

УДК 622.268.6.016.34

© В. Е. Ануфриев, А. В. Ремезов, С. К. Тризно, В. И. Дубровский, 1992

**В. Е. АНУФРИЕВ, А. В. РЕМЕЗОВ,  
С. К. ТРИЗНО, В. И. ДУБРОВСКИЙ, инженеры  
(АСП «Ленинскоголь»)**

## Проявления горного давления в окрестности охраняемой для повторного использования выработки в зависимости от свойств опор и технологии их применения

**В статье даны геомеханические обоснования применения эффективных средств охраны и поддержания выработок, координаты установки этих средств относительно оси выработки, интенсивности распределения реакции отпора на напряженно-деформированное состояние кровли. Рассмотрен конкретный пример деформирования свода обрушения вокруг охраняемой выработки при различных средствах, используемых в качестве охранного крепления.**

Основными причинами запредельного деформирования вмещающих пород в окрестности выработок являются перераспределение напряжений в массиве с их концентрацией вблизи границ с выработанным пространством, периодическое зависание и обрушение пород непосредственной и основной кровли [1, 2].

Технологическими мероприятиями можно влиять на характер запредельного деформирования и наиболее эффективно в период проведения или формирования выработок [3]. В большинстве случаев для эффективного сохранения выработок требуется применение комплекса технологических мероприятий. Однако, из-за необеспеченности техническими средствами возможности применения комплекса технологических мероприятий ограничены.

На глубоких горизонтах проблема разгрузки контура выработки решается путем возведения бутовых полос с изолирующей стенкой из жестких искусственных материалов. На шахтах ФРГ более освоена технология возведения жестких изолирующих полос из порошкообразных строительных смесей пневмогидравлическим способом. Наиболее эффективен такой способ разгрузки, когда выемочные штреки проводятся с отставанием от лавы [4]. Отметим, что шахты, ведущие такой способ охраны, оснащенные специальным закладочным хозяйством, техникой и достигшие высокой производительности несут значительные расходы на возведение оклонштревовых полос.

Так, по данным [4] затраты на формирование выемочных штреков сечением 21,9 м<sup>2</sup>, проведенных с отставанием от лавы составили на предприятиях «Лоберг», «Рурколе АГ» 2821, 3123 марок/м, соответственно.

На менее глубоких горизонтах шахт и, в частности, в Кузбассе накоплен положительный опыт временной разгрузки контура выработок от повышенных давлений путем установки спецкрепей КШУ, КПВ и других типов [5, 6]. Однако, их применение имеет ограниченную область применения из-за большой массы, высокой трудоемкости и труд-

ностей обеспечения технологичности процесса.

Для разработки облегченных, более технологичных конструкций охранных сооружений или спецкрепей необходимо геомеханическое обоснование влияния координат их установки, интенсивности распределения реакции отпора на напряженно-деформированное состояние (НДС) кровли.

В качестве критерия оценки НДС в теоретическом плане можно использовать относительные деформации  $\varepsilon_y/\varepsilon_{y_0}$ , где  $\varepsilon_{y_0}$  — деформация нетронутого массива. Из расчета (рис. 1) относительных деформаций (использовано решение Н. И. Мухомедишивили [7] в упругой полуплоскости имитирующей кровлю до первой осадки) установлено следующее.

Увеличение ширины выработки для  $YH=100$  кН/м при одинаковом охранном сооружении приводит к увеличению размеров зоны и величины растягивающих деформаций в кровле (см. рис. 1 а, б, в, г). На рис. 1 жирной линией обозначены изолинии нулевых деформаций, тонкими линиями — изолинии деформаций сжатия, пунктирными — деформаций растяжения.

С ростом ширины опоры при постоянном усилии отпора картина распределения деформаций становится более спокойной (рис. 1, а, д, и, н). Вблизи опоры исчезают растягивающие деформации, граница зоны растяжения перемещается от опоры к краевой части пласта. Исчезает интенсивная концентрация сжимающих деформаций над опорой, что способствует сохранению целостности кровли в границах контакта. В этой связи, если возникает необходимость в увеличении реакции отпора, то предпочтительней это сделать путем увеличения ширины опоры, нежели простым увеличением нагрузки.

Анализ воздействия на кровлю несплошных опор показывает (рис. 1, е, ж, з), что существенного влияния на состояние кровли количество опор стоеч не оказывает. Во всех случаях имеет место большая концентрация сжимающих деформаций над опорами. При

одном ряде и его сопротивлении 500 кН коэффициент на контакте

$$K = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{y_0}} = 7, \text{ при двух рядах и сопротивлении каждого } 500 \text{ кН, } K = 7.$$

При трех рядах с реакцией каждого 500 кН  $K=7$ . Для предотвращения опасности «обыгрывания» стоек целесообразно ряд стоеч применять в комплексе с площадными опорами, создающими равномерно распределенную нагрузку.

В реальных условиях из-за отсутствия высокого начального распора кровля рассматривается и смещается с возрастанием от краевой части пласта, т. е. образует наклон. По этой причине не все ряды, а только крайний вначале выходит на рабочую характеристику. Из строя выходит крайний ряд, затем второй и т. д. Несущая способность деревянных стоек носит временный характер и поэтому суммарная работа поддержания незначительна по сравнению с гидростойками, пневмоопорами, стойками трения.

Воздействие на упругую полуплоскость опор повышенного сопротивления вносит (см. рис. 1, к, л, м) существенные изменения в картину распределения  $\varepsilon_y/\varepsilon_{y_0}$ .

Во-первых, проявляется зона растягивающих деформаций справа от опоры. Это можно рассматривать как благоприятный фактор, способствующий обрушению кровли в выработанном пространстве. А при высоком начальном распоре сокращается время устранения зависаний консоли.

Во-вторых разгружается краевая часть угольного пласта (см. рис. 1, и, к, л, м), например, в случае (см. рис. 1, м) концентрация сжимающих деформаций над краевой частью пласта снижена почти на 25 % относительно схем с опорами низкого сопротивления.

Однако, вблизи опоры со стороны выработки и выработанного пространства в кровле пласта возникают зоны повышенных растягивающих деформаций.

Приближение опоры повышенному сопротивлению к краевой части пласта уменьшается размер зоны растяжения над выработкой и разгружается краевая часть угольного пласта (см. рис. 1, о). Введение распределенной реакции отпора и крепи усиление

$$K = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{y_0}} = 8,5. \text{ Применение площадных опор в контуре выработки с распределенной реакцией отпора снижает область и концентрацию растягивающих деформаций в несколько раз (см. рис. 1, о).}$$

При приближении опоры повышенному сопротивлению к краевой части пласта уменьшается размер зоны растяжения над выработкой и разгружается краевая часть угольного пласта (см. рис. 1, о). Введение распределенной реакции отпора и крепи усиление

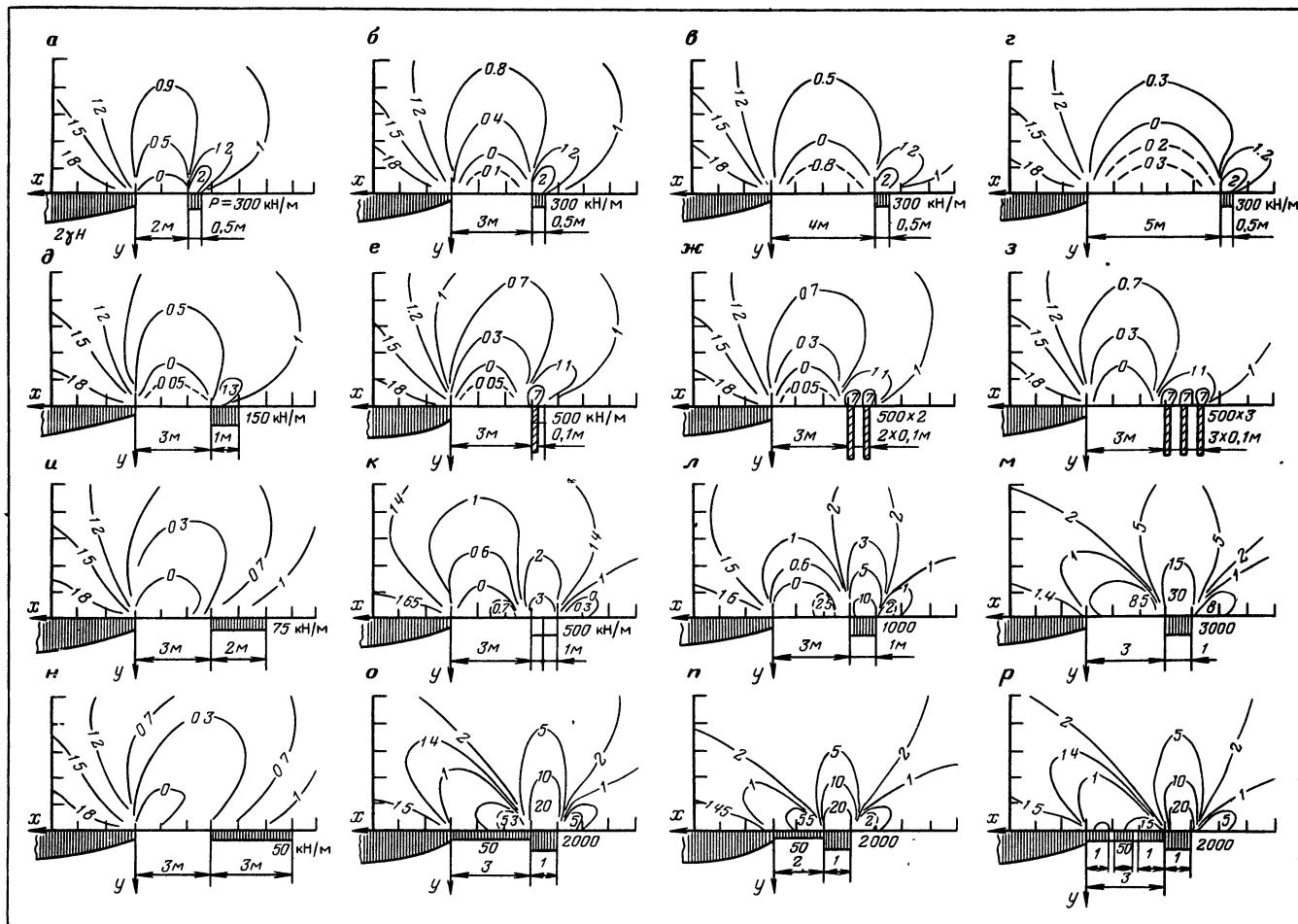


Рис. 1. Распределение относительных деформаций  $\varepsilon_y / \varepsilon_{y0}$  в упругой полуплоскости, имитирующей кровлю пласта

ния в контур широкой выработки (см. рис. 1, p) уменьшает область и концентрацию растягивающих деформаций.

Отметим, что эти изменения в распределении относительных деформаций в зависимости от ширины опор, координаты их установки, интенсивности реакции опор могут проявляться в окрестности выработок у границы сводов обрушений различной ширины.

Из анализа распределения относительных деформаций некоторой идеализированной полуплоскости следует, что специальные опоры должны обладать высокой несущей способностью с высоким начальным распором. Они должны быть площадными для обеспечения низких контактных давлений и работать в комплексе с крепями усиления в контуре выработок.

Недостаточная несущая способность площадных опор не позволяет решить задачу сохранения выработки для повторного использования. Проведенный опыт сохранения вентиляционного штreta лавы № 727 пласта № ХХУП мощностью 1,7—2 м шахты «Первомайская» объединения «Северокузбассуголь» подтверждает это.

Для сохранения вентиляционного штreta на глубине 160—200 м были опробованы три паспорта крепления. Первый включал установку комбинированных костров в боку выработки, второй — в контуре. Третий вариант

включал установку двухрядного органического ряда в борту выработки в сочетании с крепью усиления в контуре выработки. Комбинированные костры в виде пневмокостров ПМ-3, установленные на деревянные, эксплуатировались в комплексе с органическими рядами в виде трехстоечных кустов с захваткой стороны и крепью усиления в контуре выработки и одностоечным органическим рядом во втором варианте.

В начальный период после отхода лавы смещения на участках с пневмокострами (рис. 2, графики реперов 3 и 6) меньше, чем в варианте с двухрядным органическим рядом, который устанавливается без начального распора. Некоторый начальный распор пневмокостров (120—160 кН) способствовал снижению скорости смещения нижних слоев мощностью до 3,5 м. Непосредственная кровля из алевролита мощностью 0,3—1 м имеет сопротивление на одноосное сжатие  $\sigma = 35-62$  МПа. Основная кровля, представленная переслаиванием мелкозернистого песчаника с алевролитом имеет мощность 17—20 м и  $\sigma = 60-80$  МПа. Затем, по мере смещения вышележащих слоев мощностью 4,5 м и 12 м в силу более пологой нагрузочной характеристики, пневмокостров и меньшей несущей способности (до 260 кН) смещения кровли в варианте с пневмокострами устанавливаемыми за контуром выработки и в контуре выработки были

большими по сравнению с вариантом поддержания органическими рядами. В дальнейшем по мере отхода лавы графики смещений сближаются вследствие полома стоек из-за ограниченной податливости и роста несущей способности пневмокостров. Опробованные варианты в целом не решили задачу безремонтного поддержания выработок. Протяженность штreta высотой до 1800 мм со стороны массива составила 59 %. Остальные участки имели меньшую высоту. Суммарные нагрузки на рамную крепь и стойки органического ряда (третий вариант паспорта) по данным измерений тензометрических динамометров не превысили 700 кН/м<sup>2</sup>. Не один из опробованных вариантов не обеспечил такой реакции отпора в течение всего срока поддержания вентиляционной выработки.

Особенностью условий сохранения вентиляционного штreta № 727 является развитость продольной нормально-секущей трещиноватости, падающей под углом 80—85° на краевую часть угольного пласта. По этой причине и по причине недостаточной несущей способности и пологой нагрузочной характеристики (первый тип паспорта) пневмокостров первичная посадка кровли произошла по этой системе стречин. Максимальные оседания кровли составили 800 мм. Несмотря на большие смещения кровли «обыгрывания» кровли пневмокостров не наблюдалось.

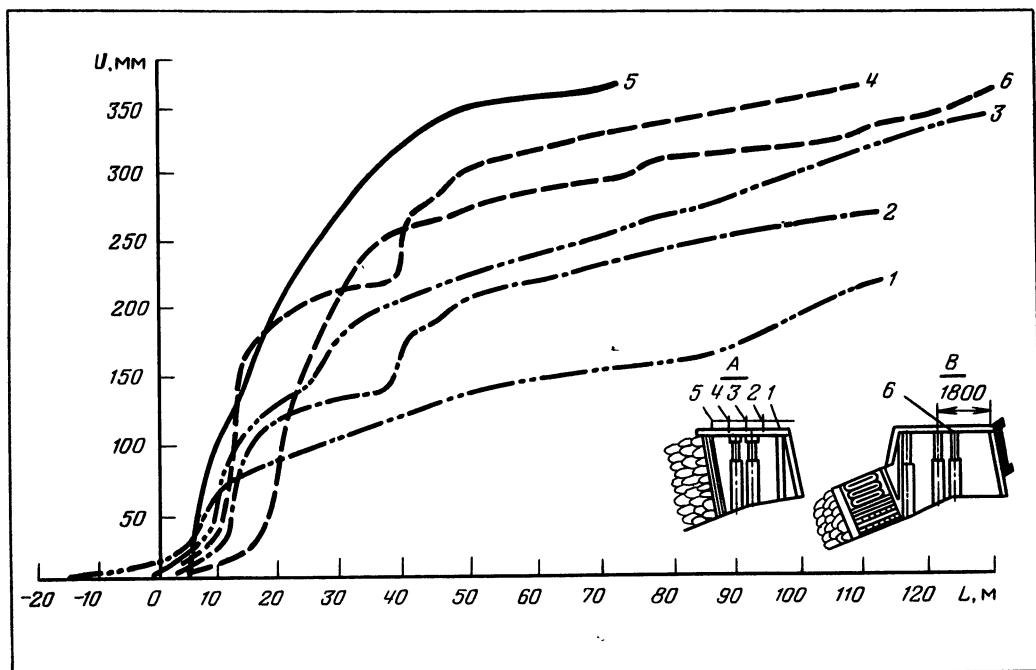


Рис. 2. Смещения пород кровли — почвы  $U$  в зависимости от расстояния до забоя лавы  $L$ :

1—6 — смещение пород кровли — почвы по ширине выработки в местах, указанных на схемах  $A$  и  $B$

Влияние фактора трещиноватости, ориентированной параллельно краевой части пласта на деформационные процессы в окрестности вентиляционных выработок может быть ощущимым вследствие склонности к сползанию вышележащих слоев кровли по падению, что и наблюдалось в эксперименте по глубинным реперам, а также вследствие того, что плоскости ослабления массива в виде трещин, падающих на краевую часть угольного пласта под углом 60—80°, близки к площадкам скольжения в слоях на глубину до 6—9 м.

Несколько другие условия возникают при охране конвейерных выработок. В этом случае продольные нормально-секущие эндогенные трещины в силу

наклона пласта (7—8°) падают на «зашвал», не совпадают с площадками скольжения и не способствуют обрушению консольных частей зависшей кровли. При этом возникает склонность перемещения пород кровли по падению и формированию запредельных боковых давлений на контурную крепь выработки. Это можно наблюдать при охране конвейерного штreta № 537 по пласту V шахты «Чертинская». Пласт мощностью 2 м залегает на глубине 460—490 м под углами 12—15°. Основная кровля ( $\sigma_{ск} = 100—140$  МПа) представлена слаботрещиноватым тонкозернистым песчаником мощностью 6—10 м, непосредственная — переслаивание слоев алевролита и имеет прочность на сжатие 60—100 МПа.

В данных условиях породы непосредственно кровли рассечены несколькими (5—7) системами трещин, одна из которых (продольная нормально секущая) простирется параллельно штреку и падает на забой, т. е. не совпадает с площадками скольжения.

Наряду с базовым паспортом сохранения (двуярусный органный ряд из деревянных стоек в сочетании с двумя, тремя рядами таких же стоек усиления в контуре выработки), был опробован вариант, по которому с боку за контуром выработки установилась пневмокрепь, с заводной стороны которой устанавливался один органный ряд и два ряда стоек в боку и один в контуре выработки. Крепь усиления устанавливалась под распил. Пневмокрепь выполнена в виде пневмооболочек, установленных на жестких подставках из спецпрофиля под верхняки.

В эксперименте использовались специально разработанные оболочки, имеющие в транспортном обращении плоскую форму размером 1200×1700 с начальным распором (при  $h=400 \div 500$  мм) 30—40 т. Нагрузочная характеристика такой оболочки в силу малого объема газа достаточно крутая в отличие от пневмокостров ПМ-3.

По данным измерений смещения верхняков относительно почвенных реперов при охране органными рядами существенно больше, чем на интервале установки пневмокрепей (рис. 3). Из наблюдений за процессами деформирования крепи, водообразований в базовом и новом вариантах отмечается различие форм деформирования крепи выработки и состояния пород кровли. Над выработкой до забоя был сформирован локальный свод обрушения (рис. 4). После прохода забоя формируется свод  $AB$ , над выработанным пространством свод  $DE$ . На участках поддержания кровли органными рядами граница «ножки»  $CD$  опускается, теряет связность и по этой причине поднимается вверх. Границы  $OF$  и  $DE$  уве-

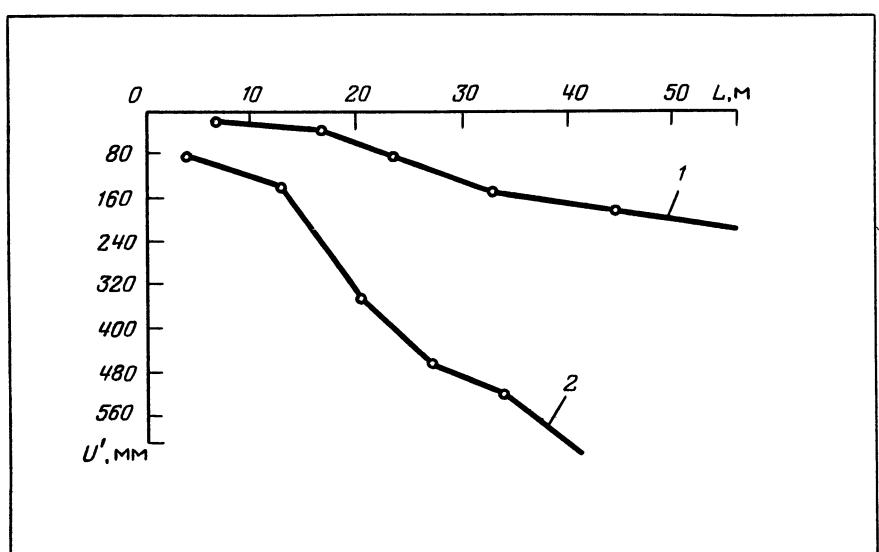


Рис. 3. Зависимость конвергенции почвы  $U'$  с верхняками крепи конвейерного штreta № 537 пласта 5 шахты «Чертинская» от расстояния до забоя  $L$ :

1, 2 — кривые конвергенции на участке соответственно с пневматической и органической крепью

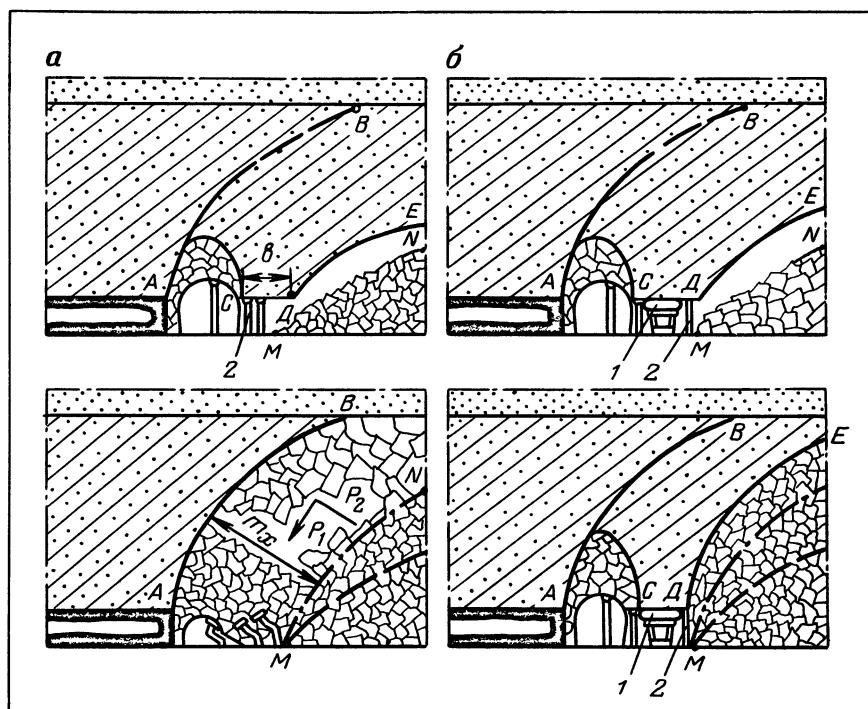
личивают свою крутизну и сближаются. По мере обрушения пород с границы свода  $DE$  на почве формируется горка обрушенных пород. Крутизна горки растет; органые ряды, установленные без начального распора, с различной высотой под ослабленный «берег» локального свода, выдавливаются обрушенными породами в выработку или ломаются по одной. Постепенно неподдержанная «ножка» кровли диспергируется до горной массы, которая перемещаясь по склону «горки» под собственным весом и от давления основной кровли формирует давление на крепь выработки, деформируя ее до нерабочего состояния в направлении перемещения.

Оценка нагрузки обрушенных пород по склону «горки» как давления на контурную крепь сыпучих пород на наклонных и крутых пластах, по методике [8] показывает, что на такие нагрузки ( $1500 \text{ кН/m}^2$ ) контурная крепь не рассчитана.

При поддержании «ножки» кровли пневмокрепями на жестких опорах по мере отхода лавы граница  $CD$  укорачивалась, смещалась вниз. Границы сводов  $OF$  и  $DE$  увеличивали свою крутизну, сближались, затем стабилизировались. В целом «ножка» кровли сохраняла свою целостность, подбучивалась на границе  $ED$  обрушенными породами. Крепь выработки при смещении сохраняла свою форму. Поддержанная площадными опорами с крутой нагрузочной характеристикой «ножка» кровли воспринимает на себя боковую нагрузку со стороны обрушенных пород, защищает контурную крепь от предельных боковых нагрузок.

Отличия деформационных процессов в окрестности конвейерных и вентиляционных выработок состоят в различном участии систем трещин в сдвигах подработанных пород кровли в силу различия их ориентации по отношению к краевой части пласта и площадкам скольжения.

Эксперименты и теоретические оценки позволяют предположить, что для разгрузки контурной крепи конвейерных выработок от боковых нагрузок необходимо поддержание «ножки» кровли площадными опорами имеющими кру-



**Рис. 4. Схемы формирования сводов обрушений в окрестности выработок:**  
а, б — охраняемыми соответственно органными рядами в узкой полосе в борту выработки и пневмокрепями в полосе; 1 — пневмокрепь, 2 — органный ряд

тую нагрузочную характеристику в режиме заданных деформаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Виноградов В. В Геомеханика разрушения предельно-напряженных пород при контурной зоне горных выработок / Дисс на соискание ученой степени д-ра техн наук — Днепропетровск, 1989 — 343 с.

2 Черняк И. Л, Зайденварг В. Е Пути повышения устойчивости подготовительных выработок глубоких шахт // Уголь, 1991 — № 2 — С 3—5

3 Нига Н Развитие конвергенции в выемочных штреках с арочной и анкерной крепью // Глюкауф, 1987 — № 9 — С 5—8

4 Шварц Г Опыт работы длинных лав с двумя поворотными станциями забойного конвейера и проходкой выемочных

штреков // Глюкауф, 1985 — № 20.— С 2—13

5 Бажин Н. П, Мельников Н. И. и др. Рациональные способы крепления и поддержания подготовительных выработок: Обзор // ЦНИИуголь М., 1984 — 27 с.

6 Бажин Н. П, Бедорев Н. Т. и др. Внедрение рациональных способов охраны подготовительных выработок для их использования на шахтах «Ярославская», «Кузнецкая», «Полысаевская». Отчет о НИР Руководитель Аксененко В. И. № гос. регистрации 0188024369, инв. № 0288078022

7 Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости — М. Наука, 1966,— 707 с

8 Ардашев К. А, Куксов М. Н, Шалыгин А. С и др Совершенствование управления горным давлением при разработке наклонных и крутых пластов — М.: «Недра», 1975 — 232 с