

И.А. Ковалевская, В.Г. Снигур, А.В. Малыгин

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ УГЛЕВМЕЩАЮЩЕЙ ТОЛЩИ С ПУЧЕНИЕМ ПОЧВЫ ПЛАСТОВЫХ ВЫРАБОТОК**

*Исследованы закономерности интенсивности проявления горного давления в почве пластовых выработок в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий их поддержания. Установлены три схемы развития процесса пучения и получены корреляционные соотношения параметров для каждого варианта.*

---

### **ЗАКОНОМІРНОСТІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ПАРАМЕТРІВ ВУГЛЕВМІЩУЮЧОЇ ТОВЩИ ЗІ ЗДИМАННЯМ ПІДОШВИ ПЛАСТОВИХ ВИРОБОК**

*Досліджено закономірності інтенсивності прояву гірського тиску в підшві пластових виробок залежно від гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов їхньої підтримки. Встановлено три схеми розвитку процесу здимання й отримано кореляційні співвідношення параметрів для кожного варіанта.*

---

### **REGULARITIES OF INTERRELATION OF COAL-BEARING STRATA PARAMETERS WITH IN-SEAM MINE WORKINGS BOTTOM HEAVING**

*Regularities of intensity of rock pressure manifestation in bottom of in-seam mine-workings depending on mine-geological and mine-technical conditions of its supporting are analyzed. Three schemes of heaving process development and parameters correlation ratio for each variant are established.*

---

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение горно-геологических и горнотехнических условий поддержания пластовых выработок шахт Западного Донбасса показывает, что даже в пределах одного шахтного поля по отдельно взятому пласту его почва характеризуется значительным разнообразием структуры при локальном воздействии ослабляющих породу факторов, что в совокупности создает условия для существенного колебания интенсивности проявлений горного давления в почве пластовых выработок. Выявленная неоднозначность влияния структуры и свойств пород почвы на ее НДС предопределяет

неоднозначность проявлений пучения в почве пластовой выработки. Поэтому использован комплексный подход в трактовании закономерностей: анализ эпюр перемещений почвы подкрепляется причинами, выявленными из анализа особенностей поля распределения каждой компоненты напряжений. Например, при одной и той же структуре близлежащих пород почвы, но разных механических характеристиках ее слоев эпюры компонент напряжений коренным образом отличаются друг от друга, что обуславливает разную величину пучения почвы  $U_{II}$ . В то же время встречаются варианты, в которых значения

$U_{II}$  примерно одинаковы, но их развитие достигается принципиально разными особенностями распределения поля напряжений. Поэтому именно комплексная методология анализа позволила выявить и объяснить ряд принципиальных схем развития пучения почвы в пластовых выработках. Установленные закономерности развития пучения, связанные со структурой и свойствами близлежащих пород почвы угольного пласта, не противоречат, а дополняют и конкретизируют сложившиеся представления [1] о механизме протекания данного процесса. Анализ НДС системы «массив – пластовая выработка» позволил выявить три общих фактора, генерирующих проявления пучения в подготовительных выработках:

– воздействие растягивающих вертикальных напряжений  $\sigma_y$ , формирующих зону (по форме «перевернутого» свода естественного равновесия) расслоения пород непосредственной и верхней части основной почвы;

– выдавливание весьма 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  $\sigma_x$ ), которые увеличивают подвижность данного слоя и могут интенсифицировать процесс пучения.

Все перечисленные факторы в той или иной степени присутствуют постоянно, однако преобладающее действие одного из них заложено в принцип объединения геомеханических условий в четыре группы и разделения процесса пучения на соответствующие варианты развития, отражаю-

щие реальные горно-геологические условия поддержания пластовых выработок на шахтах Западного Донбасса.

## ОБОСНОВАНИЕ И АНАЛИЗ СХЕМ РАЗВИТИЯ ПУЧЕНИЯ ПОЧВЫ

*Первая группа условий* характеризуется достаточно устойчивым состоянием пород почвы, когда ее близлежащие слои представлены разными по мощности и механическим свойствам литологическими разностями, но они все имеют повышенное расчетное сопротивление сжатию  $\sigma_{сж_i}^{II} \geq 20$  МПа с учетом действия ослабляющих породу факторов. В итоге, поднятие почвы генерируется исключительно ограниченной областью действия растягивающих вертикальных компонент напряжений  $\sigma_y$ , которые не способны создать сколь-нибудь существенных перемещений  $U_{II}$  почвы в полость выработки, и в разных вариантах структуры пород почвы не приводит к превышению  $U_{II} = 20 - 30$  мм. Поэтому первая группа горно-геологических условий не представляет практического интереса в ракурсе планирования мероприятий по борьбе с пучением пород почвы – по данному фактору эксплуатационное состояние выработки прогнозируется вполне удовлетворительным.

*Вторая группа условий* является прямой противоположностью первой, поскольку отражает горно-геологическую ситуацию, когда близлежащие породные слои почвы представлены аргиллитами и алевролитами малой крепости, которые, к тому же, нередко обводнены. Потенциально это наиболее опасная (с точки зрения устойчивости пород почвы) группа горно-геологических условий; для систематизации дальнейших исследований формируемые представления названы нами «схема I развития пучения». Малая крепость пород (в том числе и по причине действия разупрочняющих факторов обводненности, трещиноватости и т.п.) сначала создает ус-

ловия интенсивного прогиба породных слоев, затем усиливает изгиб за счет повышенных горизонтальных напряжений, и в результате весь объем породы от одной зоны повышенного горного давления (в левом боку выработки) до другой (в правом боку) переходит в предельное и запредельное состояния, характеризующиеся не только разупрочнением, но и разрыхлением породы, которая, увеличиваясь в объеме, перемещается в направлении наименьшего сопротивления, то есть, в полость выработки. Данный вывод о формировании обширных зон предельного (запредельного) состояния пород почвы убедительно подтверждает серия расчетов НДС для разных вариантов структур, когда величина пучения  $U_{II}$  стабильно превышала 300 – 400 мм при отсутствии в нижних слоях песчаника.

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 основными влияющими параметрами являются мощность  $m_1^{II}$  первого слоя, мощность  $m_2^{II}$  второго слоя из песчаника, сопротивление сжатию  $\sigma_{сжз}^{II}$  третьего слоя, представленного аргиллитом или алевролитом; возможен также вариант залегания песчаника в третьем слое после аргиллита или алевролита второго слоя («схема II развития пучения»). В этих условиях механизм развития пучения существенно преобразуется по причине расположения слабого разупрочненного слоя непосредственной почвы между двумя прочными слоями: сверху – угольный пласт, снизу – жесткий песчаник. Разупрочненный аргиллит или алевролит обладает значительной подвижностью (подобие пластического течения), и под воздействием «жесткого штампа» (угольный пласт) деформируются в вертикальном и горизон-

тальном направлениях, чему препятствует целостный и жесткий песчаник в основной почве. Тогда перемещения алевролита не распространяются в глубину почвы, а их вектор изменяет направление от косонаправленного в глубину почвы до косонаправленного в сторону выработки: происходит как-бы «отражение» направления перемещений разупрочненного и разрыхленного алевролита от жесткой преграды в виде песчаника достаточной мощности. То есть, жесткий песчаник во втором породном слое усиливает проявления пучения за счет создания направленного течения нарушенной породы в полость выработки. Такое представление о механизме протекания процесса пучения подтверждается серией расчетов для разной структуры близлежащей почвы. В целом, можно сделать вывод, что на процесс пучения (в данных условиях) основное влияние оказывают два фактора: активизация перемещений слабого аргиллита или алевролита непосредственной почвы за счет жесткого основания, представленного песчаником; ограничение жестким песчаником перемещений нижележащих породных слоев почвы.

Еще один вариант («схема III развития пучения») пород почвы существенно отличается от рассмотренных и характеризуется следующей структурой: в непосредственной 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 (которая реально встречается в почве пластов) с чередованием слоев пониженной и повышенной прочности характеризуется относительно независимым [2] переходом каждого породного слоя в предельное и запредельное состояния, что подтвердили и проведенные расчеты. При весьма слабых породах первого и третьего слоев песчаник представляет собой жесткую плиту, нагруженную как со стороны своей кровли, так и со стороны почвы, причем распределение нагрузки достаточно невыгодно с точки зрения устойчивости песчаника.

В сечениях концентраций напряжений происходит разрушение песчаника относительно небольшой мощности  $m_2^{II} \leq 1,5 - 2$  м и создается из его блоков подобие распорной системы, которая, тем не менее, имеет некоторую реакцию сопротивления перемещению пород. Возникновение распорной системы в песчанике зависит не только от его мощности  $m_2^{II}$ , но и от мощностей первого  $m_1^{II}$  и третьего  $m_3^{II}$  слабых породных слоев. Закономерность развития пучения раскрывается двумя факторами: повышенной подвижностью распорной системы в песчанике, которая усиливает интенсивность перемещений первого слоя в полость выработки; усилением движения распорной системы в песчанике за счет пластического течения пород в третьем породном слое. Таким образом, когда оба фактора действуют в одном направлении, величина пучения напрямую связана с избыточным объемом пород от разрыхления, зависящего, в первую очередь, от мощности первого слоя.

В итоге, результаты анализа НДС системы «массив – пластовая выработка» нашли свое логическое объяснение в предложенном механизме развития пучения, который отображен тремя принципиальными схемами ввиду того, что единого поведения разнородной 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) величина пучения не более 200 – 300 мм формируется, когда все три близлежащих породных слоя почвы (на глубине не менее 6 м) имеют расчетное сопротивление сжатию  $R_i^{II} \geq 10$  МПа. Поэтому основное внимание уделено условиям, когда в породах почвы, включающих хотя бы один слой с  $R^{II} < 10$  МПа; отдельные наборы вариантов распределения  $R_i^{II}$  представлены в табл. 1 и 2.

ВАРИАНТЫ ЗНАЧЕНИЙ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ  $R_i^{II}$   
ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ ПРИ СХЕМЕ I РАЗВИТИЯ ПУЧЕНИЯ

Таблица 1

Вариант		$A_1$	$B_1$	$B_1$	$\Gamma_1$	$D_1$	$E_1$
$R_i^{II}$ , МПа	$R_1^{II}$	3	3	5	5	10	10
	$R_2^{II}$	5	10	3	10	3	5
	$R_3^{II}$	10	5	10	3	5	3

ВАРИАНТЫ ЗНАЧЕНИЙ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ  $R_i^{II}$   
ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ ПРИ СХЕМАХ II И III РАЗВИТИЯ ПУЧЕНИЯ

Таблица 2

Вариант		$A_{II,III}$	$B_{II,III}$	$B_{II,III}$	$\Gamma_{II,III}$	$D_{II,III}$	$E_{II,III}$
$R_i^{II}$ , МПа	$R_1^{II}$	3	3	5	5	10	10
	$R_2^{II}$	30	50	50	30	30	50
	$R_3^{II}$	3	10	3	10	3	10

Для относительно неоднородных слабых пород (схема I) наблюдается разная степень влияния параметров  $R_1^{II}$  и  $m_1^{II}$

непосредственной почвы в зависимости от ее мощности (рис. 1): при малой мощности  $m_1^{II} = 0,5$  м влияние  $R_1^{II}$  минимально, а

величина пучения определяется параметрами основной почвы; при повышенной мощности непосредственной почвы ( $m_1^{\Pi} > 4$  м) влияние основной сводится к минимуму, и определяющим фактором в развитии пучения является только сопротивление сжатию  $R_1^{\Pi}$ ; в интервале  $0,5 \text{ м} \leq m_1^{\Pi} \leq 4 \text{ м}$  на величину пучения оказывают влияние все исследуемые параметры  $R_i^{\Pi}$  и  $m_i^{\Pi}$ , но с разным удельным вкладом в этот процесс.

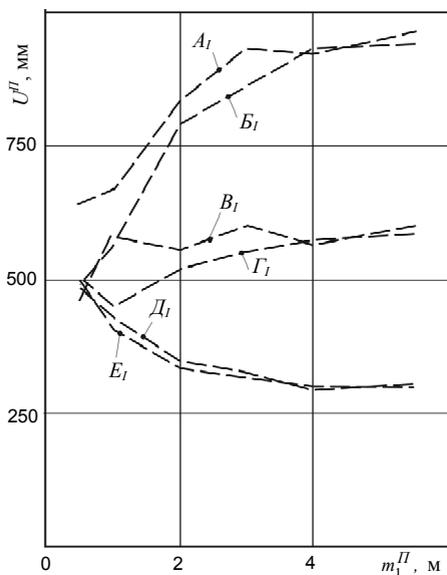


Рис. 1. Закономерности изменения величины пучения (по схеме I его развития) от мощности  $m_1^{\Pi}$  непосредственной почвы для вариантов сочетаний расчетного сопротивления сжатию  $R_i^{\Pi}$  близлежащих породных слоев по табл. 1

По установленным закономерностям проанализированы тенденции влияния параметров  $R_i^{\Pi}$  и  $m_i^{\Pi}$  на величину пучения  $U_{II}$ , которые составляют базу для прогнозирования этого явления путем построения корреляционных связей. При  $m_1^{\Pi} > 4$  м решающее влияние оказывает только один

параметр (помимо глубины  $H$  размещения выработки) – расчетное сопротивление первого породного слоя сжатию  $R_1^{\Pi}$ . На рис. 2 четко прослеживается обратно пропорциональная связь  $U^{\Pi}$  и  $R_1^{\Pi}$  при разных значениях  $m_1^{\Pi}$ : при  $m_1^{\Pi} < 2$  м обратно пропорциональная связь выражена менее явно, так как здесь присутствует существенное влияние параметров  $R_{2,3}^{\Pi}$  и  $m_{2,3}^{\Pi}$  породных слоев основной почвы; с увеличением  $m_1^{\Pi}$  это влияние ослабевает и при  $m_1^{\Pi} > 4$  м практически исчезает. В данной области в закономерность связи  $U^{\Pi}$  и  $R_1^{\Pi}$  остальные параметры не вносят существенных искажений, что обуславливает достоверность ее аппроксимации уравнением вида (пунктирная кривая на рис. 3)

$$U^{\Pi}(R_1^{\Pi}) = \frac{2980}{R_1^{\Pi}}, \text{ мм.} \quad (1)$$

Для обоснования функции связи  $U^{\Pi}$  и  $m_1^{\Pi}$  использованы графики на рис. 1, которые указывают на необходимость выбора аппроксимирующего уравнения, обеспечивающего стабилизацию величины  $U^{\Pi}$  при  $m_1^{\Pi} > 4$  м вне зависимости от значений остальных параметров. Здесь в наибольшей степени подходит функция с одним из слагаемых в виде экспоненты с аргументом  $m_1^{\Pi}$ , которая дает асимптотическое приближение уравнения  $U^{\Pi}(m_1^{\Pi})$  при больших  $m_1^{\Pi}$  к некоторому постоянному значению

$$U^{\Pi}(m_1^{\Pi}) = \frac{a_1}{1 + a_2 \exp(-a_3 m_1^{\Pi})}, \quad (2)$$

где  $a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты аппроксимации.

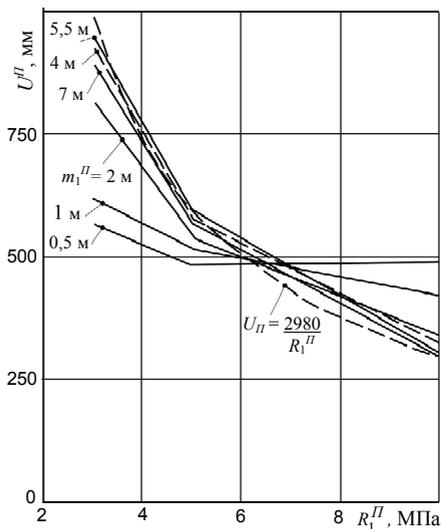


Рис. 2. Закономерности изменения величины пучения  $U^{\text{II}}$  от расчетного сопротивления сжатию  $R_1^{\text{II}}$  породы непосредственной почвы при различной его мощности  $m_1^{\text{II}}$  (схема 1)

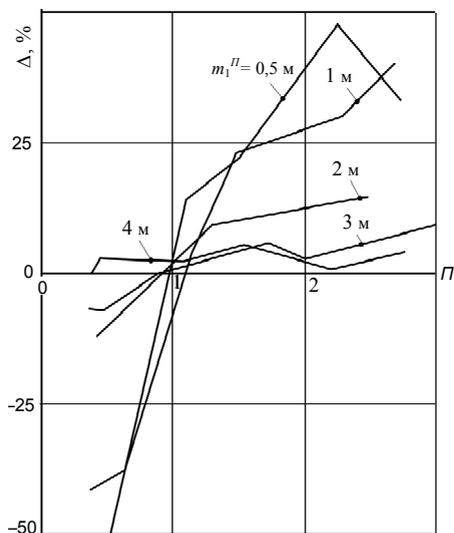


Рис. 3. Относительное изменение  $\Delta$  величины пучения в зависимости от обобщенного параметра  $\Pi$  влияния основной почвы при разной мощности  $m_1^{\text{II}}$  непосредственной почвы

Влияние параметров  $R_{2,3}^{\text{II}}$  и  $m_{2,3}^{\text{II}}$  основной почвы целесообразно (по результатам серии вычислительных эксперимен-

тов) учитывать через отношение к расчетному сопротивлению сжатию  $R_1^{\text{II}}$  непосредственной почвы, используя безразмерный параметр  $\Pi$

$$\Pi = \frac{K_2 m_2^{\text{II}} R_2^{\text{II}} + K_3 m_3^{\text{II}} R_3^{\text{II}}}{(K_2 m_2^{\text{II}} + K_3 m_3^{\text{II}}) R_1^{\text{II}}}, \quad (3)$$

показывающий удельный вес сопротивления сжатию  $R_{2,3}^{\text{II}}$  основной почвы по отношению к  $R_1^{\text{II}}$  непосредственной почвы (здесь  $K_2$  и  $K_3$  – коэффициенты влияния мощностей  $m_{2,3}^{\text{II}}$  второго и третьего породных слоев; изменяются в интервале  $0 \leq K_{2,3} \leq 1$ ). Также было установлено, что влияние перечисленных параметров на величину пучения существенным образом зависит от мощности  $m_1^{\text{II}}$  непосредственной почвы в диапазоне  $m_1^{\text{II}} < 4$  м; поэтому прослежены закономерности связи пучения  $U^{\text{II}}$  с обобщенным параметром  $\Pi$  для разных дискретных значений  $m_1^{\text{II}}$ . Кроме того, наиболее информативной величиной, подверженной влиянию параметра  $\Pi$ , будет не абсолютное, а относительное значение изменения пучения

$$\Delta = \frac{U_y^{\text{II}} - U^{\text{II}}}{U_y^{\text{II}}} 100\%, \quad (4)$$

где  $U^{\text{II}}$  – текущая величина пучения для конкретного значения мощности  $m_1^{\text{II}}$  первого породного слоя;  $U_y^{\text{II}}$  – установившаяся величина пучения при  $m_1^{\text{II}} = 5,5$  м.

Закономерности изменения  $\Delta(\Pi)$  приведены на рис. 3 (при  $K_2 = K_3 = 1$ ), которые подтверждают ранее выявленную тенденцию снижения интенсивности влияния основной почвы слоев при увеличении мощности непосредственной почвы.

При малых значениях параметра  $\Pi$  (определяется пониженными значениями  $R_{2,3}^{\Pi}$  в сравнении с  $R_1^{\Pi}$ ) влияние породных слоев основной почвы происходит в сторону увеличения пучения, что вполне объяснимо, и соответствует существующим представлениям и нормативным методикам прогноза; при повышенных значениях  $\Pi$  влияние слоев основной почвы происходит в сторону снижения пучения, что также не противоречит известным исследованиям.

Достаточно постоянный характер закономерностей  $\Delta(\Pi)$  при разных мощностях непосредственной почвы указывает на то, что обобщенный параметр  $\Pi$  по формуле (3) вполне объективно отражает влияние параметров  $m_{2,3}^{\Pi}$  и  $R_{2,3}^{\Pi}$  основной почвы, что использовано при выводе уравнений регрессии для прогноза пучения пород почвы пластовой выработки по схеме I развития этого процесса.

Наличие песчаника в основной почве (схемы II и III) существенно изменяет закономерности развития величины пучения  $U^{\Pi}$  с ростом мощности  $m_1^{\Pi}$  непосредственной почвы, представленной слабым аргиллитом (рис. 4). Здесь, в отличие от схемы I, наблюдается стабильная закономерность возрастания  $U^{\Pi}$  с увеличением мощности  $m_1^{\Pi}$  непосредственной почвы вне зависимости от ее расчетного сопротивления сжатию  $R_1^{\Pi}$ . Рост функции  $U^{\Pi}(m_1^{\Pi})$  объясняется тем, что при слабой непосредственной почве увеличение ее мощности  $m_1^{\Pi}$  способствует увеличению объема наиболее подвижных разупрочненных пород, которые при своем перемещении в глубь почвы (от жесткого угольного пласта) изменяют направление смещений благодаря жесткому песчанику и излишек их объема (от разупрочнения и разрыхления) имеет одно свободное направление движения – полость выработки.

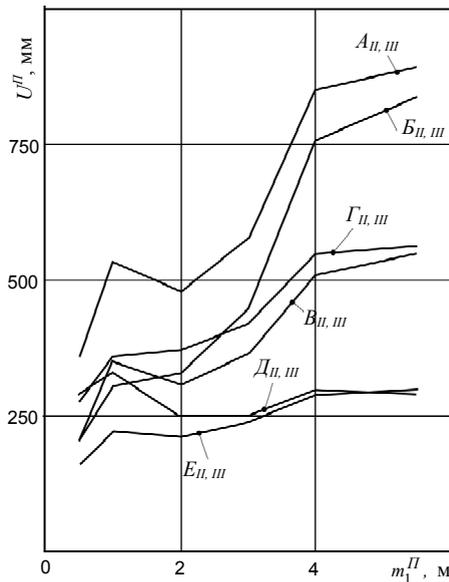


Рис. 4. Закономерности изменения величины пучения (по схемам II и III его развития) от мощности  $m_1^{\Pi}$  непосредственной почвы для вариантов сочетаний расчетного сопротивления сжатию  $R_1^{\Pi}$

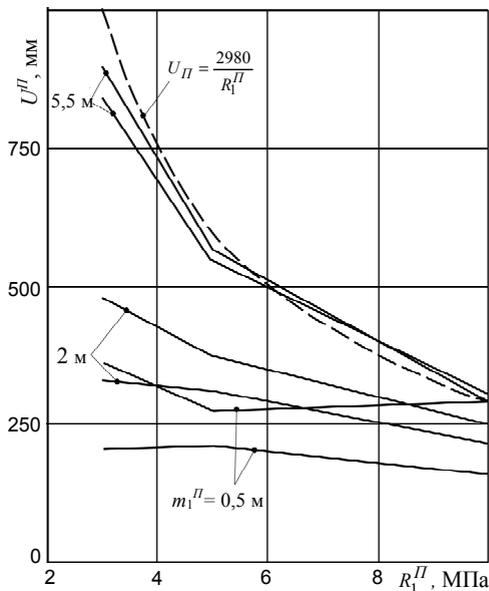


Рис. 5. Закономерности изменения величины пучения  $U^{\Pi}$  от расчетного сопротивления сжатию  $R_1^{\Pi}$  пород непосредственной почвы при различной ее мощности  $m_1^{\Pi}$ , структуре и свойствах основной почвы (схемы II и III)

Установлено, что при незначительном влиянии основной почвы закономерность  $U^{\Pi}(R_1^{\Pi}, m_1^{\Pi})$  описывается тем же уравнением (1), что и при схеме I развития пучения (рис. 5, пунктирная линия). При  $m_1^{\Pi} < 4$  м влияние основной почвы возрастает, а величина пучения уменьшается вплоть до допустимого значения  $U_{дон}^{\Pi} \leq 300$  мм за счет более крепкого песчаника, залегающего в основной почве.

Для описания установленного влияния структуры и свойств основной почвы использован обобщенный параметр  $\Pi$  по формуле (3) по аналогии со схемой I развития пучения.

По результатам многовариантных расчетов установлены закономерности связи величины пучения  $U_{\Pi}$  с наиболее влияющими параметрами: мощность  $m_{1,2,3}^{\Pi}$  и сопротивление сжатию  $R_{1,2,3}^{\Pi}$  трех близлежащих породных слоев почвы; глубина  $H$  размещения выработки; площадь  $S_{св}$  в свету поперечного сечения выработки. После обработки данных закономерностей методами корреляционно-дисперсионного анализа получены следующие уравнения регрессии с достаточно высоким коэффициентом множественной корреляции (0,69 – 0,76), что характеризует надежность выявленных зависимостей для прогноза величины пучения:

$$U^{\Pi} = \frac{2980\Phi_{I,II,III}K_H K_S}{R_1^{\Pi} + \left( \frac{0,6m_2^{\Pi} R_2^{\Pi} + 0,4m_3^{\Pi} R_3^{\Pi}}{0,6m_2^{\Pi} + 0,4m_3^{\Pi}} - R_1^{\Pi} \right) \exp(-0,8m_1^{\Pi})}, \quad (5)$$

где  $\Phi_I = 1$  – для схемы I;

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

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

$K_H$  – коэффициент, учитывающий влияние глубины  $H$  размещения выработки (определяется по табл. 3);

$K_S$  – коэффициент влияния типоразмера сечения выработки (определяемый в соответствии с [3] по табл. 4).

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  $K_H$  УЧЕТА ГЛУБИНЫ  $H$  РАЗМЕЩЕНИЯ ВЫРАБОТКИ

Таблица 3

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

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  $k_S$  ВЛИЯНИЯ ТИПОРАЗМЕРА СЕЧЕНИЯ ВЫРАБОТКИ

Таблица 4

Вид крепи	Площадь поперечного сечения в свету до осадки $S_{св}$ , м <sup>2</sup>					
$\frac{КМП - АЗ}{k_S}$	$\frac{9,2}{0,74}$	$\frac{11,2}{0,86}$	$\frac{13,8}{1,00}$	$\frac{15,5}{1,09}$	$\frac{18,3}{1,23}$	
$\frac{КШПУ}{k_S}$	$\frac{9,5}{0,76}$	$\frac{10,5}{0,82}$	$\frac{11,7}{0,89}$	$\frac{12,1}{0,91}$	$\frac{14,4}{1,03}$	$\frac{17,7}{1,20}$

## ВЫВОДЫ

1. Разработана стратегия подхода к прогнозной оценке состояния пород почвы на всем протяжении выработки при меняющейся горно-геологической ситуации, которая разделена на три обобщенных варианта, полностью охватывающих 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. Выполнено комплексное обоснование геомеханической модели системы «массив – пластовая выработка» в рамках реализации главного условия – максимально достоверное отражение:

– структуры и свойств близлежащих пород кровли и почвы угольных пластов в полном диапазоне их колебаний;

– точное воспроизведение паспорта проведения и крепления выработки с моделированием конструктивных особенностей элементов крепи;

– моделирование механических свойств всех элементов системы «массив – пластовая выработка» по полной диаграмме деформирования их материалов.

4. Анализ результатов расчета НДС системы выявил неоднозначность влияния на процесс пучения структуры и свойств близлежащих пород почвы: с одной стороны, подтверждается общеизвестная тенденция снижения перемещений почвы при увеличении сопротивления пород сжатию; с другой, – на процесс накладывается воздействие значительной неоднородности свойств; это воздействие усиливается при большом диапазоне колебаний мощности смежных слоев и возможности разрушения маломощного песчаника. Установлены разные тенденции развития пучения с ростом объемов разупрочняющихся пород почвы, где одним из главных факторов являются особенности ее структуры, которые раскрыты в разработанном механизме протекания этого геомеханического процесса.

5. Проведено всестороннее обоснование закономерностей влияния основных геомеханических факторов (структура и свойства пород, глубина размещения и площадь сечения выработки) на проявление пучения пород почвы пластовых выработок. Для каждой из трех установленных схем развития процесса пучения пород получены корреляционные зависимости для расчета величины пучения с достаточно высоким коэффициентом множественной корреляции. Эти зависимости учитывают распределение мощности и сопротивления сжатию породных слоев по глубине непосредственной и основной почвы, но отличаются простотой и доступностью использования при прогнозировании пучения почвы при разных вариантах его развития.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черняк И. Предотвращение пучения почвы горных выработок / И. Черняк. – М.: Недра, 1973. – 273 с.

2. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Книга 2. Предельное и запредельное состояние системы «порода –

крепь»: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Фомичев В.В.]. – Д.: Системные технологии, 2007. – 198 с.

3. Прогноз перемещений контура пластовой выработки в слоистом массиве слабых пород: монография / [Бондаренко В.И., Ильяшов М.А., Ковалевская И.А. и др.]. – Д.: Системные технологии, 2008. – 193 с.

## ОБ АВТОРАХ

*Ковалевская Ирина Анатольевна – д.т.н., профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.*

*Снигур Василий Григорьевич – директор ПСП «Шахтоуправление «Терновское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».*

*Малыхин Александр Владимирович – горный инженер, первый заместитель председателя Шевченковской районной администрации г. Киева.*