*Записки Ленинградского орденов Ленина Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVIII, вып. 1, 1963 г.*

УДК 622.83.553.54.001.57

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ КАМЕРА-ЛАВА НА ШАХТАХ КОМБИНАТА «СЛАНЦЫ»

*В. Г. Бескаравайный*

Комбинированная система разработки камера-лава сочетает в себе элементы столбовой и камерной систем (рис. 1)*. В управлении горным давлением система имеет следующие характерные особенности: основ-

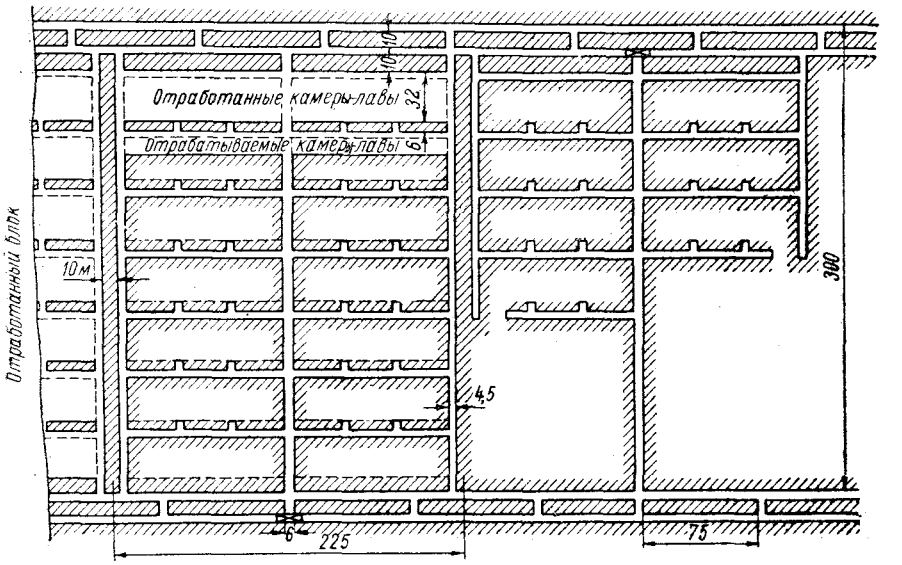



Рис. 1. Система камера-лава при освоенных параметрах

ная кровля поддерживается длительное время специально оставленными опорными целиками; для увеличения несущей способности непосредственной кровли и контроля за состоянием кровли в выработанном пространстве устанавливается легкая деревянная крепь, рассчитанная на поддержание только нижнего слоя непосредственной кровли мощностью не более 4 *м*; забой камеры-лавы общей длиной до 215 *м* подвигается аналогично выемке лавами — параллельными заходками в одном направлении; призабойное пространство шириной 3,4—3,8 *м* при этом не крепится совсем.

* Статья написана по материалам исследований Ленинградского горного института (1961—1962) на шахте № 3 комбината «Сланцы».

При подготовке блока камер-лав между панельными штреками проходится сборный штрек и по обе стороны от него (на расстоянии 100 *м*) — бортовые штреки. Через каждые 32—35 *м* бортовые и сборные штреки сбиваются нарезными выработками шириной 4,5—6 *м*.

Участок, расположенный между нарезными выработками, отрабатывается двумя лавами, названными камерами-лавами. Камеры-лавы крепятся деревянными стойками: 0,3—0,5 *стойки/м*$^2$. После отхода забоя лав на 32—35 *м* от заднего целика (не доходя до следующей нарезной выработки 6 *м*) работы останавливаются и оборудование демонтируется. В оставленном целике шириной 6 *м* проходятся сбойки для переноса оборудования в следующую камеру.

Необходимо было определить характер и величину смещения и расслоений кровли во времени при различной ширине пролета, а также деформацию опорных (междукамерных) целиков в зависимости от времени и динамики очистных работ.

Инструментальными наблюдениями было охвачено более 20 камер-лав, визуальными — все отрабатываемые (более 80). Смещение кровли замерялось после каждого цикла по реперам, установленным в почве и кровле по двум створам: в центральной части камеры-лавы и у сборного штрека.

Расслоение непосредственной кровли наблюдалось по глубинным реперам, установленным на глубине 0,2; 0,7; 1,5; 2,5 и 4 *м* в середине пролета отрабатываемых камер-лав.

Произведенными наблюдениями установлена закономерная связь между устойчивостью обнажений и величиной смещений кровли, которые можно считать определяющим показателем устойчивости кровли.

Смещения кровли в камерах-лавах при конечной ширине пролета следующие:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ширина пролета, *м* . . . . . | 30—32 | 33—35 | 36—37 | 40—42 |
| Смещение кровли, *мм* . . . . | 34—56 | 38—68 | 56—74 | 45—54* |

Обрушение кровли в камерах-лавах, по данным наблюдений, происходит при смещениях не менее 90—100 *мм* (редко 120 *мм*). Это позволяет установить для данных конкретных условий нормальные и предельно допустимые величины смещения кровли. Так, при равномерном увеличении пролета (1,5—2 *м/сутки*):

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| До 20 | *м* | нормальное | смещение | кровли | 30—35 | *мм* |
| „ 25 | „ | „ | „ | „ | 39—45 | „ |
| „ 30 | „ | „ | „ | „ | 45—52 | „ |
| „ 32 | „ | „ | „ | „ | 48—56 | „ |
| „ 34 | „ | „ | „ | „ | 50—64 | „ |

Предельно допустимыми смещениями кровли по середине пролета шириной до 34—35 *м* следует считать смещения, превышающие 65 *мм*, чем определяется и предельный наклон кровли 0,004. Разлом кровли (обрушение) при принятых параметрах системы и способе управления горным давлением происходит согласно наблюдениям при наклоне кровли 0,065—0,007.

Скорости смещений кровли при отработке камер-лав непостоянны и при смещениях, близких к критическим, могут быть и небольшими. Так, скорость смещений кровли в камере-лаве 5 (панель V) при пролете 31 *м* составляла 9 *мм/сутки*, а при увеличении пролета до 35 *м* — всего 6 *мм/сутки*. Поэтому повышенные скорости смещений кровли могут быть только дополнительным признаком, указывающим на активность (движение) кровли. Как показали наблюдения, скорость смещений кровли при пролетах 32—34 *м* в нормальных горногеологических

* В первых трех измерениях длина камер—лав 100 *м*, в последнем 60 *м*.

условиях не превышает обычно 2—3 *мм/сутки*, в усложненных условиях — до 5 *мм/сутки* и более. Скорости смещений при пролете 37 *м* (панель V, блок 3) составили 10—12 *мм/сутки* и за несколько часов до обрушения увеличились в 3—4 раза.

Таким образом, при разных конечных пролетах скорости смещений кровли могут быть различны. В соответствии с полученными данными скорость смещения кровли, превышающую 9—10 *мм/сутки*, при пролетах до 34 *м* надо считать опасной.

Наблюдения за расслоением пород кровли в камерах-лавах с пролетом 23 и 40 *м* в нормальных горногеологических условиях, а также обрушения кровли в камерах-лавах в нормальных и усложненных условиях (2—3 трещины, небольшой капеж) показывают, что в период отработки камер-лав (25—30 суток) нижний слой непосредственной кровли, мощностью 0,2—0,3 *м* постепенно отслаивается, достигая максимума (5—6 *мм*) при образовании пролета в 32—35 *м*. Расслоения между вышележащими слоями кровли (на высоте 0,7—1,7; 1,7—2,5 и 2,5—4 *м*) незначительны и по характеру постоянны. Начиная же с пролета 32—35 *м*, слой, расположенный на высоте 1,7—2,5 *м*, постепенно пригружает нижние слои. При пролете более 35 *м* начинает заметно смещаться и слой, расположенный на высоте 2,5—4 *м*, постепенно пригружая нижние слои и сокращая в них расслоения до минимума. В усложненных условиях характер расслоений остается тем же, однако, начиная с пролета 25—30 *м*, более заметно сказывается влияние на нижележащие слои слоя 1,7—2,5 *м*, а при пролете 35 *м* — слоя, расположенного на высоте 4 *м* и более. При пролете 37 *м* уже в период отработки приходят в движение и слои, расположенные на высоте 5—6 *м* и более.

Опыт отработки камер-лав показывает также, что при значительной площади обнажений происходят осадки кровли, сопровождающиеся воздушными толчками. Обрушения кровли происходят сплошными плитами размером 2—4×3—5 *м*. Обрушающиеся породы (глинистые известняки) незначительно увеличиваются в объеме. Коэффициент разрыхления $k$ может быть принят равным 1,05—1,10. Между обрушающимися породами и вышележащими может образоваться пустота высотой

$$\Delta h = N + m - Nk,$$

где $N$ — мощность обрушающихся пород, *м*;
$m$ — мощность пласта, *м*.

В частности, при обрушении кровли мощностью:

| | |
|---|---|
| до 2,5—3 *м* | $\Delta h = 1{,}5 - 1{,}6$ *м* |
| 4— 5 „ | $\Delta h = 1{,}2 - 1{,}3$ „ |
| 12—15 „ | $\Delta h = 0{,}3 - 0{,}5$ „ |

Такие высоты обрушений, а также наличие пустот подтвердились обследованием на панелях IV и V, что и следует считать типичным для данных условий.

Наблюдения за обрушением кровли в камерах-лавах различной длины и ширины позволили установить следующее:

1. Обрушения нижнего слоя непосредственной кровли происходят: а) мощностью 20—30 *см*, как правило, при обнажении кровли свыше 180—200 *м*$^2$ (при частичной выбивке крепи) и ширине пролета 16—18 *м*; б) мощностью 0,7—2,7 *м* при обнажении кровли свыше 300—400 *м*$^2$ и ширине пролета более 28 *м*; при этом обрушение распространяется и на закрепленную часть камеры-лавы, но не ранее чем через 2—3 месяца; в) мощностью 3—4 *м* при пролетах более 34 *м* и отработанной площади, превышающей 4000—5000 *м*$^2$ при недостаточной несущей способности крепи.

2. При пролетах свыше 35 *м* и обнажениях, превышающих 5000 $м^2$, постепенно приходят в движение и слои, расположенные на высоте 4—6 *м* и выше от кровли пласта, достигая 12—15 *м* при пролетах в 40 *м*.

3. До ширины пролета 35—36 *м* соотношение между площадью обрушений и площадью обнажения кровли (0,4—0,5) сохраняется почти постоянным, но, начиная с пролета 36—37 *м*, оно резко увеличивается, доходя до 0,9—1 при пролете 40—41 *м* (рис. 2). Это соотношение и определяет ширину пролета.

4. При сравнительно коротких камерах-лавах (до 60 *м*) обрушение кровли, как правило, начинается у сборного штрека. При повы-

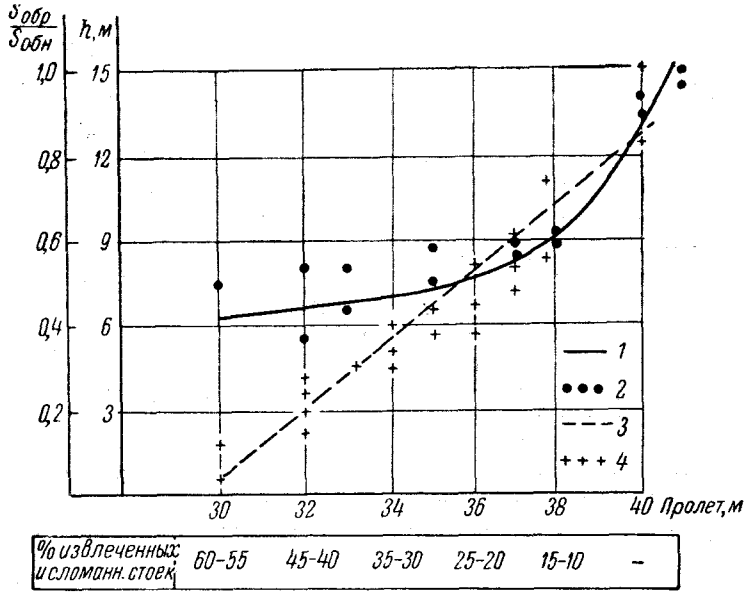



Рис. 2. Зависимость площади и высоты обрушений от ширины пролета (по данным шахтных наблюдений):

*1* — отношение площади обрушений к площади обнажений (усредненное); *2* — то же, по отдельным камерам-лавам; *3* — высота обрушений, *м*; *4* — то же, по отдельным камерам-лавам

шенной длине (до 90—100 *м*) первоначальное обрушение происходит в более обширной зоне, приуроченной преимущественно к ослабленным местам, мульдам и пр.

5. Влияние трехсторонней заделки кровли сказывается приблизительно на 25—30 *м* от бортовых штреков. На этих участках наблюдается частое зависание кровли и наименьшее число сломанных стоек.

Наблюдения за смещением пород кровли и обрушением показывают, что, несмотря на одинаковую площадь обнажений, условия устойчивого равновесия пород кровли при различных соотношениях длины и ширины камер-лав неодинаковы. Условия равновесия покрывающих пород определяются, как известно, соотношением действующих сил — весом столба пород, определяемых площадью обнажения *S*, и сил боковых реакций, определяемых при прочих равных условиях периметром обнажения *p*. Отношение площади обнажения к длине действующего периметра можно считать показателем использования естественной прочности кровли $\left(\frac{S}{p} = R\right.$ — гидравлическому радиусу, по В. Д. Слесареву). Если подсчитать $R$ для прямоугольного обнажения со сторонами $a = 120$ *м* и $b = 40$ *м* и принять его за исходный критерий (по опыту отработки блока 1 панели V, устойчивость такой камеры-лавы после отработки исчислялась 10—14 сутками), то при увеличении

длины камеры-лавы $a$ до 210 $м$ величина $R$ увеличивается с 15 до 17, или на 15%. Гидравлический же радиус прямоугольного обнажения со сторонами 210×35 $м$ равен 15. Следовательно, условия устойчивости кровли при прочих равных условиях одинаковы для ширины пролета 35—36 $м$, общей длины 210 $м$ и для ширины пролета 40 $м$, длины 120 $м$.

Увеличение длины камер-лав существенно сказывается на устойчивости кровли только при общей длине камер-лав до 150—160 $м$. При ширине пролета более 35 $м$ (превышающей предельный эквивалентный пролет) увеличение длины камер-лав может существенно сказаться на

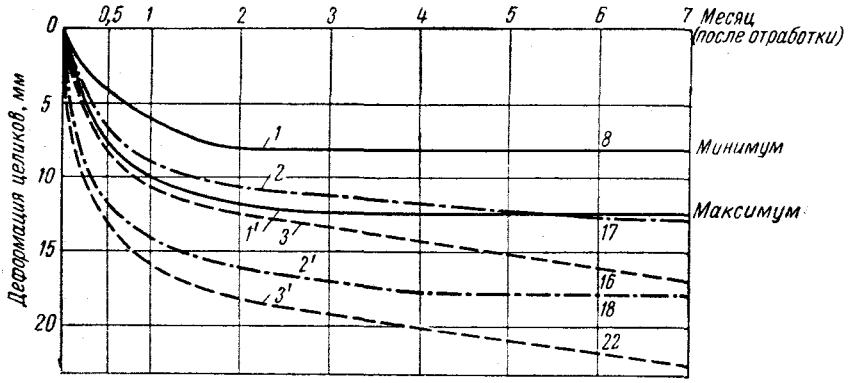



Рис. 3. Характер деформаций целиков в зависимости от их ширины и времени службы (по данным шахтных наблюдений):
*1* — 8—10 $м$; *2* — 6—7 $м$; *3* — 5—6 $м$; *1—3* — минимальная величина деформации; *1'—3'* — максимальная

устойчивости кровли, так как в таких условиях приходит в движение не только непосредственная, но и основная кровля.

Наблюдения за деформациями опорных целиков проводились в блоках панелей VI и VIII, отработанных в 1959—1960 гг., и панелей V и VIII, отработанных в 1961—1962 гг. (см. таблицу и рис. 3).

**Деформации опорных целиков различной ширины в зависимости от времени**

| Ширина целика, $м$ | % оставленных целиков | Ширина камеры, $м$ | Деформация целиков после отработки камер, $мм$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | через 10—15 дней | через 1—2 месяца | через 1 год | через 2 года |
| 2,5—3 | | | 12—16 | 18—22 | 23—37 | 40—65 |
| 3,5—4 | 23—27 | 8—10 | 7—12 | 14—22 | 20—25 | 32—35 |
| 5—6 | | | 4—6 | 8—10 | 12—15 | — |
| 5,5—6 | 12—16 | 35—40 | 10—12 | 15—30 | 35—45 | — |
| 7,5—10 | | | 8—10 | 16—25 | 20—30 | — |

Таким образом, на деформацию целиков влияют способ и время отработки, гидрогеологические условия и взрывные работы. В нормальных горногеологических условиях деформация целиков идет в первую очередь за счет уплотнения небольших, более слабых прослоев сланца, слагающих толщу целика. Взрывные работы вызывают развитие трещиноватости в целике на глубину 0,5—0,7 $м$ и частичное уменьшение полезного сечения целика. Больше всего ослабевает среднее (по высоте) сечение целика.

Как показали трехгодичные наблюдения, целики даже небольших размеров (шириной 2—3 $м$), оставляемые между камерами шириной 8—10 $м$, обладают значительной устойчивостью: деформации их не

превышают 60—80 *мм*. Деформация целиков шириной 6—8 *м*, оставляемых между камерами-лавами шириной 25—40 *м*, свыше года не превышала 35—45 *мм*. Так как при новой технологии (камеры-лавы) в выработанном пространстве оставляются целики, подвергающиеся значительным длительным нагрузкам, необходимо исследовать условия, при которых возможна частичная или полная потеря несущей способности целиков.

Для установления условий, при которых могут произойти неожиданные осадки и обрушения кровли, применительно к условиям шахт комбината проводились исследования на плоских и объемных моделях (масштаб 1 : 50 и 1 : 100) с эквивалентными материалами на гипсовой вяжущей основе. Определялись величина и характер распространения расслоений и обрушений непосредственной и основной кровли при различных пролетах в камерах-лавах. Изучались изменения в распределении нагрузок на целики в зависимости от искусственно вызванных ослаблений.

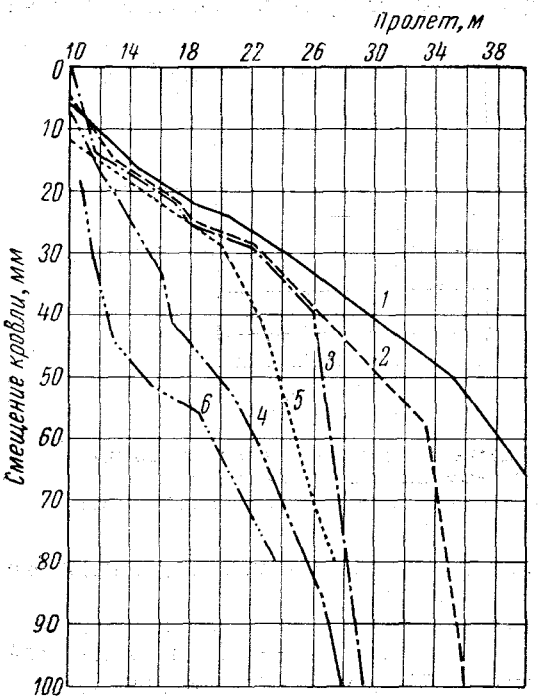



Рис. 4. Смещение кровли при различных пролетах (по данным лабораторных и шахтных исследований):
*1* — в камерах-лавах в натуре; *2* — в камерах-лавах на объемной модели скреплением; *3* — то же, без крепления; *4* — в камерах-лавах на плоской модели; *5* — в опережающей лаве с частичной закладкой в натуре; *6* — в отстающей лаве с частичной закладкой в натуре

Величина смещений непосредственной кровли и деформации целиков измерялись индикаторами часового типа. Сдвижение основной кровли в плоских моделях определялось методом фотофиксации с последующей обработкой снимков на компараторе ИЗА-2. В объемных моделях датчики устанавливались в камерах, в выработанном пространстве камер-лав и в целиках.

В результате установлено, что интенсивные смещения кровли начинают проявляться при пролете 18—20 *м* (нижний слой кровли мощностью 20—25 *см* обрушается при пролете 15—16 *м*). Обрушение непосредственной кровли на высоту до 2—5 *м* происходит после накапливания смещений порядка 90—100 *мм* при пролете 28 *м* (без крепления). При креплении деревянными стойками обрушение кровли на эту же высоту происходит при ширине пролета 33—35 *м* и лишь по истечении 2—3 месяцев. При увеличении пролета до 38—43 *м* обрушение распространяется на высоту 12—16 *м*.

Результаты лабораторных исследований хорошо согласуются с результатами шахтных замеров (рис. 4). Характерные этапы обрушения кровли приведены на рис. 5, по которому можно проследить последовательно деформации кровли и целиков при частичной и полной потерях несущей способности опорных (междукамерных) целиков. На рисунке видны и величина пролетов, углы обрушения и высота распространения зоны обрушения.

В лабораторных условиях при ширине пролета камер-лав 30, 35 и 42 *м* целики шириной 6 *м* соответственно испытывают нагрузки 125—

140—160 *кг/см*² (рис. 6). Потеря несущей способности целиков происходит при нагрузках, превышающих 320—390 *кг/см*². При потере несущей способности одним из центральных целиков в блоке, состоящем

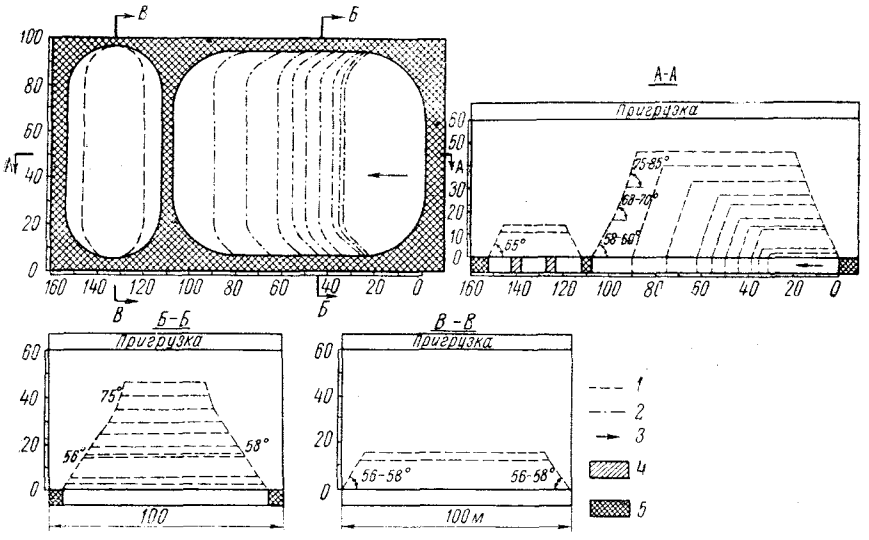



Рис. 5. Схема отработки объемной модели (размеры указаны в натуре):
*1* — контуры обрушения кровли по этапам; *2* — шаг установившегося обрушения; *3* — направление отработки пласта; *4* — целики, извлекаемые в процессе отработки модели; *5* — оставленные целики

из шести камер-лав, максимальная нагрузка, воспринимаемая соседними целиками, увеличивается (с 120—140 до 230—280 *кг/см*²). Мгновенного массового обрушения кровли в блоке при этом не происходит.

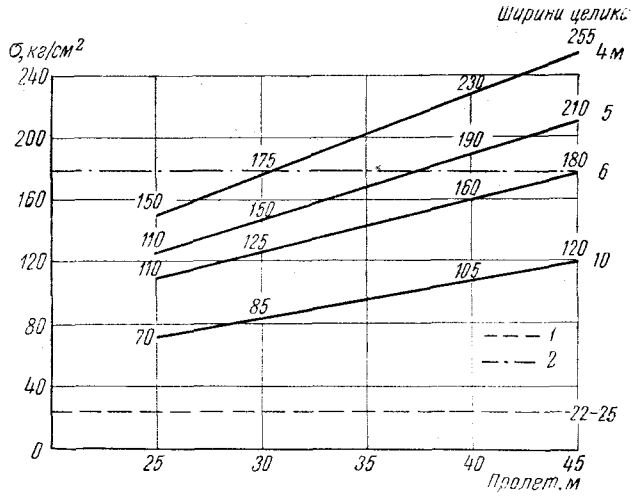



Рис. 6. Зависимость напряжений в целиках разной ширины от пролета камер-лав:
*1* — напряжения в массиве горных пород; *2* — временное сопротивление образцов пород на сжатие

Однако максимальные нагрузки на целики все же опасны и вызывают с течением времени и частичное разрушение, так как запас прочности целиков уменьшается почти вдвое (в отдельных случаях до 1,15). При разрушении двух целиков в блоке камер-лав с исходными пролетами 42—45 *м* третий целик раздавливается.

Проведенные исследования показали, что при камерной и камерно-столбовой системах разработки по характеру нарастания нагрузки разделяются на несколько этапов в зависимости от положения целиков в отрабатываемых столбах и времени приложения нагрузки.

На первом этапе, когда размеры выработанного пространства меньше предельного пролета и вышележащие породные слои еще сохраняют несущую способность, нагрузка на целики зависит от ширины пролета и величина ее значительно меньше веса вышележащих пород.

На втором этапе — при увеличении пролета выработанного пространства — целики начинают воспринимать полную нагрузку, определяемую глубиной залегания и весом вышележащих пород.

На третьем этапе — после длительного пребывания под нагрузкой можно наблюдать следующее:

деформация целика (нормальных размеров 6—7 *м*) постепенно увеличивается, но напряжения в целиках не превосходят предела прочности; скорость деформаций уменьшается и они постепенно затухают;

если размеры целика выбраны недостаточной ширины (до 4 *м*), или целик расположен в ухудшенных гидрогеологических условиях (карст), деформации постепенно увеличиваются и вызывают разрушение целика.

На увеличение скорости и величины деформаций большое влияние оказывают свойства сланца. При медленном возрастании нагрузки или длительном действии постоянной нагрузки сланец может значительно деформироваться, но сохранять достаточную устойчивость (в данном случае сланец ведет себя как псевдопластичный материал). При быстром возрастании нагрузки сланец может быстро разрушаться (ведет себя как хрупкий материал).

Резкое возрастание нагрузок на целики возможно при достижении критического (предельного) пролета, так как большая жесткость основной кровли препятствует постепенной передаче нагрузок на целики. Кроме того, различные геологические нарушения, карстовые и другие изменения также могут вызвать резкое возрастание нагрузок.

## Выводы

1. Ширина целиков 6 *м*, оставляемых между камерами-лавами, достаточна во всех случаях, так как разрушение целика происходит при ширине его менее 4 *м* и пролете камер-лав 50—55 *м*.

2. Для обеспечения максимальной безопасности горных работ необходимо оставлять не прорезаемые сбойками (повышенной ширины 8—10 *м*) целики между блоками камер-лав и изолировать отработанные блоки.

3. Наиболее безопасна и рациональна ширина пролета камер-лав 32—35 *м*. При таких пролетах обрушение кровли в отработанных камерах-лавах может произойти не ранее чем через 50—55 дней после отработки последней лавы. При достигнутой скорости подвигания забоя (50 *м/месяц* и более) блок камер-лав отрабатывается за 4—5 месяцев. Следовательно, обрушение кровли может произойти через 2—3 камеры-лавы, что практически безопасно.

4. Рекомендуемая плотность крепи 0,3 *стойки/м*$^2$ в период отработки камер-лав выбрана с большим запасом. Доказана возможность частичной разрядки крепи в камерах-лавах после их отработки на 40—50%.

5. Увеличение длины камер-лав сказывается на устойчивости кровли только до общей длины 150—160 *м*, дальнейшее увеличение до 200—215 *м* существенно не сказывается на устойчивости кровли при пролетах 32—35 *м*.