Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXVIII, вып. 1, 1959 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ ОДИНОЧНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ (В УСЛОВИЯХ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА)

А. В. Павлов

Внезапные выбросы угля и газа не только осложняют разработку угольных пластов, снижая темпы добычи угля и задерживая выемку отдельных пластов, но и являются большой опасностью для жизни работающих [1].

Зарубежными и отечественными исследователями выдвинут ряд гипотез, по-разному объясняющих это сложное явление природы [2, 3, 4].

На основании анализа существующих теорий А. А. Скочинский пришел к выводу, что «. все они, объясняя одни факты, вступают в противоречие с другими или в лучшем случае оставляют некоторые факты необъясненными» [5]. Этот вывод был одобрен и Первой Всесоюзной конференцией по внезапным выбросам угля и газа 1948 г.

Придавая большое значение вопросам безопасности труда, Совет Министров СССР в 1951 г. поручил разрешение проблемы внезапных выбросов ряду институтов АН СССР и основным научно-исследовательским институтам угольной промышленности.

Несмотря на значительные успехи советских ученых в послевоенные годы, природа внезапных выбросов и в настоящее время еще недостаточно изучена.

Современные представления о причинах внезапных выбросов сводятся к следующему [6]. Внезапные выбросы угля и газа происходят в результате совокупного действия: 1) горного давления; 2) содержащегося в угле газа; 3) физико-механических свойств, микро- и макроструктуры угля и строения угольного пласта; 4) веса угля при крутом залегании пластов (веса массива призабойной зоны угольного пласта). Два первых фактора являются основными в формировании и протекании выброса, а два последних способствуют или препятствуют их действию.

Основные условия безопасной разработки. В настоящее время наиболее эффективным средством борьбы с внезапными выбросами угля и газа является предварительная разработка соседнего, так называемого, «защитного» пласта в кровле (надработка) или почве (подработка), положенная в основу мероприятий, предусматриваемых Правилами безопасности. Понятно, что большое значение для разработки опасных

по выбросам месторождений имеет увеличение числа защитных пластов путем отработки на всю мощность или частично нерабочих прослойков и «грязных» пластов. Но и при этих условиях неизбежна выемка большого числа незащищенных пластов, отработка которых представляет особую сложность.

Большие исследования по изучению влияния подработки и надработки проводились ВНИМИ, институтами горного дела АН СССР и АН УССР, МакНИИ. Экспериментальными работами ВНИМИ в шахтных условиях и на моделях установлено, что при разработке защитного пласта в окружающем массиве пород, в том числе и в подзащитном пласте, возникают три зоны: зона сжатия на расстоянии от 5—10 до 40—50 *м* впереди забоя защитного пласта, соответствующая зоне опорного давления этого пласта; зона разгрузки (расширения) в пределах от 5—10 *м* впереди забоя до 25—70 *м* позади забоя защитного пласта и зона уплотнения. Дегазация в основном приурочивается к зоне разгрузки пласта и замедляется в третьей заключительной зоне. Максимальная величина сжатия и расширения пластов достигает 1,5—2,5 *мм*, что составляет около 0,3% от мощности. Увеличение пористости угля (после подработки или надработки) находится в тех же пределах.

Те же исследования показали, что зона сжатия связана с зоной опорного давления, которая при работе с обрушением распространяется на 30—50 *м* (и даже больше) впереди забоя и в которой четко выделяются три зоны: зона выдавливания угля до 6 *м* от забоя; зона больших деформаций, распространяющаяся на 10—20 *м* и зона малых деформаций от 10—20 до 30—50 *м*. Установлено также, что опорное давление проявляется не только впереди забоя, но распространяется и на нижележащий массив угля, охватывая участок примерно таких же размеров. Этим и можно объяснить общеизвестный факт (использованный при выборе системы разработки Н. А. Зайцевым [7], что на опасных по внезапным выбросам пластах верхняя часть этажа на расстоянии порядка 30 *м* от вентиляционного штрека дегазирована и, как правило, безопасна от внезапных выбросов.

Таким образом, защитное действие связано с дегазацией опасного пласта после разрушения массива угля в результате его последовательного сжатия в зоне опорного давления защитного пласта и последующего расширения в зоне пониженного давления в пределах выработанного пространства этого пласта. В одиночном пласте аналогичное действие имеет место при отработке вышележащей части пласта: разрушение угля здесь связано со сжатием в зоне опорного давления, возникающей от разработки вышележащей части пласта (зона около 30 *м*) и последующим расширением на расстоянии 30—40 *м* (шаг обрушения) позади забоя в пределах выработанного пространства вышележащей части пласта.

Основной задачей создания безопасной системы разработки одиночного (передового) пласта, опасного по внезапным выбросам, очевидно, является воссоздание условий дегазации пласта, подобных возникающим при надработке или подработке. Поскольку необходимые для разрушения угля силы сжатия неизбежно проявляются впереди лавы, в зоне опорного давления самого пласта, даже с большей силой, чем при надработке, то для дегазации угля и безопасной выемки одиночного пласта необходимо дополнительно обеспечить возможность расширения угля в зоне опорного давления. Таким образом, задача обеспечения безопасной разработки одиночных пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа, сводится к созданию трех основных условий: 1) максимального использования опорного давления для разрушения

угля; 2) свободного расширения пласта в зоне опорного давления; 3) организации отвода газа, минуя очистной забой.

Решению этой задачи и посвящена настоящая работа.

Существующие предложения по разработке опасных пластов. В Центральном районе Донбасса почти повсеместно распространена разработка системой лава-этаж с потолкоуступной формой забоя и применением отбойных молотков при управлении кровлей поддержанием на кострах [1]. Такая система без проведения специальных мероприятий опасна для разработки пластов с выбросами.

Все имеющиеся проекты выемки крутопадающих пластов, опасных по выбросам угля и газа, базируются на различных принципах, которые могут быть сведены к следующему: 1) использование дегазации в результате предварительной отработки вышележащей части этажа [8]; 2) искусственная подработка пласта канатной пилой [9]; 3) ликвидация гравитационного воздействия нависающего массива угля путем придания забою прямолинейной (диагональной) формы или перехода на выемку полосами по падению [10]; 4) предотвращение выброса за счет предварительного высыпания угля при выемке полосами по восстанию [11]. Лишь система разработки Н. А. Зайцева и М. Я. Рапопорта [7, 8], основанная на разделении этажа на подэтажи, базируется на использовании деформаций угля, аналогичных проявляемым при надработке, т. е. использовании опорного давления в сочетании с дегазацией.

Большинство же перечисленных систем разработки базируется на применении новых механизмов по выемке, до того нигде не применяемых (канатная пила, скреперострут и другие), а также новых видов крепи. Проверку их целесообразно проводить сначала на неопасных пластах, в аналогичных условиях. Применение новых механизмов, не требующих присутствия людей в забое, перспективно с точки зрения безопасности.

Все существующие системы недостаточно используют основные методы борьбы с внезапными выбросами, опробированные и применяемые при проходке подготовительных выработок (бурение глубоких скважин большого диаметра). Кроме того, ряд систем исходит из ликвидации второстепенных факторов, способствующих образованию внезапных выбросов угля и газа (гравитационные), значение которых ограничено только крутопадающими пластами и то до определенной глубины.

Ни одна из систем не отвечает полностью указанным выше трем условиям, которым, по нашему мнению, должна удовлетворять система разработки пласта, опасного по выбросам угля и газа.

Основная задача при разработке одиночных опасных пластов. Как отмечалось выше, впереди очистного забоя неизбежно имеются силы опорного давления, вполне достаточные для разрушения угля. Эти силы при разработке пласта будут больше, чем при его надработке защитным. Поэтому задачей создания условий безопасной разработки одиночных пластов, опасных по выбросам, является обеспечение расширения пласта в массиве угля впереди очистного забоя. Одним из мероприятий, обеспечивающих это расширение (подобное расширению при надработке в зоне разгрузки) в зоне опорного давления, и будет проходка скважин большого диаметра, которая, кроме того, позволит обеспечить отвод газа на поверхность, минуя очистной забой.

Следовательно, предлагаемое мероприятие может иметь большое значение не только для пластов, опасных по выбросам, независимо от их падения, но и для всех сильно газовых пластов, выемка которых без дегазации технически невозможна или затруднена.

Если для разработки одиночных пластов крутого падения, опасных по внезапным выбросам угля и газа, в настоящее время имеется ряд

предложений, из которых некоторые проходят промышленные испытания на шахтах Центрального района Донбасса (выемка цепной пилой по простиранию и полосами по восстанию, выемка полосами по падению со щитовым перекрытием и т. п.), то для таких же пластов пологого падения предлагаемое мероприятие пока является единственным. Актуальность же проблемы безопасной разработки пластов пологого падения, опасных по внезапным выбросам угля и газа, характеризуется хотя бы тем, что в 1957 г. 60% всех выбросов в Донбассе произошло на пластах пологого падения и из них 70% падает на очистные забои.

Косвенным доказательством правильности наших предпосылок являются проводимые в США, начиная с 1953 г., опыты использования скважин большого диаметра (до 610 *мм*) при выемке целиков в пластах, опасных по горным ударам [19], для которых, подобно внезапным выбросам, основной мерой обеспечения безопасности работ является предварительная отработка защитных пластов. Эти опыты дали положительные результаты (например, бурение скважин сделало возможным разработку пласта Покахонтас № 4, ранее прекращенную из-за горных ударов) и показали, что после проходки скважин большого диаметра дальнейшая эксплуатация пластов, опасных по горным ударам, может проводиться обычными методами без проведения дополнительных мероприятий.

Кроме того, некоторым доказательством правильности наших предпосылок может служить увеличение газоотдачи из опасных пластов под воздействием надработки и опорного давления через скважины, пройденные впереди очистного забоя. Наблюдения [12] за газовыделением из скважин, пробуренных из водоспускного гезенка навстречу очистному забою на пласте Мазур мощностью 1,2 *м* (шахта им. Карла Маркса треста Орджоникидзеуголь), показали увеличение дебита метана в зоне опорного давления в 90 раз (скважина диаметром 40 *мм* на 27 *м* выше откаточного штрека). Скважина, пробуренная в 55 *м* от откаточного штрека, дала увеличение дебита метана в 210 раз.

Наблюдения за изменением дебита метана из пласта Мазурка мощностью 1,15 *м* (шахта им. Артема треста Дзержинскуголь), надрабатываемого пластом Девятка (мощность 1,55 *м*) при междупластьи 20 *м* [13] через пересекающие пласт в 10 *м* от основного горизонта скважины (пробуренные из откаточного штрека пласта Девятка вкрест напластования пород) показали максимальное увеличение дебита метана в зоне надработки (на расстоянии примерно 30—40 *м* позади забоя) в 75—80 раз выше нормального (230 *м*^{3}/*сутки* против 3 *м*^{3}/*сутки*).

Таким образом, эффект от действия надработки (пласта мощностью 1,15 *м* пластом 1,55 *м*, залегающим в кровле на расстоянии 20 *м*) примерно такой же и даже меньше, чем в одиночном пласте (мощностью 1,2 *м*) под действием опорного давления при наличии передовых скважин даже сравнительно небольшого диаметра.

Исследование на моделях. В подтверждение возможности создания в одиночном пласте условий, подобных надработке и подработке, были поставлены лабораторные экспериментальные работы. Целью работ было: определение и сопоставление величин опорных деформаций в одиночных пластах в обычных условиях, а также подсеченных скважинами, в подработанном и надработанном пластах при тех же горногеологических условиях. Для решения задачи был использован метод эквивалентных материалов [14, 15].

Измерение опорных деформаций производилось специально разработанными гидравлическими датчиками с чувствительностью 0,0015—0,002 *мм* и точностью измерения относительной деформации на базе

25 *мм* (мощность пласта) $\frac{0{,}002}{25} = 8 \cdot 10^{-5}$, что, как показали опыты, вполне достаточно.

Масштаб моделирования 1 100. Модели изготовлялись из смеси песок — вода — гипс. На всех моделях была принята однородная слоистая толща. Толщина слоя 1 *см*. Прочность материала («пород») на сжатие и изгиб соответствовала в натуре породам средней прочности. Испытание модели производилось на металлическом стенде длиной 283 *см*. Высота моделей 138 *см*, ширина 18 *см*.

Модели строились применительно к условиям Центрального района Донбасса. Исследование велось на плоской модели. В объемной модели не было особой необходимости, поскольку движение непосредственной кровли, как известно, независимо от угла падения происходит по нормали к плоскостям напластования и вызывается нормальной составляющей силы тяжести покрывающих пород. В соответствии с этим моделировалась не вся толща покрывающих пород H, а мощность, уменьшенная на косинус угла падения $H' = H \cos \alpha$.

На модели были созданы условия залегания, соответствующие залеганию крутопадающих пластов на глубине

$$H = \frac{H'}{\cos \alpha} = \frac{138}{0{,}342} = 400 \text{ м}$$

при угле падения 70°.

Горизонтальные скважины диаметром 0,5 *см* (0,5 *м* в натуре) моделировались с помощью стеклянных стержней такого же диаметра, которые закладывались в пласт в момент изготовления модели и вынимались перед началом испытания.

Мощность разрабатываемых пластов была принята 2,5 *см* (2,5 *м* в натуре). Как известно, в Центральном районе Донбасса повсеместно распространено управление кровлей поддержанием на кострах. Имитация этого крепления на моделях производилась путем установки *z*-образного картонного крепления через каждые 4 *см*. Это крепление под давлением вышележащих слоев могло сжиматься больше, чем на $\frac{2}{3}$ первоначальной мощности пласта и в некоторой степени могло быть уподоблено костровой крепи. Отработка пласта начиналась от целика длиной 30 *см* и производилась равномерно заходками по 2 *см*. Расстояние между защитным и подзащитным пластами принималось в 20 *см* (*м*).

Первой серией опытов выяснялась разница и проводилось сопоставление опорных деформаций в одиночном пласте: а) ненарушенном скважинами; б) нарушенном скважинами ($d = 0{,}5$ *м*), пройденными параллельно очистному забою на расстоянии 6 *м* друг от друга; в) нарушенном скважинами, пройденными перпендикулярно забою на том же расстоянии.

На рис. 1 представлена схема модели *1* из данной серии опытов. На этой же модели изучалось влияние разработки нижележащего пласта на вышележащий. Результаты изменения опорных деформаций в одиночном пласте при наличии скважин и без скважин, полученные при испытании модели *1*, графически представлены на рис. 2, где по оси абсцисс отложено расстояние от груди забоя до места замера деформации. Каждая точка на этом графике (как и на последующих) получена на основании трех замеров. По оси ординат на положительной

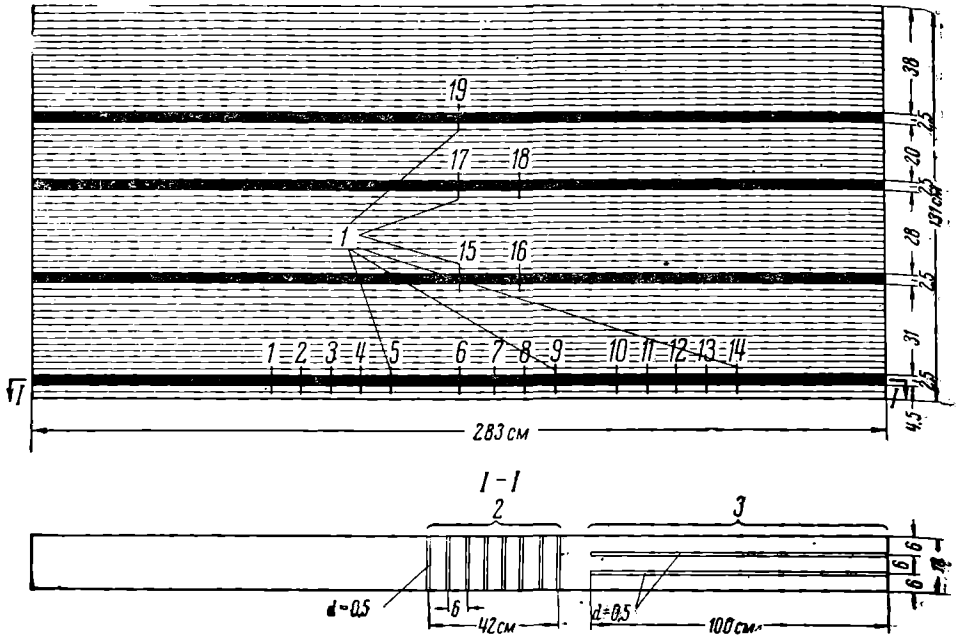


Рис. 1. Схема модели *1*:

1 — номера датчиков и места их установки. Группа скважин: *2* — параллельных забою; *3* — перпендикулярных забою

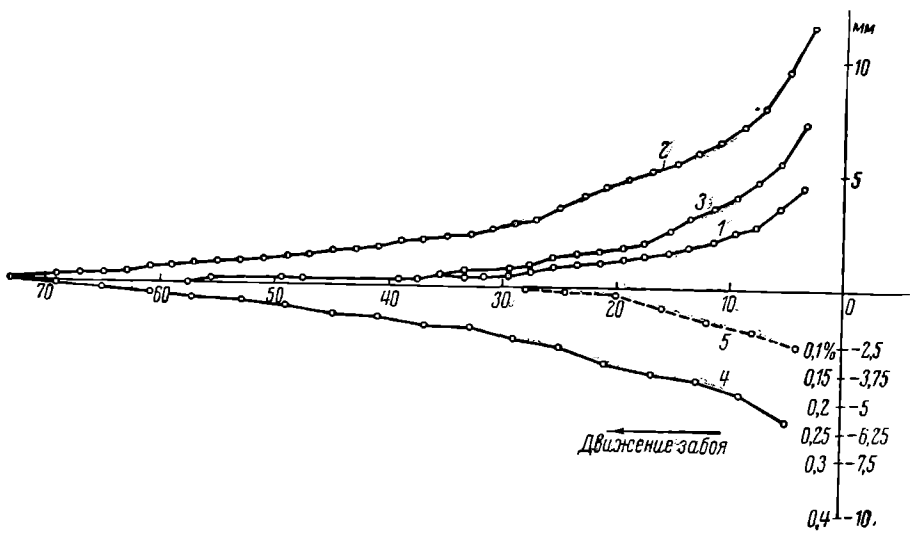


Рис. 2. Изменение опорных деформаций в одиночном пласте при наличии и отсутствии скважин. Опорные деформации одиночного пласта:

1 — без скважин; *2* — при скважинах, перпендикулярных забою; *3* — при скважинах, параллельных забою. Расширение пласта за счет скважин, пройденных: *4* — перпендикулярно забою; *5* — параллельно забою

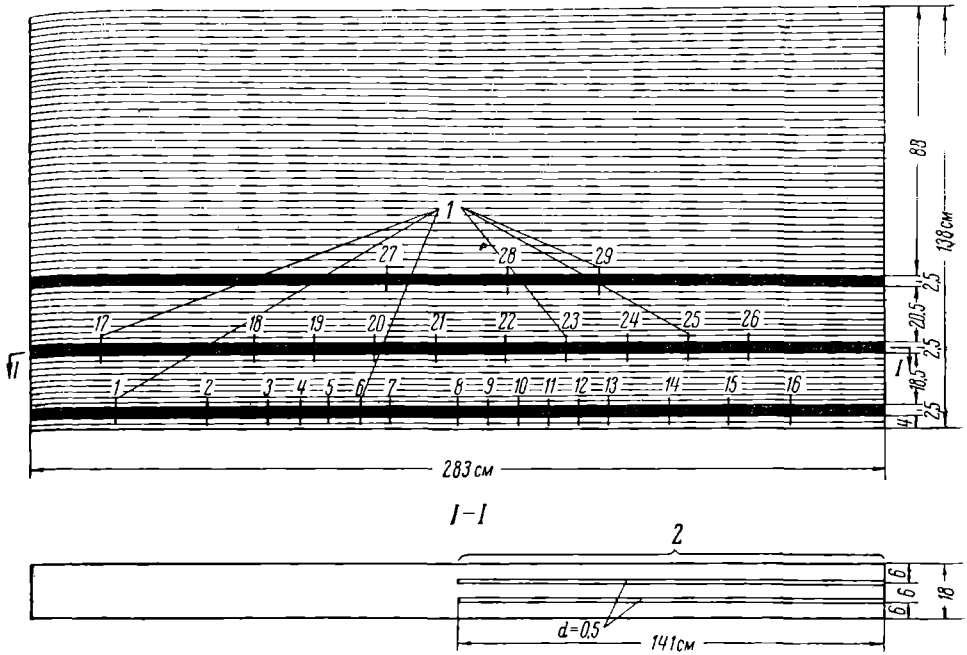


Рис. 3. Схема модели *2*:

1 — номера датчиков и места их установки; *2* — группа скважин, перпендикулярных забою

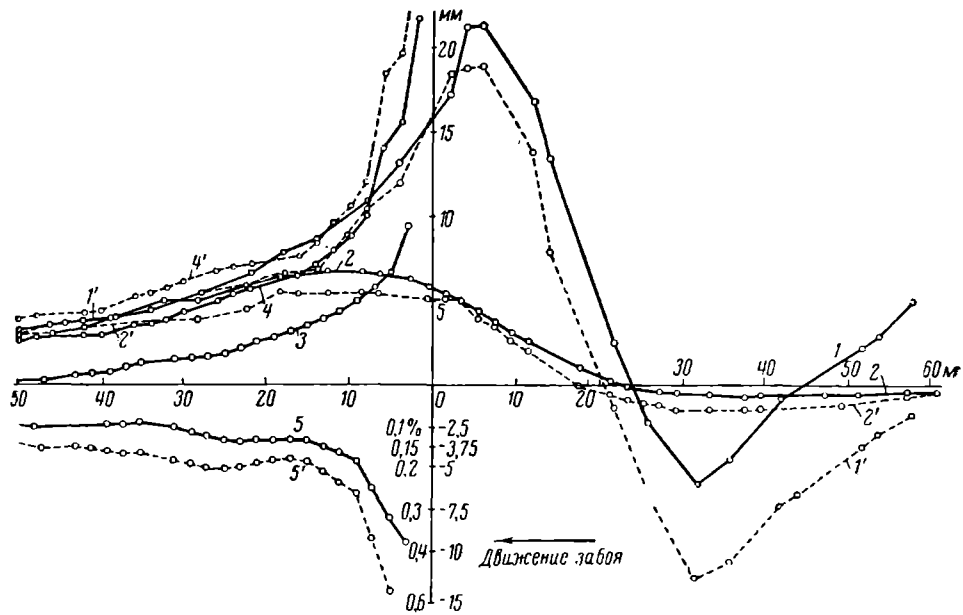


Рис. 4. Зависимость изменения деформаций в надрабатываемом и подрабатываемом пластах от положения забоя надрабатывающей или подрабатывающей лавы и изменение опорных деформаций в одиночном пласте при наличии и отсутствии скважин:

1 — деформации пласта мощностью 2,5 *м* при подработке пластом той же мощности; *1'* — то же, по замерам датчика, показавшего максимальное расширение в зоне разгрузки; *2* — деформации пласта мощностью 2,5 *м* при надработке пластом той же мощности; *2'* — то же, по замерам датчика, показавшего максимальное расширение; *3* — опорные деформации одиночного пласта без скважин; *4* — опорные деформации одиночного пласта при скважинах, перпендикулярных забою; *4'* — то же, по замерам датчика, показавшего максимальное сжатие; *5* — расширение пласта за счет скважин, перпендикулярных забою; *5'* — то же, по замерам датчика, показавшего максимальное сжатие

ветви отложены абсолютные деформации пласта, а на отрицательной — расширение пласта за счет скважин (в миллиметрах и в процентах от первоначальной мощности пласта).

Целью испытания второй серии моделей (модели *2*) было сопоставление размеров деформаций, возникающих при надработке и подработке, и сравнение их с опорными деформациями одиночного пласта, нарушенного скважинами, перпендикулярными забою, и ненарушенного. Эксперимент показал возможность, с помощью скважин большого диаметра и при использовании опорного давления, получения расширения угля одиночного пласта такого же, какое получается при подработке и надработке в зоне разгрузки (рис. 3, 4). На рис. 4 пунктиром обозначены результаты замеров по одному датчику, который показал максимальное расширение угля.

Испытание модели *9* (рис. 5) показало зависимость эффективности надработки и подработки от мощности защитного пласта (точнее про-

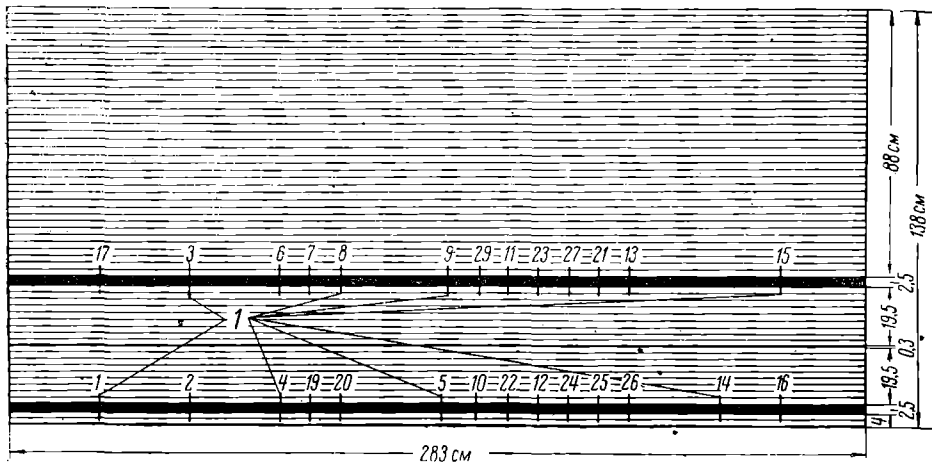


Рис. 5. Схема модели *9*:
1 — номера датчиков и места их установки

пластка). Эта модель, в отличие от модели *2*, вместо среднего пласта мощностью 2,5 *см* имела пропласток мощностью 0,3 *см*. Результаты испытания этой модели так же, как двух предыдущих, графически представлены на рис. 6 (кривые *1* и *2*). На этом же рисунке для сопоставления представлены величины деформаций (кривые *3* и *4*), возникающих в пласте угля, когда в качестве защиты разрабатывается не пропласток мощностью 0,3 *см* (*м*), а пласт мощностью 2,5 *см* (*м*).

Данные испытаний моделей приводят к следующим выводам.

1. Распределение деформаций в надрабатываемом и подрабатываемом пластах, полученное на моделях, соответствует существующим представлениям о механизме защитного действия надработки и подработки.

2. Проходка группы скважин ($d = 0{,}5$ *м*) перпендикулярно забою на расстоянии 6 *м* друг от друга под воздействием опорного давления обеспечивает на участке от 10 до 30 *м* впереди забоя разрушение пласта (мощностью 2,5 *м*) и его расширение на 0,2% от первоначальной мощности. Расширение одиночного пласта, нарушенного скважинами, перпендикулярными забою, значительно больше, чем расширение пласта в зоне разгрузки (0,05%) при его надработке защитным пластом (мощность защитного пласта 2,5 *м*, междупластья 20 *м*), но меньше, чем при подработке (0,25%).

Скважины, пройденные параллельно забою того же диаметра и на том же расстоянии друг от друга, обеспечивают возникновение деформаций значительно меньших, чем перпендикулярные забою (расширение пласта нигде не достигало 0,1% от первоначальной мощности).

3. Предварительное пересечение пласта скважинами диаметром, равным 20—25% от мощности пласта, при расстоянии между скважинами 6—10 *м*, обеспечивает защитное действие против внезапных выбросов угля и газа. Для большинства пластов Центрального района Донбасса достаточно применение скважин диаметром около 0,3 *м*.

4. Проведенные лабораторные эксперименты дают основание рекомендовать для промышленного испытания подсечку опасного по внезапным выбросам угля и газа одиночного пласта передовыми скважинами с использованием опорного давления для его дегазации.

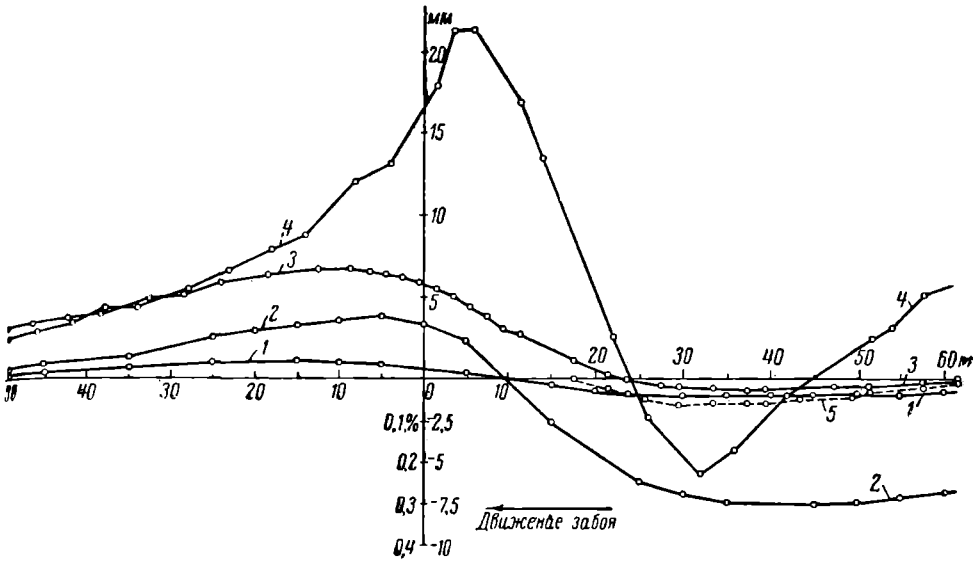


Рис. 6. Зависимость изменения деформаций в надрабатываемом и подрабатываемом пластах от положения забоя надрабатывающей или подрабатывающей лавы и мощности разрабатываемого пласта:

1 — деформации пласта мощностью 2,5 *м* при надработке пропластком мощностью 0,3 *м*; *2* — то же, при подработке; *3* — деформации пласта мощностью 2,5 *м* при надработке пластом мощностью 2,5 *м*; *4* — то же, при подработке; *5* — максимальное расширение пласта мощностью 2,5 *м* в зоне разгрузки при надработке пластом мощностью 2,5 *м*

5. Деформации защищаемого пласта в зоне сжатия изменяются пропорционально мощности защитного пласта (наряду с зависимостью от величины междупластья и свойств его пород). Деформации же пласта в зоне разгрузки не зависят от мощности защитного пласта.

6. Выявленная зависимость сжатия защищенных пластов от мощности защитного показывает: а) наличие минимальной предельной мощности, ниже которой предварительная отработка не оказывает защитного действия; б) зависимость предельной защитной мощности от горногеологических условий, размеров междупластья и положения защитного пласта (подработка или надработка).

Минимальную защитную мощность в настоящее время до постановки специальных исследований на моделях и в натуре установить нельзя. Однако уже и полученные данные свидетельствуют о том, что предварительная подсечка пластов канатной пилой не во всех случаях может оказать защитное действие, и эффективность предварительной выемки очень тонких нерабочих пропластков может дать значительно

меньший эффект, чем это ожидается [16] некоторыми исследователями (особенно в случае надработки).

7. Настоящие выводы об эффективном защитном действии опорного давления в сочетании с передовыми дегазационными скважинами могут быть полностью распространены на опасные по внезапным выбросам угля и газа пласты пологого падения, где эффективность скважин будет еще больше, а также на дегазацию одиночных сильно газоносных пластов, разработка которых без дегазации невозможна.

Расположение скважин. В настоящее время в Центральном районе Донбасса распространена выемка по простиранию системой лава-этаж. В этих условиях применяются в основном два способа подготовки: 1) при наличии полевого (группового) штрека (с поддержанием пластового откаточного штрека в угле — работа на передний квершлаг и в выработанном пространстве — работа на задний квершлаг); 2) без полевого штрека (с поддержанием откаточного штрека по пласту на всю длину шахтного поля при выемке от ствола).

Задачей выбора схемы дегазации одиночного пласта по предлагаемому методу в этих условиях является: 1) выбор рациональной схемы расположения скважин применительно к направлению выемки и развитию подготовительных выработок; 2) выбор расстояния между скважинами, исходя из условий их проходки и обеспечения необходимого расширения угля одиночного пласта и связанной с этим его дегазации.

Проходка скважин из очистного забоя может оказаться эффективной только в исключительных случаях, так как скважины вначале должны пересечь зону «выдавливания угля» (по ВНИМИ) и будут преждевременно нарушаться, с чем связан зажим бурового инструмента и ухудшение условий дегазации при разрушении прилегающей к забою части скважины. Бурение скважин из очистного забоя вообще нежелательно, поскольку это связано со значительным осложнением организации очистных работ. Целесообразнее отводить газ через толщу угля в направлении от забоя по скважинам, предварительно пройденным из подготовительных выработок.

С точки зрения разрушения и дегазации угля одиночного пласта наиболее благоприятным следует считать расположение скважин перпендикулярно забою из специальных выработок, пройденных параллельно забою, так как в этом случае все скважины будут в работе в течение всего времени эксплуатации участка и будут нагружены равномерно. Целесообразность такого расположения скважин подтверждают и лабораторные экспериментальные работы, показавшие, что расширение угля за счет скважин, пройденных параллельно забою, по крайней мере в два раза меньше, чем в скважинах, пройденных перпендикулярно забою (см. рис. 2). Кроме того, при расположении параллельно забою скважины будут поочередно подходить под воздействие опорного давления и поэтому воздействие опорного давления будет проявляться лишь периодически. Однако, вследствие более простой организации работ, этот способ, дающий возможность постепенно проходить скважины по мере их выключения, может оказаться в отдельных случаях более предпочтительным, хотя сетку скважин придется значительно сгустить.

В условиях Центрального района Донбасса предлагаемая схема дегазации будет заключаться в следующем: впереди очистного забоя на расстоянии порядка 50 *м* проходится скат; из ската по обе стороны бурятся на заданном расстоянии друг от друга скважины диаметром 0,3—0,5 *м* и длиной 50 *м* (рис. 7).

Выбор расстояния между скважинами с точки зрения дегазации в условиях очистных работ в нарушенном массиве теоретически не раз-

работан, поэтому задача решалась по методике, предложенной В. В. Ходотом для подготовительных выработок, пройденных в ненарушенном массиве угля, когда газоотдача зависит от изменений структуры угля, вызываемых главным образом проходкой самих скважин [17]. Для этих условий В. В. Ходот рекомендует следующую формулу для определения радиуса скважин:

$$r_n = \sqrt{\frac{2m^2(d_1 - d_2)}{n\eta\pi d_2}},$$

где m — мощность пласта;

$2m^2$ — зона влияния одной скважины (по К. В. Руппенейту);

d_1 — средний (для прилегающей к скважине области пласта) удельный объемный вес угля, зависящий от давления вмещающих пород;

d_2 — удельный вес разрушенного угля (в зависимости от степени его разрыхления);

n — число скважин по падению на участке, равном $2m$;

$\eta = 1 - \frac{r_2^2}{r_1^2}$ — коэффициент использования скважин (r_1 и r_2 — радиусы скважины до и после разрушения).

Для выбора расстояния между дегазационными скважинами в очистных работах мы используем формулу В. В. Ходота, имея в виду определение площади, подлежащей дегазации при заданном радиусе скважины,

$$n_c = \frac{mh_э(d_1 - d_2)}{r^2\eta\pi d_2},$$

где n_c — необходимое число скважин;

$mh_э$ — зона, в которой необходимо обеспечить эффективное влияние скважин;

$h_э$ — высота этажа;

r — заданный радиус скважины (0,15 — 0,25 *м*).

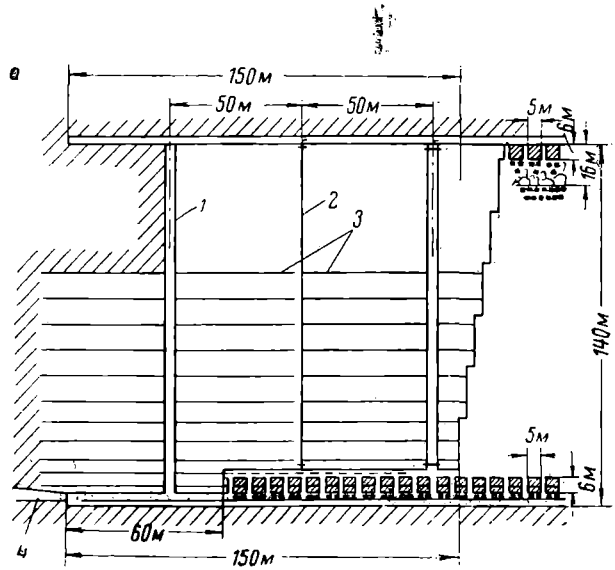
При расчете значения d_1 и d_2 взяты из таблицы зависимости объемного веса угля от величин приложенной нагрузки [17]; d_2 при статическом давлении, равном весу вышележащих пород 100 *кг/см*^{2} (глубина разработки 400 *м*, средний удельный вес пород 2,5 *г/см*^{3}), принято равным 1,336 *г/см*^{3}. Опорное давление, которое, как известно, может в 1,5—2 раза и более превосходить первоначальное давление, условно принято 200 *кг/см*^{2}, чему соответствует удельный вес угля $d_1 = 1{,}345$ *г/см*^{3}.

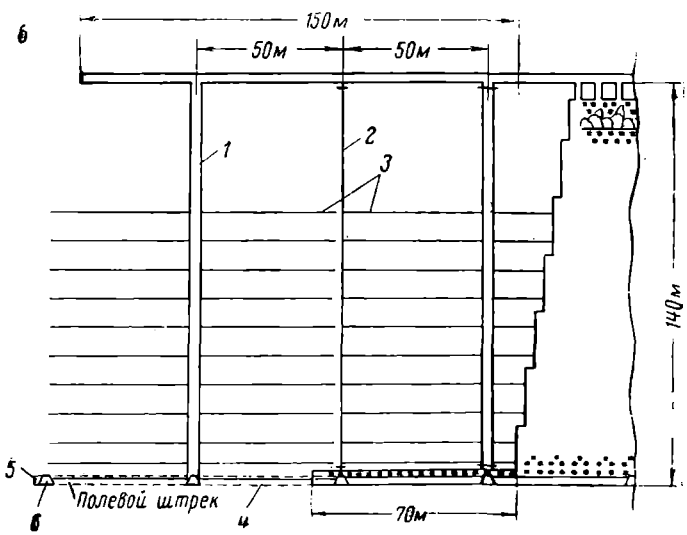
В табл. 1 приведены полученные расстояния между скважинами.

Таблица 1

d, *м*	Расстояние между скважинами l_c (*м*) при $m = 0{,}7$ *м*	$m = 1$ *м*	$m = 1{,}5$ *м*	$m = 2$ *м*	$m = 2{,}5$ *м*
0,3	16	11	7	5	4
0,4	28	20	13	9	7
0,5	47	28	20	14	12

Примечание. Жирной линейкой обведены рекомендуемые расстояния между скважинами.


а
150м
50м
50м
5м
6м
15м
1
2
3
140м
5м
6м
60м
4
150м


б
150м
50м
50м
1
2
3
140м
5
Полевой штрек
6
4
70м

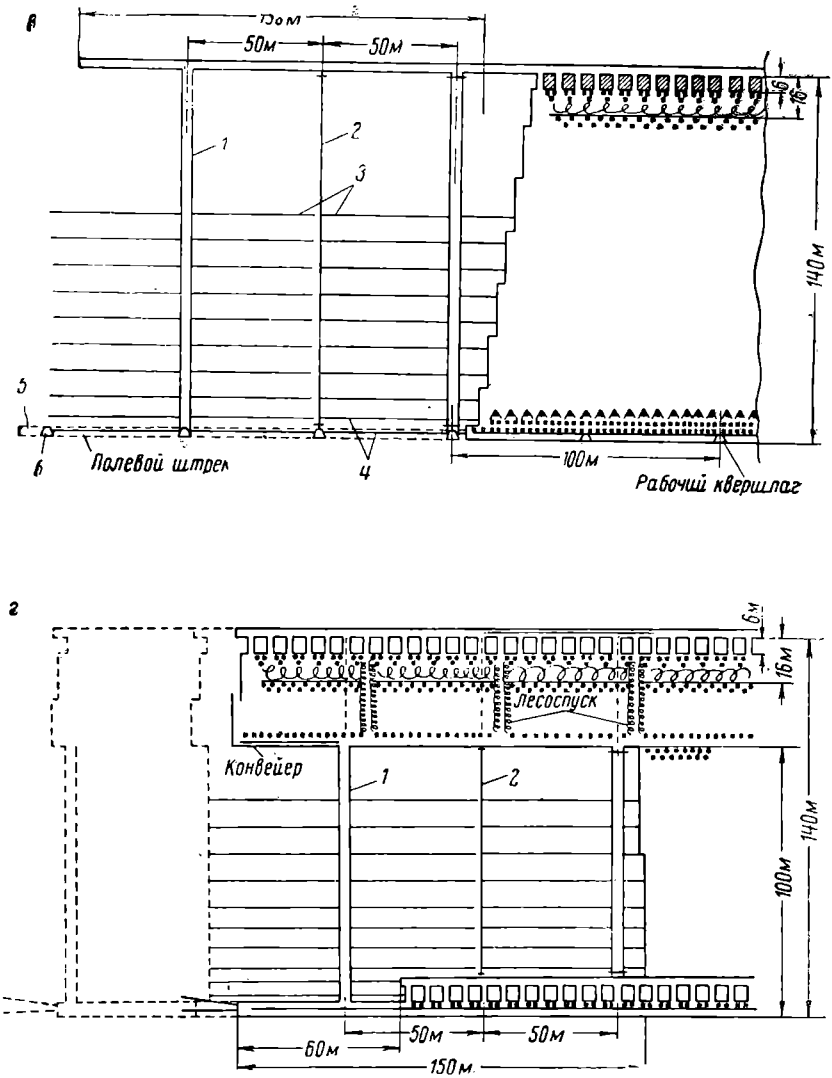


Рис. 7. Рекомендуемые схемы подготовки одиночного крутопадающего пласта, опасного по внезапным выбросам угля и газа:

а — пластовая; *б* — полевая — работа на передовой квершлаг; *в* — полевая — работа на задний квершлаг; *г* — с раздельной выемкой верхней трети этажа (пластовая); *1* — передовой скат; *2* — газосборная скважина; *3* — дегазационные скважины; *4* — передовые скважины для проходки пластового штрека; *5* — полевой откаточный штрек; *6* — участковый квершлаг

Из табл. 1 видно, что для пластов мощностью меньше 1 *м* достаточна сетка скважин через 10 *м*.

На основании исследований на моделях и приближенных расчетов по формуле В. В. Ходота, учитывая неравномерную газонасыщенность угля вдоль забоя, можно рекомендовать для дальнейшей проверки в шахтных условиях расстояние между скважинами 6—10 *м*.

Рекомендуемые варианты предлагаемой схемы дегазации. Предлагаемый способ дегазации опасных по внезапным выбросам угля и газа одиночных пластов представляет собой специальное, постоянно действующее мероприятие по предотвращению выбросов. Она пригодна для любых углов падения пластов, способов и направлений выемки и подготовки, формы очистного забоя, механизации и организации работ. При переходе от выемки по простиранию на выемку полосами по падению и восстанию изменится лишь направление дегазационных скважин.

Повышению роли опорного давления будет способствовать переход на управление кровлей полным обрушением, что, как известно, вообще считается желательным с точки зрения уменьшения внезапных выбросов в очистном забое. Однако и при существующих способах управления кровлей опусканием на кострах эффективность применения скважин большого диаметра не вызывает сомнения (что подтверждают и наши испытания на моделях).

Несколько хуже будут условия дегазации при полной закладке, но этот способ на тонких и средней мощности пластах до настоящего времени не получил распространения, поэтому не рассматривается. В соответствии с этим предлагаемую схему дегазации можно считать универсальным способом борьбы с выбросами в очистных забоях, аналогичным защитному действию соседних пластов.

Применительно к повсеместно распространенной в Центральном районе Донбасса выемке по простиранию лавой-этаж и схемам подготовки (групповой и индивидуальной) рекомендуем ряд вариантов предлагаемой схемы дегазации для испытания в шахтных условиях.

Пластовая подготовка. Подготовка участка (см. рис. 7, *а*) заключается в том, что на расстоянии 100 *м* друг от друга по пласту угля проходятся скаты нормального сечения *1*. Откаточный и вентиляционный штреки проходятся по пласту с опережением очистной выемки не меньше чем на 100 *м*. Из ската навстречу очистному забою бурятся скважины *3* диаметром 0,3—0,5 *м* на расстоянии 6—10 *м* друг от друга (расстояние между скважинами уточняется применительно к конкретным условиям). Можно рекомендовать в нижней части этажа скважины бурить чаще, на расстоянии 6—8 *м* друг от друга, постепенно доводя расстояние до 10 *м*. В верхней трети этажа скважины можно не бурить. За основу описываемого варианта взят один из обычных способов разработки крутопадающего пласта с оставлением над откаточным штреком целиков угля (такой вариант, например, применяется в Донбассе при разработке пласта Девятка на шахте «Юнком» треста Орджоникидзеуголь). При пластовой подготовке опасение может вызвать главным образом проходка самого откаточного штрека, который в данном случае рекомендуется проходить с предварительным бурением двух скважин *4* диаметром 0,3 *м* и длиной не менее 15 *м*, как это обычно делается на опасных по внезапным выбросам пластах.

На первой стадии освоения предлагаемой схемы подготовки намечается бурение скважин по простиранию длиной 30—50 *м*. Для уменьшения числа участковых скатов предполагается проходить между двумя соседними скатами так называемую газосборную скважину *2*, которая заменит скат. Расстояние между скатами определяется удвоенной дли-

ной защитных (дегазационных) скважин *3*. Всего для подготовки участка к выемке при данной схеме дегазации необходимо проходить дополнительно через каждые 60—100 *м* скат и одну газосборную скважину и из ската пробурить около 20 скважин (по 10 в каждую сторону) диаметром 0,3—0,5 *м* на расстоянии 6—10 *м* друг от друга.

Преимуществом такой схемы подготовки являются простота и отсутствие дополнительного полевого штрека, недостатком — проведение откаточного штрека обычным способом для пластов, опасных по выбросам. Поэтому эту схему подготовки следует рекомендовать для пластов, где скважины большого диаметра достаточно себя оправдали при проведении штреков и где главную опасность в отношении внезапных выбросов представляет очистной забой.

Полевая подготовка. На рис. 7, *б* и *в* показаны две схемы полевой подготовки выемочного участка: по одной — выдача угля производится на передний квершлаг (см. рис. 7, *б*), по другой — на задний (см. рис. 7, *в*). В обоих случаях пластовый откаточный штрек проходится под защитой скважин *4*, пробуренных из передового ската. Таким образом, забой откаточного штрека оказывается защищенным более надежным способом, чем при пластовой подготовке. При полевой подготовке опережение пластового штрека должно обеспечивать работу на передний квершлаг (рис. 7, *б*) или отсутствовать совсем (рис. 7, *в*).

Для подготовки выемочного участка по данной схеме необходимо полевой откаточный штрек *5* через каждые 30—50 *м* сбивать с пластом участковыми квершлагами *6*, на пересечении пласта участковыми квершлагами через каждые 60—100 *м* пройти участковые скаты *1* или газосборную скважину *2* и пробурить из ската около 20 скважин *3* диаметром 0,3—0,5 *м* и длиной 30—50 *м* (по 10 скважин в каждую сторону)

Такая схема подготовки осложнена необходимостью дополнительного проведения полевого откаточного штрека и многократного пересечения (в четыре раза больше обычного) участковыми квершлагами разрабатываемого пласта. Правда, особенно опасаться этого не следует, так как вопрос вскрытия опасных по внезапным выбросам пластов квершлагами в настоящее время можно считать в значительной степени решенным.

Несмотря на отмеченные недостатки, предлагаемая схема подготовки все же заслуживает во многих случаях предпочтения перед пластовой. Ее можно рекомендовать для пластов, где проведение пластового откаточного штрека представляет особую опасность и где, несмотря на применение передовых скважин большого диаметра для проведения штрека, выбросы имеют место. Например, для пласта Дерезовка (в поле шахт «Красный Профинтерн», «Юнком» в Центральном районе Донбасса).

Раздельная выемка верхней трети этажа. Самым трудным в осуществлении рекомендуемых схем подготовки одиночного крутопадающего пласта в настоящий момент будет прохождение передовых участковых скатов. Скаты предполагается проходить по скважине, предварительно пробуренной сбоечно-буровой машиной на всю высоту этажа. Для этого случая предлагается вариант комбинированной отработки крутопадающего пласта (см. рис. 7, *г*), когда верхняя дегазированная часть, равная примерно верхней трети этажа, отрабатывается отдельной опережающей лавой-подэтажом, а нижняя (нижний подэтаж) дегазируется при помощи передовых скважин. Тогда нижний подэтаж становится вполне доступным для бурения скважин имеющимися на шахтах машинами.

Данную систему разработки можно рекомендовать на первое время для пластов тех шахт и горизонтов, где высота этажа 140—150 *м*. Эта система, очевидно, может применяться при пластовой и полевой подготовках.

Технико-экономические показатели. В связи с большой производительностью машин для проходки скважин, особенно при промышленном использовании газа, существенного ухудшения технико-экономических показателей при предлагаемой схеме дегазации по сравнению с обычным способом разработки не получится. В подтверждение этого был произведен подсчет затрат времени и расходов по заработной плате, связанных с осуществлением предлагаемой схемы дегазации.

Осуществление предлагаемой схемы дегазации связано с дополнительной проходкой на участке длиной 100 *м* по простиранию следующих выработок (см. рис. 7, *а*, *б*, *в*): двух скважин по восстанию на всю высоту этажа *2*, одного ската *1*, который проходится по одной из восстающих скважин (вторая газосборная), и 20 горизонтальных скважин *3* диаметром 0,3—0,5 *м* (по 10 скважин с той и другой стороны ската).

Расчет производился для условий:

мощность пласта, *м*	1—1,5
угол падения пласта, град.	60
высота этажа, *м*	120
ширина ската, *м*	3
длина горизонтальных скважин, *м*	50
диаметр горизонтальных скважин, *м*	0,3
число горизонтальных скважин, шт.	20 (10 шт. с каждой стороны ската)
подвигание очистного забоя, *м/сутки.*	1,8

Стоимость осуществления предлагаемой схемы дегазации была определена по прейскурантам цен, нормам и расценкам, действующим в настоящее время в Донбассе. Предполагалось, что бурение восстающих скважин производится машиной типа СБМ-3У

Для первоначального периода, когда бурение горизонтальных скважин большого диаметра еще не освоено, была принята норма выработки 10 *м/смену*. Эта норма в 3 раза меньше проектной сменной производительности станка ЛБС-2с (28 *м/смену*) и примерно равна достигнутой производительности при бурении этим станком горизонтальных скважин диаметром 0,3 *м* и длиной 30 *м* [18].

После освоения бурения горизонтальных скважин можно ориентироваться на производительность 50 *м/смену* (одна скважина в смену), что составляет около 40% достигнутой в США производительности при бурении скважин большого диаметра машиной типа Кардокс-Гардсог [20] *

Таблица 2

Мощность пласта, *м*	Затраты времени на подготовку, сутки		Стоимость предлагаемой схемы дегазации, руб.		Дополнительные затраты на 1 *т* добычи, *руб/т*	
	первый период	второй период	первый период	второй период	первый период	второй период
1	48	21	74 420	42 420	4,8	2,7
1,5	51	24	92 920	60 920	3,9	2,6

* Аналогичная машина была спроектирована в 1955 г. Днепрогипрошахтом.

Как видно из приведенной табл. 2, дополнительные расходы, связанные с осуществлением предварительной дегазации, незначительно увеличивают себестоимость угля. Для снижения стоимости опытных работ целесообразно выбрать на шахтах Центрального района Донбасса участок с пройденным водоспускным гезенком, что сократит затраты примерно вдвое (для пласта мощностью 1,5 *м* с 3,9 до 1,9 *руб/т*).

При экономической оценке предлагаемой схемы дегазации следует иметь в виду, что она представляет собой специальное, постоянно действующее мероприятие по предотвращению внезапных выбросов угля и газа. Неправильно и даже вредно думать, что можно, ничего не затратив и даже получив дополнительный экономический эффект, предотвратить внезапные выбросы угля и газа. Между тем многие из предлагаемых систем разработки имеют основной целью, в первую очередь, улучшение экономической эффективности отработки пласта. Борьбе с внезапными выбросами в таких системах отводится лишь вспомогательная задача. Вопрос борьбы с внезапными выбросами ставится в зависимость от прогресса методов разработки вообще крутопадающих тонких пластов. Мероприятия, проводимые сейчас на шахтах в очистных забоях, также связаны с некоторыми дополнительными затратами, но они не дают при этом почти никакого эффекта.

Предлагаемый метод борьбы обеспечит, прежде всего, должную безопасность, даст возможность увеличить месячное подвигание очистного забоя и тем во многих случаях повысит производительность участка, которая сдерживается сейчас опасностью выбросов (например, участок Дерезовка-запад шахты «Красный Профинтерн» в Центральном районе Донбасса, где на пласте мощностью 1,6 *м* месячное подвигание составляет всего около 10 *м*).

Выводы

1. Использование для предупреждения внезапных выбросов угля и газа сил опорного давления, разрушающих массив угля, прорезанный скважинами большого диаметра, представляется достаточно эффективным. Проведенные на моделях эксперименты показали хорошее совпадение деформаций, происходящих в зоне опорного давления в толще пласта, прорезанной скважинами, и вызванных защитным действием соседнего пласта, надрабатывающего или подрабатывающего опасный пласт. Кроме того, косвенным доказательством этому служат приведенные данные об использовании скважин большого диаметра для предотвращения горных ударов, а также сопоставления увеличения газоотдачи пласта при надработке и под действием опорного давления в разрабатываемом пласте.

2. Расстояние между скважинами 6—10 *м* и диаметр скважин 0,3—0,5 *м* могут быть, как первое приближение, приняты и рекомендованы для промышленной проверки.

3. Рекомендуемый способ предотвращения внезапных выбросов может применяться не только для пластов крутого падения, где его значение будет возрастать с глубиной, так как по мере углубления работ значение сил гравитационных факторов будет постепенно уменьшаться, но и для разработки пологих пластов, где их влияние отсутствует.

4. Приведенные в работе данные о значительном влиянии на эффективность надработки мощности защитных пластов и возникшее в связи с этим соображение о наличии минимальной эффективной мощ-

ности пласта при надработке имеют практическое и теоретическое значение и требуют специальной разработки.

5. В некоторых случаях условия подработки могут быть достигнуты с помощью скважин большого диаметра, пройденных из полевого ската по слабому породному прослойку.

6. Промышленную проверку рекомендуемой схемы дегазации не следует связывать с изготовлением шнеко-буровой машины и системой разработки. Эти работы могут быть начаты на повсеместно распространенной в Центральном районе Донбасса потолкоуступной системе разработки с использованием для бурения скважин имеющегося на шахтах оборудования и вестись параллельно с созданием шнеко-буровой машины или другого способа проходки скважин большого диаметра.

Изучение газоотдачи пласта при рекомендуемой схеме дегазации и уточнение расстояния между скважинами и их диаметра могут быть проведены и на неопасных по выбросам, но сильно газовых пластах, что будет способствовать теоретическому изучению этого вопроса.

7. Дальнейшие исследования, связанные с настоящей работой, целесообразно вести в следующих направлениях: 1) промышленной проверки или только дренирующего действия скважин в зоне опорного давления или в сочетании с рекомендуемой системой разработки в целом; для этого необходимо выделение эксплуатационного участка и составление проекта системы с необходимыми технико-экономическими расчетами; 2) дальнейших лабораторных исследований (на моделях) по изучению зависимости защитного действия от мощности разрабатываемого пропластка, а также от величины и физико-механических свойств междупластья; 3) уточнения методики расчета газоотдачи скважин, пересекающих зону опорного давления, имея в виду зависимость газоотдачи не только от расширения (пористости) угля, но и от постепенно уменьшающегося по мере дренажа давления газа в пласте.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров И. В., Кричевский Р. М., Михайлова В. И. Внезапные выбросы угля и газа на шахтах Донбасса. Углетехиздат, 1954.
2. Черницын Н. Н. Рудничный газ и условия его выделения, 1917
3. Быков Л. Н. Теория и основные принципы эксплуатации пластов, склонных к внезапным выделениям газа. ОНТИ, 1936.
4. Печук И. М. Итоги сотрясательного падения на шахте «Красный Профинтерн». «Уголь», 1933, № 95.
5. Основные положения по разработке пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Углетехиздат, 1950.
6. Скочинский А. А., Ходот В. В. Горная наука и борьба с внезапными выбросами угля и газа в шахтах. Углетехиздат, 1957.
7. Зайцев Н. А., Рапопорт М. Я. и др. Исследование методов эффективного использования защитных пластов для предупреждения или снижения интенсивности внезапных выбросов угля и газа. Рукопись. Фонды ИГД АН УССР, 1953.
8. Зайцев Н. А., Рапопорт М. Я. и др. Исследование закономерностей изменения газовыделения и газового давления в угольных пластах в связи с продвиганием очистных забоев. Рукопись. Фонды ИГД АН УССР, 1954.
9. Барановский В. И., Топчиев А. В. Способ предупреждения внезапных выбросов угля и газа. «Уголь», 1955, № 8.
10. Махно Е. Я. Рациональные методы разработки тонких и средней мощности пластов с внезапными выбросами угля и газа. Рукопись. Фонды ЛГИ, 1953.
11. Кондрашов Ф. С. Взрывная выемка угля на пластах крутого падения. «Уголь Украины», 1957, № 2.
12. Зайцев Н. А. и Рапопорт М. Я. Изменение газовыделения из крутопадающего угольного пласта, подверженного внезапным выбросам угля и газа, при продвигании очистного забоя. Изв. АН СССР ОТН, 1954, № 7.
13. Зайцев Н. А. и Рапопорт М. Я. Об изменениях газового давления и газовыделения в крутопадающем угольном пласте, подверженном внезапным выбросам угля и газа, при продвигании очистного забоя в вышележащем угольном пласте. Изв. АН СССР, ОТН, 1954, № 10.

14. Кузнецов Г Н. Экспериментальные методы исследования вопросов горного давления. Тр. совещания по управлению горным давлением. Углетехиздат, 1948.
15. Ильштейн А. М., Брамиллер М. В., Руппенейт К. В. Исследования проявлений горного давления методом моделирования эквивалентными материалами. Сб. ВУГИ, 1953, № 10.
16. Тезисы докладов научно-технической конференции по борьбе с внезапными выбросами угля и газа в угольных шахтах. Сталино, 1955.
17. Ходот В. В. О расчете опережающих скважин для предупреждения внезапных выбросов. Тр. ИГД АН СССР, 1956, т. III.
18. Опыт работы легких сбоечно-буровых станков ЛБС-2с на пластах крутого падения. Углетехиздат, 1951.
19. Tulman W. G. Auger drilling to control mountain bumps. Coal mine modernization, 1955.
20. Thompson D. Auger mining. Colliery Engineering, December, 1953.