

6  
А-65

У19

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР  
ВСЕСОЮЗНЫЙ ЗАОЧНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ

---

*На правах рукописи*

Аспирант А. Е. Масляев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕТРИВАНИЯ УЧАСТКОВ  
ПРОКОПЬЕВСКО-КИСЕЛЕВСКОГО РАЙОНА  
КУЗБАССА ПРИ ЩИТОВОЙ СИСТЕМЕ  
РАЗРАБОТКИ

05.311 — Подземная разработка и эксплуатация  
угольных, рудных и нерудных месторождений

**А в т о р е ф е р а т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва — 1970

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР  
ВСЕСОЮЗНЫЙ ЗАОЧНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ

---

*На правах рукописи*

Аспирант А. Е. Масляев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕТРИВАНИЯ УЧАСТКОВ  
ПРОКОПЬЕВСКО-КИСЕЛЕВСКОГО РАЙОНА  
КУЗБАССА ПРИ ЩИТОВОЙ СИСТЕМЕ  
РАЗРАБОТКИ

05.311 — Подземная разработка и эксплуатация  
угольных, рудных и нерудных месторождений

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Москва — 1970

65

Работа выполнена в Восточном научно-исследовательском институте по безопасности работ в горной промышленности (ВостНИИ).

Научные руководители: доктор технических наук, профессор Д. И. Малиованов, доктор технических наук, профессор А. А. Мясников.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор К. З. Ушаков, кандидат технических наук, доцент Г. В. Шпаак.

Ведущее предприятие: Государственный каменноугольный комбинат «Прокопьевскуголь».

Автореферат разослан « 28 » декабря 1970 г.

Защита диссертации состоится « 23 » февраля 1971 г. на заседании Ученого совета горного факультета Всесоюзного заочного политехнического института (ул. Павла Корчагина, 22).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат направляется в Государственную библиотеку СССР им. В. И. Ленина

Просим Вас и всех заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в заседании Ученого совета, посвященного публичной защите диссертации, или прислать свои отзывы в 2-х экз. по адресу: Москва, И-278, ул. Павла Корчагина, дом 22, Всесоюзный заочный политехнический институт, Ученому совету.

Ученый секретарь

Г. Свириденко.

## Аннотация

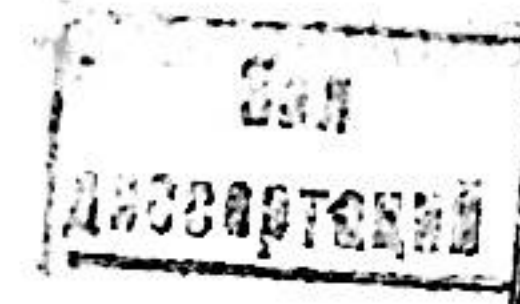
В диссертации приведены результаты исследований по определению пожаробезопасных параметров проветривания участков Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса при щитовой системе разработки.

Рассмотрены факторы, способствующие возникновению эндогенных пожаров. Приведены результаты исследований о влиянии способа проветривания шахт и общешахтной депрессии на пожароопасность горных работ.

Изложены теоретические и экспериментальные исследования аэродинамических режимов в обрушенных породах над щитовыми перекрытиями. Определены пожароопасные скорости движения утечек воздуха с учетом режимов его движения.

Описан предложенный метод определения пожаробезопасных депрессий через выемочный столб щитовых участков и дана область применения пожаробезопасных параметров проветривания по фактору метановыделения из очистного забоя.

Показана экономическая эффективность разработанных пожаробезопасных параметров проветривания.



## ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее увеличение добычи угля на шахтах Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса сдерживают систематически возникающие эндогенные пожары, которые приносят значительный материальный ущерб. Так, в течение 1959—1968 гг. на шахтах района возникло 340 пожаров эндогенного происхождения.

Наибольшее количество пожаров за рассматриваемый период (148 или 53,8%) произошло при щитовой системе разработки, удельное участие которой в добыче угля по Прокопьевско-Киселевскому району составляет 53,9%. В 1970 г. этой системой планируется добыть 10 млн. т угля. В связи со сложностью организации закладочного хозяйства щитовая система с обрушением еще в течение длительного времени будет широко применяться для разработки мощных и средней мощности крутых пластов.

За последние годы в области предупреждения и тушения подземных эндогенных пожаров советскими учеными проведен ряд исследований, которые явились ценным вкладом в горную науку. Однако, до настоящего времени недостаточно исследован вопрос о влиянии вентиляционного режима щитовых выемочных участков на возникновение эндогенных пожаров. Решению этого важного вопроса и посвящена настоящая работа, основной целью которой является совершенствование проектирования и организации проветривания выемочных полей при разработке пластов угля, склонного к самовозгоранию, щитовой системой в условиях шахт Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и содержит 152 страницы машинописного текста, 36 таблиц, 32 рисунка и список использованной литературы из 134 наименований.

## ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

На возникновение эндогенных пожаров влияют различные, весьма многочисленные факторы, исследования которых содержатся в работах А. А. Скочинского, В. М. Огиевского, П. А. Манукяна, В. М. Сухаревского, В. М. Маевской, Н. В. Маревич, Л. П. Томашевского и др.

На основании анализа литературных источников установлено, что одним из основных факторов, способствующих возникновению эндогенных пожаров, является вентиляционный режим выемочных участков, влияние которого на возникновение самовозгорания угля исследовано до настоящего времени недостаточно.

Для определения влияния этого фактора на возникновение и развитие эндогенных пожаров необходимо проведение исследований аэродинамики выработанных пространств, что позволит, в свою очередь, производить научно обоснованный расчет утечек воздуха как одного из основных факторов самовозгорания угля.

Вопросу изучения аэродинамики обрушений посвящены работы В. Б. Комарова, И. М. Печука, И. П. Муштейа, В. А. Ярцева, Ф. С. Клебанова, К. З. Ушакова, А. Ф. Милетича, И. И. Медведева, С. П. Алехичева, Л. А. Пучкова и др. Однако, все исследования в этом направлении проведены, в основном, на пластах пологого и наклонного падения угольных шахт, а также в рудниках. Специфические условия шахт Прокопьевско-Киселевского месторождения, характеризующегося мощными крутопадающими пластами, не позволяют в полной мере использовать результаты ранее выполненных исследований по аэродинамике обрушений применительно к щитовой системе разработки.

По данным исследований В. А. Ярцева, пользоваться одночленным выражением закона сопротивления нежелательно, т. к. при необходимости экстраполяции ре-

зультатов, которая возникает довольно часто, в более или менее широком диапазоне изменения депрессии, он вообще может оказаться неприменимым.

При установлении взаимосвязи между перепадами давлений и количеством воздуха наиболее приемлемой зависимостью является двучленная, предложенная впервые И. Ньютоном.

Двучленная зависимость при исследовании утечек воздуха через обрушения применялась в работах С. И. Луговского, А. Ф. Милетича, В. А. Ярцева, С. П. Алехичева, А. Д. Вассермана, Л. А. Пучкова и др.

Исследованиями В. М. Маевской установлено, что самовозгорание угля при щитовой системе разработки возможно при утечках в пределах  $0,06 \div 1,2 \text{ м}^3/\text{мин.м}^2$  площади щитового перекрытия. Однако, при проектировании вентиляции принимать верхний предел удельных утечек воздуха не рекомендуется вследствие того, что при движении их через обрушенные породы над щитовым перекрытием скорость движения воздуха в отдельных каналах может достигать пожароопасных значений.

На величину утечек воздуха в выработанное надщитовое пространство влияет не депрессия участка, а перепад давлений между основным и минусовым штреками в пределах действующего выемочного столба. В связи с этим в основу классификации параметров проветривания щитовых участков по степени их пожарной опасности следует положить перепад давлений через действующий щитовой столб. К аналогичному выводу пришли Р. Балтарецу и И. Томуш (ССР), установив, что самовозгорание угля в выработанных пространствах происходит из-за потери давления между основным и вентиляционным горизонтами.

Следует отметить, что разработанная В. М. Маевской классификация пожаробезопасных параметров проветривания не в полной мере характеризует действительную пожарную опасность вентиляционного режима при щитовой системе разработки, т. к. в основу ее положена депрессия участка, а не перепад давлений через действующий выемочный столб. Кроме того, эта классификация не учитывает газообильность участков, для приме-

нения на которых она рекомендуется. В связи с этим автор поставил в диссертационной работе следующие основные задачи:

- 1) исследовать аэродинамический режим обрушений надщитового выработанного пространства;
- 2) определить пожаробезопасные параметры проветривания забоев при щитовой системе разработки;
- 3) установить область применения разработанных пожаробезопасных параметров проветривания с учетом фактора метановыделения из очистного забоя;
- 4) произвести экономический анализ эффективности разработанных пожаробезопасных параметров проветривания.

Для решения поставленных в работе задач использовались следующие методы исследований:

- а) аналитический;
- б) экспериментальный;
- в) электро моделирования;
- г) экономический анализ.

## ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НАДЩИТОВЫХ ОБРУШЕНИЙ

В настоящее время отсутствуют надежные методы аналитического определения аэродинамического сопротивления выработанных пространств при щитовой системе разработки. В связи с этим в работе были проведены специальные экспериментальные исследования по определению режимов движения воздуха через обрушенные породы над щитовыми перекрытиями.

Изменение аэродинамического режима надщитовых обрушений производилось путем изменения количества воздуха, поступающего на участок. Количество утечек воздуха замерялось анемометрами типа АСО-3, а перепад давлений через выработанное пространство над щитовым перекрытием определялся с помощью микроманометра ММН-1. При этом соблюдались синхронные замеры утечек воздуха и депрессий.

Проведенные ранее исследования по установлению закона движения воздуха через обрушения сводятся, в основном, к установлению закона сопротивления в степенной форме:

$$h = RQ^n, \quad (1)$$

где  $h$  — перепад давлений в слое обрушенных пород,  $\text{кг/м}^2$ ;

$R$  — аэродинамическое сопротивление выработанного пространства,  $\text{кг} \cdot \text{сек}^n / \text{м}^{3n+2}$ ;

$Q$  — количество проходящего воздуха (утечки),  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$n$  — показатель степени, величина которого зависит от режима движения воздуха. При ламинарном движении  $n=1$ ; при турбулентном  $n=2$ ; при неустановившемся режиме  $1 < n < 2$ .

При исследовании режимов движения воздуха через обрушения применялась двучленная зависимость

$$h = aQ + bQ^2, \quad (2)$$

где  $h$  — перепад давлений в слое обрушенных пород,  $\text{кг/м}^2$ ;

$Q$  — количество проходящего воздуха (утечки),  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$a$  — коэффициент, зависящий от вязкостных свойств текучего и проницаемости пористой среды (соответствует линейной составляющей общего аэродинамического сопротивления),  $\text{кг} \cdot \text{сек}/\text{м}^5$ ;

$b$  — коэффициент, связанный с действием турбулентных сил вихревого происхождения, а также с инерционными силами (соответствует квадратичной составляющей общего аэродинамического сопротивления),  $\text{кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^8$ .

Неизвестными константами, входящими в уравнение (2), являются коэффициенты  $a$  и  $b$ , для определения которых необходимо иметь систему двух уравнений

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= aQ_1 + bQ_1^2 \\ h_2 &= aQ_2 + bQ_2^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Система уравнений (3) получается в результате изменения параметров  $h$  и  $Q$  при неизменном положении щитового перекрытия в выемочном столбе.

Решив систему уравнений (3) относительно  $a$  и  $b$ , получим выражения для их определения.

С целью определения количественных значений коэффициентов  $a$  и  $b$  были проведены замеры перепадов

давлений и утечек воздуха через щитовые перекрытия при различной высоте слоя обрушенных пород.

При известных значениях коэффициентов  $a$  и  $b$  представлялась возможность определить значения депрессий  $h' = aQ$  и  $h'' = bQ^2$ , затрачиваемых соответственно на преодоление линейного и квадратичного сопротивлений. Такое разделение перепада давлений позволяет установить известные зависимости для определения показателя режима движения воздуха степенной формулы через параметры двучленной:

$$n = 2 - \frac{aQ}{h} = 1 + \frac{bQ^2}{h}. \quad (4)$$

Из уравнения (4) видно, что величина показателя степени зависит от соотношения депрессий, затрачиваемых соответственно на преодоление линейного либо квадратичного сопротивлений, в зависимости от того, ламинарный или турбулентный режим движения принимается за основу.

Показатель режима движения воздуха при применении степенного закона сопротивления определяется из уравнения

$$n = \frac{\lg h_1 - \lg h_2}{\lg Q_1 - \lg Q_2}. \quad (5)$$

Следует отметить, что формула (5) получена из условия постоянства степени  $n$  при изменении количества воздуха. Поэтому значения показателя, вычисленные по уравнениям (4) и (5), имеют существенное отличие.

В результате проведенных теоретических исследований установлено, что показатель степени  $n$ , вычисленный по уравнению (5), есть среднеарифметическое значение показателей  $n_1$  и  $n_2$ , вычисленных соответственно по уравнениям

$$\begin{aligned} n_1 &= 2 - \frac{aQ_1}{h_1} = 1 + \frac{bQ_1^2}{h_1} \\ n_2 &= 2 - \frac{aQ_2}{h_2} = 1 + \frac{bQ_2^2}{h_2} \end{aligned} \quad \text{и} \quad \text{т. е.} \quad n = \frac{n_1 + n_2}{2}. \quad (6)$$

Вследствие этого уравнение (5) может применяться в качестве приближенного для получения усредненных значений показателя  $n$ , а действительные значения показателя должны определяться по одному из выражений

уравнения (4). Интервал изменения утечек воздуха при применении уравнения (5) с целью получения наиболее достоверных значений показателя  $n$  не должен превышать 30%.

Приравнивая правые части уравнений (1) и (2), получаем выражение для определения аэродинамического сопротивления  $R$  степенной формулы через параметры двучленной:

$$R = \frac{a}{Q^{n-1}} + bQ^{2-n}. \quad (7)$$

Для построения общей характеристики вентиляционной сети при последовательном и параллельном соединениях линейного и квадратичного аэродинамических сопротивлений до настоящего времени применялся метод графического интегрирования прямой линии и параболы. В результате проведенных нами исследований для решения подобных задач предложен аналитический способ, сущность которого заключается в использовании двучленной формулы.

Так, для последовательного соединения названных сопротивлений депрессия  $h$  при различных расходах воздуха  $Q$  находится непосредственно из двучленной формулы. Значение показателя  $n$  в любой точке общей характеристики вентиляционной сети определяется по уравнениям (4), а общее сопротивление сети — по выражению (7). Благодаря такому способу определения показателя режима движения воздуха  $n$  и общего сопротивления сети  $R$  для любой точки характеристики, отпадает необходимость описывать общую характеристику вентиляционной сети уравнением (1), применение которого дает значительную ошибку, величина которой находится по формулам, приведенным в диссертации.

Для параллельного соединения линейного и квадратичного аэродинамических сопротивлений при построении общей характеристики сети общее количество воздуха, поступающего в ветви с линейным и квадратичным сопротивлениями, находится по уравнению

$$Q = \frac{h}{a} + \sqrt{\frac{h}{b}}, \text{ м}^3/\text{сек}. \quad (8)$$

Показатель  $n$  в любой точке общей характеристики сети в этом случае определяется по уравнению, полученному Ю. А. Шашмуриным, А. Д. Вассерманом и др.:

$$n = 1 + \frac{1}{2 \frac{a}{b} Q_k} \quad (9)$$

где  $Q_k$  — количество воздуха, поступающего в ветвь с квадратичным сопротивлением,  $\text{м}^3/\text{сек}$ .

Общее сопротивление сети  $R$  для любой точки характеристики при данном соединении определяется также по уравнению (7), но без первого члена правой части, а количество воздуха принимается  $Q_k$ .

### ГЛАВА III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕТРИВАНИЯ ЩИТОВЫХ УЧАСТКОВ С УЧЕТОМ ФАКТОРА МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Проведенные исследования по аэродинамическим режимам обрушенных пород над щитовыми перекрытиями позволили определить действительные скорости фильтрации и научно обоснованно подойти к установлению пожаробезопасных параметров проветривания щитовых участков с учетом фактора метановыделения из очистного забоя.

На основании проведенных исследований установлено, что пожароопасные скорости движения воздуха в надщитовых обрушениях составляют:

- а) при турбулентном режиме  $0,0021 \div 0,042 \text{ м/сек}$ ;
  - б) при ламинарном режиме  $0,0027 \div 0,054 \text{ м/сек}$ ,
- т. е. пределы пожароопасных скоростей движения воздуха в надщитовом пространстве составляют  $0,0021 \div 0,054 \text{ м/сек}$ .

В результате обработки методом наименьших квадратов 44 экспериментальных данных получено эмпирическое уравнение

$$h_{вп} = 0,507 h_{вс} - 0,097, \text{ кг/м}^2, \quad (10)$$

где  $h_{вп}$  и  $h_{вс}$  — перепады давлений соответственно через выработанное надщитовое пространство и выемочный щитовой столб,  $\text{кг/м}^2$ .

Высокое значение коэффициента корреляции ( $r=0,98$ ) указывает на тесную связь между параметрами уравнения (10).

Пожаробезопасные перепады давлений через выработанное надщитовое пространство определены по уравнению

$$h_{вп} = R_{вп} Q_{ут}^2, \text{ кГ/м}^2, \quad (11)$$

где  $Q_{ут}$  — количество утечек через щитовое перекрытие,  $\text{м}^3/\text{сек}$ , определяемое из условия пожаробезопасных удельных утечек  $q=0,06 \text{ м}^3/\text{мин.м}^2$  площади перекрытия;  $Q_{ут}=qF$ , где  $F$  — площадь перекрытия,  $\text{м}^2$ ;

$R_{вп}$  — аэродинамическое сопротивление для различных объемов обрушенных пород над перекрытием,  $\text{кГ}$ .

Аэродинамические сопротивления для различных объемов обрушенных пород над щитовыми перекрытиями определялись по уравнению

$$R_{вп} = 0,001 V_{вп} g', \text{ кГ}, \quad (12)$$

где  $V_{вп}$  — объем выработанного пространства над перекрытием,  $\text{м}^3$ ;

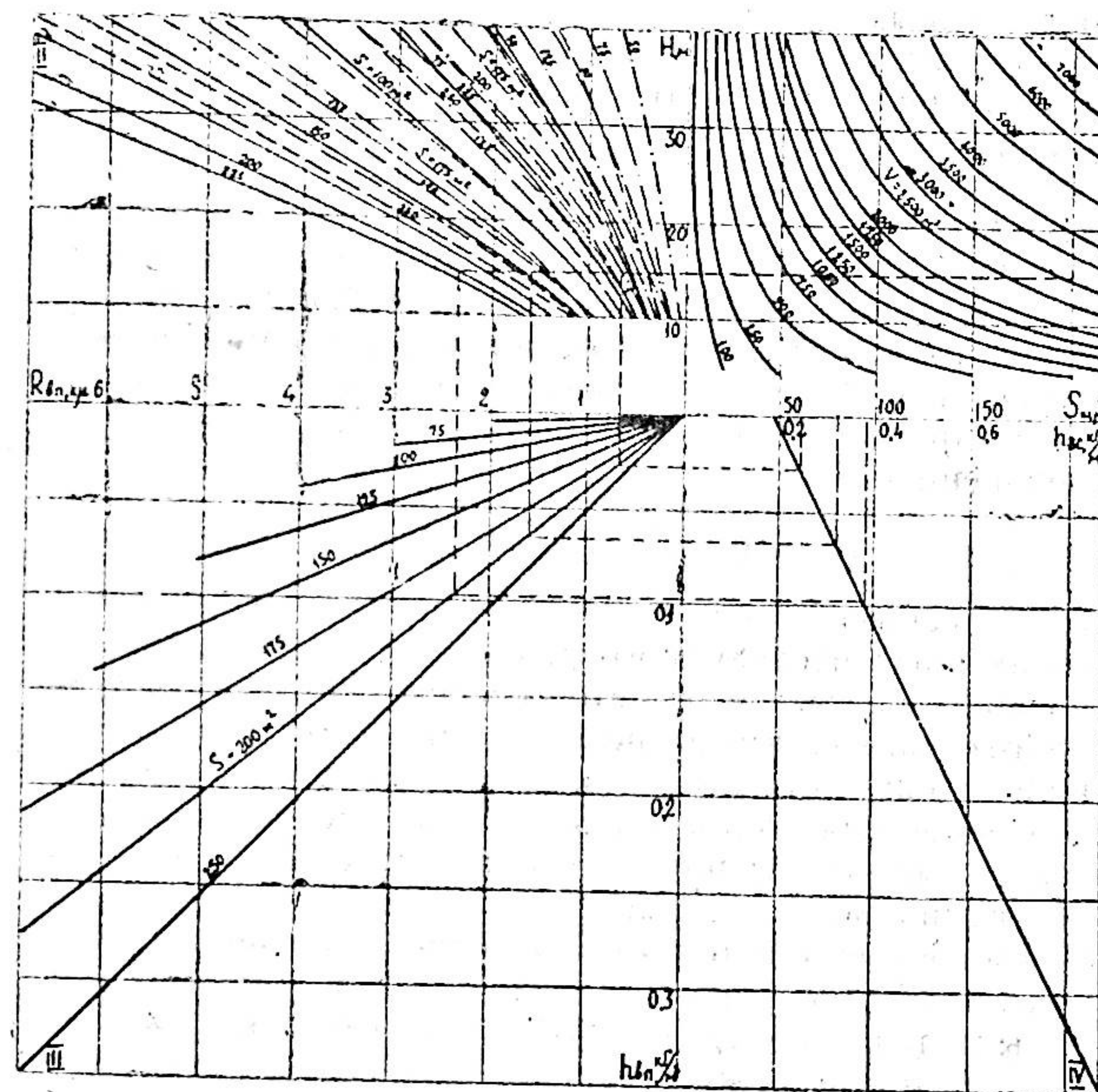
$g'$  — удельное аэродинамическое сопротивление обрушенных пород,  $\mu/\text{м}^3$  (принимается по данным В. М. Маевской для пород кровли различной устойчивости согласно табл. I).

Таблица I

| Характеристика пород кровли пласта | Удельное аэродинамическое сопротивление, $\mu/\text{м}^3$ при |                  |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------|
|                                    | $H=20 \text{ м}$                                              | $H=80 \text{ м}$ |
| Устойчивые                         | 0,25                                                          | 0,50             |
| Средней устойчивости               | 0,60                                                          | 0,80             |
| Неустойчивые                       | 0,87                                                          | 1,20             |

Результаты исследований показали, что пожаробезопасная депрессия выемочного столба щитового участка — величина непостоянная и зависит от объема выработанного надщитового пространства, площади перекрытия и расстояния его от минусового штрека, а также характеристики обрушенных пород.

Для определения пожаробезопасных перепадов давлений через выемочный столб щитовых участков построена номограмма (рис. I). При известных: площади щито-



Породы кровли:

— — — устойчивые. — — — средней устойчивости. — — — неустойчивые

Рис. I. Номограмма для определения пожаробезопасных депрессий выемочных столбов щитовых участков при утечках воздуха  $q=0,001 \text{ м}^3/\text{сек.м}^2$  площади перекрытия

вого перекрытия, расстоянии его от минусового штрека, а также характеристики пород кровли пласта (квадранты I и II) определяется аэродинамическое сопротивление  $R_{вп}$  обрушенных пород над перекрытием (квадрант II); найденному значению  $R_{вп}$  будет соответствовать перепад давлений  $h_{вп}$  через этот столб

3. Исследование режимов движения утечек воздуха через выработанные надщитовые пространства и их анализ позволили установить взаимосвязи между параметрами ранее применявшейся степенной и более универсальной двучленной формулами. На основании этих исследований определены допустимые пределы изменения расхода воздуха при определении режима его движения с применением степенной формулы (не более 25—30%), получены зависимости для определения относительных и максимальных ошибок при применении степенного уравнения. Кроме того, показано, что определение аэродинамического сопротивления столба обрушенных пород следует производить с учетом режима движения воздуха.

4. Вместо менее точного и более громоздкого графического интегрирования предложен аналитический способ построения общей характеристики вентиляционной сети при последовательном и параллельном соединениях линейного и квадратичного аэродинамических сопротивлений. Аналитический способ основан на использовании двучленной формулы и дает большие преимущества при исследовании аэродинамики обрушений по сравнению с электро моделированием.

5. Определены пределы пожароопасных скоростей фильтрации воздуха в выработанном надщитовом пространстве с учетом режимов движения, соответствующие  $0,0021 \div 0,054$  м/сек. Знание пожароопасных скоростей фильтрации воздуха позволило научно обоснованно подойти к установлению пожаробезопасных параметров проветривания щитовых участков, с учетом фактора метановыделения из очистного забоя.

6. Разработан метод определения пожаробезопасных параметров проветривания для щитовой системы. В основу определения пожаробезопасных параметров проветривания щитовых систем разработки вместо менее правильной депрессии участков положен перепад давлений через выемочный столб, что отражает пределы пожароопасных скоростей фильтрации воздуха в выработанном надщитовом пространстве с учетом режимов движения.

7. Установлено, что пожаробезопасная депрессия выемочного столба щитового участка зависит от объема обрушенных пород над перекрытием, его расстояния от минусового штрека, характеристики обрушенных пород и находится в пределах  $0,20 \div 0,74$  мм вод. ст. в за-

висимости от указанных параметров. Малоопасные депрессии составляют значение  $0,75 \div 1,80$  мм вод. ст. Применение пожаробезопасных депрессий на пластах угля, весьма склонного к самовозгоранию, а малоопасных — на пластах, менее пожароопасных, позволяет предупреждать возникновение эндогенных пожаров при щитовой системе разработки.

8. Для определения пожаробезопасных депрессий выемочных столбов щитовых участков и утечек воздуха через перекрытие построена номограмма, в основу которой положены пожаробезопасные удельные утечки воздуха через щитовое перекрытие и аэродинамическое сопротивление столба обрушенных пород.

9. Область применения разработанных параметров с учетом фактора метановыделения из очистных забоев щитовых участков также обобщена номограммой.

10. Результаты работы позволяют предупреждать возникновение эндогенных пожаров на шахтах Прокопьевско-Киселевского района при отработке пластов щитовой системой. Это дает возможность получить значительный экономический эффект (19 коп. на 1 т добычи) за счет сокращения затрат на предупреждение и тушение пожаров.

Содержание работы докладывалось и получило положительную оценку на заседании кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Всесоюзного заочного политехнического института (1970 г.), на технических совещаниях при главных инженерах трестов «Прокопьевскуголь» и «Кировуголь» (1969 г.), в комбинате «Прокопьевскуголь» (1970 г.), в отделе вентиляции шахт Восточного научно-исследовательского института по безопасности работ в горной промышленности (1970 г.).