

**РГБ ОД**

**28 ИЮН 2000**

*На правах рукописи*

**ЛИ Телэй**

**УДК 622.451.002.252.62-192**

**ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ  
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА НАДЕЖНОСТЬ ШАХТНОЙ  
ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

**Специальность 05.26.04 — «Промышленная безопасность»**

**А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Москва 2000**

Работа выполнена в Московском государственном горном университете.

Научный руководитель

докт. техн. наук, проф. УШАКОВ К. З.

Официальные оппоненты:

докт. техн. наук, проф. КРАСЮК Н. Н.,

канд. техн. наук, доц. ДРАГУНСКИЙ О. Н.

Ведущая организация — ННЦГП-ИГД им. А. А. Скопинского.

Защита состоится « 12 » мая . . . 2000 г.  
в 13<sup>00</sup> час. на заседании диссертационного совета  
К-053.12.02 Московского государственного горного университета по адресу: 117935, ГСП, Москва, В-49, Ленинский проспект, 6.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан « 17 » апреля . . . 2000 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

канд. техн. наук, доц. КОРОЛЕВА В. Н.

И181-5-021.1,1,0

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность работы.* Аэродинамическое сопротивление горных выработок является основным параметром расчета воздухораспределения и оценки надежности шахтной вентиляционной системы при любых условиях. Аэродинамическое старение горных выработок, существенно влияющее на сопротивление горных выработок, представляет собой один из самых важных факторов, влияющих на надежность шахтной вентиляционной системы.

Под аэродинамическим старением горной выработки будем понимать устойчивое увеличение удельного аэродинамического сопротивления выработки во времени. С развитием горных работ процессы аэродинамического старения интенсифицируются. Сравнение сопротивления шахтных сетей (без учета подсосов на поверхности и сопротивления канала вентиляторов), принятых в проектах строительства и реконструкции шахт, с фактическими для тех же периодов эксплуатации шахт показывает, что по шахтам бывшего СССР фактические сопротивления превышают проектные в среднем в 1,9 раза, по трем шахтам Китая фактические сопротивления превышают проектные в среднем в 1,44 раза (от 1,25 до 1,71 раза).

Таким образом, исследование аэродинамического старения горных выработок и разработка метода его учета при проектировании и эксплуатации шахтной вентиляционной системы является актуальной научной задачей, решение которой позволит повысить надежность шахтной вентиляционной системы, безопасность труда горнорабочих, будет способствовать устойчивому функционированию технологических процессов в шахте.

В Китае эта тема системно еще не исследовалась. Необходимо исследовать закономерность аэродинамического старения горных выработок, метод оценки и повышения надежности шахтной вентиляционной системы по фактору аэродинамического старения в условиях Китая.

В связи с изложенным научная задача исследования влияния аэродинамического старения горных выработок на надежность шахтной вентиляционной системы является актуальной для угольной отрасли.

*Целью диссертации* является установление зависимостей изменения удельного аэродинамического сопротивления выработок различного назначения от времени их существования для оценки влияния аэродинамического старения на надежность шахтной вентиляционной системы, позволяющих повысить надежность вентиляции действующих и проектируемых шахт, безопасность труда горнорабочих.

*Основная идея работы* заключается в представлении аэродинамического старения шахтной вентиляционной сети как интегрального стохастического процесса при разработке метода оценки надежности шахтной вентиляционной системы.

*Основные научные положения, разработанные автором, и их новизна:*

1. Зависимости изменения во времени удельного аэродинамического сопротивления участков и капитальных горных выработок, установленные с учетом способа проведения и охраны, их назначения, вида транспорта, угла наклона.

2. Интегральный метод оценки надежности вентиляционной системы по фактору аэродинамического старения основывается на комплексной оценке степени увеличения общего сопротивления шахты и степени относительного изменения сопротивления выработок вследствие старения.

3. Метод повышения надежности шахтной вентиляционной системы по фактору аэродинамического старения основывается на ведении профилактического ремонта, охране и проектировании выработок, а также на регулировании распределения шахтной депрессии.

*Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:*

- достаточной представительностью шахтных наблюдений (общий объем наблюдений составил более 500);
- удовлетворительной сходимостью расчетных данных с фактическими значениями сопротивлений выработок и положительными результатами апробации технологии на шахте.

*Научное значение работы* заключается в установлении зависимостей изменения удельного сопротивления горных выработок во времени, а также в разработке критериальной оценки надежности шахтной вентиляционной системы по фактору аэродинамического старения при проектировании и эксплуатации вентиляции шахт.

*Практическое значение работы* заключается в разработке методики, позволяющей выбрать более надежный вариант схемы вентиляции при проектировании шахты, оценить мероприятия по повышению надежности функционирующих шахтных вентиляционных систем, выбрать оптимальный режим ведения ремонтных работ и разработать мероприятия по борьбе с отказами вентиляции, связанными с аэродинамическим старением горных выработок.

*Реализация выводов и рекомендаций работы.* Результаты диссертации использованы в Угольной и электрической компании Датун КНР для повышения надежности вентиляции шахты Яочау, а также рекомендованы тресту Сюйчжоу для использования на шахте Чншань.

*Апробация работы.* Основные результаты работы докладывались на научном симпозиуме, посвященном «Неделе горняка» в МГУ (Москва, 1999 г.)

*Объем и структура работы.* Диссертация состоит из введения, 6 разделов и заключения, содержит 16 таблиц, 31 рисунок, список литературы из 51 наименований.

Автор выражает благодарность канд.техн.наук, доц. О.В. Скопницовой за научную помощь, а также доктору, доц. Чэнь Кайянь (КНР) за практическую помощь при выполнении работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Вопросами аэродинамического старения горных выработок занимались многие видные ученые: М.А. Патрушев, В.А. Емельянов, Н.А. Жайсанбаев, К.З. Ушаков, О.В. Скопинцева и другие. Большой вклад в изучение этого вопроса внесли работы МГТУ, в которых были получены закономерности изменения сопротивлений выработок разных групп, а также разработан метод оценки надежности вентиляции шахты по фактору аэродинамического старения горных выработок.

Аэродинамическое старение горных выработок изменяет аэродинамическое сопротивление выработок и шахтной вентиляционной сети во времени. Фактическое сопротивление увеличивается за время существования выработок. Степень увеличения сопротивления зависит от времени существования выработки, типа выработки. Это может приводить к необеспеченности объектов вентиляции необходимым количеством воздуха, отказам вентиляции, необеспеченности количества воздуха в лавах, превышению предела допустимого содержания метана и даже авариям.

Аэродинамическое старение горных выработок происходит вследствие следующих причин: увеличение шероховатости горных выработок, включающее деформации затяжек и выдавливание их внутрь выработки, появление "окон" в стенках выработок из-за выпадения затяжек, изменение поперечного сечения выработок, включающее изменение поперечного сечения выработки по длине, изменение формы контура поперечного сечения выработки, уменьшение площади поперечного сечения выработки и захламление почвы. В разных выработках проявления горного давления различные. Поэтому степень аэродинамического старения в разных выработках также различна.

Анализ данных по характеристике процесса аэродинамического старения разных выработок показывает, что

изменение удельного сопротивления во времени в разных группах выработок имеет большое различие. Наиболее активно деформируются участковые выработки, находящиеся в зоне активного проявления горного давления. Например, фактическое удельное сопротивление участковых вентиляционных штреков по сравнению с проектным увеличивалось в 4,33 раза за 4,25 года их существования в Донбассе, в бассейне Датун Китая за 1,92 года – в 2,67 раза, скорости роста удельного сопротивления соответственно в среднем составляют 0,769 и 0,871 раз/год. Полевые штреки стареют существенно медленнее. Например, фактическое удельное сопротивление капитальных рудсовых штреков превышает начальное в 2,2 раза за 25 лет существования в Донбассе, в бассейне Датун Китая за 18 лет – в 2,08 раза, скорости роста удельного сопротивления соответственно в среднем составляют 0,048 и 0,06 раз/год.

Влияние аэродинамического старения горных выработок на воздухораспределение в шахтных вентиляционных сетях в основном представляется следующим: 1) непредвиденные увеличения сопротивлений выработок приводят к небезопасности объектов вентиляции необходимым количеством воздуха, отказам вентиляции; 2) вследствие малой изученности законов аэродинамического старения выработок аэродинамические характеристики реальной шахтной вентиляционной системы (ШВС) становятся отличными от проектных, что приводит к устойчивому несоответствию фактического воздухораспределения в сети проектному, к отказам вентиляции, к необходимости оперативного исправления в действующей шахте дефектов проектирования со всеми нежелательными последствиями; 3) более интенсивное аэродинамическое старение может приводить к небезопасности количеством воздуха в лавах, превышению предела допустимого содержания метана и даже авариям.

Изменение аэродинамических сопротивлений выработок из-за старения не планируется и носит стохастический характер.

Требует своего развития, особенно для условий Китая, метод оценки надежности шахтных вентиляционных систем по фактору аэродинамического старения выработок. Для решения этой проблемы в диссертации были поставлены следующие задачи:

1. Разработать метод исследования аэродинамического старения горных выработок в условиях шахт Китая;

2. Изучить закономерности изменения во времени аэродинамического сопротивления участков и капитальных горных выработок, учитывающие способ прохода выработок и их охраны, их залегание, вид транспорта, угол наклона;

3. Установить зависимости изменения во времени абсолютного и относительного сопротивления для разных выработок;

4. Разработать метод оценки надежности шахтной вентиляционной системы шахт Китая по фактору аэродинамического старения;

5. Разработать мероприятия по повышению надежности шахтной вентиляционной системы по фактору аэродинамического старения;

6. Оценить влияние распределения шахтной деуровни и способа ее регулирования на надежность шахтной вентиляционной системы.

Материалы наблюдений собраны на двух типичных шахтах: шахте Яочау и шахте Чинань Китая, на которых терло геологические условия подобны, горнотехнические условия одинаковы.

Все объекты исследований по горнотехническим условиям разбиты на 9 групп, представленных на рис. 1.

Измерения проводились в июле 1987г., в ноябре 1995г., в декабре 1996г. на шахте Яочау и в феврале 1998г. на шахте Чинань. Были измерены сопротивления всех главных выработок шахтных вентиляционных сетей. В результате шахтных измерений был получен статистический материал из 217 объектов (участкам выработок). Таким образом, общее количество измерений составляет более 500.



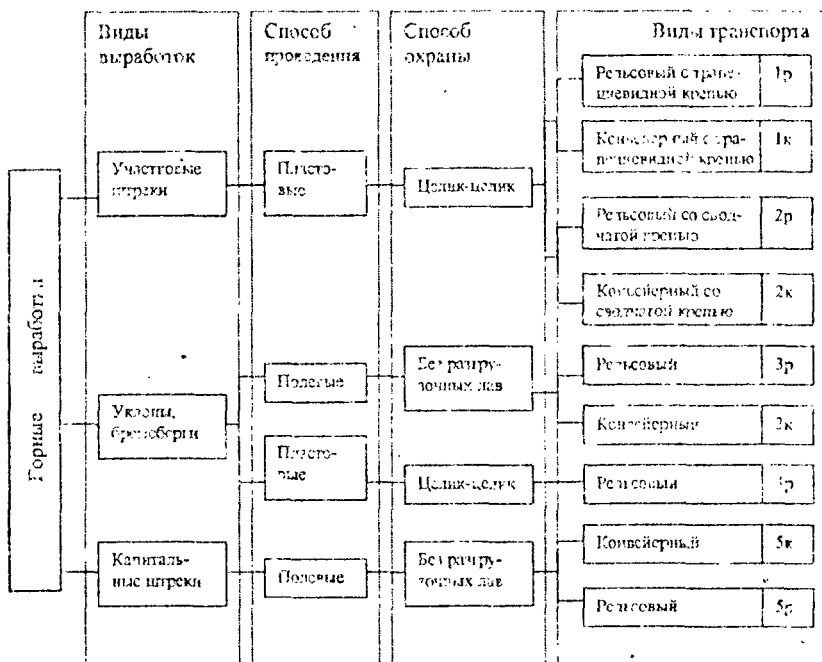


Рис 1. Классификация выработок ( индекс "к" означает наличие в выработке конвейерного транспорта, индекс "р" — рельсового )

При обработке полученного материала рассчитывались удельные аэродинамические сопротивления выработок. При этом под удельным сопротивлением  $r$  понимается аэродинамическое сопротивление участка выработки длиной 100 м. Абсолютное удельное сопротивление рассчитывалось по формуле

$$r = 100 \frac{h}{Q^2 l}, \left[ \frac{Нс^2}{м^3} \right], \quad (1)$$

где  $h$  - депрессия участка выработки измерения, Па;  $Q$  - расход воздуха на участке измерения,  $м^3/с$ ;  $l$  - длина участка измерения, выраженная в числе сотен метров, м.

Соответственное относительное удельное сопротивление рассчитывалось по формуле

$$r = \frac{r'}{r_0}, \quad (2)$$

где  $r_0$  - начальное (проектное) значение абсолютного удельного сопротивления выработки измерения,  $\text{Нс}^2/\text{м}^9$ .

Каждому полученному значению  $r$  соответствовало определенное время существования участка измерения  $t$ . В результате для каждой группы выработок получали в координатах  $r-t$  корреляционное поле удельных сопротивлений.

Зависимости  $r(t)$  удовлетворительно списываются полиномами третьей или второй степени. Были получены соответствующие корреляционные уравнения для выработок всех групп.

Окончательно изменение сопротивления выработок во времени было представлено в относительном виде:

$$\bar{r}(t) = \frac{r_\phi(t)}{r_0}, \quad (3)$$

где  $r_\phi(t)$  - фактическое удельное сопротивление выработки, полученное в результате обработки данных измерений.

Для получения математического ожидания удельного сопротивления множество значений  $\bar{r}(t)$  в корреляционном поле разбивалось на подмножества, соответствовавшие интервалам времени существования. С помощью программы Origin41 установлены графики эмпирической зависимости  $r(t)$ , представляющие собой функцию математического ожидания удельного сопротивления выработок данной группы от времени их существования.

Установление зависимостей изменения во времени абсолютного и относительного удельного сопротивления производилось по группам выработок в соответствии с классификацией, приведенной на рис.1. Разница велика по площадям поперечного сечения некоторых групп выработок, поэтому зависимости делятся на две группы по величине площадей поперечного сечения выработок. Участковые выработки наблюдались в пределах их времени существования от 3 месяцев до 23 месяцев, наклонные - от 2 лет до 21 года, капитальные горизонтальные - от 2 до 26 лет.

Полученные типичные зависимости представлены на рис.2 – 5.

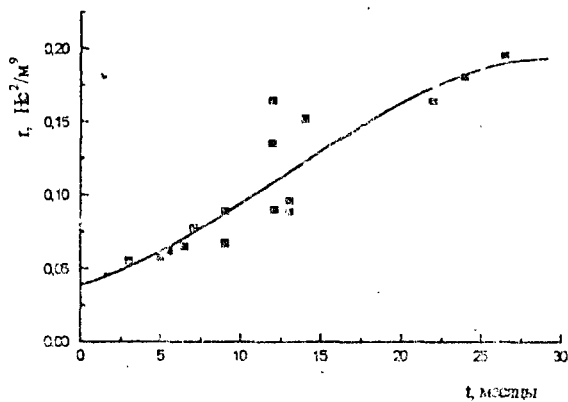


Рис.2. Изменение во времени абсолютного удельного сопротивления выработок пластовых рельсовых штрехов с трапециевидной крепью  $\rho_1 (< 9,5 \text{ m}^2)$

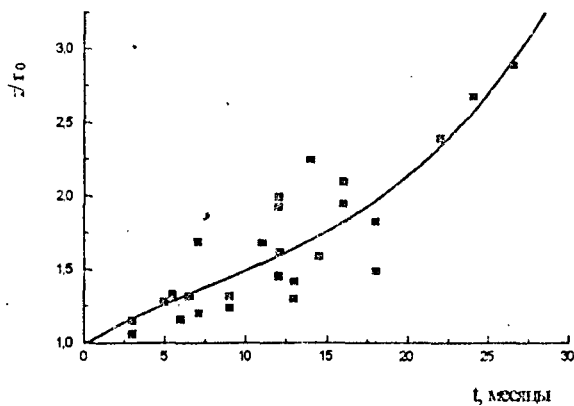


Рис.3. Изменение во времени относительного удельного сопротивления выработок пластовых рельсовых штрехов с трапециевидной крепью  $\rho_1$

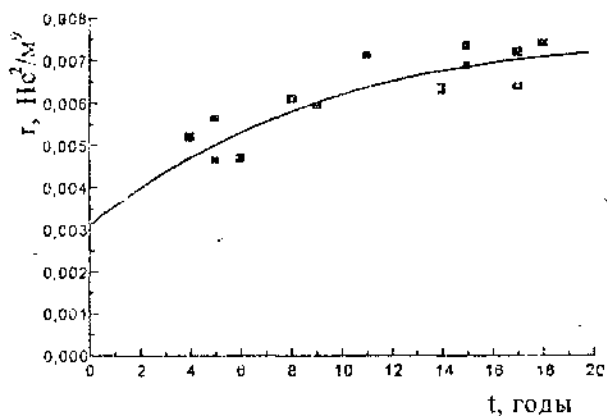


Рис 4 Изменение во времени абсолютного удельного сопротивления выработок группы полезных рельсовых штрехов 5p(12-15м²)

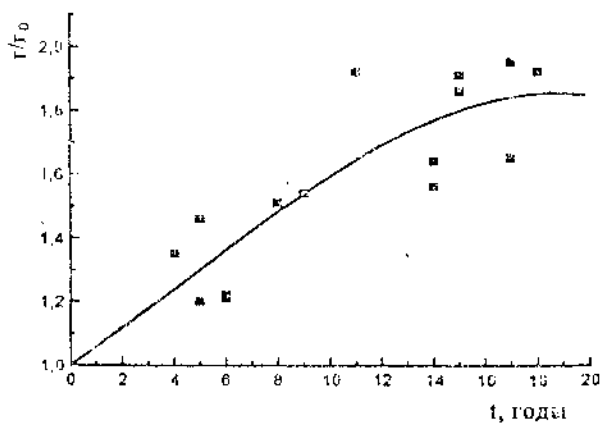


Рис 5 Изменение во времени относительного удельного сопротивления выработок группы полезных рельсовых штрехов 5p(12-15м²)

Были установлены эмпирические зависимости  $r(t)$  и  $\bar{r}(t)$ , представляющие собой функцию математического ожидания абсолютного и относительного удельного сопротивления выработок данной группы от времени их существования. Кроме групп полевых конвейерных уклонов и бремсбергов, полевых конвейерных штреков ( $6-7,7\text{м}^2$ ), зависимости  $r(t)$  и  $\bar{r}(t)$  удовлетворительно описываются полиномами третьей степени:

$$r(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3, \quad (4)$$

где  $a_0, a_1, a_2, a_3$  — соответственно эмпирические коэффициенты.

Для групп полевых конвейерных уклонов и бремсбергов, полевых конвейерных штреков ( $6-7,7\text{м}^2$ )(3к и 5к-1) кривые вполне удовлетворительно описываются полиномом Boltzman:

$$r(t) = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(t-t_0)/d}} + A_2, \quad (5)$$

где  $A_1, A_2, t_0, d$  — эмпирические коэффициенты.

Значения эмпирических коэффициентов представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1

Значения эмпирических коэффициентов  $a_0, a_1, a_2, a_3$  для групп участков выработок

Группа выработок	Наименование выработок	Для абсолютного удельного сопротивления $r$				Для относительного удельного сопротивления $\bar{r}$			
		$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
1р-1	Рельсовые штреки	0,0387	0,0032	$3,228 \times 10^{-4}$	$-8,573 \times 10^{-6}$	0,99	0,0639	$-2,37 \times 10^{-3}$	$1,022 \times 10^{-4}$
1р-2	Рельсовые штреки	0,0141	0,0017	$-1,162 \times 10^{-4}$	$4,609 \times 10^{-6}$				
2к-1	Конвейерные штреки	0,0546	0,0149	$-2,866 \times 10^{-4}$		1,029	0,1338	-0,011	$3,615 \times 10^{-4}$
2к-2	Конвейерные штреки	0,0144	0,0027	$-2,014 \times 10^{-4}$	$5,928 \times 10^{-6}$				

Таблица 2

Значения эмпирических коэффициентов  $a_0, a_1, a_2, a_3$  для групп капитальных выработок

Группа выработок	Наименование выработок	Для абсолютного удельного сопротивления $r$				Для относительного удельного сопротивления $\bar{r}$			
		$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зр-1	Рельсовые уклоны	0,0251	0,0042	$-1,205 \times 10^{-4}$	$6,897 \times 10^{-7}$	0,997	0,1211	$-4,23 \times 10^{-3}$	$4,691 \times 10^{-4}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зр-2	Рельсовые уклоны	0,1214	3,09 $\times 10^{-3}$	-1,514 $\times 10^{-4}$	2,316 $\times 10^{-6}$			1,87 $\times 10^{-3}$	-1,413 $\times 10^{-4}$
4р	Вентиляционные уклоны	0,0325	5,85 $\times 10^{-1}$	1,125 $\times 10^{-4}$	-7,989 $\times 10^{-6}$	1,039	0,1179	0,0061	-2,782
5р-1	Капитальные рельсовые штреки	0,0187	3,81 $\times 10^{-3}$	-1,586 $\times 10^{-4}$	3,273 $\times 10^{-4}$	0,672	0,1493	-4,84 $\times 10^{-3}$	9,26 $\times 10^{-5}$
5р-2	"	0,0021	4,681 $\times 10^{-4}$	-1,866 $\times 10^{-5}$	2,738 $\times 10^{-7}$	1	0,0561	0,0013	-9,961 $\times 10^{-5}$
5к-2	Капитальные конвейерные штреки	6,94 $\times 10^{-1}$	9,42 $\times 10^{-4}$	3,262 $\times 10^{-5}$	2,952 $\times 10^{-7}$	0,996	0,1638	-6,83 $\times 10^{-3}$	2,607 $\times 10^{-4}$

Таблица 3

Значения эмпирических коэффициентов  $A_1, A_2, t_0, dt$  для групп полевых конвейерных уклонов и бремсбергов, полевых конвейерных штреков

Группа выработок	Наименование выработки	Для абсолютного удельного сопротивления $r$				Для относительного удельного сопротивления $\bar{r}$			
		$A_1$	$A_2$	$t_0$	$dt$	$A_1$	$A_2$	$t_0$	$dt$
Зк	Конвейерные уклоны	0,0325	0,0042	9,967	2,639	0,978	4,406	10,152	2,217
5к-1	Капитальные конвейерные штреки	0,0266	0,1185	9,152	2,306	0,806	3,049	6,184	2,683

Характеры зависимостей удельного сопротивления от времени для участковых пластовых штреков, капитальных выработок и полевых конвейерных выработок представлены на рис. 6, 7 и 8.

Сводный график зависимости изменения удельного сопротивления участковых пластовых штреков во времени  $\bar{r}(t)$  приведен на рис. 9. Сводный график зависимости изменения удельного сопротивления капитальных выработок во времени  $\bar{r}(t)$  приведен на рис. 10.

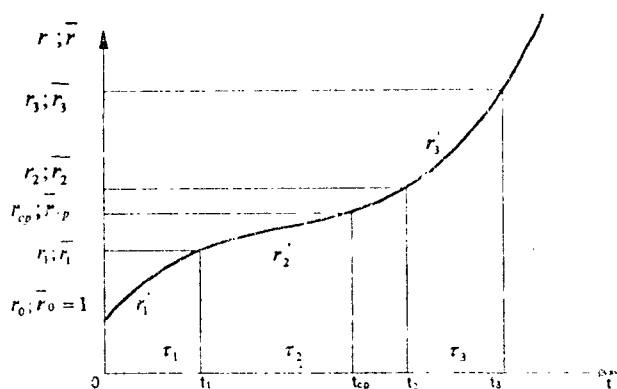


Рис 6. Характер зависимости удельного сопротивления от времени для участков из пластмассовых шпеклов

Примечание на рис.6:  $r_0, r_1, r_2, r_3, r_{cp}$  - соответственно начальное, конечное в начальном периоде ( $\tau_1$ ), конечное в среднем периоде ( $\tau_2$ ), конечное и среднее за весь срок службы абсолютное удельное сопротивление;  $\bar{r}_0, \bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3, \bar{r}_{cp}$  - соответственно начальное, конечное в начальном периоде ( $\tau_1$ ), конечное в среднем периоде ( $\tau_2$ ), конечное и среднее за весь срок службы относительное удельное сопротивление;  $r_1', r_2', r_3'$  - соответственно скорость роста удельного сопротивления в начальном, среднем и конечном периоде

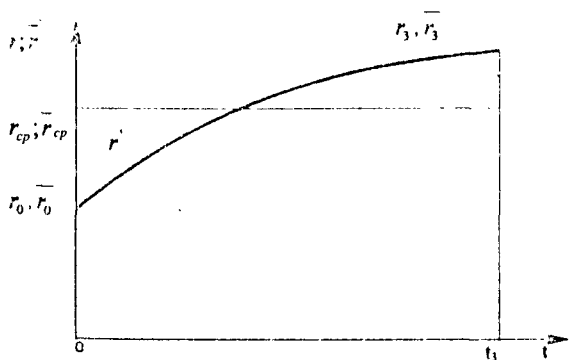


Рис 7. Характер зависимости удельного сопротивления от времени для капитальных выработок

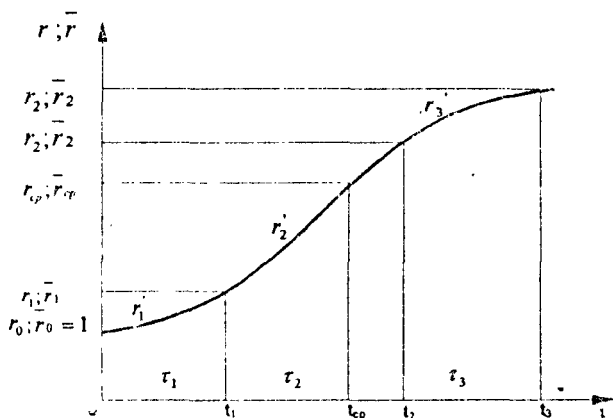


Рис 8. Характер зависимости удельного сопротивления от времени для групп 3к и 5

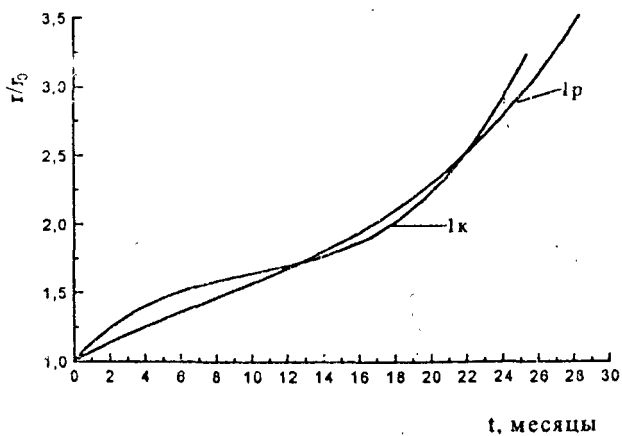


Рис 9. Сводный график зависимостей изменения удельного сопротивления во времени участков пластовых штреков



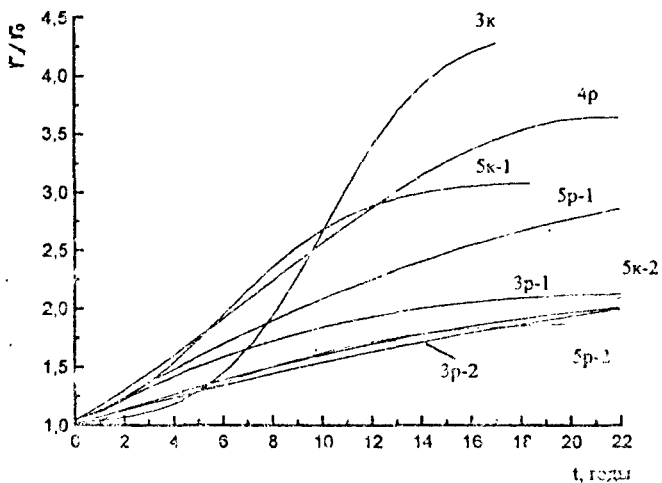


Рис. 10. Сводный график зависимостей изменения удельного сопротивления во времени капитальных выработок

Был применен интегральный метод оценки надежности вентиляции шахт Яочау и Чиншань по фактору аэродинамического старения. Оценку надежности шахтных вентиляционных сетей по фактору аэродинамического старения предлагается производить по критериям  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K$ .

Отношение суммарного среднего фактического сопротивления выработок к проектному в сети  $K_1$ :

$$K_1 = \frac{N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N R_n}{N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N R_d} = \frac{\sum_{i=1}^N R_n}{\sum_{i=1}^N R_d}, \quad (6)$$

где  $N$  - число выработок в сети;  $R_n, R_d$  - соответственно проектное и фактическое сопротивление  $i$ -й выработки.

Степень изменения сопротивлений выработок в среднем для всей сети  $K_2$ :

$$K_2 = \sqrt{N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (\overline{\delta R} - \delta R_i)^2}, \quad (7)$$

где  $\delta R_i = |R_n - R_{n-1}| / R_n$ ,  $\overline{\delta R} = N^{-1} \cdot (\sum_{i=1}^N \delta R_i) = N^{-1} \cdot (\sum_{i=1}^N |R_n - R_{n-1}| / R_n)$ .

Общий критерий надежности шахтной вентиляционной системы - совокупный критерий К:

$$K = K_1 \cdot (1 + K_2) = K_1 \cdot [1 + \sqrt{N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (\overline{\delta R} - \delta R_i)^2}]. \quad (8)$$

Значения  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K$  для условий шахт Яочау и Чишань представлены в таблице 4.

Таблица 4

Значение критериев  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K$  для условий шахт Яочау и Чишань

Шахты	$\overline{\delta R}$	$K_1$	$K_2$	$K$
Яочау (07 1987г.)	0,70431	1,41726	0,78979	2,53659
Яочау (11.1995г.)	0,51042	1,18968	1,81462	3,4850
Яочау (12 1996г.)	0,84801	1,20186	1,63312	3,16458
Чишань (02 1998г.)	0,62717	1,46406	1,47195	3,61907

В работе был выполнен анализ влияния основных факторов на значения критериев  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K$ , результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5

Сравнение факторов влияния на величины  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K$ .

Факторы, влияющие на величины $K_1$ , $K_2$ , $K$ .	Яочау (1987г.)	Яочау (1995г.)	Яочау (1996г.)	Чишань (1998г.)
1	2	3	4	5
Объем добычи угля /количество очистных забоев (Мт/забой*год)	0,30	0,31	0,35	0,29
Глубина разработки (м)	436	436+686	436+686	455-735
Удельный вес пластовых выработок (%)	12	26,6	25,68	10,29
Удельный вес конвейерных выработок (%)	16	20,2	16,2	35,71
Удельный вес новых выработок(%)			9,46	

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5
Взвешенный коэффициент выработок без регуляторов воздуха Z	0,176	0,3	0,267	0,217
Удельный вес ветвей расчета (%) от общего числа ветвей ШВС	71,63	63,08	47,74	44,3

Сравнив данные таблиц 4 и 5 (шахты Чиналь и Яочау), можно делать следующие выводы:

а) главной причиной того, что значения  $K_2$  и  $K_3$  во время 1995 г. на шахте Яочау были больше, чем в 1996 г., является во-первых, удельный вес пластовых выработок и конвейерных выработок в сумме ветвей расчета шахты Яочау в 1995 г. был больше, чем в 1996 г., во-вторых, в 1996 г. были подготовлены новый горизонт (-650м) и новые выработки, имеющие более низкое сопротивление, которые включились в топологию ШВС.

б) главная причина того, что значение критерия  $K_2$  на шахте Чиналь меньше, чем на шахте Яочау, заключается, во-первых, в том, что на шахте Чиналь удельный вес конвейерных выработок в сумме ветвей расчета был больше, чем на шахте Яочау; во-вторых, в том, что (2) на шахте Чиналь удельный вес конвейерных выработок в сумме ветвей расчета был больше, чем на шахте Яочау.

Взвешенный коэффициент выработок без регуляторов воздуха Z отражает степень влияния вентиляционных сооружений на стабильность ШВС, он представляется в виде

$$Z = \frac{L}{W}, \quad (9)$$

где  $L$  - число маршрутов от входа до выхода без вентиляционных сооружений в ШВС;  $W$  - число независимых маршрутов от входа до выхода в ШВС;  $W = n - m + 2$ ;  $n$  - число узлов в ШВС;  $m$  - число ветвей в ШВС.

Коэффициент Z обратен, чем меньше его значение, тем ниже стабильность ШВС.

Удельный вес ветвей расчета общего числа ветвей ШВС расчета и коэффициент  $Z$  не влияют на величины критериев  $K_1$ ,  $K_2$  и  $A$ , но влияют на оценку надежности ШВС по аэродинамическому старению.

Выполненный анализ распределения шахтной депрессии показывает, что удельный вес депрессии выработок с исходящим воздухом – важный фактор, влияющий на устойчивость, надежность и экономичность шахтной вентиляционной системы. В реальных шахтах Китая обычно депрессия главным образом расходуется в выработках с исходящими струями. Депрессия в выработках с исходящими струями составляет 54,82 - 12,82% от общей шахтной депрессии по данным измерений на шахтах Яочау и Чиншан. Результаты сравнения фактических депрессий и сопротивлений с проектными показывают, что фактические депрессии в выработках с исходящими струями выше проектных на 20,81 - 42,3%, а фактические сопротивления этих участков выше проектных на 20,98 - 34,17%. Аэродинамическое старение существенно влияет на распределение шахтной депрессии, особенно на распределение депрессии в выработках с исходящими струями. Фактические депрессии некоторых выработок на исходящих струях выше проектных на 55,16–125,92%. Соответственные фактические сопротивления выше проектных на 53,04–120,91%. Эти изменения сопротивления полностью соответствуют закону изменения сопротивления во времени.

Для борьбы с отказами, связанными с аэродинамическим старением, и повышения надежности шахтных вентиляционных систем по фактору аэродинамического старения на основе анализа закономерностей изменения сопротивления выработок во времени (т.е. закономерностей аэродинамического старения выработок) в соответствии с китайскими условиями разработаны следующие мероприятия:

- Профилактический ремонт элементов шахтной вентиляционной сети: 1) создание архива аэродинамического

старения выработок, содержание которого включает в название и вид выработки, количество ветвей в топологии ШВС, площадь поперечного сечения, длину ветви, время существования выработки, проектное сопротивление выработки, расчетное сопротивление выработки; 2) графики профилактического ремонта. Определение времени отказов и определение времени начала и окончания ремонта можно осуществлять по программе, составленной по алгоритму графика профилактических работ.

- Регривирование распределения шахтной депрессии: при проектировании шахт следует учитывать процессы аэродинамического старения: проектировать проведение основных вентиляционных выработок в таких породах, как песчаник, известняк и т.д., в которых размеры поперечного сечения выработок не сильно изменяются; применять такие проектные площади поперечного сечения выработок, которые обеспечивали бы требования вентиляции в средний и конечный периоды эксплуатации шахты; на действующих шахтах осуществлять своевременный ремонт выработок; применять мероприятия профилактического ремонта; для участков выработок с большой депрессией можно увеличивать их поперечные сечения; совершенствовать вентиляционную сеть путем проведения параллельных вентиляционных выработок.

- Мероприятия по охране выработок: использование полых выработок вместо пустотных; применение способов охраны, обеспечивающих лучшую устойчивость выработок; реализация таких графиков ремонта, которые предупреждают значительное увеличение удельного сопротивления выработок; применение более мощной крепи выработок.

- Учет процессов аэродинамического старения выработок при проектировании вентиляции: определение сопротивлений выработок для выбранного момента времени проектирования по плану вентиляции шахты с учетом зависимости изменения во времени удельного сопротивления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научной квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной для угольной отрасли задачи по разработке метода оценки надежности шахтных вентиляционных систем по фактору аэродинамического старения выработок, позволяющего повысить надежность вентиляции действующих и проектируемых шахт, безопасность труда горнорабочих, устойчивость функционирования технологических процессов в шахте.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации сводятся к следующему.

1. Аэродинамическому старению подвержены практически все выработки шахт, что приводит к отклонению фактического воздухораспределения в сети от проектного, непредвиденному нераспределению воздуха в шахте, непредвиденному распределению шахтной депрессии, отказам вентиляции.

2. Экспериментальные исследования аэродинамического старения различных видов горных выработок китайских шахт Яочау и Чишань показали, что со временем степень увеличения удельного сопротивления по сравнению с проектным может достигать для участков выработок 2,9 раза в течение 2,2 лет, для капитальных штреков – 3,2 раза в течение 22 лет, для наклонных выработок – 4,5 раза в течение 21,5 лет.

3. Основными факторами влияния на процесс аэродинамического старения выработок являются характер проявления горного давления, способ охраны выработки, вид транспорта, организация ремонтных работ.

4. Генеральный характер изменения удельного сопротивления во времени одинаков для всех типов выработок. Удельное сопротивление всех выработок увеличивается во времени.

5. Получены зависимости изменения удельного аэродинамического сопротивления выработок во времени для

различных способов их охраны, назначения и вида транспорта. Зависимости удовлетворительно описываются полиномами третьей степени, кроме полевых конвейерных уклонов и штрэков. Зависимость для полевых конвейерных уклонов и штрэков удовлетворительно описывается полиномом Boltzman.

6. Интенсивность увеличения удельного сопротивления зависит от площади поперечного сечения выработок. Чем меньше площадь поперечного сечения выработок, тем выше интенсивность увеличения удельного сопротивления. Интенсивность изменения гораздо больше, чем капитальных выработок. Средняя скорость увеличения сопротивления участков плетовых штрэков больше в 14 раз, чем полевых конвейерных штрэков, и в 54 раз больше, чем полевых рельсовых штрэков.

7. Разработан интегральный метод оценки надежности шахтной вентиляционной системы по фактору старения, состоящий в комплексной оценке степени увеличения общего сопротивления шахты и степени относительного изменения сопротивлений выработок вследствие старения.

8. Разработан метод регулирования шахтной депрессии по фактору старения, состоящий в уменьшении удельного веса депрессии выработок с исходящим воздухом.

9. Разработаны мероприятия повышения надежности шахтной вентиляционной системы: профилактический ремонт, позволяющий определять выработки, подлежащие ремонту, сроки и объемы ремонтных работ; мероприятие по охране выработок; учет аэродинамического старения при проектировании и эксплуатации шахтной вентиляционной системы.

Подписано в печать 12.04.2000, формат 60×90/16

Объем 1 н.л. Тираж 100 экз. Заказ № 1013

---

Типография МГТУ, Ленинский проспект, 6.