

6
А-30
КУЗБАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

аспирант П. Т. ПОНОМАРЕВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ
УСТАНОВОК ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ
ГАЗОВЫХ ШАХТ КУЗБАССА**

(специальность 173 — Горная электромеханика)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Кемерово 1969

Р С, Ф С Р
Министерство высшего и среднего специального
образования
КУЗБАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

аспирант П.Т.ПОНОМАРЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК
ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ГАЗОВЫХ ШАХТ
КУЗБАССА

(специальность 173 - Горная электромеханика)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических

Кемерово
1969

Кемеровский политехнический институт
Библиотечный отдел
Литературный отдел

Перспективным планом развития угольной промышленности предусматривается значительный рост производственных мощностей горнодобывающих предприятий, увеличение их технической вооруженности и рост производительности труда горнорабочих. Концентрация работ и уход их на все большие глубины повышают требования к проветриванию шахт. Создание надлежащих санитарно-гигиенических условий труда и обеспечение безопасности работ в шахте зависит от уровня надежности системы проветривания. Надежное проветривание в большой степени определяется надежностью вентиляторной установки главного проветривания, которая является основным звеном, формирующим режим проветривания шахты. Выход из строя вентиляторной установки парализует работу всех подземных звеньев шахты, способствует загазованию рабочих мест, что может привести к появлению опасного последствия (взрыву или вспышке метана).

Помимо того, что надежность вентиляторной установки определяет безопасность ведения горных работ, перерывы проветривания горных выработок наносят большой материальный ущерб.

Увеличение мощности вентиляторных установок на крупных газовых шахтах, повышение требований к проветриванию, электрификация и автоматизация производственных процессов в угольной промышленности выдвигают проблему надежности автоматизированных вентиляторных установок на первый план.

Целью данной работы является исследование надежности автоматизированных вентиляторных установок главного проветривания (ВУГП) газовых шахт Кузбасса на основе использования современного аппарата теории надежности, математической статистики, теории вероятностей и теории массового обслуживания.

Работа состоит из пяти глав.

Первая глава посвящена анализу состояния вопроса надежности ВУГП. Приводятся краткая история вопроса надежности, требования, предъявляемые к ВУГП газовых шахт, примеры последствий взрывов метана на угольных шахтах, краткий обзор литературы по надежности горношахтного оборудования и задачи исследования.

Первоочередными задачами, поставленными для разрешения в настоящей работе, являются:

1. Определение параметров эксплуатационной надежности ВУГП и законов их распределения.
2. Установление оптимальных уровней надежности ВУГП.
3. Разработка эффективных методов оценки надежности вентиляторных установок на стадии эксплуатации и создания нового оборудования.
4. Анализ путей повышения надежности ВУГП.

Во второй главе рассмотрены основные факторы, влияющие на надежность ВУГП в условиях шахт Кузбасса, приведены классификация отказов и выбор критериев надежности ВУГП.

Уровень эксплуатационной надежности вентиляторной установки определяется рядом факторов, наибольшее влияние из которых оказывают внешние воздействия и режим эксплуатации. Из внешних воздействий характерными являются: повышенная влажность воздуха, наличие постоянно действующих вибраций, низкая температура в зимний период, постоянная запыленность воздуха и наличие в воздухе взрывоопасных газов.

С учетом структуры ВУГП отказы подразделяются на блочные и общие. Блочные отказы приводят к выходу из строя отдельных блоков одного из агрегатов. При этом второй агрегат остается исправным и обеспечивает нормальное проветривание шахты. Общие отказы приводят к нарушению функционирования всей вентиляторной установки и вызываются одновременным выходом из строя обоих агрегатов или переключающих устройств и работающего агрегата.

Санитарно-гигиенические условия труда горнорабочих и безопасность ведения горных работ зависят не только от количества отказов ВУГП, но и от продолжительности перерывов

проветривания. Следовательно, надежность вентиляторной установки определяется двумя основными факторами: безотказностью и ремонтпригодностью. Основным критерием, характеризующим безотказность установки, принимается вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение заданного времени t , а ремонтпригодность — функция ремонтпригодности $R(t_g)$. Кроме того, ВУГП следует характеризовать еще и вероятностью успешного реверсирования $P_{рев}$, поскольку от успешного реверсирования воздушной струи зависит безопасность людей в шахте при авариях.

Качественная оценка надежности ВУГП должна производиться относительно оптимальных значений параметров надежности, которые учитывали бы как весь комплекс случайных событий, способствующих возникновению опасного последствия, так и величину затрат на достижение искомого уровня надежности, его поддержание и убытков от отказов, т.е.

$$P_0(t) = \max [P_y^5(t); P_y^3(t)], \quad (1)$$

где $P_0(t)$ — оптимальная величина безотказности ВУГП;
 $P_y^5(t)$ — вероятность безотказной работы ВУГП за время из условия безопасного ведения горных работ;
 $P_y^3(t)$ — экономический уровень безотказности ВУГП.

Поскольку создание безопасных условий ведения горных работ является первоочередной задачей, прежде всего должно выполняться условие

$$P_y(t) \geq P_y^5(t), \quad (2)$$

где $P_y(t)$ — вероятность безотказной работы ВУГП, характеризующая её эксплуатационную надежность.

Безопасная величина эксплуатационной надежности ВУГП должна являться функцией безотказности и ремонтпригодности установки и может быть определена как допустимая вероятность отсутствия перерыва проветривания шахты из условия возникновения опасного события, под которым понимается взрыв или вспышка метана в любом пункте ведения горных работ.

Допустимая вероятность появления опасного события за время $t = 720$ час. ведения горных работ, рассчитанная известным методом из условия отсутствия опасного события на шахтах Кузбасса в течение $t_u = 20$ лет (средний срок службы вентиляторной установки), составляет $Q_B(720) = 2,36 \cdot 10^{-6}$. Если на шахте имеется n_1 забоев, проветриваемых за счет общешахтной депрессии, и n_2 забоев, проветриваемых вентиляторами местного проветривания, то опасное событие может произойти в любом из $n = n_1 + n_2$ забоев при одновременном появлении двух независимых событий: загазование забоя до опасной концентрации и появление искры, способной вызвать воспламенение метана.

При отказе ВУП возможно загазование любого из n забоев, загазование же любого из n_2 забоев возможно как при отказе ВУП, так и при отказе системы местного проветривания (СМП).

В результате теоретических исследований с использованием основных положений и методов теории массового обслуживания получено выражение для определения допустимой вероятности отказа ВУП за время t из условия отсутствия опасного события в любом из n забоев за срок службы вентиляторной установки:

$$Q_y^5(t) = \frac{1 - Q_R(t)}{G(\tau_B) \cdot Q_u(\tau_B) \cdot [1 - Q_M(t) \cdot G(\tau_B') \cdot Q_u(\tau_B')]^{1/2}}, \quad (3)$$

где $G(\tau_B)$ - вероятность загазования хотя бы одного забоя за время восстановления τ_B ВУП;

$G(\tau_B')$ - то же за время восстановления τ_B' СМП;

$Q_u(\tau_B)$ - вероятность появления искры, способной вызвать воспламенение метана, за время τ_B ;

$Q_M(t)$ - вероятность отказа СМП за время t .

Определены значения $Q_y^5(t)$ за время $t = 720$ час. для различных условий эксплуатации.

Допустимая вероятность безотказной работы ВУП из условия безопасного ведения горных работ определяется

(4)

$$P_y^5(t) = 1 - Q_y^5(t)$$

и для автоматизированных ВУП с немеханизованными забоями имеет величину $P_y^5(720) = 0,93$.

Третья глава посвящена исследованию эксплуатационной надежности вентиляторных установок шахт Кузбасса.

В результате испытаний получены сведения об эксплуатации 26 установок за период 26280 час. Суммарное время наработки (время работы всех установок за период наблюдения) составило 683280 час, в течение которого зарегистрировано 1085 отказов, из них 975 блочных и 110 общих. По каждой вентиляторной установке отказы учитывались отдельно по блокам (табл. I).

Таблица I

№ пп	Функциональные блоки	Интенсивность потока отказов $\lambda_i \cdot 10^{-4}, \frac{1}{\text{час}}$	Вероятность безотказной работы за 720 час $P_i(720)$
1.	Электропривод	0,98	0,932
2.	Распредустройство	5,34	0,617
3.	ЛЭП-6 кв	1,07	0,925
4.	Аппаратура управления	3,51	0,776
5.	Вентилятор, в т.ч. турбина с лопатками	3,37	0,785
	подшипники	1,54	0,895
	вал с муфтами	1,42	0,903
	ИТОГО блочные отказы	14,27	0,358
6.	Устройства переключения	0,205	0,985
7.	Устройства реверсирования	1,405	0,904
	ИТОГО общие отказы	1,61	0,890

Для оценки эксплуатационной надежности ВУГП при массовом сборе информации научный и практический интерес представляют не результаты отдельных испытаний, а общие закономерности. Исследованиями установлено, что распределение времени наработки на отказ функциональных блоков и агрегата подчиняется экспоненциальному закону

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \quad (5)$$

где $F(t)$ — функция распределения случайных значений наработки на отказ;

T — среднее время наработки на отказ.

Основные параметры безотказности функциональных блоков ВУГП приведены в табл. I.

Время восстановления как общих, так и блочных отказов распределяется так же по экспоненциальному закону

$$R_o(t_B) = 1 - e^{-\frac{t_B}{\tau^o}} \quad (6)$$

$$R_B(t_B) = \begin{cases} 1 - \exp(-\frac{t_B}{\tau_1^o}) & \text{при } 0,67 \geq t_B > 0 \\ 1 - \exp(-\frac{t_B + 13}{\tau_2^o}) & \text{при } t_B > 0,67 \end{cases} \quad (7)$$

где $R_o(t_B)$ — функция распределения случайного времени восстановления общих отказов;

$R_B(t_B)$ — то же блочных отказов;

τ^o — среднее время восстановления общих отказов;

τ^B — то же блочных отказов.

Между временем восстановления и удалением вентиляторной установки от места расположения ремонтных служб выявлена корреляционная связь.

В результате анализа распределения времени восстановления отказов определены параметры ремонтпригодности ВУГП. Интенсивность восстановления ВУГП составляет:

а) при общих отказах

— для неавтоматизированных установок $\mu_1^o = 6,3 \frac{1}{\text{час}}$;

— для автоматизированных установок $\mu^o = 1,0 \frac{1}{\text{час}}$;

б) при блочных отказах

— среднее значение $\mu^B = 0,112 \frac{1}{\text{час}}$.

Согласие экспериментальных и теоретических распределений проверены графическим методом, по критерию согласия χ^2 и методом академика А.Н. Колмогорова.

Полученные значения параметров надежности ВУГП находятся в весьма узких доверительных границах: с достоверностью $\alpha = 0,95$ ширина доверительного интервала составляет от $\pm 5\%$ до $+19\%$, -14% .

Вентиляторная установка является сложной системой с восстанавливаемым резервом, которую можно представить двумя подсистемами: резервированной подсистемой Р2, состоящей из двух дублирующих друг друга вентиляторных агрегатов, и подсистемой переключающих устройств ПУ, состоящей из устройства переключения агрегатов и устройства реверсирования (рис. I).

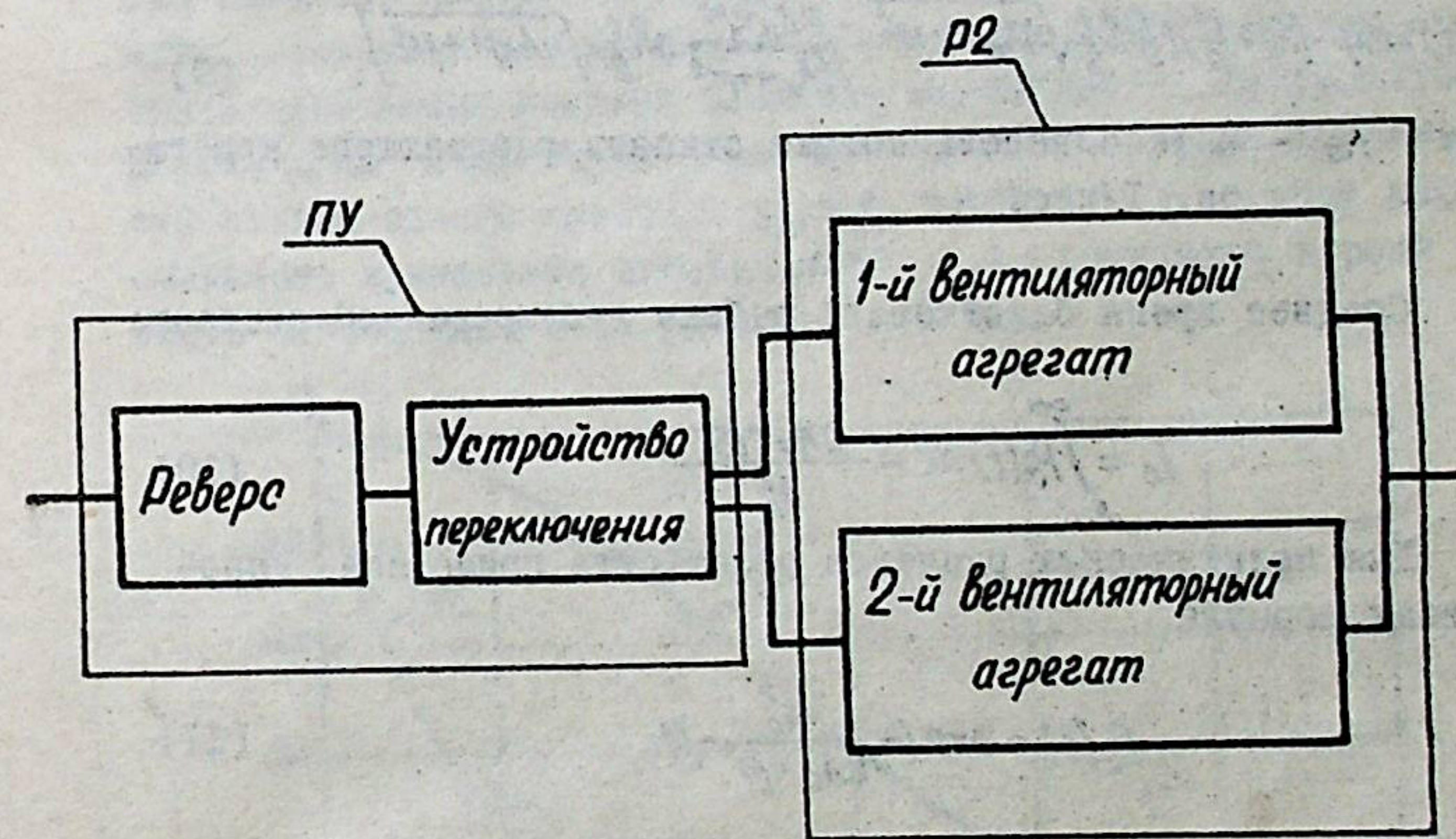


Рис. I. Структурная схема надежности ВУГП.

Безотказность установки выражается через вероятности безотказной работы составляющих её подсистем:

$$P_y(t) = P_c(t) \cdot P_{пу}(t) \quad (8)$$

где $P_c(t)$ - вероятность безотказной работы резервированной подсистемы P2 за время t ;

$P_{ny}(t)$ - то же переключающих устройств ПУ.

Резервированная подсистема P2 является восстанавливаемой системой с ненагруженным резервом, появление отказов в каждом агрегате которой распределяется по закону Пуассона, т.е. процессы появления отказов в агрегатах системы являются случайными процессами марковского типа.

Поскольку после выхода из строя рабочего агрегата в работу включается резервный, а отказавший - восстанавливается, то надежность функционирования подсистемы P2, определенная на основе использования теории массового обслуживания, запишется в виде

$$P_c(t) = \exp\left(-\left(\lambda_a + \frac{M}{2}\right)t\right) \left[\operatorname{ch} \frac{t}{2} \sqrt{4\lambda_a M + M^2} + \frac{2\lambda_a + M}{\sqrt{4\lambda_a M + M^2}} \operatorname{sh} \frac{t}{2} \sqrt{4\lambda_a M + M^2} \right], \quad (9)$$

где λ_a - интенсивность потока отказов работающего агрегата, 1/час.

Среднее время безотказной работы дублированной системы:

$$T_c = \int_0^{\infty} P_c(t) dt = \frac{2\lambda_a + M}{\lambda_a^2} \quad (10)$$

Для практических расчетов может быть применена упрощенная формула

$$P_c(t) = \exp\left(-\frac{\lambda_a^2}{2\lambda_a + M}t\right) \quad (11)$$

Вероятность безотказной работы ВУП за время $t = 720$ час, характеризующая ее эксплуатационную надежность, составляет $P_y(720) = 0,878$, что ниже безопасного уровня надежности.

Четвертая глава посвящена анализу путей повышения надежности ВУП.

Особенно высокие требования надежности должны предъявляться к цепям дистанционного контроля и управления, так как в случае отказа их установка оказывается неуправляемой и неконтролируемой. Для анализа надежности проводится аналогия между цепями контроля и управления и каналом связи в теории информации.

В существующих схемах управления ВУП обрыв или короткое замыкание любого провода цепи контроля и управления приводит к нарушению функционирования цепи. В работе приводится анализ надежности цепей контроля и управления серийно выпускаемой аппаратуры управления вентиляторными установками главного проветривания (УКВГ) и цепей контроля и управления со структурной избыточностью, которая достигается за счет применения качественно-комбинированного принципа разделения каналов. Результаты анализа приведены на рис.2. Применение двух диодных приставок для комбинированного разделения каналов, каждая из которых состоит из 16 диодов типа Д10В, позволяет без переделок аппаратуры УКВГ и увеличения числа физических каналов повысить вероятность безотказной работы цепи с $P_{ц1} = 0,487$ до $P_{ц2} = 0,986$ (при вероятности отказа одного провода $q_{01} = q_{к1} = 0,05$) за счет рационального применения избыточности, т.е. уменьшить вероятность отказа цепи в 37 раз.

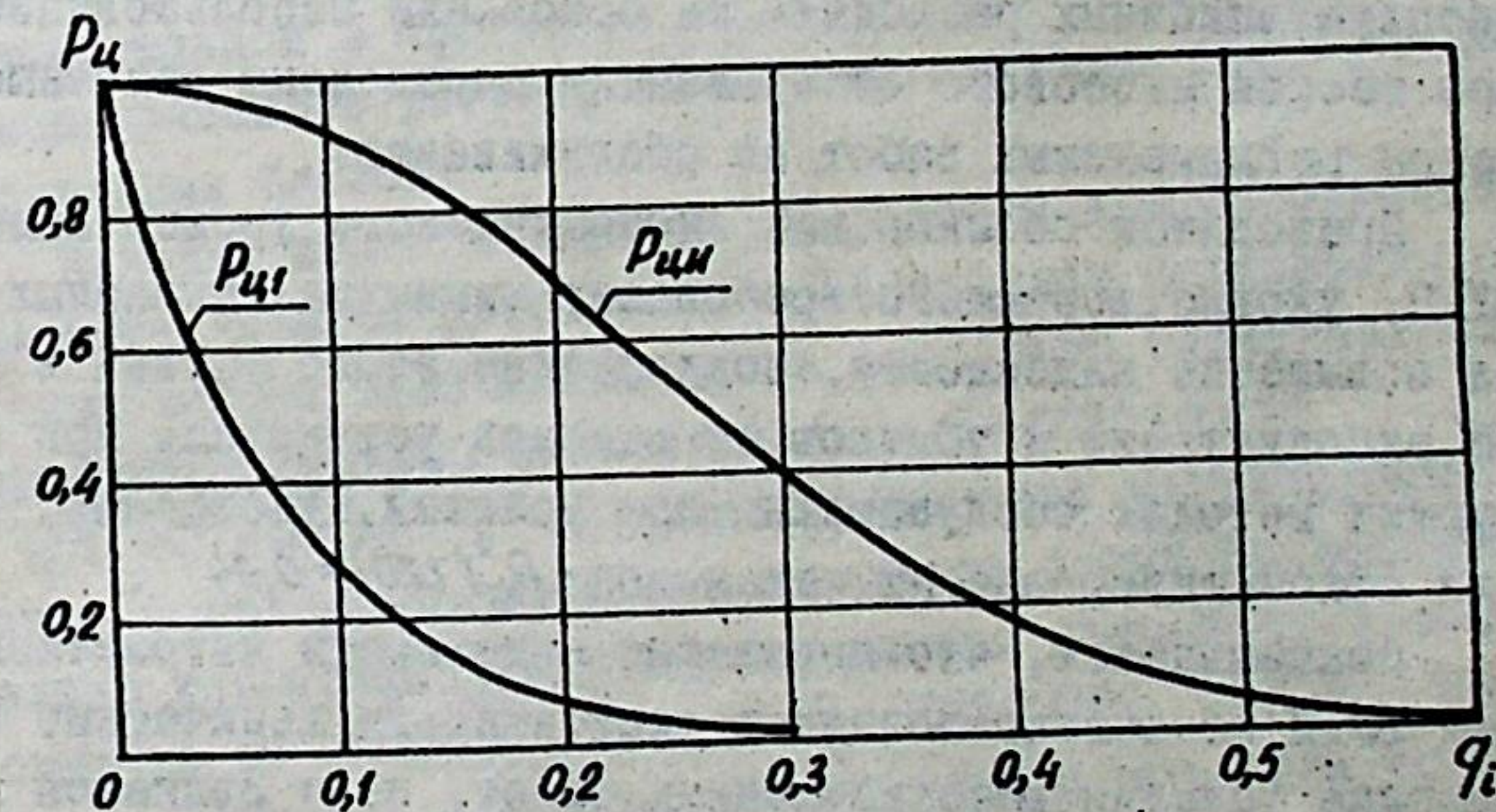


Рис.2. Функции надежности цепей контроля и управления ВУП.

Дается подробный анализ различных способов резервирования ВУП. Надежность вентиляторной установки как резервированной системы рассматривается с учетом режима работы как рабочих, так и резервных подсистем. Наиболее целесообразным способом резервирования ВУП является общее резервирование замещением с одним переключающим устройством, надежность которого должна удовлетворять требованию $P_{ny}(720) \geq 0,837$ - из условия целесообразности применения замещения и $P_{ny}(720) \geq 0,942$ - из условия достижения безопасного уровня надежности.

Повышение надежности установки возможно за счет уменьшения сложности переключающих устройств при отказе от реверсирования воздушного потока с помощью шиберов и ляд.

Эффективность резервирования возрастает с уменьшением времени восстановления, основную часть которого составляет время на поиск неисправностей. С целью уменьшения времени восстановления разработаны функциональные циклограммы для анализа работы схем при поиске неисправностей.

Важной проблемой надежности является проблема организации профилактических мероприятий. Для практического определения межпрофилактических периодов при различных условиях эксплуатации составлена номограмма, позволяющая определять оптимальные периоды между профилактиками при минимальных эксплуатационных расходах. На основании использования методов теории массового обслуживания определены основные параметры регламентных работ по обслуживанию.

Приводится обоснование экономического уровня надежности ВУП, удовлетворяющего требованию минимума суммарных затрат на повышение надежности, поддержание этого уровня в процессе эксплуатации и убытков от отказов установки. При существующих методах обслуживания для условий Кузбасса $P_y^3(720) = 0,89$. Для автоматизированных установок $P_y^3(720) = 0,94$.

Показывается, что повышение надежности автоматизированных ВУП не только повышает санитарно-гигиенические и безопасные условия ведения горных работ, но и является источником получения значительного экономического эффекта.

В пятой главе рассматриваются вопросы надежности вентиляторных установок в условиях автоматического управления

проветриванием шахт.

В условиях современных крупных газовых шахт, а тем более - шахт будущего, улучшение проветривания только за счет увеличения мощностей вентиляторов сопряжено со значительным увеличением расхода электроэнергии на вентиляцию. Само же по себе увеличение общешахтного дебита воздуха еще не гарантирует создания нормальных безопасных условий труда в шахте, так как аэродинамические и газовые параметры вентиляционной сети изменяются непрерывно. В свете сказанного встает задача надежного непрерывного управления проветриванием шахт.

В нашей стране и за рубежом ведутся обширные научно-исследовательские работы по созданию схем и средств автоматического управления проветриванием шахт.

Любое вновь создаваемое устройство будет наиболее совершенным при минимальной его стоимости в том случае, если необходимые затраты на достижение требуемой надежности произведены в начальной стадии разработки.

В работе приводится методика определения надежности разрабатываемых устройств путем прогнозирования на основе подробного анализа отказов элементов устройств, подобных разрабатываемым, при работе их в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации. На основе использования вышеприведенной методики определены основные параметры надежности разработанной в Институте горного дела СО АН СССР системы автоматического регулирования вентиляторов (САРВ) и её функциональных блоков.

Наличие исполнительного устройства для одновременного поворота лопаток рабочего колеса снижает надежность регулируемых осевых вентиляторов, за счет чего безотказность регулируемой системы снижается с $P_c'(720) = 0,998$ до $P_c(720) = 0,996$.

Однако применение регулируемых вентиляторов для реверсирования воздушной струи позволяет значительно упростить схему переключающих устройств и тем самым повысить их безотказность с $P_{ny}'(720) = 0,89$ до $P_{ny}(720) = 0,935$. Вероятность успешного реверсирования повышается при этом в 4,8 раза.

Последний параграф пятой главы посвящен рассмотрению вопроса эффективности применения САРВ.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Проведен анализ основных факторов, влияющих на надежность вентиляторных установок в условиях шахт Кузбасса. Произведена классификация отказов и выбор критериев, характеризующих надежность ВУП.

2. Разработана методика определения безопасного уровня надежности ВУП. На основании этой методики могут производиться расчеты, результаты которых должны учитываться при проектировании вентиляторных установок. Рассчитана допустимая вероятность безотказной работы ВУП с различным временем восстановления для шахт с различной интенсивностью загазования забоев.

3. Определена закономерность распределения случайных значений наработки на отказ основных блоков вентиляторной установки и времени восстановления как общих, так и блочных отказов.

4. Определены значения параметров эксплуатационной надежности вентиляторной установки и её отдельных блоков. Выявлена корреляционная связь между временем восстановления и удалением установки от места расположения ремонтных служб.

5. На основе использования теории массового обслуживания рассчитана вероятность безотказной работы вентиляторной установки как системы с восстанавливаемым резервом. Для практических расчетов надежности подобных систем рекомендуется упрощенная формула, позволяющая получить результаты с достаточной точностью.

6. Проведен анализ надежности цепей контроля и управления ВУП на основе использования теории информации. Для повышения надежности цепей контроля и управления разработаны диодные приставки, позволяющие без переделок аппаратуры и увеличения числа физических каналов значительно повысить

безотказность цепей за счет рационального применения избыточности.

7. Проведен анализ различных способов резервирования с учетом режима работы как рабочих, так и резервных подсистем. Установлены наиболее целесообразный способ резервирования ВУП и наиболее выгодная величина безотказности переключающих устройств.

8. С целью уменьшения времени восстановления разработаны функциональные циклограммы для анализа работы схем при поиске неисправностей.

9. Определены основные параметры регламентных работ по обслуживанию ВУП. Составлена номограмма для практического определения оптимальных периодов между профилактиками при различных условиях эксплуатации.

10. Разработана методика определения экономического уровня надежности ВУП, удовлетворяющего требованию минимума суммарных затрат на повышение надежности, поддержание этого уровня в процессе эксплуатации и убытков от отказов установки. На основе предлагаемой методики рассчитан экономический уровень надежности ВУП для условий Кузбасса.

11. Разработан метод определения надежности вносимых регулируемых вентиляторов, который внедрен в ИГД СО АН СССР при создании осевых вентиляторов, регулируемых на ходу поворотом лопаток рабочего колеса.

12. Проведен анализ надежности САРВ, в результате которого показано, что применение регулируемых вентиляторов для реверсирования воздушной струи позволяет значительно повысить безотказность ВУП и вероятность успешного реверсирования.

Рекомендации по повышению надежности ВУП успешно апробированы и внедрены в Институте горного дела СО АН СССР при создании САРВ и на шахтах Кузбасса.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Пономарев П.Т. К обоснованию оптимальной надежности системы автоматического регулирования вентиляторной установки главного проветривания (САРВ). Сб. "Автоматическое регулирование и эффективность работы главных вентиляторных установок шахт", ВИНТИ, 1968.

2. Пономарев П.Т., Петров Н.Н. О надежности осевых вентиляторов, регулируемых на ходу поворотом лопаток рабочего колеса. Сб. "Автоматическое регулирование и эффективность работы главных вентиляторных установок шахт", ВИНТИ, 1968.

3. Петров Н.Н., Пономарев П.Т. Исследование надежности систем автоматического регулирования вентиляторов главного проветривания газовых шахт. "Горное дело", Материалы к симпозиуму молодых ученых г.Новосибирска, посвященному 50-летию ВЛКСМ. Новосибирск, "Наука", 1969.

4. Пономарев П.Т. Анализ эксплуатационной надежности вентиляторных установок главного проветривания угольных шахт Кузбасса. ВИНТИ, 1969.

5. Пономарев П.Т. Повышение надежности аппаратуры управления вентиляторными установками шахт. ВИНТИ, 1969.

Сдано в печать 21/2-69г. подписано
к печати 21.11.69 г., ОП 01693,1 п.л.,
заказ 405, тираж 150.
Тип. КузПИ, г. Кемерово, Красноармейская, 115.

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

335162