

УДК 622.831. 27

## РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СДВИЖЕНИИ ПОРОДНОГО МАССИВА ВСЛЕД ЗА ПОДВИГАНИЕМ ЛАВЫ

**Лобков Н. И.**

*(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)*

*Розглянуто розвиток уявлень гірничої науки про зрушення породного масиву в процесі посування лави. Показано умови обмеження кількості породних шарів, які беруть участь у зрушенні.*

*Mining science views on rock movement with wall advance is considered. Conditions for limiting the number of rock layers involved in movement are described.*

В горной науке до настоящего времени еще не выработано единого мнения о сдвигениях породного массива вслед за подвиганием лавы. Подобное положение затрудняет разработку аналитических методов определения шага обрушения пород кровли и величины опорного давления. Даже в отраслевом руководящем нормативном документе «Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. Руководство» [1] не приведено рекомендаций по их определению. Одной из причин является недостаточная изученность механизма сдвигения породного массива в результате выемки угля. Отсутствие универсального расчетного метода определения шага обрушения кровли и величины опорного давления приводит к необходимости корректировки технологических параметров выемки угля в процессе ведения очистных работ, что неизбежно вызывает снижение объема добычи, увеличение себестоимости. Кроме того, непредвиденные обрушения пород кровли в горных выработках снижают безопасность горных работ. Для прогнозирова-

ния сдвижения породного массива необходимо четко представлять поведение пород кровли в процессе выемки угольного пласта на базе установленных закономерностей взаимодействия породных слоев над выработанным пространством.

Целью работы является обобщение и развитие представлений о поведении вмещающего массива при разработке угольных пластов.

Развитие угледобывающей промышленности в XIX, начале XX века показало необходимость исследований поведения горного массива в результате выемки угля. Работа очистных забоев требовала обоснованного применения рациональных типов крепи и параметров крепления призабойного пространства. Возникла необходимость представления качественной картины сдвижения боковых пород пласта и количественного определения величины горного давления. Поскольку исследования поведения породного массива при ведении очистных работ производились в основном методом натурных замеров в шахтных условиях, не существовало четкой картины поведения массива пород над выработанным пространством. Потребность в методах расчета давления на крепь выработок привела к возникновению и развитию гипотез горного давления, дающих возможность аналитического описания сдвижений горного массива. Это послужило основанием для разработки феноменологических моделей горного давления, основанных на имеющихся результатах визуальных и инструментальных наблюдений.

Одним из первых объяснений сдвижения кровли, представленной слоистыми породами, в длинных очистных забоях, считается работа, опубликованная Шульцем в 1867 г [2]. В этой работе рассматривается формирование горного давления породными балками. Позднее это представление развивалось и рассматривалась учеными различных стран: Филлипсом, Эккардом, Фриндом, В. Д. Слесаревым, Г. Н. Кузнецовым. В качестве балок рассматривались породные слои только непосредственной и основной кровли. Сдвижение вышележащих пород рассматривалось как однородного сплошного массива.

В 1879 году, профессором рижского политехникума В. Риттером была предложена гипотеза свода [3], в основу которой по-

ложено представление о том, что область обрушения горных пород над выработанным пространством напоминает по форме свод (рис. 1). В конце XIX и начале XX века в различных странах были проведены экспериментальные и теоретические исследования образования свода, из которых наибольшую известность получили работы Е. Энгессера (1882 г., Германия), М. Файоля (1886 г., Франция), М. М. Протодяконова (1912 г., Россия). Впоследствии, область сдвижения пород кровли в виде свода продолжали изучать многие ученые разных стран (России, Франции, Англии, Бельгии, Германии и др.).

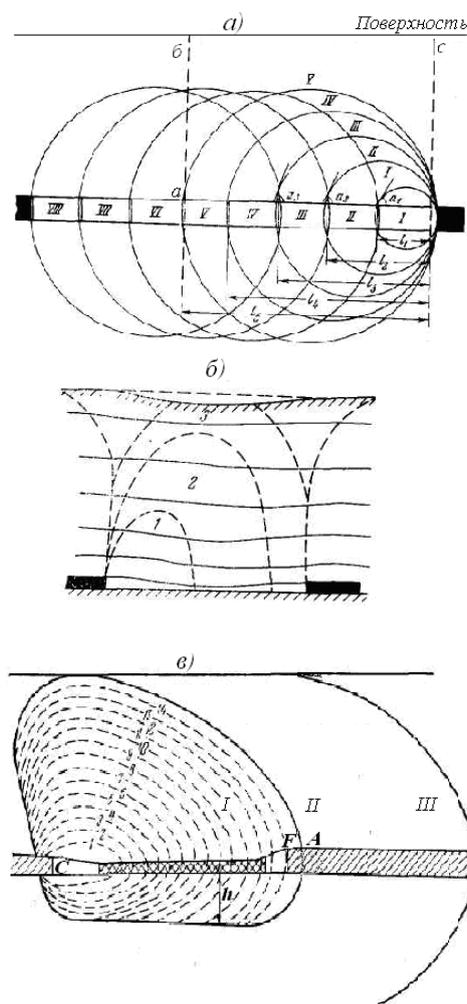


Рис. 1. Развитие свода обрушения: а) по В. Д. Слесареву; б) по С. Г. Авершину; в) по А. Лабассу.

Гипотеза свода позволяет получить представление о характере сдвижения вмещающего массива над выработанным про-

странством лав и объяснить особенности деформирования земной поверхности над очистными выработками, но не рассматривает различия интенсивности сдвижения как в зоне непосредственной близости от лавы, так и на значительном расстоянии от нее. В гипотезе говорится о слоистом строении породного массива (б), но при построении свода слоистость не учитывается.

При разработке угольных пластов на малой глубине удовлетворительно объяснялось давление на призабойную крепь при помощи гипотезы П. М. Цимбаревича, усовершенствованной А. А. Борисовым [4] (рис. 2). Общим недостатком таких представлений является то, что породный массив над выработанным пространством, от пласта до поверхности представляется сплошным.

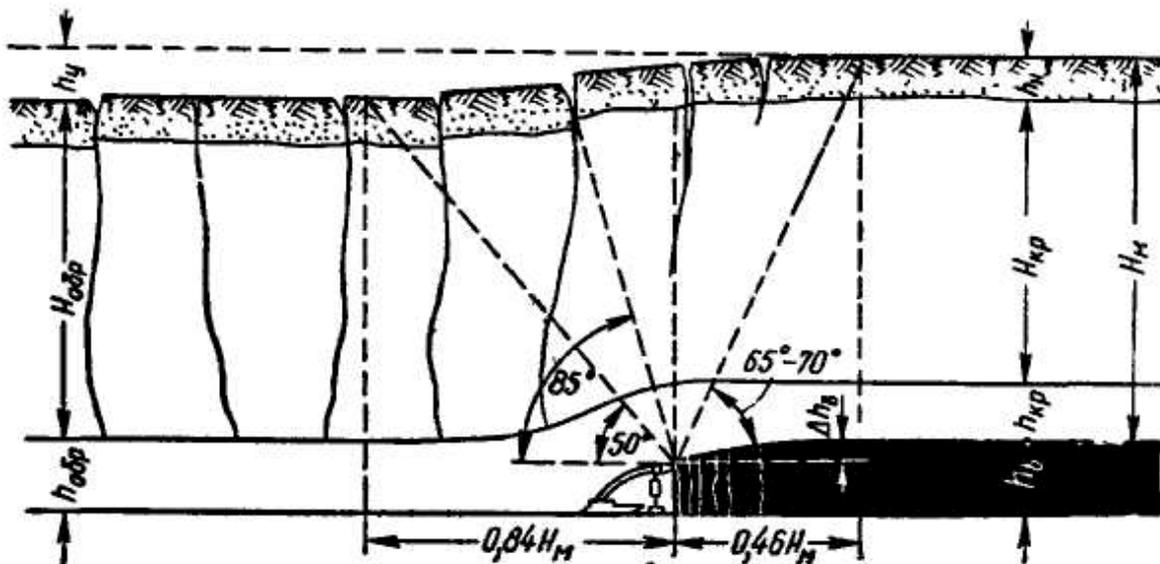


Рис. 2. Схема разрушения покрывающей толщи, сложенной слабыми породами по А. А. Борисову

Деформации, перемещения и разрушения породного массива представлялись следствием возникновения трещины разрыва у поверхности под углом  $65-70^\circ$  впереди очистного забоя. Объем породы, оказывающей давление на крепь, определялся объемом призмы, высота которой равна глубине работ.

Идея сплошного горного массива от пласта до поверхности использовалась при разработке расчетных методов определения

горного давления в работах В. Руппенейта, А. Лабасса, М. М. Протодьяконова и др. Результаты расчетов по предложенным методам удовлетворяли условиям месторождения, где проводились конкретные исследования и не могли претендовать на обобщенную методику расчетов для всех горно-геологических условий и глубин разработки.

Дальнейшее развитие в середине XX века способов исследований поведения вмещающего массива [5, 6] в естественных условиях, физического моделирования поведения пород на моделях из эквивалентных материалов [7, 8], оптического моделирования горного давления в очистных забоях [9] и других, дало возможность установить характер сдвижения пород над выработанным пространством. Результаты исследований убедительно подтвердили следующие предположения о сдвижении породных слоев кровли над выработанным пространством при разработке угольных пластов [10]. Указывалось, что сдвигающиеся породные слои над выработанным пространством образуют зоны обрушения, трещин и разломов, прогиба пород (рис. 3).

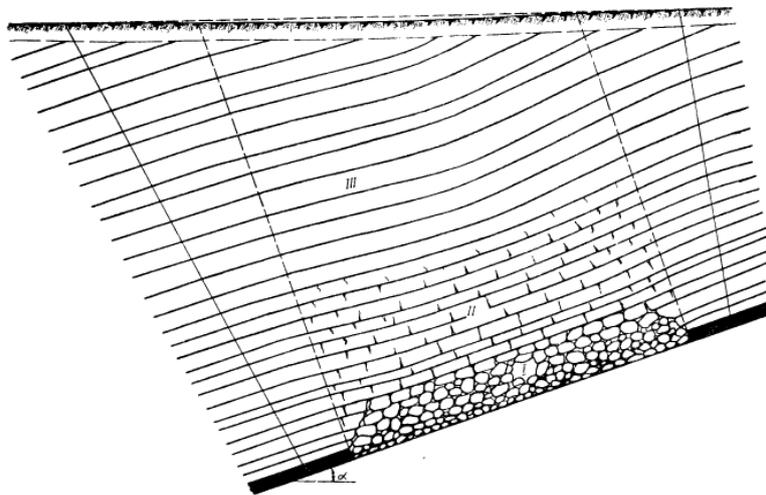


Рис. 3. Схема образования зон сдвижения пород в подработанной толще при пологом и наклонном залегании слоев: I – зона обрушения; II – зона трещин и разломов; III – зона прогиба [10]

Количество слоев в указанных зонах не рассматривалось. Этот факт давал только качественную картину сдвижения.

Послойное сдвижение пород над выработанным пространством подтвердилось замерами в натуральных условиях (рис. 4) в Карагандинском угольном бассейне [11].

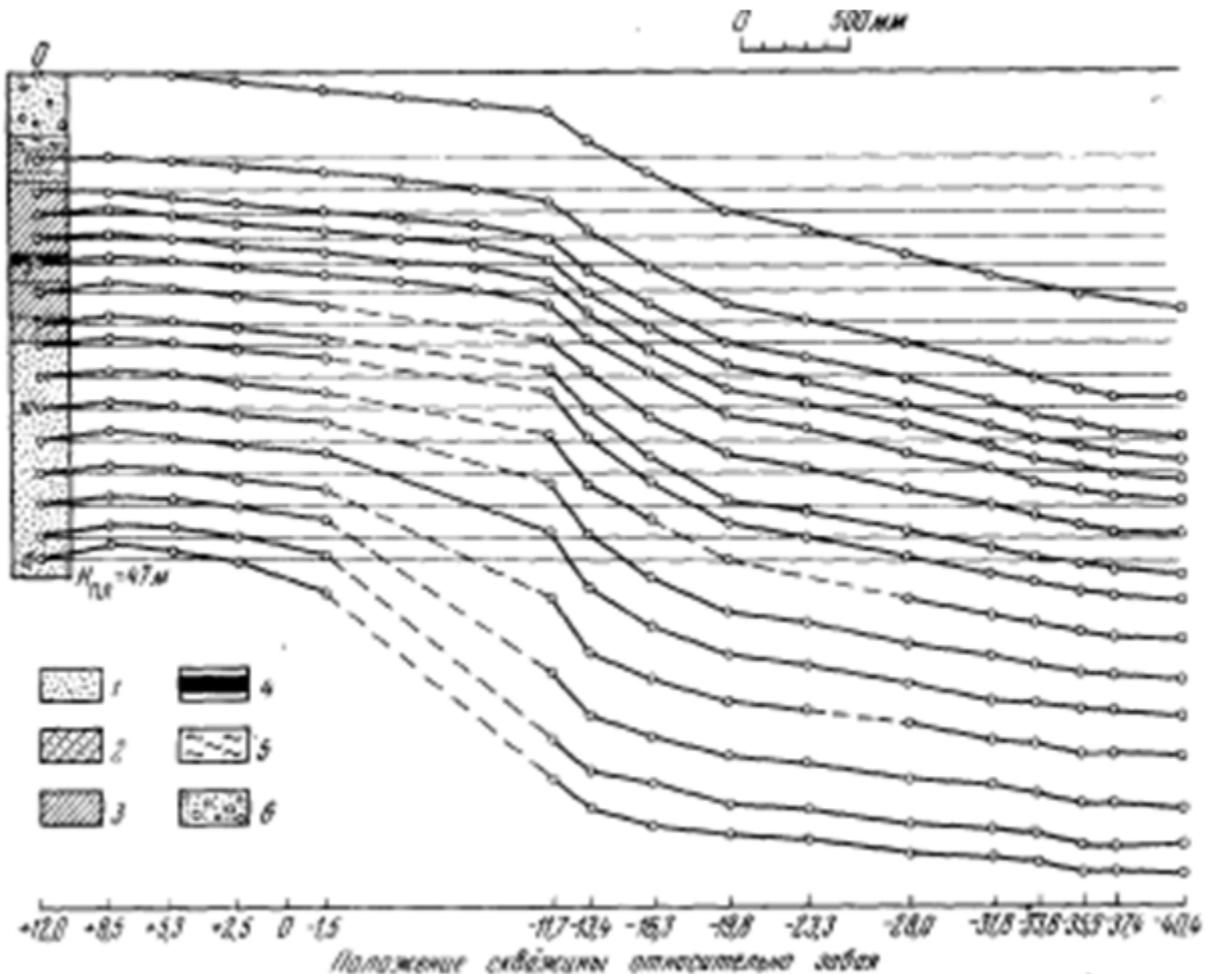


Рис. 4. Вертикальное сдвижение глубинных реперов скважины 7635 в зависимости от положения относительно забоя [11]

Автором работы [11] сделаны следующие выводы.

1. Сдвижение толщи массива пород происходит в три стадии.

Для первой стадии характерны поднятие пород непосредственной и основной кровли впереди движущегося забоя, зависание пород в средней части массива и опускание земной поверхности.

Вторая стадия – начало интенсивного опускания нижних слоев пород с постепенным затуханием и уменьшением по величине сдвижения по мере удаления от пласта вглубь массива.

Третья стадия характеризуется сдвижением всей покрывающей толщи пород с затуханием общей интенсивности опускания от пласта к земной поверхности.

Проявление каждой из стадий во времени и в пространстве находится в определенной зависимости от состава пород покрывающей толщи, физико-механических свойств этих пород и размеров выработанного пространства.

2. Сдвижение подработанной толщи носит в основном непрерывный характер, но протекает с периодическим изменением скоростей. С удалением от пласта наблюдается затухание абсолютных величин скоростей сдвижения. По мере удаления очистного забоя происходит уплотнение нижней части массива, скорости сдвижения значительно снижаются, а в верхней части массива, наоборот, наблюдается увеличение скорости сдвижения.

3. В подработанном массиве горных пород по характеру сдвижения по вертикали выделяются три зоны. Первая зона обрушения, куда входят непосредственная кровля и основная кровля, обрушающаяся крупными блоками. Вторая – зона интенсивных расслоений, которая охватывает среднюю и частично нижнюю (выше обрушившейся основной кровли) части массива. Третья зона характеризуется связным опусканием пород вслед за опусканием и уплотнением нижней и средней зон. Характер распределения этих зон существенно зависит от геологических и горнотехнических факторов. Процесс расслоения при слабых породах покрывающей толщи носит более кратковременный характер. Повышенная устойчивость пород толщи способствует заведению расслоившихся пачек пород.

4. В период уплотнения пород нижней и средней частей массива величина расслоения в значительной степени уменьшается. Конечная величина расслоения обуславливается механической прочностью, составом и чередованием пород в толще.

На рисунке 4 отчетливо видно, что наиболее интенсивное сдвижение породного массива происходит вслед за проходом лавы в пределах 36 метров позади нее.

Достижением Ленинградской школы горной науки, руководимой А. А. Борисовым, можно считать утверждение сдвижения породного массива над выработанным пространством до посадки кровли как слоистого, упругого, анизотропного, а также учет сдвижения породных слоев при определении опорного давления (рис. 5).

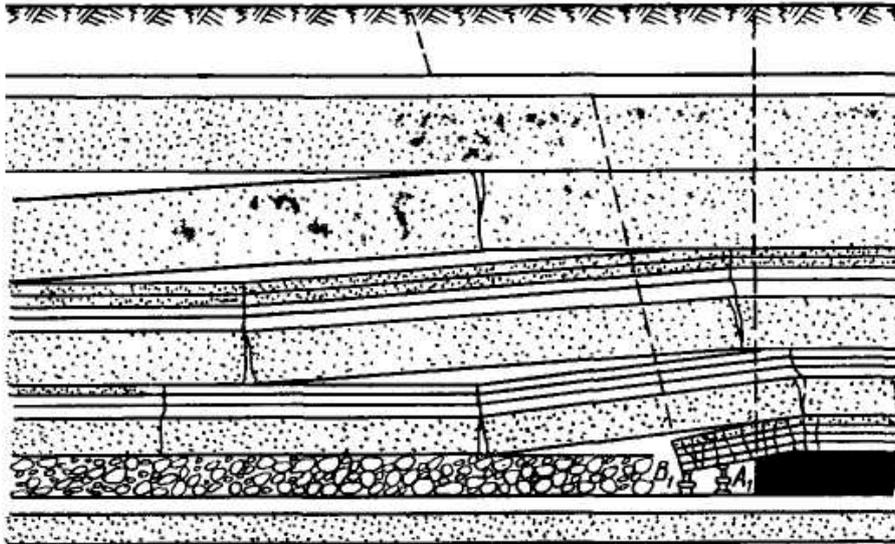


Рис. 5. Строение вмещающего массива по А. А. Борисову

Расчет опорного давления перед первичной посадкой основной кровли предложен А. А. Борисовым при следующих допущениях:

- а) деформации массива малы и происходят в применимости закона Гука;
- б) все слои разной мощности, ортотропные;
- в) в каждом слое помимо деформаций изгиба происходят также и деформации сдвига;
- г) слои свободно проскальзывают один относительно другого;
- д) длина лавы более чем вдвое превосходит длину пролета  $l$ .

Решение задачи осуществляется вариационным методом [12]. Расчетная схема представлена на рисунке 6.

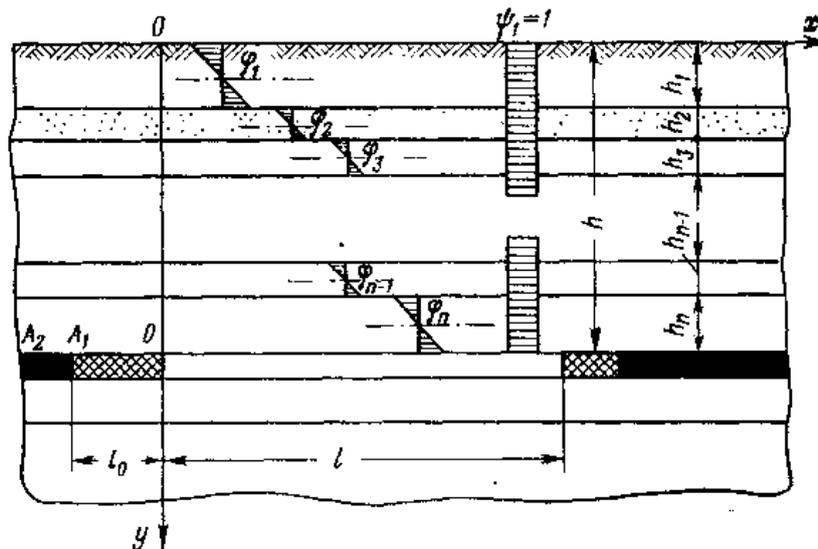


Рис. 6. Расчетная схема к определению опорного давления с использованием вариационного метода Лагранжа [12]

Расчет производится в следующем порядке [12]:

а) составляется типовой геологический разрез для данных условий;

б) на основании исследований и по литературным данным определяются механические характеристики пород;

в) производится разделение толщи пород на пачки по жесткости слоев. Слои, имеющие значительно меньшую жесткость, считаются как нагружающие;

г) определяется распределенная нагрузка для каждой пачки (слоя);

д) для каждой пачки определяются шаги обрушений по формулам;

е) для каждой пачки определяются передаваемые предыдущим обломившемся блоком на зависший блок сосредоточенные силы и плечи;

ж) определяются вращающие моменты для каждой пачки;

з) для каждой пачки отдельно подсчитываются напряжения опорного давления для четырех, пяти точек и строятся эпюры опорного давления.

В расчетной схеме вмещающий массив представлен слоистым. Рассматривается изгиб всех породных слоев от пласта до

поверхности, как формирующих опорное давление, что можно отнести к главному недостатку расчетной схемы.

Проведенные в конце XX века и в настоящее время исследования закономерностей сдвижения породного массива при ведении очистных работ позволяют устранить отмеченные выше недостатки. Установлено, что при отходе лавы от разрезной печи над выработанным пространством, в зоне интенсивного сдвижения кровли формируется область полных сдвижений породных слоев [13]. Каждый породный слой в кровле пласта изгибается над выработанным пространством как плита, защемленная с четырех, трех или двух сторон. Максимальная величина опорного давления, формируемая при изгибе плиты, с достаточной достоверностью может быть определена как давление изгибающейся балки в срединной части плиты [14]. При изгибе балки в пределах упругости (до обрушения) линия изгиба наклонена к плоскости пласта под углом  $45^\circ \dots 50^\circ$  (рис. 7), а при обрушении слоя линия обрушения наклонена к плоскости пласта под углом  $76^\circ \dots 80^\circ$  [15].

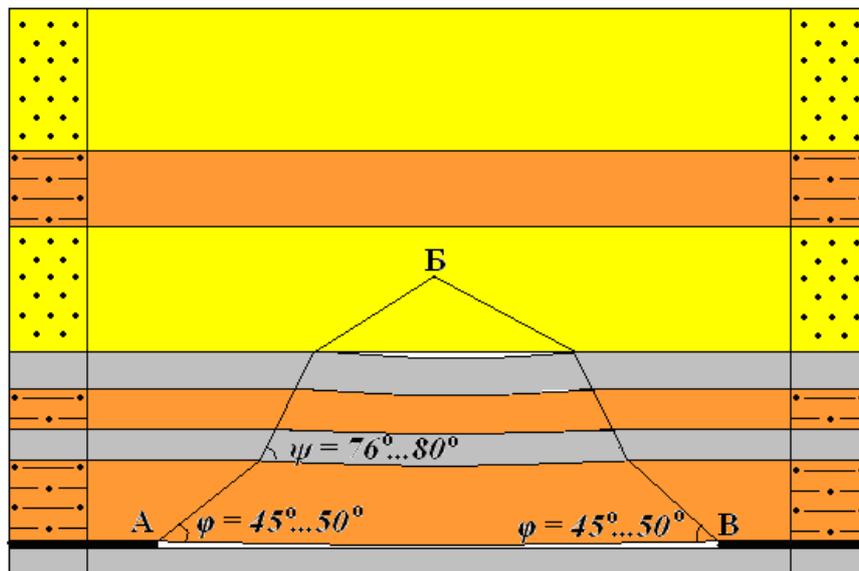


Рис. 7. Область полных сдвижений кровли [15]

Изгибаясь, породные слои формируют область полных сдвижений в кровле, ограниченную ломаной линией АБВ. Количество породных слоев, ограниченное этой линией, формируют опорное давление на угольный пласт. Максимальная величина

опорного давления породного слоя на опору формируется при предельном его пролете над выработанным пространством. Величина предельного пролета слоя является шагом обрушения или посадки слоя. Породные слои, залегающие выше области полных сдвижений, испытывают очень незначительные упругие деформации и, поскольку практически не изгибаются, не участвуют в формировании опорного давления.

#### Выводы.

1. В результате развития представлений о сдвижении породных слоев над выработанным пространством работающей лавы установлено, что до первичной посадки кровли формируется область полных сдвижений породных слоев.

2. Область полных сдвижений пород кровли ограничивает число слоев, которые, изгибаясь над выработанным пространством, формируют опорное давление на краевую часть пласта.

3. Предельный пролет породного слоя при формировании максимального опорного давления является шагом обрушения или посадки слоя.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. «Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°. Руководство». СОУ — П 10.1-00185790-020:2012
2. Schulz. Untersuchungen über Dimensionen der Sicherheitspfeiler für den Saarbrücher Steinkohlenbergbau. Zeit. f. das Berg- und Hüttenwesen im Preuss. Staate. 1867.
3. Крупенников Г. А. Распределение напряжений в породных массивах. / Г. А. Крупенников, Н. А. Филатов, Б. З. Амусин, В. М. Барковский, — М., «Недра», 1972, 144 с.
4. Борисов А. А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов/ А. А. Борисов, — М. : Недра, 1964. — 278 с.
5. Давидянц В. Т., Козелев Г. Л. Измерения проявлений горного давления на шахтах Донецкого бассейна. — М. : Углетехиздат, 1952. — 116 с.

6. Петухов И. М. Методы изучения сдвижения горных пород и угля в массиве / И. М. Петухов. — М., Углетехиздат, 1954. — 35 с.
7. Кузнецов Г. Н. Моделирование проявлений горного давления / Г. Н. Кузнецов. — М. : Недра, 1964. — 420 с.
8. Зоря Н. М., Музафаров Ф. И. Схема механизма сдвижения толщи пород при выемке пологих пластов угля одиночной лавой. / Н. М. Зоря, Ф. И. Музафаров — Уголь Украины, 1966, № 12. — С. 9—12.
9. Трумбачев В. Ф. Исследование горного давления в очистных выработках оптическим методом / В. Ф. Трумбачев. — М., Углетехиздат, 1955. — 99 с.
10. ВНИМИ. Сдвижение горных пород и земной поверхности в главных угольных бассейнах СССР. М., Углетехиздат, 1958. — 250 с.
11. Канлыбаева Ж. М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве / Ж. М. Канлыбаева. — Изд-во «Наука», Алма-Ата, 1968. — 108 с.
12. Борисов А. А. Расчет опорного давления вариационным методом. Физические процессы горного производства / А. А. Борисов. — Межвузовский сборник. Л., ЛГИ, 1976, № 3, С. 17—23.
13. Лобков Н. И. Особенности формирования области полных сдвижений кровли при работе лавы в массиве угля / Н. И. Лобков. — В сб. Физико-технические проблемы горного производства / Вып. №15. — Донецк : ИФГП НАНУ, 2012. — С. 92—98.
14. Бубнов И. Г. Труды по теории пластин / И. Г. Бубнов. — М., Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1953. — 423 с.
15. Носач В. К. Процессы подземных горных работ в очистных забоях / В. К. Носач, Н. И. Лобков. — Учебное пособие. — Донецк : РВА ДонНТУ, 2001. — 180 с.