Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LI, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.831

НАПРЯЖЕНИЯ В МАССИВЕ, НАРУШЕННОМ СКВАЖИНАМИ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

(исследование методом фотоупругости)

Н. М. Проскуряков, А. А. Янишевский

Одним из основных способов предотвращения в лавах одиночных пологих пластов внезапных выбросов угля и газа является ослабление угольного массива передовыми скважинами большого диаметра. Эти выбросы в последние годы в шахтах Донбасса превышают 25% всех выбросов. Несмотря на актуальность способа до последнего времени не существует общепризнанной методики определения густоты защитной сети скважин. Радиус влияния скважин вычисляют по формулам В. В. Ходота [1961], А. В. Павлова [1962] или по методике МакНИИ [Бобров, 1961].

В. В. Ходот радиус разгружающего действия скважины (расстояние от оси скважины до точки с постоянным напряжением γH) определяет исходя из теории распределения напряжений в области предельно-напряженного состояния угля для двух случаев:
без учета давления газа

$$R_м = r + \frac{d}{2\sqrt{2}fx} \ln \frac{\gamma H}{kv}; \qquad (1)$$

с учетом давления газа

$$R_м = r + \frac{d}{2\sqrt{2}fx} \ln \frac{\gamma H - \frac{\lambda^2 LD}{(\psi + D\lambda)^2}}{kv - \frac{\lambda^2 LD}{(\psi + D\lambda)^2}}, \qquad (2)$$

где $R_м$ — радиус влияния скважины по механическому фактору, *см*;
r — радиус скважины, *см*;
d — диаметр скважины, *см*;
f — коэффициент трения угля по породам почвы и кровли;
λ — коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения,

$$\lambda = \frac{1 + \sin \varrho}{1 - \sin \varrho}, \qquad (3)$$

ψ — константа;
D — множитель, учитывающий трение, $D = \frac{2f}{m_1}$;
m_1 — мощность пласта, *м*;
ϱ — угол внутреннего трения, град.;

γ — объемный вес горных пород, *кГ/см*^{3};
H — глубина залегания угольного пласта, *м*;
k — сопротивление угля сдвигу, *кГ/см*^{2};
ν — коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения,

$$\nu = \frac{2\cos\varrho}{1-\sin\varrho}; \qquad (4)$$

L — параметр, учитывающий давление газа в угольном пласте.

По формулам (1), (2), зона влияния скважин при $d = 30$ *см*, $H = 600$ *м*, $\nu = 2{,}47$, $f = 0{,}3$ и $\lambda = 1{,}5$ для очень непрочных углей составляет 1,5 *м* ($k = 0{,}2$ *кГ/см*^{2}, $\rho = 12°$), а для углей более прочных 0,32 *м* ($\rho = 25°$; $k = 10$).

По А. В. Павлову, зона эффективного влияния одной скважины, перпендикулярной забою в середине лавы, длиной 2 a,

$$Z = \theta d \frac{d}{m} H, \qquad (5)$$

где

$$\theta = \frac{0{,}785 C_м}{H_м} 0{,}435\ м^{-1}; \qquad (6)$$

$C_м$ — коэффициент, учитывающий уменьшение диаметра скважин и расширение пласта по опытам на моделях.

Изменение зоны влияния скважины в различных частях лавы определяется соотношением эквивалентных пролетов, понятие о которых дано В. Д. Слесаревым [1952]:

$$Z_x = Z\frac{l'}{l} = Z\frac{x}{a}\frac{a+b}{x+b}, \qquad (7)$$

где Z_x — зона эффективного влияния одной скважины на расстоянии *хм* от штрека;
l и l' — эквивалентные пролеты, характеризующие напряженное состояние кровли, соответственно в середине лавы и в *хм* от штрека;
b — ширина призабойного пространства, *м*.

Подсчитанные по формулам (5) и (7) величины зоны влияния скважины, пробуренной в пласте «Ливенский» на шахте 5/6 им. М. И. Калинина в Донбассе ($m = 1{,}35$ *м*; $H = 400$ *м*; $d = 0{,}3$ *м*) изменяются в зависимости от расстояния до штрека в пределах от 4 (2,5 *м* от штрека) до 11 *м* (в 30 *м* и более).

Размеры зоны влияния скважин, рассчитанные разными методами, резко различны. Если по В. В. Ходоту зона влияния скважины для непрочных углей составляет 1,5 *м*, то по А. В. Павлову в 10 *м* от оси штрека она достигает 7 *м*, а в 30 *м* уже 11 *м*.

Сравнительная оценка правильности расчетных методов, рекомендованных для определения защитного действия скважин, проведена нами на основе изучения картины напряжений, возникающих в массиве, нарушенном скважинами, методом фотоупругости. Силовое подобие для определения силы инерции моделей, имитировавших условия западной лавы 25 пласта «Ливенский» шахты 5/6 им. М. И. Калинина, где проводили промышленные испытания влияния скважин, устанавливается по формуле

$$I_m = mw^2R = \frac{V\gamma_m}{g} w^2 R,$$

где m — масса вращающейся модели;
R — радиус вращения, $R = 65$ *см*;

γ_m — объемный вес материала, $\gamma_m = 1{,}3$ $Г/см^3$;
g — ускорение силы тяжести;
V — объем модели.

Модели изготовляли в виде куба со стороной 12 *см* из эпоксидной смолы ЭД-6 в масштабе 1 : 2000 с включенными в него очистным забоем и перпендикулярными ему скважинами (рис. 1). Нагрузку на модель воспроизводили на центрифуге БКЦ-3. Напряжения в массиве рассчитывали по тонким шлифам, полученным из нагруженной модели.

Исследованы три модели; одна контрольная без скважин, две со скважинами длиной 25 *м*, диаметром 70 и 300 *мм*, расположенные по всей длине лавы перпендикулярно забою, в 8 *м* друг от друга.

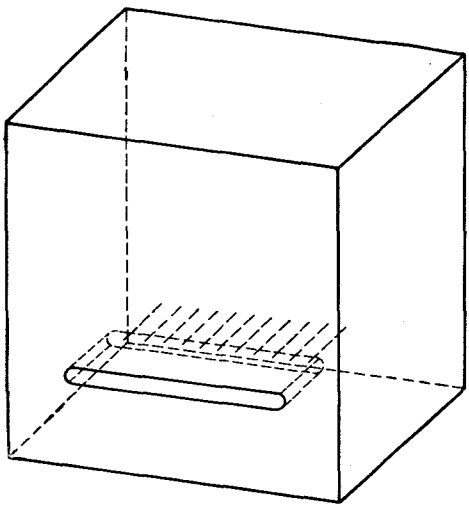


Рис. 1. Общий вид модели.

Перераспределение напряжений и расчеты проводили для характерных шлифов в горизонтальном и вертикальном сечениях. Главные напряжения σ_x, σ_z и максимальные касательные τ_{max} по этим сечениям рассчитывали методом приращения касательных напряжений в прямоугольных координатах от одного свободного контура к другому. Разность хода лучей определяли на координатно-синхронном полярископе с компенсатором Краснова и зарисовкой картин изохром и изоклин на установке FMB-56. Полученные результаты распределения напряжений по характерным шлифам показаны на рис. 2—4.

При проведении горных выработок существующее в массиве равновесное напряженное состояние нарушается. В результате, впереди очистного забоя и в боковых породах призабойного пространства происходит сложное распределение горного давления. Деформации и смещение боковых пород над массивом угля впереди забоя и в призабойном пространстве вследствие выемки угля в очистном забое приводят к появлению повышенных напряжений.

Распределение главных (рис. 2, *а*) и максимальных касательных (рис. 2, *б*) напряжений в боковых породах призабойного пространства (в 3 *м* от линии очистного забоя), полученных методом фотоупругости, видно на приведенных рисунках, где нанесены также распределения напряжений в кровле и почве призабойного пространства при проведении скважин впереди очистного забоя. Проведение впереди очистного забоя скважин вызывает в кровле и почве на значительном расстоянии от пласта снижение главных напряжений на 30% и приводит к увеличению максимальных касательных напряжений.

Как показал анализ внезапных выбросов на пологих пластах Донбасса [Павлов, 1962], выбросоопасность отдельных участков лавы различна, и 73% всех выбросов падает на участки лав, прилегающих к откаточному и вентиляционному штрекам, составляющим 20% всей длины лавы. Такое распределение выбросов А. В. Павлов объясняет зависанием пород кровли в частях выработанного пространства, прилегающих к штрекам, и перемещением вследствие этого максимума опорного давления ближе к забою.

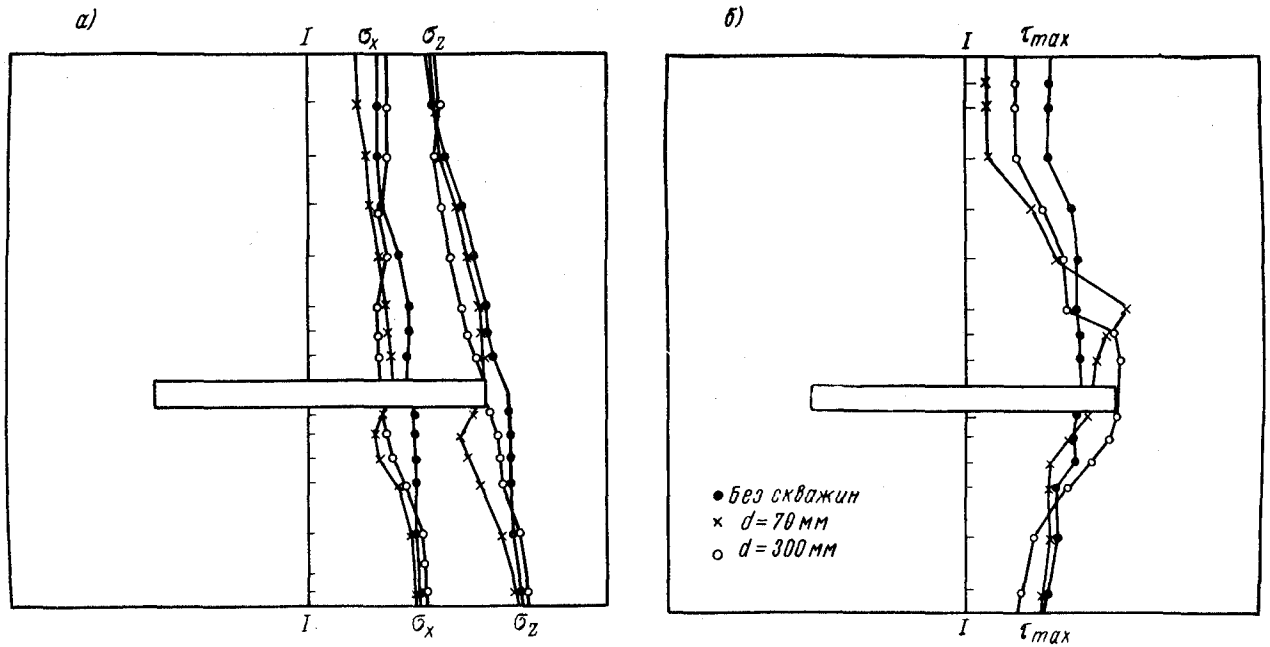


Рис. 2. Распределение в боковых породах призабойного пространства: *а* — главных напряжений; *б* — максимальных касательных напряжений.

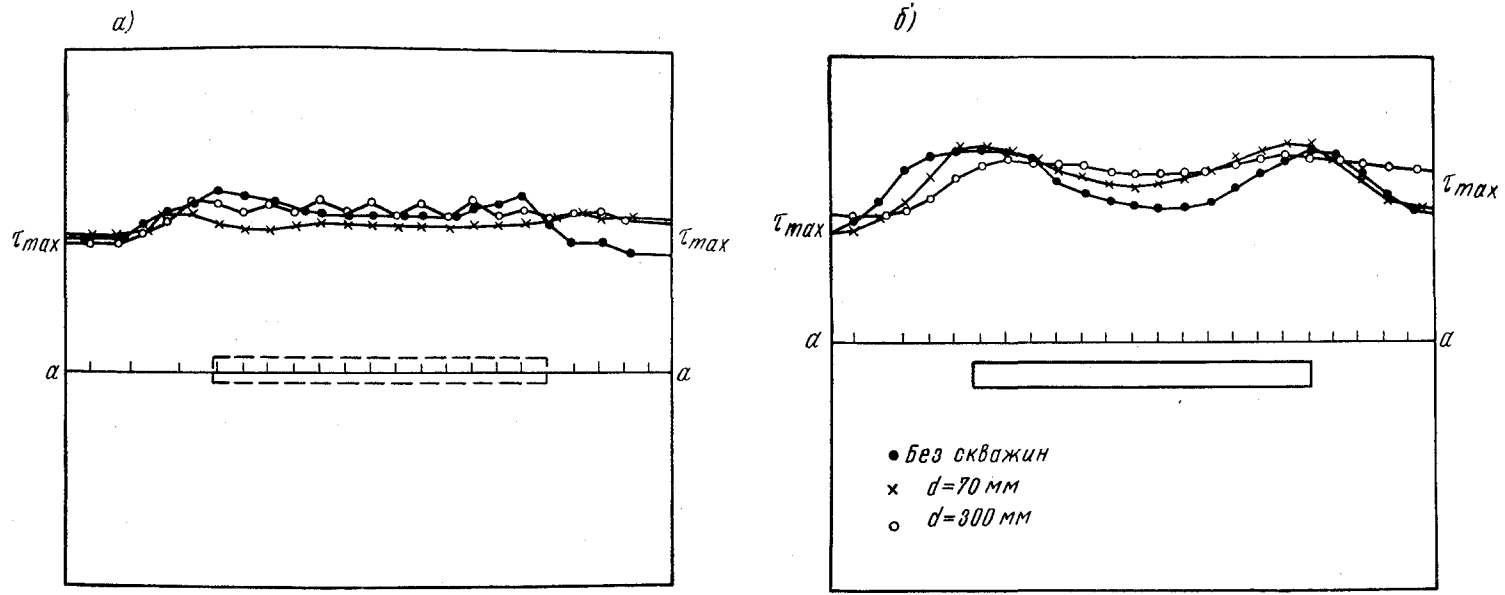


Рис. 3. Распределение максимальных касательных напряжений: *а* — впереди очистного забоя; *б* — в кровле призабойного пространства.

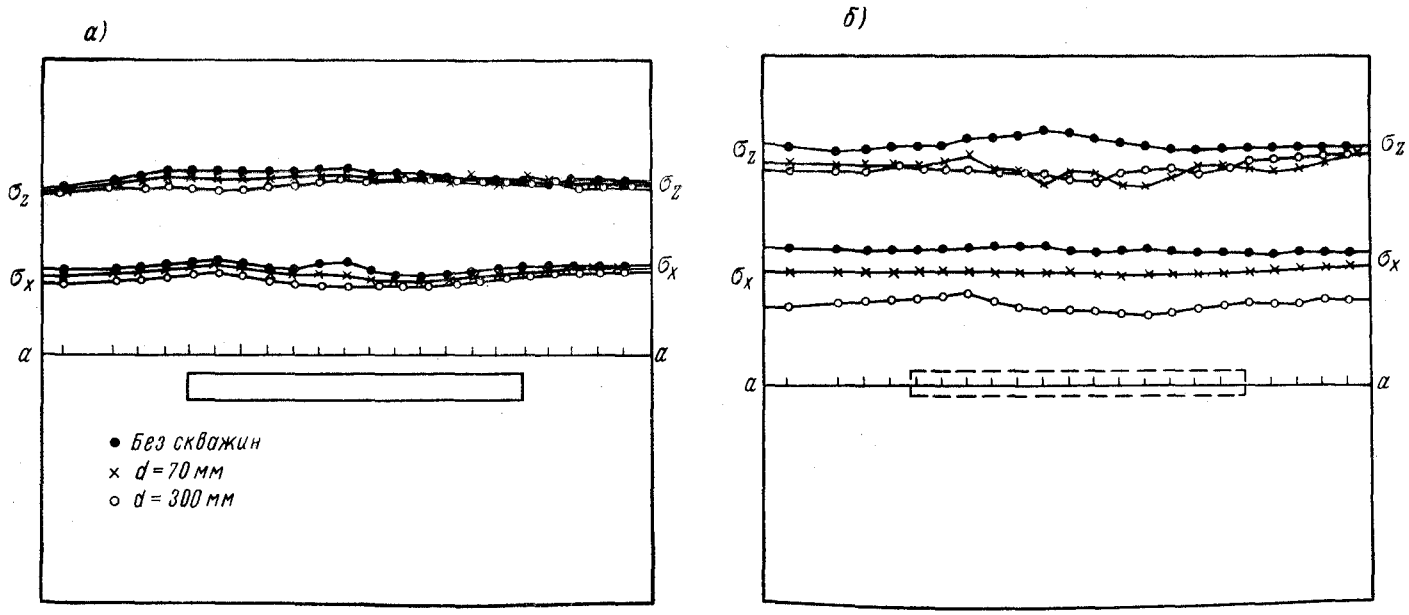


Рис. 4. Распределение главных напряжений: *а* — в кровле призабойного пространства; *б* — впереди очистного забоя.

С этой точки зрения интересно распределение напряжений в кровле призабойного пространства (в 3 *м* от забоя) и по длине очистного забоя, полученное методом фотоупругости. Как видно из рис. 3, повышенная опасность внезапных выбросов в кутках очистных забоев хорошо имитируется характером распределения максимальных касательных напряжений по длине очистного забоя, которые достигают максимума в кутках как впереди очистного забоя (рис. 3, *а*), так и в кровле призабойного пространства (рис. 3, *б*).

Кроме того, проведение передовых скважин и их диаметр сказываются на величине максимальных напряжений. Так, например, при диаметре скважин 70 *мм* касательные напряжения снижаются на значительном участке лавы, но концентрация их у кутков сохраняется. Для диаметра 300 *мм* характерны постоянство τ_{max} по всей длине лавы и ликвидация концентрации напряжений в кутках, т. е. создание более благоприятных условий для борьбы с внезапными выбросами. Действие скважин большого диаметра в массиве можно уподобить влиянию выработок небольшого сечения с качественно новой картиной распределения напряжений около них.

Снижение главных напряжений в кровле призабойного пространства (рис. 4, *а*) за счет проведения передовых скважин незначительно, но существенно зависит от диаметра скважин. Бурение скважин и их диаметр особенно сильно сказываются на величине главных напряжений впереди очистного забоя (рис. 4, *б*). Если при диаметре 70 *мм* σ_x снижаются впереди забоя (в 3—4 *м* от него) в среднем на 18%, по сравнению со значениями σ_x при отсутствии скважин, то при диаметре 300 *мм* падают почти на 50% (в среднем 43%). Снижение значений σ_z при бурении передовых скважин несколько меньше.

Приведенные картины распределения напряжений в боковых породах и впереди очистного забоя подтверждают, что одной из основных причин возникновения внезапных выбросов в очистных забоях является напряженное состояние пород — повышенные касательные и нормальные напряжения в местах возникновения выброса. Совместное рассмотрение главных и касательных напряжений позволит наиболее правильно подойти к выбору параметров защитной сети скважин большого диаметра для предотвращения выбросов пологих пластов и выяснить характер изменения зон влияния скважин в зависимости от их расположения по длине очистного забоя.

По полученной методом фотоупругости картине распределения напряжений наиболее целесообразным следует считать расчет радиуса влияния передовой скважины методом А. В. Павлова. При таком расчете в кутках лав — зонах повышенных нормальных и касательных напряжений — сетка скважин сгущается, а к середине лавы — зоне минимальных напряжений — радиус влияния скважины постепенно увеличивается.

Выводы

1. Наибольшее проявление внезапных выбросов по картине распределения напряжений, полученной путем моделирования методом фотоупругости, объясняется развитием в кутках лав повышенных касательных и нормальных напряжений.

2. Бурение скважин впереди очистного забоя снижает главные и увеличивает максимальные касательные напряжения в боковых породах призабойного пространства; выравнивает по всей длине лавы и ликвидирует в кутках концентрации максимальных касательных напряжений. При диаметрах скважин 300 *мм* величина нормальных напряжений впереди очистного забоя снижается до 40—45%.

3. На основе полученной методом фотоупругости картины распределения напряжений наиболее целесообразным для приближенного расчета защитного действия передовых скважин следует считать метод А. В. Павлова.

ЛИТЕРАТУРА

Б о б р о в И. В. Способы безопасного проведения подготовительных выработок на пластах, опасных по выбросам. Госгортехиздат, 1961.

П а в л о в А. В. Система разработки пологого пласта с использованием опорного давления для предотвращения выбросов угля и газа при помощи скважин большого диаметра. Сб. Борьба с внезапными выбросами в угольных шахтах. Госгортехиздат, 1962.

С л е с а р е в В. Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна, Углетехиздат, 1952.

Х о д о т В. В. Внезапные выбросы угля и газа. Госгортехиздат, 1961.