M.S. Dobrovolskiy, E.V. Nifanov, M.P. Shabalin, 2018

V.V. Sementsov

Candidate of Engineering Sciences, Laboratory Head

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru

M.S. Dobrovolskiy

Senior Researcher

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: m.dobrovolsky@nc-vostnii.ru

E.V. Nifanov

Researcher

JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: e.nifanov@nc-vostnii.ru

M.P. Shabalin

Senior Researcher

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: maxim_shabalin1975@mail.ru

GEOMECHANICAL PARAMETERS DETERMINATION OF SUBLEVEL CAVING MINING SYSTEMS FOR THICK STEEP COAL SEAMS

In the article the results of researches of the stress-strain state of the rock mass and its development during the mining of the thick steep coal seams of Prokopevsko–Kiselevskoye deposit with sublevel caving mining systems are given.

Keywords: UNDERGROUND MINING, BROW CAVING, STRAIN-STRESS STATE, THICK STEEP COAL SEAMS.

REFERENCES

1. Bedarev N.T., Kostyuk S.G., Sementsov V.V. Obosnovanie parametrov razrabotki moshchnykh krutyykh plastov sistemami s podetazhnym obrusheniem na osnove fizicheskogo modelirovaniya (Substantiation of parameters for thick steep coal seams mining by sublevel caving systems on the basis of physical modeling). Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2012. № 4. pp. 5–10.
2. Otsenka vozmozhnosti ispolzovaniya podberkovoy sistemy ekspluatatsii krutyykh plastov tipa «Kazimezh-Yuliush» v usloviyakh OOO «Shakhta № 12» (An assesement of the shrinkage method of extraction for thick steep coal seams resembling «Kazimierz-Juliusz» used in coal mine OOO «Shakhta № 12»). Krakov, 2007. Zakaz № 3/01/N/2007 ot 30.01.2007 g. GEOTECH II.
3. Sementsov V.V. Obosnovanie parametrov razrabotki moshchnykh krutyykh gazonosnykh plastov Prokopevsko-Kiselevskogo mestorozhdeniya s podetazhnym obrusheniem i vypuskom uglya: dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk (Determination of sublevel caving mining systems for thick steep coal seams of Prokopevsk-Kiselevsk deposits: in candidacy for a cand. degree). Spb., 2013. 151 p.