

М 497903

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им.Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

МАЛЬГИН СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И
МОРФОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР АВТОМАТИЧЕСКИХ РОТОРНЫХ ЛИНИЙ
ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
(на примере производства втулок резисторов)

Специальность 05.13.07 - Автоматизация технологических
процессов и производств
(промышленность)

Мальгин
А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1991

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена
Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
ПОЛТАВЕЦ О.Ф.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Фролович В.Н.

- кандидат технических наук, доцент
Ермаков Е.С.

Ведущее предприятие - КБ "Икар", г.Нижний Новгород

Защита состоится "27" сентября 1991 г. на заседании
специализированного совета К 053.15.01 в МГТУ им.Н.Э.
Баумана по адресу: 107006, Москва, 2-я Бауманская ул.,

г. М.

я в библиотеке МГТУ

экземпляре, заверенный
занному адресу.

199 г.

ш 497903

Рябов В.Т.

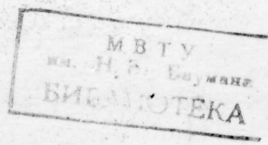
Заказ № 503
Типогр. МГТУ

Достижения электроники в значительной степени определяют научно-технический и экономический потенциал страны. Резисторостроение как самостоятельное направление электронной техники интенсивно развивается в последние десятилетия, увеличивая за пятилетки объем производства в 1,8-2 раза. Одним из эффективных путей, позволяющим обеспечить высокие темпы роста объемов производства резисторостроения наряду с его техническим перевооружением, является широкое внедрение новых технологий, в частности на базе роторных и роторно-конвейерных линий (АРЛ и РКЛ). Утверждена Государственная программа их разработки и внедрения. Теории АРЛ и РКЛ посвящены труды многих советских ученых: академика Л.Н.Кошкина, Клусова И.А., Прейса В.В., Фроловича Е.Н., Золотухина В.И., Волкова Н.В. и ряда других.

Соб. 56411
Актуальность темы. Сроки создания, внедрения и эффективность использования АРЛ во многом определяются степенью совершенства методов их проектирования. Как показал анализ, существующие методы проектирования АРЛ имеют ряд существенных недостатков: технологический процесс (ТПП) и АРЛ как средство для его реализации разрабатываются практически независимо друг от друга, они требуют значительного времени и высокой квалификации конструкторов; для них характерны основной упор на опыт и интуицию разработчика, малая доля формализованных процедур, что не позволяет использовать современную вычислительную технику. В то же время наличие огромного опыта в проектировании роторных машин для производства элементов электронной техники, стремительное развитие вычислительной техники и имитационного моделирования, достижения ряда других смежных научных дисциплин создают объективные предпосылки для совершенствования методики проектирования АРЛ. Указанные обстоятельства и обусловили актуальность настоящего исследования.

Цель работы - разработка методики автоматизированного проектирования структуры АРЛ для изготовления втулок переменных резисторов на основе системного подхода.

Методы исследований. В теоретическом исследовании использованы фундаментальные положения теории технических систем, технологии машиностроения, автоматизации производственных процессов, теории надежности. При разработке математических моделей применялись основные методы теории графов, теории случайных функций. Оптимизация решений осуществлялась как итерационным методом направленного



поиска, так и методом квадратичного программирования. Объектами эксперимента являлись разработанные математические модели структуры АРЛ и ТЛП. Обработка результатов теоретических и экспериментальных исследований выполнялись на ПЭВМ типа РС/АТ.

Научная новизна. Разработаны: методы проектирования функциональных и морфологических структур сложных технических систем типа АРЛ на основе системного подхода, учитывающая влияние конструкции детали и особенности технологического процесса; математические модели структур технологического процесса и АРЛ; методика оценки надежности АРЛ на этапе проектирования ее структуры; концепция функциональной модульной унификации элементов АРЛ. Указанные положения, с учетом их новизны, теоретической и практической значимости выносятся на защиту. К защите представляются расчетные данные, полученные на ЭВМ.

Практическая ценность. Разработаны формализованная процедура и программное обеспечение процесса автоматизированного диалогового проектирования рациональной структуры АРЛ для изготовления втулок переменных резисторов. Результаты работы в виде описания основных положений методики автоматизированного проектирования структуры АРЛ, разработанных математических моделей, алгоритмов, а также набора прикладных программ на дискетках опробованы и внедрены в ЦКБТО "Нейтрон" с годовым экономическим эффектом 47 тыс.руб.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на: Всесоюзной конференции по роторным линиям, г.Москва, ВДНХ, 1989 г.; на отраслевом совещании МЭП СССР по эффективности внедрения роторной техники, Москва, 1989 г.; на отраслевом совещании МЭП СССР "Опыт, перспективы создания и использования высокопроизводительного оборудования роторного типа на предприятиях МЭП", г.Ленинград, 23-24.II.1989 г.; на научно-технической конференции в ЦКБТО "Нейтрон", г.Ереван, 1989 г.; на научных семинарах кафедр РК-8, МТ-2 МГТУ им.Н.Э.Баумана и кафедры оборудования штамповочного производства Тульского политехнического института.

Публикации. Материалы диссертации отражены в 7 опубликованных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 99 наименований, приложений,

содержит 143 страницы машинописного текста, 52 рисунка и 47 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность темы и научная новизна исследования, сформулированы цель и задачи, даны общая характеристика и практическая значимость работы.

В первой главе. Рассмотрено состояние отечественного и зарубежного резисторостроения, определены номенклатура и существующие темпы роста производства основных типов резисторов, главные направления улучшения их потребительских свойств, разработана классификация деталей переменных резисторов, даны их геометрические и точностные характеристики. Установлено, что существует определенное противоречие между объемами выпуска резисторов и необходимыми темпами их роста с одной стороны и техническим уровнем производства с другой. Анализ показал, что наибольший удельный вес в структуре трудоемкости переменных резисторов имеют втулки, корпуса, валы. Исследование технического уровня производства этих деталей показало, что решение поставленных перед резисторостроением задач эффективно, если широко применять роторное оборудование, в частности АРЛ для изготовления втулок переменных резисторов.

Анализ отечественных и зарубежных АРЛ показал возможность повышения их технико-экономических характеристик. С этой целью проведен анализ существующих методик проектирования роторного оборудования, который показал, что каждая из методик имеет свои достоинства и недостатки. В них отсутствует органическое единство между проектированием технологического процесса изготовления деталей и АРЛ для его реализации. Собственно говоря, технологии уделяется незаслуженно мало внимания, хотя именно ее уровень во многом определяет эффективность АРЛ. В соответствии с результатами анализа и целью исследований поставлены следующие основные задачи:

1. Исследовать основные элементы и связи функциональной и морфологической структуры АРЛ механической обработки и разработать методику их синтеза.
2. Разработать математические модели структур технологического процесса и АРЛ.

3. Разработать методику оценки и математическую модель надежности АРЛ по ее структуре.

4. Разработать информационное и программное обеспечение автоматизированного проектирования структур ТЛП и АРЛ на базе полученных математических моделей применительно к производству втулок переменных непроволочных резисторов.

5. Произвести проектирование, исследование структур и оценку их технико-экономической эффективности по разработанной методике.

Во второй главе проведено теоретическое исследование

процесса изготовления втулок переменных резисторов как сложной системы. Для того, чтобы превратить исходный предмет (заготовку) в изделие (деталь), необходимо организовать сложную производственную систему. В ней происходит преобразование заготовки, которая характеризуется комплексом свойств $\Sigma \Xi_1$ в деталь, обладающую комплексом свойств $\Sigma \Xi_2$, целенаправленным воздействием материального, энергетического и информационного потоков. Эти воздействия осуществляются людьми, техническими системами и окружением. Под технической системой в данной работе подразумевается АРЛ и ее элементы. В процессе преобразования объекта из заготовки в деталь он проходит ряд промежуточных преобразований-подпроцессов. При этом изменяется хотя бы одно его свойство. В основе каждого частичного преобразования заложен определенный технологический метод. Для определения множества системосформирующих элементов и их иерархии в данной работе предложена методологическая спираль причинно-следственных связей элементов технических систем, для которой, исходя из поставленной цели (получение качественной детали), можно найти средства ее реализации технологический процесс (ТЛП). АРЛ. Таким образом формируются два типа подсистем: подсистема "процесс", элементами которой являются действия, совершаемые во времени и подсистема "объект", элементами которой являются предметы (узлы, механизмы). В свою очередь, рассматривая структуру ТЛП и АРЛ как цели, можно определить средства их реализации (элементы). Такой подход формирует множество элементов на каждом исследуемом уровне иерархии.

В результате исследования для таких подсистем как заготовка, деталь, ТЛП и АРЛ разработаны морфологические таблицы, которые содержат строго упорядоченное множество элементов, их иерархию и

отражают соответствие между элементами Е и выполняемыми ими функциями F. Характер этих таблиц иллюстрируется в табл. I.

Таблица I

Морфологическая таблица элементов АРЛ и их функций

Основные функции АРЛ			Основные элементы АРЛ		
уровни иерархии функций			уровни иерархии элементов		
F ¹	F ²	F ³	E ¹	E ²	E ³
F ¹ - автоматическое изготовление детали с заданной производительностью	F _{1,1} ² - загрузка	F _{1,1} ³ - передача	E ¹ - автоматическая роторная линия	E _{1,1} ² - загрузочно ориентирующее устройство	E _{1,1} ³ - передаточный орган
		F _{1,2} ³ - установка			E _{1,2} ³ - механизм ориентации
		...			...
	F ₂ ² - обработка поверхностей	F _{2,3} ³ - технологическое воздействие		E ₂ ² - технологические роторы	E _{2,3} ³ - рабочий орган
	...	...		...	...

В результате исследования установлены основные качественные и количественные свойства элементов. Особое внимание уделено связи как средства устанавливающего определенные условия взаимодействия элементов. Благодаря наличию устойчивых и существенных связей множество элементов образуют систему с желаемыми свойствами. В результате исследования была разработана классификация основных системообразующих связей, а также их характеристика и показатели шести различных по своему воздействию видов, а именно: подобия, соответствия, функциональная, взаимодействия, схемная, функционирования. Систематизированы показатели морфологических структур. Исследованием установлены наиболее общие принципы организации структуры АРЛ - метод функционального синтеза элементов, его последовательности, использования обобщенного и частных

критериев, математического моделирования, модульности. На основе этих принципов разработана методологическая схема взаимодействия элементов, связей, свойств, которая позволила создать поэтапную схему процесса проектирования морфологической структуры АРЛ. Главным ее отличием от существующих является функциональный синтез структуры.

Третья глава посвящена разработке математических моделей ТЛП и АРЛ.

В качестве обобщенной оценки морфологической структуры АРЛ выбраны приведенные затраты на изготовление втулки резистора, которые выражены через элементы подсистем ТЛП и АРЛ и их свойства. Разработка математической модели ТЛП осуществлена в несколько этапов. Сначала для каждой поверхности детали формируется множество возможных элементов-операций, основанных на различных технологических методах обработки, выполнение которых необходимо для их изготовления. Затем оно упорядочивается и через матрицу совмещений формируются возможные компоновочные схемы элементов-операций. Далее определяются сроки раннего и позднего начала и окончания элементов-операций и по полученным данным строится сетевой график. На заключительном этапе формируется множество возможных маршрутов обработки детали, для чего элементы-операции ранжируются по весу, формируются в группы по раннему времени начала событий и строится граф-дерево вариантов маршрута обработки заготовки. Таким образом формируется множество возможных маршрутов обработки, каждый из которых позволяет получить годную деталь. Для втулки резистора граф-дерево маршрутов обработки, основанных на резании, приведен на рис. I. По критерию минимальной длительности обработки оптимальный маршрут выделен жирной линией. Структура и свойства полученной подсистемы ТЛП, где А-элемент-операция, являются необходимым условием формирования оптимальной структуры АРЛ.

На следующем этапе исследования АРЛ была разработана ее математическая модель. Основным содержанием этого этапа является формализация связей элементов структуры АРЛ. Основные зависимости определяются из условий.

а) синхронизации транспортного и технологических роторов

$$\frac{2\pi r_1^{**}}{N_1^{**}} = \frac{2\pi r_1^{*}}{N_1^{*}} = \dots = \frac{2\pi r_q^{*}}{N_q^{*}} = \frac{2\pi r_{q+1}^{**}}{N_{q+1}^{**}} = \text{Const}$$

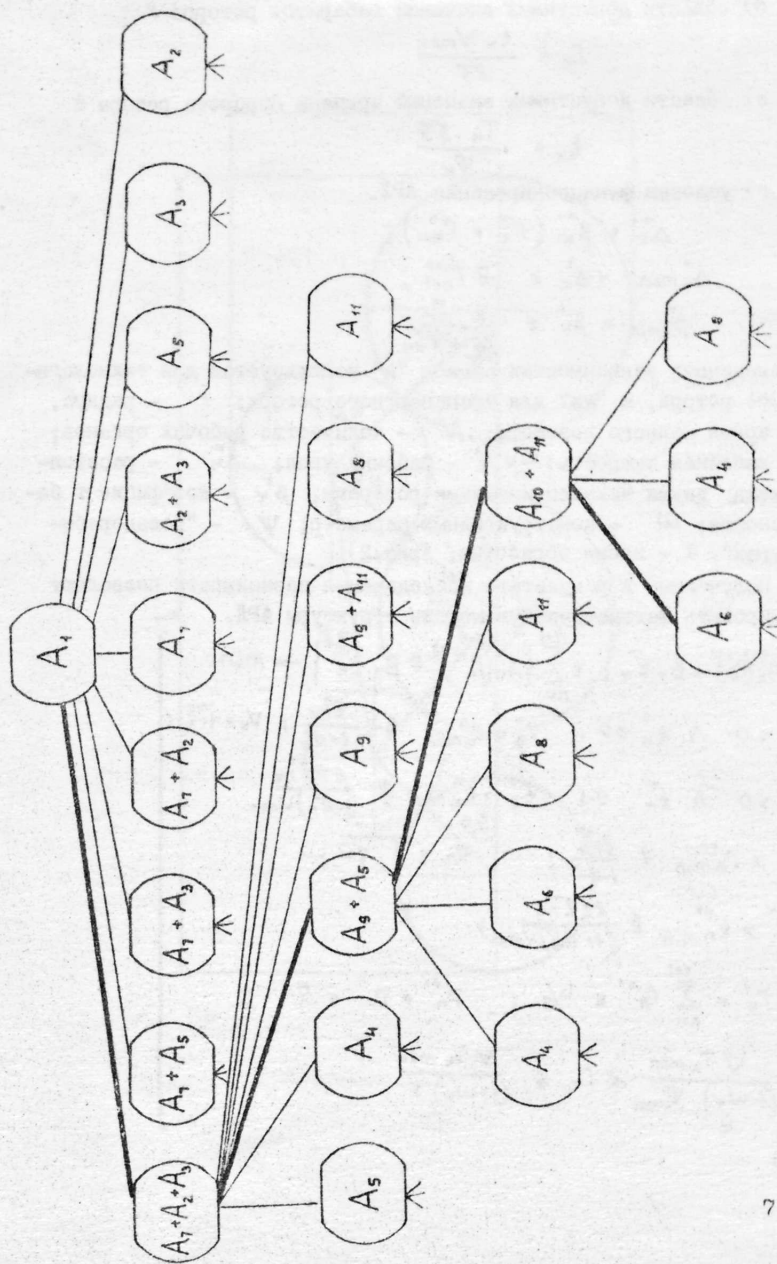


Рис. I. Граф-дерево вариантов маршрута обработки заготовок

б) области допустимых значений габаритов роторов r

$$r_k = \frac{t_k V_{\max}}{2\pi}$$

в) области допустимых значений времени поворота ротора t

$$t_k = \frac{T_k 2\pi}{\varphi_k}$$

г) условия функционирования АРЛ.

$$\Delta_k^* = \beta_k^* (r_k^* + r_{k+1}^*);$$

$$\Delta_{k\min}^* < \Delta_k^* \leq 2 r_{n+1}^{**};$$

$$\beta_{k\min}^* < \beta_k^* \leq \frac{2 r_{n+1}^{**}}{r_k^* + r_{k+1}^*};$$

В приведенных зависимостях символ "ж" используется для технологического ротора, а "жж" для транспортного ротора; r - радиус, t - время полного поворота; N - количество рабочих органов; V - линейная скорость; φ - рабочий угол; Δ_k^* - расстояние между двумя технологическими роторами, β_k^* - коэффициент безопасности; ω - конструктивный параметр; ψ - "псевдорбочий угол"; T - время обработки; (рис.2).

Полученные в результате исследования зависимости позволяют сформировать математическую модель структуры АРЛ.

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{k=1}^q \{A_k^* (r_k^*)^2 + B_k^* t_k^*\} + \sum_{n=1}^{q+1} \{A_n^{**} (r_n^{**})^2 + B_n^{**} t_n^{**}\} \rightarrow \min \\ & r_k^* > 0 \wedge t_k^* > 0; \quad r_k^* > r_{k\min}^* \triangleq \frac{\ell_{r,k}^*}{1-d_k^*}; \quad \forall_k = \overline{1:q}; \\ & r_n^{**} > 0 \wedge t_n^{**} > 0; \quad t_k^* > t_{k\min}^* \triangleq \frac{2\pi \ell_{r,k}^*}{(1-d_k^*) V_{\max}} \\ & r_n^{**} > r_{n\min}^{**} \triangleq \frac{\ell_{r,n}^{**}}{1-d_n^{**}}; \quad \forall_n = \overline{1:q+1}; \\ & t_n^{**} > t_{n\min}^{**} \triangleq \frac{2\pi \ell_{r,n}^{**}}{(1-d_n^{**}) V_{\max}}; \\ & \sum_{k=1}^q r_k^* + \sum_{n=1}^{q+1} r_n^{**} \leq L/2; \quad r_n^{**} + r_k^* \leq H/2; \\ & \frac{\sqrt{T_{k\min}}}{(1-\omega_k) \psi_{k\max}} < r_k \leq \frac{\sqrt{T_{k\max}}}{(1-\omega_k) \pi} \end{aligned} \right\}$$



Рис. 2. Геометрические параметры АРЛ

Совокупность целевой функции и системы линейных ограничений является классической задачей квадратичного программирования, в результате решения которой находятся компоненты оптимального решения

$$V^A; \left\{ r_k^A \right\}_{k=1}^q; \left\{ r_n^A \right\}_{n=1}^{q+1}; \left\{ t_k^A \right\}_{k=1}^q; \left\{ t_n^A \right\}_{n=1}^{q+1};$$

После получения оптимального набора элементов определяется наиболее рациональная их компоновка. Она основана на определении наилучшей совокупности рабочего угла φ каждого из роторов, на основе компромисса между двумя противоречивыми критериями I_1 и I_2 методом синтеза глобального критерия.

При построении САПР структуры АРЛ на основе разработанных моделей принята концепция диалогового автоматизированного проектирования. Процесс проектирования носит итерационный характер, постоянно улучшая окончательное решение. Пакет программ для персональной ЭВМ типа РС/АТ разработан на языке Турбо-С. База данных системы имеет иерархическую структуру и содержит пять основных разделов: описание детали, описание технологических методов, описание АРЛ, описание приведенных затрат, сервисные функции. Система основана на генерации множества вариантов рациональных структур АРЛ и выбора наилучшего по критерию минимальных приведенных затрат. Разработанная САПР структуры АРЛ характеризуется следующими данными: общий объем прикладных программ составляет свыше 330 кбайт, массивы данных представляют собой файлы объемом до 300 байт, файлы организованы стандартно и представлены на шестом диске, комплекс программ функционирует в семействе операционных систем MS DOS, время проектирования одной структуры АРЛ, начиная с ввода данных детали, оценивается около 35 мин.

Анализ спроектированных структур ТЛП и АРЛ по разработанной методике показали: резкое усложнение формируемых структур ТЛП и АРЛ при увеличении количества поверхностей детали; зависимость степени сложности структур АРЛ от вида применяемых технологических методов (рис.3).

Получены численные данные об изменении стоимости АРЛ и приведенных затрат на изготовление втулок резисторов от уровня производительности. Расчетным путем доказана возможность получения оптимальных структур АРЛ при

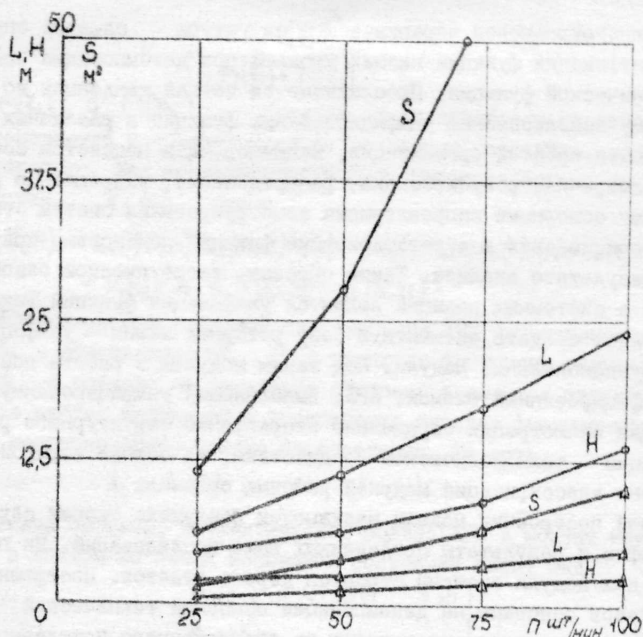


Рис.3. Геометрические характеристики АРЛ

Δ - обработка давлением

○ - обработка резанием

рациональных сочетаниях технологических методов основанных на штамповке и резании. Расчеты морфологических структур существующих АРЛ по разработанной методике показали схожесть полученных результатов и подтверждают обоснованность принятых допущений. Даны рекомендации по построению эффективных морфологических схем АРЛ.

В четвертой главе разрабатывается методика оценки надежности АРЛ на этапе проектирования ее структуры. С этой целью на начальном этапе исследуются возможные направления унификации ранее разработанных (П.гл.) элементов АРЛ. Чем сложнее создаваемая система, тем больше структурных элементов участвуют в процессе синтеза. Из

концепции многоуровневой иерархической структуры следует определенная унификация функции низших уровней при декомпозиции основной технической функции. Прослеживается четкая тенденция по все большему использованию унифицированных функций в различных системах более простой организации, например, для подсистем соединения, измерения, регулирования, распределения, закрепления и т.д. Поэтому основными направлениями конструирования систем становится специализация и агрегатирование функций подсистем, получаемых в результате анализа. Таким образом, теоретической базой унификации с системных позиций является унификация функций. Такой путь позволяет создать элементную базу роторных машин - унифицированные функциональные модули. Под таким модулем в работе понимается унифицированный элемент АРЛ, выполняющий унифицированную функцию. Для иллюстрации определено направление структурного развития функции - технологическое воздействие, на основе которой представлена классификация модулей рабочих органов.

Основой построения модели надежности послужила теория случайных графов и результаты приведенных выше исследований. На первом этапе для модуля системы строится дерево отказов. Построение дерева отказов основано на декомпозиции основной технической функции. При построении его исходили из определенного нежелательного события (вершинного) и анализировали возможные причины его возникновения, стремясь к разумной степени детализации. Дерево отказов представлялось в виде логической диаграммы событий, которые могут привести к вершинному событию. Затем для этого дерева строилась схема минимальных разрезов. Далее на основе этой схемы определялись структурные функции

$$S(X) = 1 - H(Y)$$

где $H(Y)$ - состояние вершинного события (1; 0);

$$H(Y) = \bigvee \bigwedge_{Y_i \in \beta_k} y_i = \max \min y_i; \quad 1 \leq k \leq M$$

где β_k ; $\forall_k = \overline{1:M}$ - минимальные разрезы.

Зная структурную функцию $S(X)$, определялись коэффициент готовности системы K_s по зависимости

$$K_s(t) = S(K_1(t), \dots, K_n(t))$$

где $K_1(t), \dots, K_n(t)$ - коэффициенты готовности исследуемых элементов структуры, определяемые по формуле

$$K_{r_i} = \frac{M[\xi_i]}{M[\xi_i] + M[\eta_i]}$$

где $M[\xi_i]$ и $M[\eta_i]$ – среднее время наработки на отказ и на восстановление и определяются по известным методикам, описанным в литературе. Для исследуемого модуля рабочего органа сверления отверстия $K_s(t)$ равно

$$K_s(t) = K_1(t)K_3(t)K_4(t)K_5(t)K_6(t) + K_2(t)K_3(t)K_4(t)K_7(t)K_6(t) - \\ - K_1(t)K_3(t)K_5(t)K_4(t)K_7(t)K_6(t);$$

Поскольку при реальной эксплуатации АРЛ интенсивности отказов λ_i и восстановлений μ_k являются функциями текущего времени t и зависят от характера старения элементов структуры, поэтому в работе исследуется возможность анализа функционирования АРЛ в нестационарном режиме эксплуатации. То есть

$$\lambda_i = \lambda_i(t); \quad \mu_k = \mu_k(t);$$

Таким образом, математическая модель АРЛ в момент времени $t > 0$ в каждом из своих возможных состояний имеет вид

$$\left. \begin{aligned} \dot{P}(t) &= A(t) P(t); \quad t > 0 \\ P_0 &= e_1 \end{aligned} \right\};$$

где $P(t)$ – вектор, компоненты которого – вероятности пребывания АРЛ в момент времени t в возможных состояниях;

$A(t)$ – матрица параметров однородной системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$P_{(0)} = e_1 = [1, 0, \dots, 0]^T \in R^{2 \times 1}$$

Исследования этой модели позволяют сформулировать формализованную постановку задачи о нахождении времени межремонтного цикла

$$\left. \begin{aligned} t_{no} &\rightarrow \max \\ E_p \exp \left\{ \int_0^{t_{no}} A(\tau) d\tau \right\} e_1 &> \frac{1}{\alpha \cdot l} \end{aligned} \right\}$$

где E_p – оператор; α – коэффициент, определяющий во сколько раз больше вероятность нахождения АРЛ в одном из рабочих состояний вероятности ее отказа; $A(\tau)$ – матрица параметров при слабой зависимости интенсивности отказов от текущего времени; t_{no} – время начала периодического осмотра. Среднее время наработки на отказ $m(t)$ определяется по зависимости

$$m(t) = \int_0^{\infty} p(s) ds = \int_0^{\infty} E_p \exp \left\{ \int_0^s A(\tau) d\tau \right\} e_i ds$$

Полученные зависимости представляют практическую ценность для составления не что обоснованного графика планово-предупредительных ремонтов элементов АРЛ.

Главной особенностью разработанной модели оценки надежности системы является влияние последствий отказов элементов на результат функционирования всей системы. Таким образом, разработанные общие положения на этапе структурного проектирования позволяют не только оценить надежности создаваемой структуры, но и провести оценку поведения системы во времени.

В пятой главе приведен расчет технико-экономического эффективности разработанной методики. Она прошла опробывание и внедрена на головном предприятии по проектированию и изготовлению роторных машин в резисторостроении - ЦКБТО "Нейтрон". Внедрение этой методики позволило сократить сроки проектирования оборудования на 11%, в том числе на стадии эскизного проектирования в несколько десятков раз, получить годовой экономический эффект, приведенный на одну линию, около 47 тыс.руб.

В приложениях к работе приведены информационные банки данных, примеры расчета структуры АРЛ с разными уровнями производительности, а также акт внедрения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Результаты исследования показали, что применение системного подхода позволило создать научно обоснованную методику синтеза функциональных и морфологических структур таких сложных и дорогих систем как АРЛ.

2. Разработанные в составе методики классификация элементов на основе причинно-следственных связей, их функций, математическое моделирование подсистем технологический процесс и АРЛ для его реализации, формализованные процедуры проектирования могут служить базой для разработки САПР конструкции АРЛ.

3. Разработанные математические модели технологического процесса и АРЛ рационально использовать в системе автоматизированного диалогового проектирования оптимальных функциональных и

морфологических структур АРЛ. Созданный пакет прикладных программ и информационное обеспечение позволяют получать высокие результаты проектирования.

4. Исследование спроектированных структур АРЛ показало, что для получения наиболее эффективных процессов изготовления втулок резисторов необходимо использовать детали с числом поверхностей менее 10, рациональное сочетание технологических методов, реализованных в АРЛ основанных на холодной обработке давлением и резании; уровни производительности свыше 75 шт./мин.

5. Математическую модель надежности АРЛ целесообразно использовать на стадии структурного проектирования, что дает возможность не интуитивно, а на расчетной базе уже на ранних стадиях проектирования обеспечивать требуемую надежность.

6. Внедрение концепции функциональной модульной унификации элементов структуры АРЛ создает условия для повышения качества разработок, совершенствования уровня производства АРЛ на базе его специализации.

7. Разработанные в результате исследования общие зависимости функционирования АРЛ в условиях нестационарного режима эксплуатации дают возможность на научной основе получить расчетные данные для организации ремонтных циклов АРЛ и тем самым снизить затраты на эксплуатацию таких сложных технических систем.

8. Результаты исследования дают возможность значительно расширить область применения и удельный вес АРЛ механической обработки, в которых оптимально сочетаются технологические методы, основанные на холодной обработке давлением и резании, а также создают предпосылки для технического перевооружения резисторостроения на базе высокопроизводительной современной технологии.

9. Внедрение разработанной методики позволило сократить сроки проектирования оборудования на 11%, в том числе на стадии эскизного проектирования в несколько десятков раз получить годовой экономический эффект, приведенный на одну линию около 47 тыс.руб.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Метод определения оптимальных геометрических параметров последовательной автоматической линии (АРЛ) / С.А.Загоруйко, И.К. Волков, С.Н.Мальгин и др. // Электронная техника, Серия 7, - ТОПО. - 1990. - Вып.4 (161). - С.52-54.

2. Зверков С.А., Мальгин С.Н., Полтавец О.Ф. Модульный принцип построения структуры автоматической роторной линии // Стандарты и качество. - 1990. - № 1. - С.45-46.

3. Королькевич В.А., Мальгин С.Н. Системный подход к проектированию сложного оборудования на основе функциональной унификации // Стандарты и качество. - 1990. - № 4. - С.47-48.

4. Кучеренко С.И., Мальгин С.Н., Полтавец О.Ф. Методика оценки сравнительной эффективности вариантов структур АРД при автоматизированном проектировании // Электронная техника. Серия 7. - ТОПО. - 1990. - Вып.4 (161). - С.48-52.

5. Мальгин С.Н., Полтавец О.Ф. Системный подход к разработке рациональных структур автоматических роторных линий для изготовления деталей переменных резисторов // Электронная техника. Серия 7. - ТОПО. - 1990. - Вып.4 (161). - С.55-59.

6. Мальгин С.Н., Манукян С.Т., Полтавец О.Ф. Автоматизированные роторные линии - Средство повышения эффективности производства ИЭТ // Электронная промышленность. - 1990. - Вып.3. - С.57-59.

7. Манукян С.Т., Мальгин С.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии в производстве резисторов // Электронная промышленность. - 1989. - Вып.5 (183). - С.24-25.