

М.В. Филатьев, Н.И. Антощенко, Р.Л. Гасюк, С.В. Пыжов

## **ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА СДВИЖЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ УГОЛЬНЫМИ ПЛАСТАМИ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*Разработана расчетная схема, которая комплексно учитывает размеры очистных выработок, параметры зоны полных сдвижений подработанных пород и мульды на земной поверхности. Приведен анализ зависимости параметров верхней границы зоны полных сдвижений подработанных пород и мульды на земной поверхности от развития очистных работ.*

---

### **УЗАГАЛЬНЕНА СХЕМА ЗРУШЕННЯ ПІДРОБЛЕНИХ ВУГІЛЬНИМИ ПЛАСТАМИ ПОРІД І ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ**

*Розроблена розрахункова схема, яка комплексно враховує розміри очисних виробок, параметри зони повних зрушень підроблених порід і мульди на земній поверхні. Наведено аналіз залежності параметрів верхньої межі зони повних зрушень підроблених порід і мульди на земній поверхні від розвитку очисних робіт.*

---

### **SCHEME GENERALIZED DISPLACEMENT UNDERMINED BY COAL BEDS ROCKS AND EARTH SURFAC**

*The calculation scheme that takes into account the sizes of stopping workings, the parameters of overall displacements of mined-out rocks and trough on surface area is developed. The analysis of dependence of parameters of upper limit of overall displacement zone of mined-out rocks and trough on surface on stopping operation advance is presented.*

---

## **ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы, учитывая возможности современной компьютерной техники, значительное развитие получило математическое моделирование процессов сдвижения подработанных пород и земной поверхности. Такое направление научных исследований является наиболее перспективным и актуальным, так как для его осуществления не требуется проведение длительных и трудоемких экспериментальных наблюдений. Степень соответствия получаемых расчетным способом параметров экспериментальным данным зависит от со-

вершенства математических моделей. За пять предыдущих лет произошло значительное их усложнение, которое сопровождалось увеличением количества используемых параметров. Первоначально математическое моделирование [1, 2] предусматривало определение параметров сдвижения только одной точки земной поверхности под влиянием движущегося очистного забоя. Влияние удаления очистного забоя от разрезной печи на развитие процессов сдвижения земной поверхности до полной ее подработки не рассматривалось.

## РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Схема максимального оседания земной поверхности при развитии очистных работ предложена профессором Назаренко В.А. [3]. Одним из основных параметров этой математической модели является траектория максимального оседания точек земной поверхности. Дополнительное ее применение в математических моделях позволило разработать обобщенную схему до и после образования плоского дна мульды земной поверхности [4].

На основании одного из научных положений диссертационной работы [5] обоснована зависимость верхней границы зоны полных сдвижений подработанных пород от степени развития очистных работ в пределах отдельного выемочного участка и всего шахтного поля.

Обобщив основные положения математических моделей [1 – 4] и результаты исследований [5], разработали расчетную схему [6], которая комплексно учитывает размеры очистных выработок, параметры зоны полных сдвижений подработанных пород и мульды на земной поверхности (рис. 1). Угол падения пласта условно принят равным нулю. Значения параметров отдельных элементов предложенной расчетной схемы взаимосвязаны между собой. Для получения адекватных конечных результатов теоретическая связь между параметрами должна описываться зависимостями, близкими к функциональным. Состояние изученности отдельных параметров не всегда позволяет обеспечить такую точность математического описания рассматриваемых процессов. Например, предполагается, что начало сдвижения земной поверхности ориентировочно происходит при удалении очистного забоя от разрезной печи на расстояние  $L_n$ , равное 0,1 – 0,3 глубины ( $H$ ) ведения горных работ [7]. Неоднозначность величины  $L_n$  не дает возможности установить ее функциональные связи с другими параметрами. Расчет-

ная схема (рис. 1) позволяет обосновать теоретические зависимости между ее отдельными элементами. Учитывая такие возможности целью работы является определение необходимого направления исследований для усовершенствования математического моделирования.

Основные геомеханические процессы сдвижения подработанных пород и земной поверхности происходят после первичной осадки основной кровли при удалении очистного забоя от разрезной печи на некоторое расстояние  $L'_0$ . Это расстояние в совокупности с длиной лавы ( $L_l$ ), глубиной ведения очистных работ ( $H$ ), мощностью разрабатываемого пласта ( $m$ ) определяет, при прочих равных условиях, местоположение точки ( $A$ ) начала сдвижения земной поверхности (рис. 2).

При незначительных углах падения разрабатываемых пластов (до  $5^\circ$ ) проекция точки  $A$  будет находиться ориентировочно над серединой выработанного пространства, на расстоянии, примерно равном половине удаления ( $L_n$ ) очистного забоя от разрезной печи (рис. 2). На положение точки  $A$ , кроме угла падения разрабатываемого пласта, могут влиять прочностные свойства подрабатываемых пород и скорость подвигания очистного забоя.

Расстояние  $L_n$  связано определенными соотношениями с  $L'_0$  и  $L_l$ . Значение  $L_n$  не может быть меньше  $L'_0$ , так как начало сдвижения земной поверхности должно происходить после осадки основной кровли. По этой причине в расчетной схеме должно соблюдаться условие  $L_n \geq L'_0$ .

От соотношения между  $L'_0$  и  $L_l$  зависит характер сдвижения подрабатываемых пород под влиянием первичных и последующих осадок основной кровли. Последующими осадками считали процессы сдвижения подработанных пород после первичной осадки основной кровли, под воздействием которых верхняя граница зоны полных сдвижений удаляется от разра-



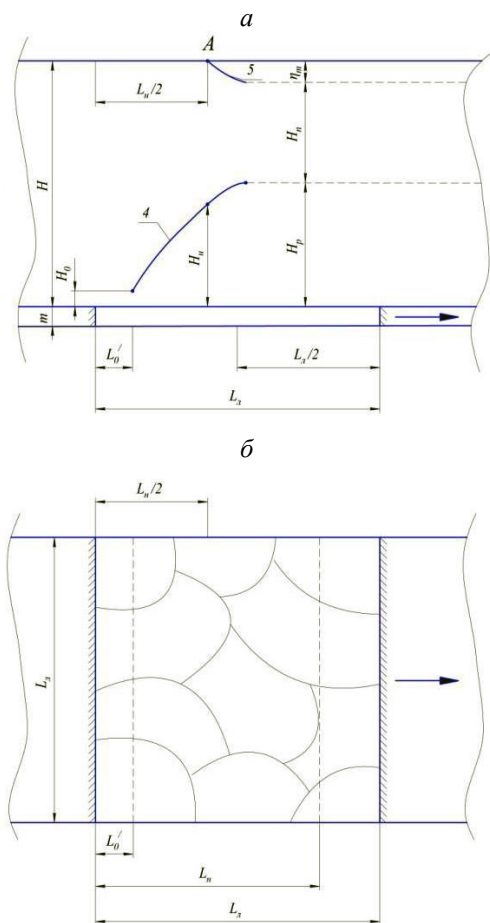


Рис. 2. Схема зависимости параметров верхней границы зоны полных сдвижений подработанных пород и мульды на земной поверхности (а) от развития очистных работ (б) при отработке одиночной лавы и выполнении соотношения  $L_n > L_n > L'_0$ :  $L'_0$ ,  $L_n$  – удаление очистного забоя от разрезной печи при первичной осадке основной кровли и начале сдвижения точки А на земной поверхности;  $H_0$ ,  $H_n$ ,  $H_p$  – верхние границы распространения зоны полных сдвижений в подработанных породах соответственно после первичной осадки основной кровли, начала сдвижения точки А на земной поверхности и образования квадрата выработанного пространства со стороны  $L_n$ ;  $\eta_m$  – максимальное оседание земной поверхности при удалении очистного забоя от разрезной печи на расстоянии более  $L_n$ ; остальные условные обозначения см. рис. 1

Последующие осадки возможны, если соблюдается условие  $L_n > L_n > L'_0$  (рис. 2). В этом случае после первичной осадки основной кровли наблюдается дальнейшее развитие процессов сдвижения пород в сторону земной поверхности. Под их влиянием при удалении очистного забоя от разрезной печи на расстояние, равное длине лавы и образованию квадрата выработанного пространства, формируется верхняя граница (4) зоны полных сдвижений [5]. Начало сдвижения точки А земной поверхности происходит для рассматриваемого случая после первичной осадки основной кровли до образования квадрата выработанного пространства со стороны  $L_n$ . После образования квадрата дальнейшее подвигание очистного забоя не приведет к увеличению максимального оседания земной поверхности ( $\eta_m$ ), так как верхняя граница зоны полных сдвижений будет находиться на неизменном расстоянии ( $H_p$ ) от разрабатываемого пласта.

Если между параметрами сложится соотношение  $L'_0 < L_n < L_n$ , то процессы сдвижения подработанных пород не будут достигать земной поверхности после отработки одной лавы (рис. 3). Образование мульды на земной поверхности возможно только после дальнейшей отработки очередных смежных лав и образования квадрата общего выработанного пространства со стороны равной или больше  $L_n$ .

При отработке угольных пластов длинными лавами в большинстве случаев наблюдается неравенство  $L_n > L'_0$ . Кроме таких вариантов возможны и другие соотношения. Отличающиеся между собой комбинации сочетания параметров  $L_n$ ,  $L'_0$  и  $L_n$  определяют разное протекание процессов сдвижения подработанных пород и земной поверхности. Анализируя сочетания этих параметров, теоретически возможно прогнозировать условия проявления первичной осадки основной кровли, положение верхней границы зоны полных

сдвижений подработанных пород и степень развития мульды на земной поверхности (см. табл.). Для количественной оценки параметров сдвижения подработанных пород и земной поверхности, используя схемы (рис. 1, 2 и 3), необходимо установить их аналитические зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий. Следует отметить, что из-за отсутствия доступа к некоторым объектам наблюдений не всегда необходимые параметры можно определить непосредственными замерами. Наиболее достоверные экспериментальные данные могут быть получены при определении размеров очистных выработок и маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности. О процессах, происходящих в подработанных породах, наряду с результатами наблюдений в шахте и на земной поверхности, можно судить по косвенным признакам.

К ним, например, относятся повышенное давление на крепь выработок, увеличение водо- и газопроявлений и некоторые другие изменения условий ведения горных работ. Трудноопределяемым параметром является значение  $L_n$ , так как очень сложно установить современными приборами факт и точку начала сдвижения земной поверхности. Эта задача разрешима, если на основании маркшейдерских наблюдений известна кривая (5) траектории максимального оседания ( $\eta_m$ ) точек земной поверхности (рис. 1, 2) в зависимости от проекции расстояния очистного забоя до разрезной печи. Значение  $L_n$  в рассматриваемом случае можно определить из условия  $\eta_m = 0$  [8].

До начала ведения очистных работ достоверно известны только некоторые параметры комплексной схемы (рис. 1, 2 и 3). К ним относятся мощность разрабатываемого пласта ( $m$ ), глубина его залегания ( $H$ ), угол падения ( $\alpha$ ), а также длина лавы ( $L_n$ ), которая принимается согласно программы развития очистных работ и возможности очистной техники. Для установления на этой стадии особенностей сдвижения под-

рабатываемых пород и земной поверхности (см. табл.) необходимо предварительно определить значения  $L'_0$  и  $L_n$ .

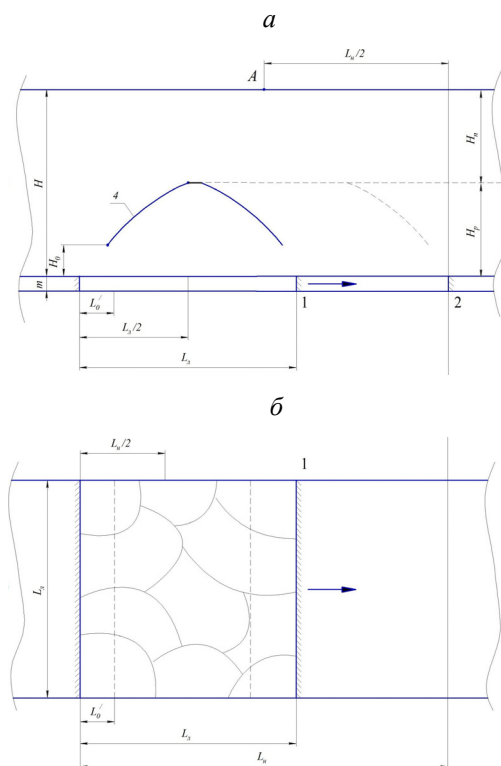


Рис. 3. Схема зависимости параметров верхней границы зоны полных сдвижений подработанных пород (а) от развития очистных работ (б) при отработке одиночной лавы и выполнении соотношения  $L_n < L_n < L'_0$ : 1 – положение очистного забоя при образовании квадрата выработанного пространства со стороны  $L_n$  и удалении верхней границы зоны полных сдвижений от разрабатываемого пласта на расстояние  $H_n$ ; 2 – положение очистного забоя, условно соответствующее образованию квадрата выработанного пространства со стороны  $L_n$ , необходимого для начала сдвижения точки А земной поверхности; остальные условные обозначения см. рис. 2

Ориентировочное значение параметра  $L_n$  рекомендовано нормативным документом [7], а  $L'_0$  – устанавливается актом о

первичной осадке основной кровли, составленным специальной комиссией под председательством главного инженера шахты. Рекомендации о косвенных признаках, по которым определяется факт

первичной осадки основной кровли, отсутствуют. Других данных о более точном определении параметров  $L'_0$  и  $L_n$  согласно нормативным документам нет.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ  $L_n, L_n, L'_0$  И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ПРОЦЕССЫ СДВИЖЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Таблица

Соотношение между параметрами $L_n$ и $L_n$	Возможные варианты соотношения $L_n$ и $L'_0$ при условии $L_n \geq L'_0$	Характерные особенности процессов, определяющие верхнюю границу распространения зоны полных сдвижений подработанных пород и степень подработки земной поверхности
$L_n < L_n$	$L_n > L'_0$	Первичная осадка основной кровли происходит до образования квадрата выработанного пространства со стороны $L_n$ . Возможны последующие осадки, но процессы сдвижения пород не достигают земной поверхности (рис. 3).
	$L_n = L'_0$	Первичная осадка основной кровли происходит при образовании квадрата выработанного пространства со стороны $L_n$ . Положение верхней границы зоны полных сдвижений по отношению к разрабатываемому пласту остается постоянным. Процессы сдвижения пород не достигают земной поверхности и мульда не образуется.
	$L_n < L'_0$	Первичная осадка основной кровли отсутствует. Сдвижение земной поверхности не происходит. Соотношение параметров характерны для протяженных выработок или отработки пластов камерами.
$L_n = L_n$	$L_n > L'_0$	После первичной осадки основной кровли происходят последующие до образования квадрата выработанного пространства со стороны $L_n = L_n$ . Процессы сдвижения пород достигают земной поверхности, но формирование мульды не происходит.
	$L_n = L'_0$	Первичная осадка происходит при образовании квадрата выработанного пространства со стороны $L_n = L'_0$ . Процессы сдвижения пород достигают земной поверхности, но формирование мульды не происходит.
$L_n > L_n$	$L_n > L'_0$	Первичная осадка основной кровли происходит до образования квадрата выработанного со стороны $L_n$ . Возможны последующие осадки, в результате которых процессы сдвижения пород достигают земной поверхности с образованием мульды (рис. 2).

Недостаточно изученным остается параметр  $H_p$ . Его значение необходимо при

прогнозе газовыделения из подрабатываемых сближенных пластов и вмещающих пород, а также при решении многих других

инженерных задач горного производства. Предлагаемая методика определения  $H_p$  [9] несовершенна, так как в ряде случаев расчетные значения превышают глубину ведения очистных работ  $H$  [10], что противоречит расчетным схемам (рис. 1, 2 и 3) и физическим представлениям о происходящих процессах.

Точность определения положения проекции точки  $A$  начала сдвижения земной поверхности по отношению к границам выработанного пространства (рис. 2) имеет важное значение для охраны объектов. В расчетной схеме при отработке горизонтально залегающего пласта проекция точки  $A$  находится над серединой выработанного пространства, что не учитывает возможное влияние угла падения пласта и скорости подвигания очистного забоя.

В расчетной схеме (рис. 1) введен новый параметр – угол полной подработки земной поверхности  $\psi_n$ . По своему смыслу он характеризует начало образования плоского дна мульды сдвижений на земной поверхности после прохода очистного забоя. Если выполняется условие  $H_p = H$ , значение угла  $\psi_n$  совпадает с углом полных сдвижений  $\psi_i$ . При  $H_p < H$  угол  $\psi_n$  должен несколько превышать  $\psi_i$  (рис. 1). Соотношение между  $\psi_n$  и  $\psi_i$  требует дополнительного изучения.

## ВЫВОДЫ

На основании разработанных схем (рис. 1, 2 и 3) и проведенного анализа установлена необходимость дополнительного изучения зависимости параметров от горно-геологических условий. Для успешной реализации математического моделирования с помощью обобщенной схемы сдвижения подработанных пород и земной поверхности необходимо провести исследования в следующих направлениях:

- изучить влияние на местоположение проекции точки  $A$  начала сдвижения земной поверхности (рис. 2) угла падения разрабатываемого пласта и скорости подвигания очистного забоя;

- установить зависимость траектории максимального оседания точек земной поверхности для разных горно-геологических и горнотехнических условий;

- обобщить имеющиеся экспериментальные данные, характеризующие условия первичной осадки основной кровли;

- выявить влияние размеров выработанного пространства (длины лавы  $L_n$ ) и других факторов ( $H$ ,  $t$ , прочностных свойств вмещающих пород и т.д.) на формирование параметров  $L'_0$ ,  $L_n$ ,  $H_p$ ,  $\eta_m$ ,  $\eta_0$ ;

- изучить зависимость угла полной подработки земной поверхности от горно-геологических и горнотехнических факторов.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулибаба С. Б. Характер развития процесса сдвижения земной поверхности во времени над движущимся очистным забоем / С.Б. Кулибаба, М.Д. Рожко, Б.В. Хохлов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2010. – № 7. – С. 40 – 54.

2. Гавриленко Ю. Н. Прогнозирование сдвижений земной поверхности во времени / Ю. Н. Гавриленко // Уголь Украины. – 2011. – № 6. – С. 45 – 49.

3. Назаренко В.А. Закономерности развития максимальных оседаний и наклонов поверхности в мульде сдвижения / В.А. Назаренко, Н.В. Йощенко. – Д.: НГУ, 2011. – 91 с.

4. Чепурная Л.А. Обобщённая схема сдвижения земной поверхности до и после образования плоского дна мульды / Л.А. Чепурная, Н.И. Антощенко // Збірник наукових праць ДонДТУ. – 2013. – Вып. 40. – С. 46 – 50.

5. Лобков М.І. Розвиток наукових основ прогнозу обвалення порід покрівлі при вийманні лавою полого пласта: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.15.02. «Підземна розробка родовищ корисних копалин» / Лобков М.І. – Донецьк, 2012. – 36 с.

6. Пыжов С.В. Теоретическое обоснование параметров минимально возможной степени подработанности земной поверхности при выемке угольных пластов / С.В. Пыжов, Н.И. Антощенко, М.В. Филатьев // Збірник наукових праць ДонДТУ. – 2014. – № 2 (43). – С. 30 – 34.

7. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.001 59226.001–2003. – Офіц. вид. – К.: Мін-во палива та енергетики України, 2004. – 128 с. (Галузевий стандарт України).

8. О подработке земной поверхности антрацитовыми пластами / Л.А. Чепурная, М.В. Филатьев, Н.И. Антощенко // Уголь Украины. – 2014. – № 6. – С. 3 – 7.

9. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт / ред. кол.: С.В. Янко [и др.]; под ред. С.В. Янко. – К.: Основа, 1994. – 311 с.

10. Антощенко Н.И. О прогнозе динамики газовыделения и геомеханических процессах сдвижения пород в угольных шахтах / Н.И. Антощенко, В.Н. Окалелов, Ю.В. Бубунец // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. МакНИИ. – Макеевка, 2012. – Вып. 2(28). – С. 48 – 60.

## ОБ АВТОРАХ

Филатьев Михаил Владимирович – к.т.н., доцент кафедры строительных геотехнологий и маркшейдерии Донбасского государственного технического университета.

Антощенко Николай Иванович – д.т.н., профессор кафедры охраны труда Донбасского государственного технического университета.

Гасюк Родион Леонидович – аспирант кафедры охраны труда Донбасского государственного технического университета.

Пыжов Сергей Викторович – аспирант кафедры охраны труда Донбасского государственного технического университета.