

УДК 622.83:622'112.4

Закономерности пучения пород почвы пластовых выработок

Исследованы закономерности интенсивности проявления горного давления в почве пластовых выработок шахт Западного Донбасса в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий их поддержания. Установлены три схемы развития процесса пучения и получены корреляционные соотношения параметров для каждой из них.

Ключевые слова: горно-геологические условия, пучение почвы, горное давление, напряженно-деформированное состояние.

Контактная информация: v_domna@yahoo.com

Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) системы массив – пластовая выработка выявил такие общие факторы, генерирующие проявления пучения в подготовительных выработках [1]:

- воздействие растягивающих вертикальных напряжений σ_v , формирующих расслоения пород непосредственной и верхней части основной почвы;
- выдавливание слабых пород, находящихся на стадии разупрочнения и разрыхления, в полость выработки под воздействием более крепкого угольного пласта, формирующего подобие зоны опорного давления в боках выработки, – так называемый эффект штампа;
- формирование в более крепких алевролитах и песчаниках относительно небольшой мощности квазипластических шарниров (под воздействием растягивающих и повышенных сжимающих горизонтальных компонент напряжений σ_x), которые увеличивают подвижность слоев и могут интенсифицировать процесс пучения.

Перечисленные факторы в той или иной степени присутствуют при пучении пород постоянно, однако преобладающее действие одного из них заложено в принцип объединения геомеханических условий, отражающих реальные горно-геологические условия поддержания пластовых выработок на шахтах Западного Донбасса.

Первая группа условий характеризуется достаточно устойчивым состоянием пород почвы, когда близлежащие слои представлены разными по мощности и механическим свойствам литологическими разностями (на глубину не меньше 6 м), но имеют повышенное расчетное сопротивление сжатию $R_{сж}^n \geq 20$ МПа с учетом действия факторов, ослабляющих породу. В итоге поднятие почвы генерируется исключительно ограниченной областью действия растягивающих вертикальных компонент напряжений σ_v , которые неспособны создать существенное пучение U_n почвы в полость выработки и в разных вариантах структуры пород почвы не приводят к превышению $U_n = 20...30$ мм. Поэтому эта группа горно-геологических условий не представляет практического интереса для планирования мероприя-



В. Г. СНИГУР, инж.
(ПСП «Шахтоуправление
«Терновское» ПАО «ДТЭК
Павлоградуголь»)

тий по борьбе с пучением пород почвы – эксплуатационное состояние выработки прогнозируется вполне удовлетворительным.

Вторая группа условий – противоположность первой, поскольку отражает горно-геологическую ситуацию, когда близлежащие к выработке породные слои почвы представлены нередко обводненными аргиллитами и алевролитами малой крепости. Такое развитие пучения почвы назовем *1 схемой*. Потенциально это наиболее опасная (исходя из устойчивости пород почвы) группа горно-геологических условий. Благодаря малой крепости пород (в том числе из-за действия разупрочняющих факторов обводненности, трещиноватости и т. д.) сначала создаются условия интенсивного прогиба породных слоев, затем усиливается изгиб за счет повышенных горизонтальных напряжений и в результате весь объем породы от одной зоны повышенного горного давления переходит в предельное и запредельное состояния, характеризующиеся не только разупрочнением, но и разрыхлением породы, которая, увеличиваясь в объеме, перемещается в полость выработки. Данный вывод о формировании обширных зон предельного (запредель-

ного) состояния пород почвы подтверждается расчетами НДС для разных вариантов структур, когда пучение $U_{\text{п}}$ стабильно превышает 300–400 мм.

Существенно отличается механизм развития пучения при достаточно распространенной горно-геологической ситуации залегания в близлежащей почве пластовой выработки алевролита или аргиллита малой крепости и нижележащего более крепкого песчаника, где основные влияющие параметры: мощность $m_1^{\text{п}}$ первого слоя пород; мощность $m_2^{\text{п}}$ второго слоя пород из песчаника; мощность $m_3^{\text{п}}$ третьего слоя пород и его сопротивление сжатию $\sigma_{\text{сжз}}^{\text{п}}$ представленного аргиллитом или алевролитом.

Возможен также вариант залегания песчаника в третьем слое после аргиллита или алевролита второго слоя. Такое пучение назовем *II схемой* развития пучения. В этих условиях схема развития пучения существенно преобразуется из-за расположения слабого разупрочненного слоя непосредственной почвы между двумя прочными слоями: сверху – угольный пласт, снизу – жесткий песчаник.

Для разупрочненного аргиллита или алевролита характерна значительная подвижность (подобие пластического течения), и под воздействием эффекта штампа угольный пласт деформируется в вертикальном и горизонтальном направлениях, чему препятствует целостный и жесткий песчаник в основной почве. Тогда перемещения алевролита не распространяются вглубь почвы, а их вектор изменяет направление от косонаправленного вглубь почвы до косонаправленного в сторону выработки. Происходит как бы отражение направления перемещений разупрочненного и разрыхленного алевролита от жесткой преграды в виде песчаника достаточной мощности, т. е. жесткий песчаник во втором породном слое усиливает проявления пучения вследствие создания направленного течения нарушенной породы в полость выработки.

Указанное представление о механизме протекания процесса пучения подтверждается расчетами для разной структуры близлежащей почвы. Таким образом, на процесс пучения (в данных условиях) в основном влияют два фактора: активизация перемещений слабого аргиллита или алевролита непосредственной почвы за счет жесткого основания, представленного песчаником; ограничение жестким песчаником перемещений нижележащих породных слоев почвы.

Схема III развития пучения пород почвы существенно отличается от рассмотренных и характеризуется следующей структурой: в непосредствен-

ной почве залегают породы малой крепости, второй породный слой представлен песчаником мощностью до 1,5–2 м, а в третьем слое залегает слабый алевролит или аргиллит. Поведение такой структуры (встречается в почве угольных пластов) с чередованием слоев пониженной и повышенной прочности характеризуется относительно независимым [2] переходом каждого породного слоя в предельное и запредельное состояния, что подтвердили и расчеты.

При весьма слабых породах первого и третьего слоев песчаник представляет собой жесткую плиту, нагруженную как со стороны кровли, так и со стороны почвы, причем распределение нагрузки достаточно невыгодно с точки зрения устойчивости песчаника. Концентрация напряжений в песчанике разрушает его ($m_2^{\text{п}} \leq 1,5 \dots 2$ м). Это приводит к образованию распорной системы, состоящей из разрушенных блоков песчаника, которая имеет реакцию сопротивления перемещению пород почвы. Возникновение распорной системы в песчанике зависит не только от его мощности $m_2^{\text{п}}$, но и от мощностей первого $m_1^{\text{п}}$ и третьего $m_3^{\text{п}}$ слабых породных слоев.

Закономерность развития пучения раскрывается повышенной подвижностью распорной системы в песчанике, которая усиливает интенсивность перемещений первого слоя в полость выработки, а также усилением движения распорной системы в песчанике за счет пластического течения пород в третьем породном слое. Исходя из этого (оба фактора действуют в одном направлении) высота пучения напрямую связана с избыточным объемом пород от разрыхления, зависящего прежде всего от мощности первого слоя.

Результаты анализа НДС системы массив – пластовая выработка логически объясняются в предложенном механизме развития пучения, который отображен тремя принципиальными схемами, так как единого поведения разнообразной и неоднородной структуры пород почвы не может быть по самой природе геомеханических процессов.

В процессе выполнения анализа результатов многовариантных вычислительных экспериментов выявлено, что допустимая (по мнению большинства специалистов) высота пучения не более 200–300 мм формируется, когда все три близлежащих породных слоя почвы (на глубине не менее 6 м) имеют расчетное сопротивление сжатию $R_i^{\text{п}} \geq 10$ МПа. Поэтому основное внимание уделено условиям, когда в породах почвы есть хотя бы один слой с $R^{\text{п}} < 10$ МПа.

РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

По результатам многовариантных расчетов установлены закономерности связи пучения $U_{\text{п}}$ с наиболее влияющими параметрами: мощностью $m_{1,2,3}^{\text{п}}$ и сопротивлением сжатию $R_{1,2,3}^{\text{п}}$ трех близлежащих породных слоев почвы; глубиной H размещения выработки; площадью $S_{\text{св}}$ поперечного сечения в свету выработки.

После обработки данных закономерностей методами корреляционно-дисперсионного анализа получено следующее уравнение регрессии с достаточно высоким коэффициентом множественной корреляции (0,69 – 0,76), что характеризует надежность выявленных зависимостей для прогноза высоты пучения:

$$U^{\text{п}} = 2980 \Phi_{\text{I,II,III}} K_H K_S / \left\{ R_1^{\text{п}} + \left[(0,6m_2^{\text{п}}R_2^{\text{п}} + 0,4m_3^{\text{п}}R_3^{\text{п}}) / (0,6m_2^{\text{п}} + 0,4m_3^{\text{п}}) - R_1^{\text{п}} \right] \exp(-0,8m_1^{\text{п}}) \right\},$$

где $\Phi_{\text{I}} = 1$ – для схемы I;

$\Phi_{\text{II}} = 1 + 0,5 \exp(-1,2m_1^{\text{п}})$ – для схемы II;

$\Phi_{\text{III}} = 1 + 0,5 \exp(-1,5m_1^{\text{п}})$ – для схемы III;

K_H – коэффициент, учитывающий влияние глубины H размещения выработки:

Средняя глубина размещения

выработки H , м	200	250	300	350	400	450	500	550	600
K_H	0,43	0,56	0,7	0,85	1,0	1,14	1,3	1,47	1,65

Для крепи типа КМП-А3 значение коэффициента K_S [3] влияния площади крепи на площадь сечения выработки определено для каждого типоразмера крепи. Так, для площади поперечного сечения в свету выработки до осадки:

$S_{\text{св}}, \text{м}^2$	9,2	11,2	13,8	15,5	18,3
K_S	0,74	0,86	1,00	1,09	1,23

Аналогично для крепи КШПУ:

$S_{\text{св}}, \text{м}^2$	9,5	10,5	11,7	12,1	14,4	17,7
K_S	0,76	0,82	0,89	0,91	1,03	1,20

Выводы

1. Разработана стратегия подхода к прогнозной оценке состояния пород почвы на всем протяжении выработки при меняющейся горно-геологической ситуации, которая разделена на три обобщенные схемы, полностью охватывающие условия поддержания пластовых выработок на шахтах Западного Донбасса.

2. Обосновано определяющее влияние параметров близлежащих породных слоев (на высоту в кровлю и глубину в почву до 10 – 15 м) на процесс развития пучения в пластовых выработках. Они имеют гармонический закон распределения как литотипов, так и мощности, что учтено построением широкого диапазона расчетных вариантов геомеханической модели. Это позволило отразить в максимально полном объеме многообразие горно-геологических условий поддержания пластовых выработок на шахтах Западного Донбасса.

3. Получены корреляционные зависимости для расчета размера пучения с достаточно высоким коэффициентом множественной корреляции. Они учитывают распределение мощности и сопротивления

сжатию породных слоев по глубине непосредственной и основной почвы, но отличаются простотой и доступностью использования при прогнозировании пучения для разных схем развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черняк И. Предотвращение пучения почвы горных выработок / И. Черняк. – М.: Недра, 1973. – 273 с.
2. Бондаренко В. И. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Кн. 2. Предельное и запредельное состояние системы «порода – крепь»: монография / В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович, В. В. Фомичев. – Днепропетровск: Системные технологии, 2007. – 198 с.
3. Бондаренко В. И. Прогноз перемещений контура пластовой выработки в слоистом массиве слабых пород: монография / В. И. Бондаренко, М. А. Ильяшов, И. А. Ковалевская и др. – Днепропетровск: Системные технологии, 2008. – 193 с.