

УДК 622.831

Инж. ГАПЕЕВ С.Н., кандидаты техн. наук БОРЩЕВСКИЙ С.В. (ДонНТУ), МАСЛЕННИКОВ Е.В. (НГУ, Днепропетровск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПУЧЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТОК, РАСПОЛОЖЕННЫХ В СЛОЖНОСТРУКТУРНОМ МАССИВЕ

Общие положения. Современная угольная шахта представляет собой сложный производственный комплекс, в котором подготовительные работы находятся по значимости и трудоемкости на втором месте после очистных работ. От своевременного и качественного проведения подготовительных выработок, а также от надежного их поддержания в рабочем состоянии, в значительной мере зависит нормальное функционирование, как отдельных шахт, так и отрасли в целом.

Увеличение глубин разработки, вовлечение в разработку месторождений со сложными горно-геологическими условиями, увеличение пролетов вскрывающих и подготавливающих выработок — все это привело к резкому и более интенсивному проявлению горного давления.

Одной из причин, приводящих выработки в состояние, непригодное для эксплуатации, является пучение пород почвы. Для шахт Добропольского региона Донбасса эта проблема продолжает оставаться одной из важнейших, для ликвидации последствий пучения привлекаются большие трудовые затраты и денежные ресурсы [1].

Анализ информации. Сложное по своей природе, явление вспучивания пород почвы давно привлекает внимание ученых, но, несмотря на значительный объем исследований по этому вопросу, природа пучения остается до конца не ясной. Критический анализ публикаций [2] показывает, что попытки объяснения механизма этого вредного явления строятся на различных подходах и теориях, что свидетельствует о том, что всякая особенность в свойствах пород или в структуре массива оказывает дополнительное влияние на протекание процесса пучения.

При проведении лабораторных исследований пучения зачастую используется метод физического моделирования на эквивалентных материалах. Основополагающие принципы этого метода достаточно широко описаны в литературе [3, 4 и др.] и в настоящей статье не рассматриваются.

С использованием метода эквивалентных материалов автором [5] были проведены исследования вспучивания почвы одиночной выработки для случая однородного массива, послужившие, наряду с обширными натурными данными, основой для серьезных аналитических исследований пучения и разработки физической модели этого явления.

Проявления пучения в одиночной выработке, почва которой сложена слоями различной мощности и крепости, были объектом лабораторных экспериментов на эквивалентных материалах, проведенных автором [6].

Однако, наличие мощного слоя крепкой породы в основной кровле выработки, имеющее место при разработке пласта 18 на шахте «Белозерская» ГХК «Добропольеуголь» [7], и его влияние на проявление пучения в выработке, в упомянутых выше работах не учитывалось.

Постановка задачи. Целью настоящей статьи является описание хода и результатов экспериментов, проводимых на моделях из эквивалентных материалов, по изучению явления вспучивания пород почвы одиночной закрепленной выработки, в

основной кровле которой залегает слой крепкой пород, анализ полученных результатов и формулирование выводов.

Основная часть. Для изучения явления пучения почвы в выработке, в надлежащих породах которой расположен пласт более крепкой породы, проведена серия экспериментов с использованием метода физического моделирования на эквивалентных материалах.

В ходе экспериментов для изготовления моделей использовались т.н. «много-разовые» смеси, в которых связующим веществом является парафин.

При приготовлении смесей были использованы песчано-парафино-графитовые составы, рецептура которых рекомендована в работе [8]. Компоненты в смеси входили в следующих соотношениях:

1. Состав № 1 (соответствующий породам типа «алевролиты»): песок — 94,8%, парафин — 2,9%, графит — 0,7%, солидол — 0,5% по массе;

2. Состав № 2 (соответствующий более крепким породам типа «песчаники»): соответственно — 92,3%, 6,4%, 0,8% и 0,5%.

Физико-механические параметры пород природы и используемых в ходе эксперимента материалов [8] приведены в таблице 1. Смесей, составленные по данной рецептуре, хорошо отражают свойства пород шахт Добропольского региона Донбасса.

Табл. 1. Основные физико-механические параметры материалов природы и имитирующих их смесей

Характеристика материала	Состав №1		Состав №2	
	натура	модель	натура	модель
Предел прочности на сжатие, МПа	40	0,23...0,28	65	0,42...0,46
Модуль упругости, МПа	$0,9 \cdot 10^4$	$0,013 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$0,0207 \cdot 10^4$
Объемная масса, т/м ³	2,5	1,6...2,0	2,6	1,6...2,0
Коэффициент Пуассона	0,23	0,23	0,21	0,21

Моделирование проводилось на плоском стенде, имеющемся в лаборатории моделирования и конструкционных материалов кафедры строительных геотехнологий и конструкций Национального горного университета. Размеры рабочей камеры стенда — 600×500×50 мм, передняя стенка — из прозрачного оргстекла толщиной 30 мм. Стенд позволяет изготавливать модели с масштабом от 1:50 до 1:200.

При приготовлении смесей и изготовлении моделей были использованы рекомендации, изложенные в работах [5, 6].

В ходе экспериментов сравнивалась качественная картина развития процесса пучения почвы одиночной выработки для однородного массива (т.е. при нулевой мощности крепкого слоя в кровле) и при наличии в надлежащей над выработкой толще слоя крепкой породы.

Принятый масштаб моделирования — 1:100. Слои во всех моделях укладывались горизонтально; нижняя граница слоя крепкой породы располагалась на одинаковой высоте от почвы выработки, равной 5 м в натуральных условиях (5 см на модели); мощность крепкого слоя задавалась ступенчато — от 0 до 25 м (от 0 до 25 см на модели), с шагом 5 м. Для снижения количества влияющих факторов наличие угольного пласта не учитывалось.

Нагружение проводилось при помощи рычажной системы плоского стенда, нагрузка задавалась ступенчато, сначала по 5 кг, а затем, при достижении нагрузкой

величины 40 кг — по 2 кг, с целью получения плавной картины изменения состояния модели. Нагружение проводилось до величины внешней нагрузки, равной 54 кг, что было вызвано опасностью разрушения стенда.

Для регистрации результатов нагружения был применен метод фотофиксации.

Фактически, с учетом отладки процесса моделирования, всего было испытано 30 моделей.

На рис. 1 представлен общий вид моделей на заключительном этапе нагружения. На фото видна трещина в почве, которая всякий раз возникала в процессе эксперимента.

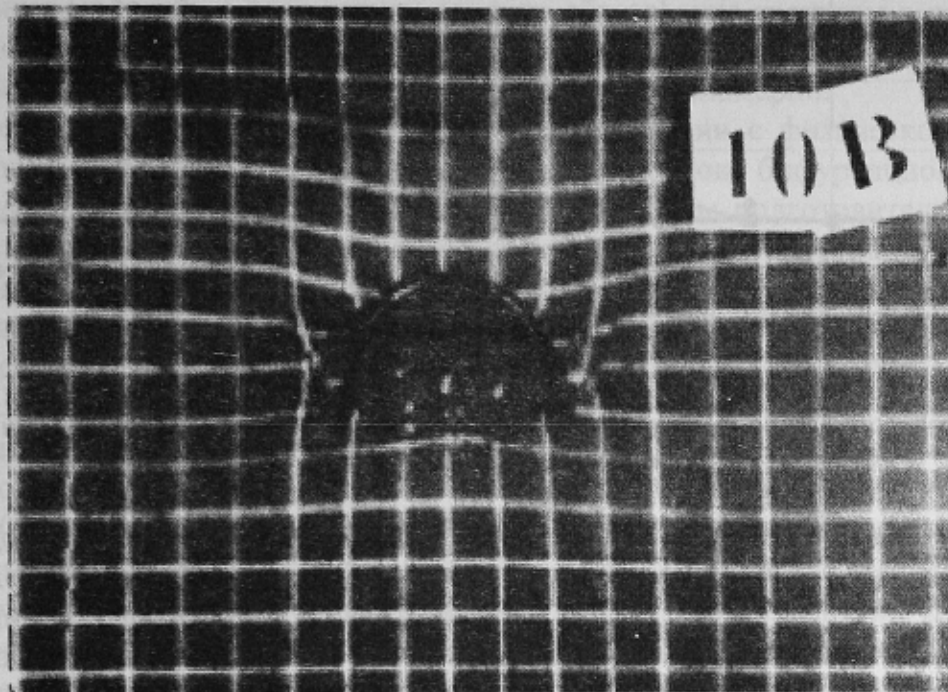


Рис.1. Внешний вид модели на заключительном этапе нагружения

По результатам обработки полученных экспериментальных данных построены зависимости величины смещений почвы U от величины внешней нагрузки P на рычаге при различной мощности крепкого слоя, представленные на рис. 2. Точки на графиках, в которых наблюдается изгиб, соответствуют этапу нагружения модели, при котором образовалась трещина в почве. Как видно, после образования трещины смещения почвы существенно возросли во всех сериях опытов. Кроме того, видно, что с возрастанием мощности крепкого слоя величина смещений точки в почве снижается, т.е., интенсивность пучения имеет обратно пропорциональную зависимость от мощности крепкого слоя в кровле.

Анализируя рис.3, на котором представлены зависимости вида $\frac{dU}{dP} = f(P)$,

характеризующие скорость приращения смещений точки на контуре выработки в зависимости от величины внешней нагрузки, можно выделить на графиках три характерные, явно выраженные зоны:

1) зону нулевых смещений, которая соответствует начальному этапу нагружения модели, когда каких-либо видимых перемещений контура зафиксировано не было;

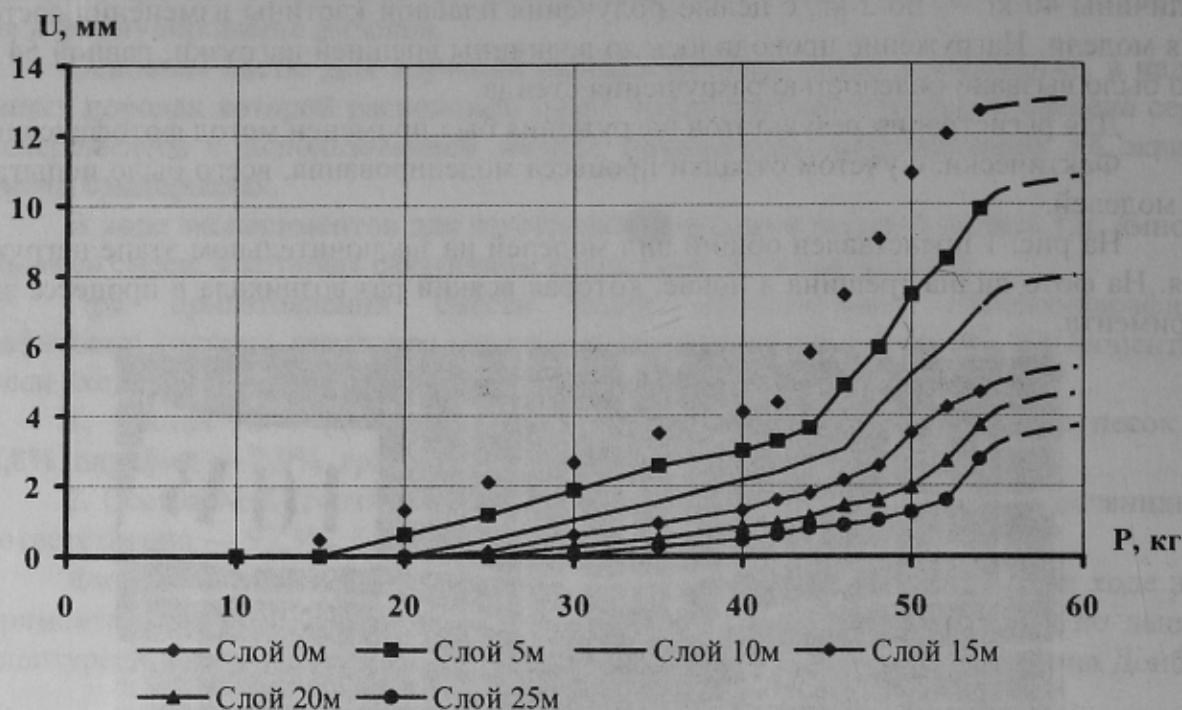


Рис.2. Зависимости величины смещений почвы от нагрузки на рычаге при различной мощности крепкого слоя в надлежащей толще

2) зону видимых смещений, соответствующую этапу нагружения модели, при котором развивалась зона разрыхления вокруг выработки, пройденной в модели;

3) зону интенсивных смещений, соответствующую этапу нагружения модели, при котором возникало пучение почвы. Эта зона характеризуется резким ростом смещений точки на контуре почвы. При этом внешняя нагрузка возрастала равномерно (по 2 кг).

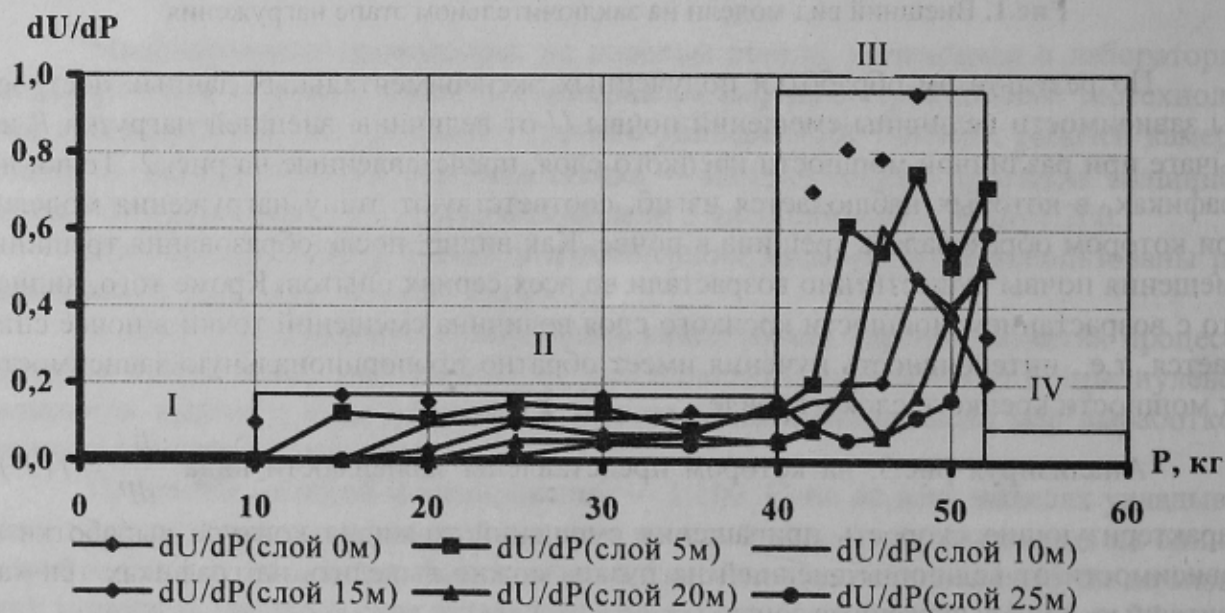


Рис.3. Зависимость величины $\frac{dU}{dP}$ от величины нагрузки на рычаге при различной мощности крепкого слоя в основной кровле

Кроме указанных трех зон, на рис. 3 выделена четвертая зона — зона развития процесса пучения, в пределах которой смещения на контуре в почве могут затухать, нарастать или стабилизироваться, в зависимости от горно-геологических особенностей массива и физико-механических свойств слагающих его пород.

Переход из зоны II в зону III происходит после образования трещины в почве, т.е., момент образования трещины можно рассматривать как начало пучения почвы в выработке.

Таким образом, можно выделить некоторые общие особенности процесса деформирования моделей во всех сериях опытов: образование трещины в почве являлось началом пучения; с момента образования трещины скорость смещений почвы резко возрастала притом, что величина нагрузка росла равномерно.

Отмеченные особенности находятся в соответствии с физической моделью пучения пород, предложенной А.Н. Шашенко [9] на основе бифуркационного подхода. Согласно этой модели, явление вспучивания почвы подготовительной выработки рассматривается как механическое явление потери упругопластической устойчивости равновесия геомеханической системы «выработка — породный массив», когда незначительному приращению одного параметра (в данном случае — внешней нагрузки) соответствуют значительные приращения другого параметра (в данном случае — смещений точки на контуре почвы).

Тогда, момент образования трещины в почве можно рассматривать как начало потери устойчивости системы «выработка — породный массив», а зона интенсивных смещений (зона III на рис. 3) является зоной потери устойчивости системы.

Рассматривая зависимость величины критической нагрузки, при которой происходит потеря устойчивости системы «выработка — породный массив», от мощности крепкого слоя в основной кровле (рис.4), можно сделать следующий вывод: чем мощнее крепкий слой, тем позже происходит потеря устойчивости системы.

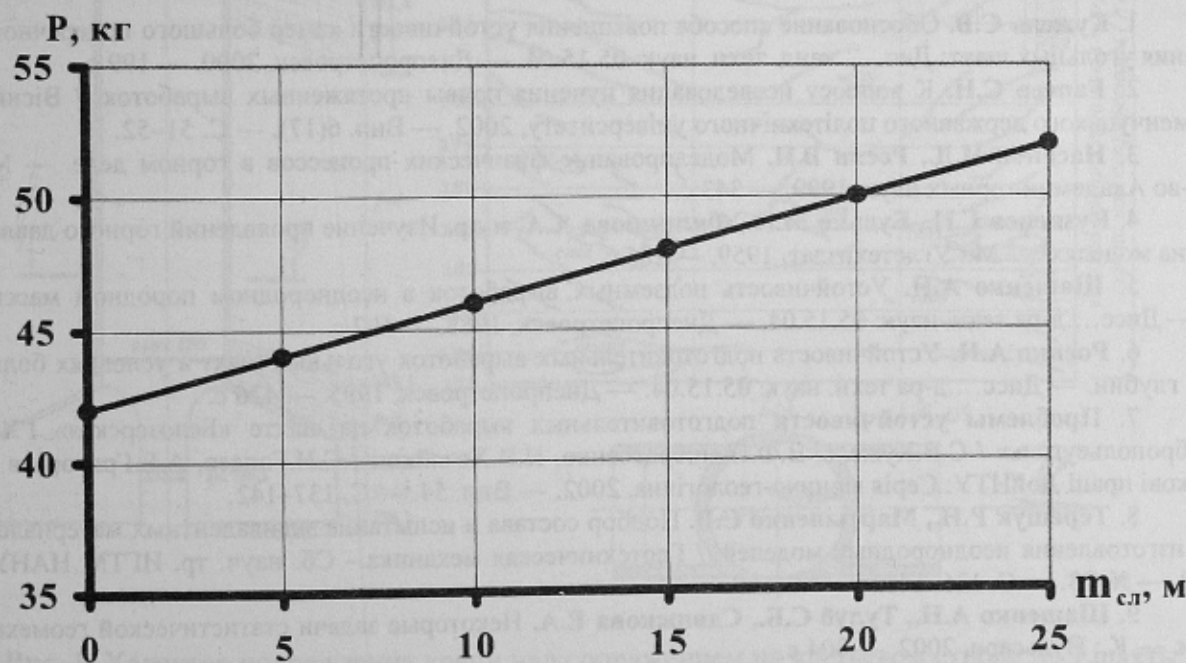


Рис.4. Зависимость величины критической нагрузки от мощности крепкого слоя в кровле выработки

Выводы. Анализ результатов проведенной серии экспериментов на моделях из эквивалентных материалов приводит к следующим выводам:

— наблюдаемый эффект пучения почвы находится в соответствии с физической моделью пучения, предложенной А.Н. Шашенко, и протекает в виде потери упруго-пластической устойчивости геомеханической системы «выработка — породный массив»;

— на графиках, отражающих скорость развития деформаций в приконтурном массиве, явно выражены три характерные зоны: зона нулевых смещений, зона видимых смещений и зона потери устойчивости системы;

— момент образования трещины в почве, всегда возникавший в процессе нагружения в каждом опыте, можно рассматривать как начало потери устойчивости системы «выработка — породный массив»;

— величина внешней нагрузки в модели, при которой происходит потеря устойчивости приконтурного массива (момент образования трещины в почве), имеет прямо пропорциональную зависимость от мощности крепкого слоя в основной кровле выработки;

— интенсивность пучения имеет обратно пропорциональную зависимость от мощности крепкого слоя в основной кровле.

Полученные при проведении данных экспериментов результаты имеют качественный характер и не могут быть прямо использованы при разработке различных критериев оценки проявления или прогнозирования пучения. Однако их применение вполне обосновано при постановке в численном виде задачи о потере упругоэластической устойчивости приконтурного массива.

Библиографический список

1. Кужель С.В. Обоснование способа повышения устойчивости камер большого поперечного сечения угольных шахт: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.04. — Днепропетровск, 2000. — 199 с.
2. Гапеев С.Н. К вопросу исследования пучения почвы протяженных выработок // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, 2002. — Вип. 6(17). — С. 51–52.
3. Насонов И.Д., Ресин В.И. Моделирование физических процессов в горном деле. — М: Изд-во Академии горных наук, 1999. — 343 с.
4. Кузнецов Г.Н., Будько М.Н., Филиппова А.А. и др. Изучение проявлений горного давления на моделях. — М.: Углетехиздат, 1959. — 285 с.
5. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве. — Дисс.... д-ра техн. наук: 05.15.04. — Днепропетровск, 1988. — 507 с.
6. Роечко А.Н. Устойчивость подготовительных выработок угольных шахт в условиях больших глубин. — Дисс.... д-ра техн. наук: 05.15.04. — Днепропетровск, 1995. — 426 с.
7. Проблемы устойчивости подготовительных выработок на шахте «Белозерская» ГХК «Добропольеуголь» / С.В.Кужель, В.Ф.Панибратченко, Н.В.Хозяйкина, С.Н.Гапеев, А.Е.Григорьев // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна, 2002. — Вип. 54. — С. 137–142.
8. Терещук Р.Н., Мартыненко С.В. Подбор состава и испытание эквивалентных материалов для изготовления неоднородных моделей // Геотехническая механика.— Сб. науч. тр. ИГТМ НАНУ, 2000. — № 23. — С. 136–141.
9. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. — К.: Пульсари, 2002. — 304 с.

© Гапеев С.Н., Борщевский С.В., Масленников Е.В., 2003