

ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

В.К. Ушаков

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
НАДЕЖНОСТИ
И ЭФФЕКТИВНОСТИ
ШАХТНЫХ
ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ
СИСТЕМ**

Издание 2-е, стереотипное

Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Горное дело»

МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

2 0 0 3



УДК 622.4:622.019.3
ББК 33.18
У 93

Рецензенты:

проф. *В.С. Орехов*
(Академия труда и социальных отношений),
проф. *В.Н. Тагасов*
(Российский университет дружбы народов)

Ушаков В.К.

У 93 Математическое моделирование надежности и эффективности шахтных вентиляционных систем: Учебное пособие. — 2-е изд., стер. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. — 181 с.

ISBN 5-7418-0107-2

Введены понятия и показатели надежности, функциональной и экономической эффективности шахтных вентиляционных систем (ШВС). Изложены принципы математического моделирования надежности и эффективности функционирования (НЭФ) ШВС. Даны логико-вероятностные и имитационный методы прогнозирования показателей НЭФ ШВС. Приведено информационное обеспечение математического моделирования НЭФ ШВС. Рассмотрен экономический аспект проблемы надежности и эффективности вентиляции шахт. Описаны программные средства моделирования НЭФ ШВС.

Для студентов, магистров и слушателей специальных факультетов вузов, обучающихся по направлению «Горное дело».

УДК 622.4:622.019.3
ББК 33.18

ISBN 5-7418-0107-2

© В.К. Ушаков, 1999, 2003
© Издательство МГГУ, 1999, 2003
© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2003

ВВЕДЕНИЕ.....	7
---------------	---

Глава 1

ПОНЯТИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ШВС.....	15
1.1. Надежность ШВС	17
1.2. Функциональная эффективность ШВС	21
1.3. Экономическая эффективность ШВС	29

Глава 2

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ	33
2.1. Принципы моделирования надежности и эффективности ШВС.....	35
2.2. Методы математического моделирования надежности и эффективности технических систем	37

Глава 3

ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ШВС	39
3.1. Топологическая модель ШВС.....	41
3.2. Аналитический метод оценки надежности ШВС.....	42
3.3. Структурный метод оценки надежности ШВС	52

Глава 4

МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШВС ...	59
4.1. Стохастическая динамическая модель ШВС	61
4.2. Исходная информация метода.....	76
4.3. Алгоритм имитационного моделирования.....	81
4.4. Оценки показателей надежности и эффективности ШВС	99

Глава 5

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ШВС.....	111
5.1. Методика шахтных наблюдений и оценки статистических характеристик	113
5.2. Горные выработки	122

5.3.	Вентиляционные сооружения	131
5.4.	Главные вентиляторы	132
5.5.	Скорости ведения очистных и проходческих работ	133

Глава 6

	ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ШВС	135
6.1.	Затраты на устранение отказов ШВС	137
6.2.	Экономический ущерб от аварий по фактору вентиляции	148

Глава 7

	ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ШВС	155
7.1.	Общая структура программной системы	157
7.2.	Программные средства моделирования	159
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	167
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	169
	ПРИЛОЖЕНИЕ	171

Развитие горнодобывающей промышленности характеризуется переходом на более глубокие горизонты и усложнением условий ведения горных работ, что может привести к резкому снижению уровня безопасности труда шахтеров.

Актуальность проблемы охраны труда предъявляет высокие требования к надежности и эффективности функционирования шахтных систем жизнеобеспечения и особенно важнейшей из них — шахтной вентиляционной системы (ШВС). Нарушения нормального функционирования ШВС могут приводить к самым тяжелым последствиям как экономического, так и социального характера. В экономическом аспекте отказы ШВС вызывают серьезные нарушения технологического процесса и приводят к возникновению аварийных ситуаций по фактору вентиляции, что обуславливает значительные убытки предприятия в виде потерь от сокращения добычи, ущерба от аварий (включая выплаты по травматизму) и затрат на устранение отказов ШВС. В социальном аспекте ненадежность и неэффективность функционирования ШВС снижают уровень безопасности и комфортности труда шахтеров, что негативно отражается как на здоровье работающих, так и на моральном климате трудовых коллективов.

Процесс функционирования ШВС определяется совокупностью многочисленных геологических, технологических и технических факторов, большинство из которых носят стохастический (случайный) характер.

Действие этих факторов обуславливает стохастическую динамику структуры и параметров ШВС, которая

А
в настоящее время не учитывается на стадиях проектирования шахты или планирования развития горных работ. Вследствие этого в процессе функционирования ШВС появляются нарушения вентиляции, т.е. отказы системы.

Отказы ШВС могут вызываться также и детерминированной (запланированной) динамикой ее структуры и параметров, так как в настоящее время детальный анализ этой динамики на стадиях проектирования или планирования достаточно сложен и поэтому она учитывается весьма приближенно.

Различные виды детерминированных изменений удобно разделить на два класса — стратегические и тактические изменения.

Стратегические детерминированные изменения структуры и параметров ШВС соответствуют перспективной программе развития горных работ на шахте.

Программа проходческих работ предусматривает появление новых выработок. При этом происходят изменения структуры ШВС, т.е. топологии шахтной вентиляционной сети. Эти изменения проявляются в виде возникновения новых ветвей и узлов при разбиении на части выработок, смежных новой выработке, ее начальным и конечным узлами, а также при включении проходимой тупиковой выработки в сеть.

Программа очистных работ также приводит к изменениям структуры ШВС. Эти изменения проявляются в виде исключения ветвей и узлов при погашении выработок отработанных выемочных участков. При этом ветви, смежные погашаемой выработке, объединяются в одну ветвь.

Кроме того, при проходческих и очистных работах изменяются аэродинамические параметры ШВС (вследствие изменения длин тупиковых и участковых выработок) и список потребителей воздуха (вследствие измене-

ния количества и местоположения в сети подготовительных и очистных забоев).

Программа развития горных работ может также приводить к изменениям структуры и параметров ШВС в результате установки дополнительных или изменения типов существующих главных вентиляторов (ГВ), а также вследствие возведения и ликвидации вентсооружений.

Тактические детерминированные изменения структуры и параметров ШВС вызываются необходимостью текущего регулирования фактического воздухораспределения в сети с целью обеспечить его соответствие требуемому воздухораспределению.

Регулирование воздухораспределения приводит к изменениям аэродинамических параметров ШВС в результате изменения сопротивлений вентсооружений типа регуляторов расхода воздуха (РРВ) (при отрицательном способе регулирования), а также сопротивлений расширяемых выработок и режимов работы ГВ (при положительном способе регулирования).

При регулировании воздухораспределения возможно и изменение структуры ШВС вследствие проходки дополнительных параллельных выработок, а также изменения количества и местоположения РРВ.

Стохастическая динамика структуры и параметров ШВС обусловлена действием различных случайных горно-геологических (ГГ) и горнотехнических (ГТ) факторов.

Случайные изменения структуры ШВС проявляются в отклонениях от планируемых значений сроков ввода и ликвидации отдельных элементов ШВС, а также продолжительности их функционирования. Это обусловлено случайными отклонениями от проектных значений скоростей подвигания очистных и подготовительных забоев