

На правах рукописи

ДОБРУСКИНА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ**

Специальность 05.09.01 – Электромеханика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 1998

Работа выполнена на кафедре электрических машин и аппаратов
Томского политехнического университета

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Муравлев О.П.

Научный консультант: кандидат технических наук, доцент
Шапкина О.Ф.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Лукутин Б.В.

кандидат технических наук, доцент
Педиков В.М.

Ведущее предприятие: Томский электроламповый завод

Защита состоится 29 декабря 1998 г. в 15 часов в актовом зале главного
корпуса на заседании диссертационного совета К 063.80.01 в Томском
политехническом университете (634034, г.Томск, пр.Ленина, 30)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан ____ноября 1998 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета, к.т.н., доцент

А.Е.Алехин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Одной из основных задач современного промышленного производства является повышение качества, конкурентоспособности и экономичности выпускаемой продукции, повышение её надёжности, снижение стоимости, материалоемкости и энергопотребления. Эта задача особенно важна при производстве электродвигателей, являющихся основным рабочим звеном технологических процессов, осуществляющим движение машин в современном производстве.

Широкая распространённость асинхронных двигателей (АД) предопределена их относительной простотой, достаточно высокой эксплуатационной надёжностью, а также высоким коэффициентом полезного действия и удовлетворительными конструктивными и эксплуатационными характеристиками.

Массовое применение АД возможно лишь при обеспечении в производстве и последующей эксплуатации заданного уровня и стабильности техники - экономических показателей АД. Конкурентоспособность асинхронных двигателей на рынке предполагает обеспечение предусмотренного при проектировании качества при изготовлении АД с заданной точностью и минимальными затратами. При этом возникает необходимость совершенствования системы контроля качества при изготовлении АД, которая позволяет обеспечить заданный уровень качества при минимальных затратах на его проверку и управление процессом производства, так как система контроля осуществляет функции обратной связи в технологическом процессе изготовления АД. Поэтому совершенствование системы контроля качества и повышение ее эффективности при изготовлении АД является актуальной задачей современного электромашиностроения.

Вопросам повышения качества изготовления АД с помощью контроля посвящена настоящая работа, выполненная на кафедре электрических машин и аппаратов Томского политехнического университета.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с программой научно-исследовательских работ кафедры электрических машин и аппаратов Томского политехнического университета.

Целью работы является совершенствование методов обеспечения качества, создание методик исследования влияния контроля на показатели

качества АД при изготовлении и разработка научно обоснованных рекомендаций по повышению эффективности контроля при изготовлении асинхронных электродвигателей.

Методы исследования

При решении вопросов влияния контроля на обеспечение качества АД при изготовлении использовались методы системного анализа и математической статистики, теории вероятности и выбора решений, элементы теории графов и матричной алгебры, имитационное моделирование, а также математические методы оценки достоверности результатов машинных экспериментов и сравнения их с экспериментальными данными ОАО "СКБ Сибэлектромотор" (г. Томск).

Все исследования выполнены с использованием современных ПЭВМ.

Научная новизна работы

- разработана иерархическая структура системы обеспечения качества АД, позволившая конкретизировать роль контрольных операций в процессе производства на всех этапах изготовления (от контроля качества материалов и полуфабрикатов до приёмосдаточных испытаний);
- создана имитационная модель технологического процесса изготовления АД, учитывающая вероятностный характер процессов при изготовлении, на основании которой разработана инженерная методика моделирования технологического процесса производства и выбора оптимальных характеристик контроля, обеспечивающих заданное качество при минимальных затратах на контроль с учётом ущерба от брака;
- произведено экспериментальное исследование технологического процесса изготовления АД на имитационной модели, позволившее исследовать влияние точности изготовления деталей, узлов и сборочных единиц и точностных характеристик контроля при изготовлении АД с целью обеспечения заданного уровня качества и выработать необходимые практические рекомендации.

Указанные результаты работы выносятся на защиту.

Практическая ценность

Практическая ценность работы состоит в том, что полученные при её выполнении результаты способствуют повышению качества изготовленных асинхронных двигателей, снижению материальных и трудовых затрат при их изготовлении:

- разработанная имитационная модель технологического процесса изготовления АД позволяет провести экспериментальное исследование технологического процесса с учётом контрольных операций с использованием машинных экспериментов, что дает возможность исследовать технологический процесс изготовления АД при изменении в широком диапазоне показателей точности изготовления и контроля без нарушения нормального хода технологического процесса;
- проведение машинных экспериментов на имитационной модели технологического процесса изготовления АД обеспечивает на основе принципов оптимизации и типизации контрольных операций выбор и согласование необходимых показателей точности изготовления и контроля деталей, узлов и сборочных единиц АД, уменьшающих ущерб от брака и ошибок контроля;
- усовершенствованная инженерная методика расчёта затрат на производство контрольных операций позволяет снизить материальные и трудовые затраты на обеспечение качества АД при изготовлении;
- разработанная имитационная модель технологического процесса изготовления АД с учётом контрольных операций обладает достаточной для практического применения достоверностью и позволяет оптимизировать контрольные операции, включая определение областей сплошного и выборочного контроля с учётом их важности и определять требуемый объём контроля.

Наибольшую практическую ценность полученные результаты исследований имеют при разработке гибких производственных систем для изготовления высоконадёжных асинхронных двигателей.

Реализация результатов работы

Основные результаты работы используются при разработке и совершенствовании методов обеспечения качества при изготовлении АД в ОАО "СКБ Сибэлектромотор" (г. Томск) в виде методик, алгоритмов и программ.

Методы оптимизации контрольных операций и рекомендации по согласованию необходимых показателей точности изготовления и контроля деталей, узлов и сборочных единиц АД могут быть частично использованы при технологической подготовке производства других типов электрических машин.

Имитационная модель технологического процесса изготовления АД используется в учебном процессе кафедры Электрических машин и аппаратов Томского политехнического университета при изучении курса "Качество и надёжность электрических машин" по специальности 18.01. - электромеханика при выполнении лабораторных работ.

Апробация

Материалы исследований докладывались и получили одобрение на трёх научно-практических конференциях Томского политехнического университета (1996-1998 г.г.), на региональной научно-технической конференции Томского университета систем управления и радиоэлектроники (1997 г.), на межвузовской научной конференции Новосибирского государственного технического университета (1997г.), научных семинарах кафедры Электрических машин и аппаратов Томского политехнического университета.

Публикации

По результатам проведённых исследований опубликовано пять печатных работ.

Объём и структура работы

Диссертационная работа состоит из шести разделов, включая введение и заключение и содержит 148 страниц машинописного текста, включая 34 рисунка и 33 таблицы, а также список литературы, состоящий из 111 наименований и приложения.

В первом разделе обоснована актуальность проблемы обеспечения качества при изготовлении АД, определена цель диссертационной работы, научная новизна и практическая ценность поставленных задач. Приведена краткая аннотация диссертации по разделам.

Во втором разделе проведён анализ существующих систем контроля, который показал, что система контроля является неотъемлемой частью системы обеспечения качества выпускаемой продукции. Именно эта система даёт информацию о всех стадиях изготовления АД начиная с входного контроля материалов и комплектующих, включает операционный контроль по ходу технологического процесса и завершается приёмосдаточными испытаниями готовых двигателей.

Существующая система контроля процесса производства АД в значительной степени ориентирована на контроль геометрических размеров измерительным методом на основе выборочного контроля (82% от общего

числа контрольных операций), причём в различных подсистемах технологического процесса преобладает контроль с коэффициентом выборки от 0.01 до 0.05 (от 60% до 96% всех контрольных операций).

Как показывает анализ состояния данной проблемы, в настоящее время разработаны отдельные рекомендации и мероприятия по повышению эффективности контроля качества при изготовлении АД, однако до сих пор нет научного обоснования применения того или иного метода контроля, не проведена оптимизация системы обеспечения качества при изготовлении.

Современный технологический процесс изготовления АД представляет собой динамически функционирующую сложную систему, зависящую от условий внешней среды и содержащую элементы непрерывного и дискретного действия, функциональные отношения между которыми могут содержать элемент случайности, подчиняющийся вероятностным законам. Естественно, что совершенствование процесса изготовления АД, направленное на более рациональное изготовление высококачественных АД, требует экспериментирования над данным технологическим процессом. Непосредственное экспериментирование устраняет задачу доказательства адекватности модели реальному процессу, но имеет и значительные недостатки, связанные с невозможностью исследования всего множества вариантов из-за вероятности выхода системы за границы допустимого состояния, а также с возрастанием брака и ростом затрат на эксперимент.

В работе произведено обоснование выбора метода имитационного моделирования, позволяющего исследовать и описать поведение исследуемого реального процесса, заменив эксперименты над этим реальным процессом машинными экспериментами над имитационной моделью, наиболее полно учитывающей вероятностный характер процессов при изготовлении АД и контроле. Сформулированы основные задачи и этапы работы с имитационной моделью, позволяющей исследовать влияние контроля на показатели качества АД.

Недостатком имитационного моделирования является то, что результаты моделирования распространяются на конкретную систему, но учитывая, что производственные процессы изготовления АД - типовые, этот недостаток не является существенным.

В третьем разделе рассмотрена структурная модель технологического процесса, учитывающая всё многообразие его параметров, их соподчинённость и взаимосвязи между различными элементами.

Технологический процесс изготовления АД представлен в работе в виде графа многостадийной структуры (рис. 1), каждому узлу которого поставлено в соответствие типовое звено технологического процесса, которое характеризуется вектором входа X , вектором выхода Y и передаточной функцией $f(X)=Y$. Входными величинами технологической операции являются физические свойства материалов, геометрические размеры заготовок, предназначенных к обработке деталей и сборочных единиц. Эти параметры носят случайный характер, и их поведение полностью описывается их функцией распределения, или рядом числовых характеристик.

Компоненты вектора выхода содержат в себе законы распределения относительных отклонений выходных параметров - размеров и электромагнитных свойств, изготовленных в процессе технологической операции деталей или сборочных единиц. Вектор P - набор оптимизируемых параметров. Все эти векторы подчиняются законам векторной алгебры. Используя аппарат теории множеств, базовая модель функционирования звена рассматриваемой системы представляется в виде:

$$\overline{Y}_n = F^{(n)} \{ \overline{Y}_{n-1}, \overline{P}_{(n)} \} ,$$

а целевая функция представляется в виде:

$$U = \sum_{i=1}^N H^{(n)} \{ \overline{Y}_{(n)}, \overline{X}_{(n)}, \overline{P}_{(n)} \} ,$$

где $H(n)(Y, X, P)$ - функция, которая оценивает вклад n -го элемента в достижение цели.

Управление процессом функционирования рассматриваемого объекта осуществляется выбором значений управляющих параметров $P(n)$ при которых выполняются заданные ограничения и целевая функция достигает экстремума. Для того, чтобы судить о состоянии технологического процесса и отдельных его звеньев, на выходе технологической операции применяется операция контроля - единственный источник информации о технологическом процессе, на основании которой производится отбраковка деталей и периодическое воздействие на параметры технологического процесса, то есть осуществляется управляющее воздействие, оптимизирующее целевую функцию.

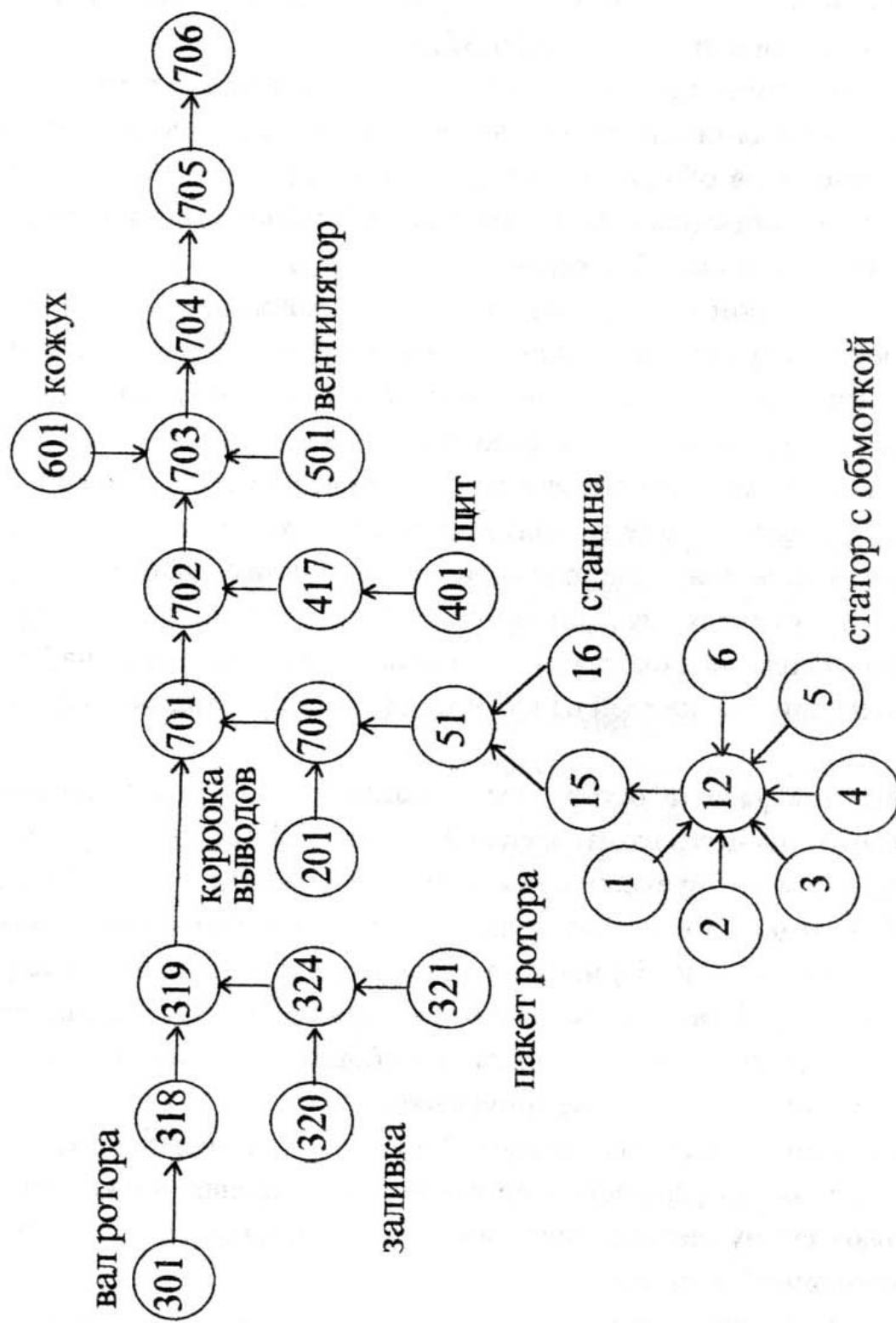


Рис. 1. Граф технологического процесса изготовления асинхронного двигателя.

В разделе приведён состав графа технологического процесса по подсистемам, рассмотрен состав векторов X и Y , определён вектор контрольных операций W . Построенная структурная схема технологического процесса с выявленными связями и элементами является основой для моделирования производственного процесса и разработки рекомендаций по обеспечению качества при изготовлении АД.

В работе на основе рассмотренной структурной схемы технологического процесса методами системного анализа определено место системы обеспечения качества в общей системе управления производством. Определение средств, обеспечивающих достижение глобальной цели при разработке структуры системы обеспечения качества при изготовлении АД, осуществлялось методом последовательной детализации целей. Построенное дерево целей позволило установить полный набор элементов на каждом уровне и определить взаимосвязи и соподчинённость между ними.

Проведено определение коэффициентов относительной важности элементов отдельных уровней дерева целей системы управления качеством, учитывающее реальную систему контроля и статистические данные по распределению брака между системами технологического процесса. В зависимости от полученных значений коэффициентов важности параметры элементов подсистем технологического процесса распределены на три основные категории, для каждой из которых сформулирована своя стратегия контроля.

В *четвёртом разделе* осуществлено имитационное моделирование технологического процесса изготовления АД, который представлен в виде вероятностной схемы с конечным множеством упорядоченных связей между элементами, задающим логику функционирования объекта и устанавливающим взаимосвязь информации о входе каждого элемента процесса и его выходе (рис.1). В качестве базового элемента процесса выделена технологическая операция обработки детали или сборочной единицы АД.

В работе приняты следующие допущения:

- технологический процесс изготовления АД является установившимся;
- производственные погрешности и погрешности измерения при контроле представляют сумму частных погрешностей, вызванных случайными и систематическими факторами;
- число случайных факторов и параметры вызванных ими погрешностей не изменяются во времени;

- все случайные факторы независимы;
- среди частных погрешностей нет доминирующих;
- выявленные дефектные изделия в производство не возвращаются. На основании принятых допущений по Центральной предельной теореме параметры технологических операций имеют нормальную плотность распределения, характеризующуюся математическим ожиданием Mx и среднеквадратичным отклонением σ (рис.2).

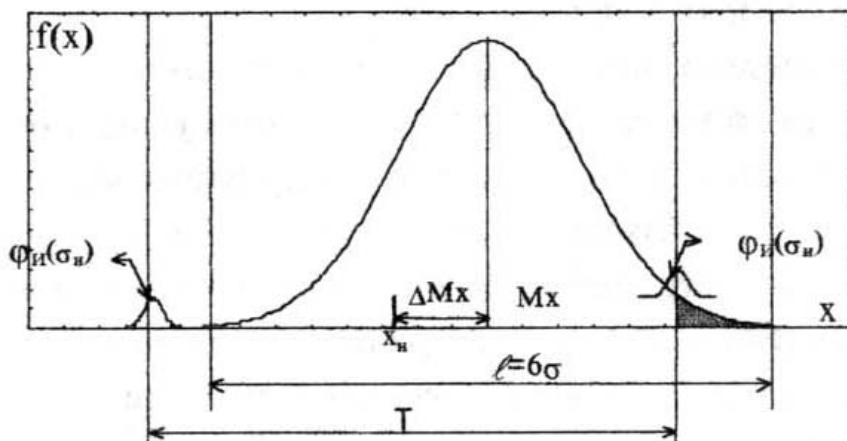


Рис. 2.

Величина $l=6\sigma$ принимается за поле рассеивания параметра, так как в диапазон $[-3\sigma; +3\sigma]$ параметр попадает с вероятностью, равной 0,997.

В качестве ограничений при исследовании технологического процесса изготовления АД выступают допустимый диапазон параметра T , определяемый конструкторско-технологической документацией, а также среднеквадратичное отклонение погрешности измерения σ_n с плотностью распределения погрешности $\phi(\sigma_n)$. Для типового звена технологического процесса с учётом контрольных операций в качестве базовой величины принято среднеквадратичное отклонение погрешности изготовления σ . Это позволяет выполнить вычислительный эксперимент в относительных единицах в интервале: допустимый диапазон T - от 4,0 до 6,4 о.е., погрешность измерения σ_n - от 0,05 до 0,2 о.е. За относительную единицу принято значение σ .

Для проведения экспериментальных исследований на имитационной модели важно определить объём выборки, позволяющий обеспечить достаточную статистическую значимость результатов. Оценивание минимального объёма выборки проводилось на основании трёх методов: исходя из Центральной предельной теоремы, исходя из неравенства Чебышева и пользуясь переменными Бернулли. Показано, что наиболее жёсткие оценки объёма выборки (по теореме Чебышева и неравенству Бернулли)

обеспечивают при проведении машинных экспериментов с имитационной моделью технологического процесса изготовления АД и объёме выборки $n=1000$ удовлетворительную статистическую значимость (оценка отклика с вероятностью 0,99 будет находиться в пределах $Mx \pm \sigma/12$, что значительно точнее требуемых на практике значений), а объём выборки 10000 обладает очень высокой статистической значимостью получаемых результатов (наблюдаемая частота годных изделий отличается от истинной не более, чем на 0,01-0,02 с вероятностью 0,95-0,99).

В данном разделе разработана имитационная модель технологического процесса изготовления статора с обмоткой с использованием пакета прикладных программ "СТАТИСТИКА". Результаты моделирования для 1000 реализаций свидетельствуют, что данная модель позволяет для различных точностей настройки производственного оборудования при отцентрированных технологических операциях, а в общем случае и при смещённой настройке провести оценку основных показателей брака и детально рассмотреть отдельные его составляющие. Разработанная имитационная модель является основой для перехода к следующему этапу - моделированию звена технологического процесса изготовления АД с учётом операции контроля. Алгоритм программы, реализующей имитационную модель звена технологического процесса изготовления АД с учётом операции сплошного контроля, приведён на рис.3.

Моделирование звена технологического процесса осуществлялось для 10000 наблюдений для полей допуска от 4 о.е. до 6,4 о.е. и уровней точности измерительного инструмента 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 о.е.

Анализ результатов моделирования, отражённых на рис.4, и изучение полученных зависимостей позволяет оценить процентное содержание бракованных изделий в общем числе изделий, принятых годными в результате операции измерительного контроля, процентное содержание годных изделий в общем числе забракованных, а также влияние поля допуска контролируемого параметра и погрешностей его измерения на долю ложно забракованных и ошибочно принятых годными деталей.

Далее в четвёртом разделе разработана имитационная модель звена технологического процесса изготовления АД с учётом операции контроля по альтернативному признаку с использованием контрольной скобы и с учётом её износа.

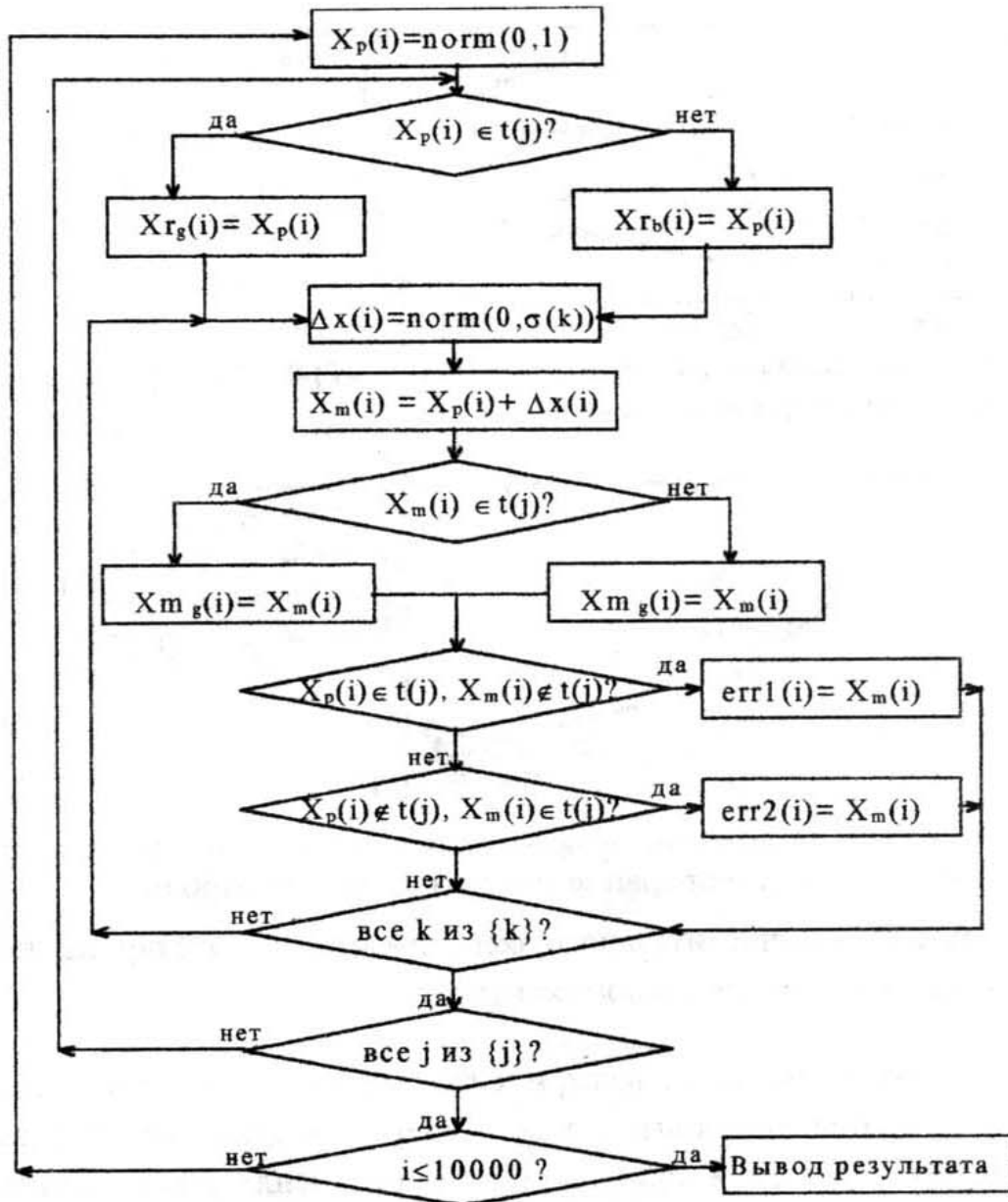


Рис. 3 Алгоритм модели технологического процесса с учётом операции измерительного контроля:

$X_p(i)$ - относительная погрешность параметра, (величина, распределённая по нормальному закону с $M=0$ и $\sigma=1$).

$X_{rg}(i)$ - истинно годная деталь, при условии $X_p(i) \in t(j)$ из $\{+2; +2,5; +3; +3,2; \}$.

$X_{rb}(i)$ - истинно бракованная деталь, при условии $X_p(i) \notin t(j)$.

$\Delta x(i)$ - ошибка измерения (величина, распределённая по нормальному закону, с $M=0$ и $\sigma(k)$ из $\{0.05; 0.1; 0.15; 0.2\}$).

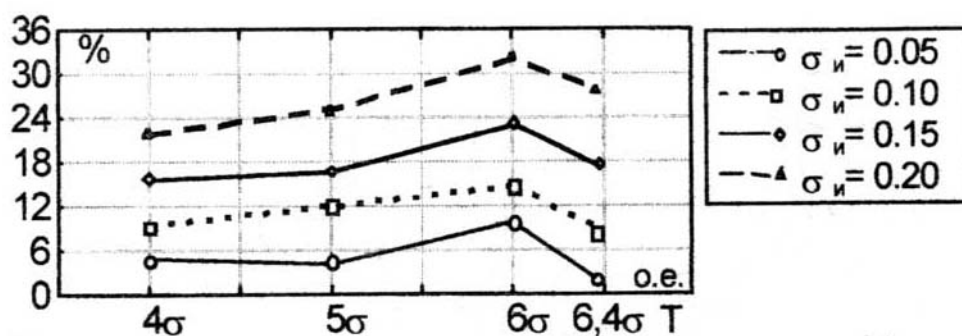
$X_m(i)$ - измеренное отклонение параметра.

$X_{mg}(i)$ - признанная годной деталь, при условии $X_m(i) \in t(j)$.

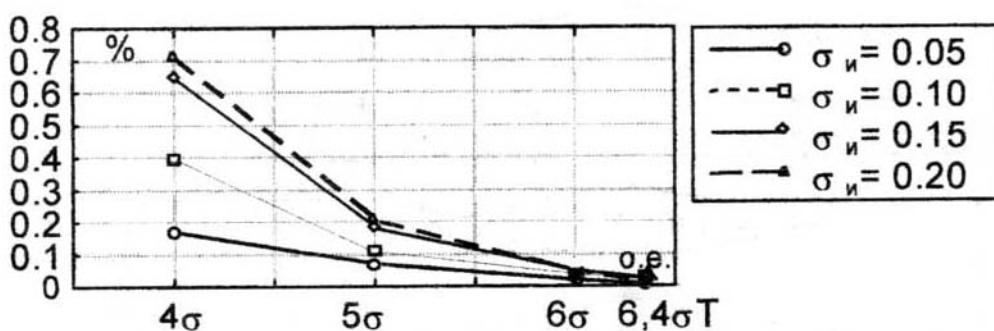
$X_{mb}(i)$ - признанная бракованной деталь, при условии $X_m(i) \notin t(j)$.

$err1(i)$ - ложно бракованная деталь, если $X_p(i) \in t(j)$, а $X_m(i) \notin t(j)$.

$err2(i)$ - ложно годная деталь, если $X_m(i) \in t$, а $X_p(i) \notin t(j)$.



Процентное содержание годных изделий в корзине принятых браком после операции измерительного контроля



Процентное содержание бракованных изделий в общем числе принятых годными после операции измерительного контроля.

Рис.4. Результаты вычислительного эксперимента по моделированию операции сплошного измерительного контроля.

Результаты машинных экспериментов на данной модели позволяют обосновать применение контроля по альтернативному признаку взамен измерительного метода, а также выработать рекомендации по учёту износа контрольного инструмента.

Учитывая, что реализация сплошного контроля на всех этапах изготовления АД невозможна из-за высокой стоимости и трудоёмкости в этом разделе разработана имитационная модель звена технологического процесса с учётом операции выборочного контроля.

Результаты экспериментов на модели позволяют провести оценку достоверности выборочного контроля в зависимости от погрешности изготовления и точности измерительного инструмента. Данные исследования свидетельствуют, что наиболее существенный рост достоверности имеет место при увеличении объёма выборки с 0,01 до 0,04, что хорошо согласуется с рекомендованным для большинства контрольных операций объёмом контроля = 0,05.

Оценка адекватности моделей реальному объекту - технологическому процессу осуществлялась в двух направлениях:

Анализ численных характеристик моделируемых величин.

Погрешность математического ожидания максимально составляет 0,003, а погрешность среднеквадратичного отклонения σ составляет максимально 1,3%, что вполне допустимо в инженерных расчётах.

Проверка по критериям согласия - для оценки близости полученного эмпирического распределения теоретическому в работе использовался критерий Пирсона χ^2 , который доказал высокую вероятность (более 0,95) соответствия моделей объекту.

В пятом разделе рассматриваются вопросы, связанные с анализом экономической эффективности методов контроля. Экономическое исследование основано на определении суммарных затрат на контроль, связанных с проведением контроля и убытками от его несовершенства. Относительная приведённая стоимость затрат на контроль вычисляется по формуле:

$$Z^* = K_{o.d.k.} + B_{\text{л}} + \frac{P_{\text{б}} \cdot P}{K_{\text{в.к.}}} + \Gamma_{\text{л}} \cdot K_{\text{у.б.}},$$

где

$K_{o.d.k.}$ - коэффициент относительной дешевизны контроля, вычисляемый как отношение затрат на контроль к цене бракованной детали;

$K_{\text{в.к.}}$ - коэффициент выборки при контроле;

$K_{\text{у.б.}}$ - коэффициент удорожания брака в связи с пропуском бракованной детали на следующую ступень технологического процесса изготовления изделия и забракованием изделия, узла, сборочной единицы в связи с наличием в его составе пропущенной бракованной детали.

$B_{\text{л}}$ - относительная доля ложного брака в признанных забракованными изделиях (деталях);

$\Gamma_{\text{л}}$ - относительная доля ложно годных изделий.

$P_{\text{б}}$ - вероятность изготовления бракованной детали на данной технологической операции;

P - вероятность попадания брака в выборку принята в работе в качестве целевой функции разработанной имитационной модели.

В условиях нестабильной экономической ситуации в промышленности и связанной с этим неопределённостью в структуре цен и затрат, суммарные затраты на контроль с учётом ущерба от его несовершенства определены в относительных единицах, причём:

$$З^* = З_{\Sigma} / n З_{\text{Б}},$$

где n - размер выборки в штуках,

$З_{\Sigma}$ - суммарные затраты в рублях или относительных единицах,

$З_{\text{Б}}$ - стоимость бракованной детали с учётом её возвратной стоимости в тех же единицах,

учитывает относительные приведённые затраты на одну контрольную операцию, а $З^{**} = З^* n$ учитывает суммарные относительные затраты всей выборки контроля.

В работе создана инженерная методика определения этих затрат и получены зависимости, позволяющие минимизировать затраты на контроль с учётом ущерба от несовершенства выбранной стратегии контроля. Зависимости получены на основе результатов машинного эксперимента на имитационной модели технологического процесса изготовления АД с учётом контрольных операций.

Исследования целевой функции свидетельствуют об экономической целесообразности увеличения $K_{\text{в.к.}}$ от значения 0,01 до 0,02-0,05, причём для каждой технологической операции величина выборки, обеспечивающей минимальные затраты на контроль определяется, в первую очередь значением коэффициента $K_{\text{о.д.к.}}$.

Разработанная методика и расчетный материал позволяют детально исследовать приведённые затраты на контроль с учетом точности технологического процесса и точности измерений при контроле и экономически обосновать размеры выборки.

Заключение

В результате проведённых теоретических исследований

1. Разработана структурная и имитационная модель технологического процесса изготовления АД, которая позволила заменить натурный эксперимент вычислительным.

2. Создана имитационная модель типового звена технологического процесса изготовления АД с учётом различных типов контрольных операций, позволившая исследовать достоверность контроля качества технологической операции и оценить влияние полей рассеивания параметров тех-

нологической операции и среднеквадратичного отклонения погрешности измерения на количественные характеристики результатов контроля.

3. Машинные эксперименты, проведённые на имитационной модели, имеющие высокую степень статистической значимости, позволяют научно обосновано выбирать методы контроля и прогнозировать на стадии проектирования при известном оснащении технологического процесса уровень качества изготавливаемых АД.

4. Предложены обоснованные рекомендации по

- выбору стратегии контроля в процессе производства на основе коэффициентов важности параметров элементов технологического процесса;
- согласованию параметров точности технологической операции и уровня погрешности контроля;
- минимизации затрат на контроль с учётом ущерба от его несовершенства путём выбора рационального значения коэффициента выборки, учитывающего точность технологической операции, точность контроля, а также коэффициенты удорожания брака и относительной дешевизны контроля.

Инженерная методика определения затрат на контроль имеет универсальный характер и может быть использована для выбора стратегии контроля при производстве других типов электрических машин.

5. Все разработанные модели технологического процесса и контрольных операций доведены до алгоритмов и программ, позволяющих реализовать их и использовать результаты в системах управления производством.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Алгоритм вычислительного эксперимента анализа точности сплошного контроля при изготовлении асинхронного двигателя./ Добрускина Е.В., Муравлев О.П., Шапкина О.Ф.; Том, политехн. ун-т. - Томск, 1997.- 21с.: ил.-15. Библиогр. 3 назв.-Рус.- Дел. в ВИНТИ № 42-11/31 от 19.01.98
2. Добрускина Е.В. Математическая модель операции контроля по альтернативному признаку в процессе изготовления асинхронных двигателей/ Четвёртая областная научно-практическая конференция студентов,

аспирантов и молодых учёных "Современные техника и технологии" Сб. Статей. - Томск: Изд-во ТПУ, 23-28 марта 1998.

3. Добрускина Е.В., Шапкина О.Ф. Математическая модель операции сплошного контроля в процессе изготовления асинхронных двигателей/ Третья областная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных "Современные техника и технологии" Сб. Статей. -Томск: Изд-во ТПУ, 25-28 марта 1997.-132-133 с.

4. Имитационная модель технологической и контрольной операции./ Томский политехнический университет// О.Ф.Шапкина, Е.В.Добрускина, Р.С.Каналов. Новосибирская межвузовская научная студенческая конференция. "Современные проблемы технических наук" Сб. тезисов докладов. - Новосибирск: Изд-во НГАС, 22-25 апреля 1997. 73-74 с.

5. Моделирование погрешностей изготовления асинхронных двигателей с учётом контроля./ Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники// О.П.Муравлёв, О.Ф.Шапкина, Е.В.Добрускина. Вторая региональная научно-техническая конференция студентов и молодых специалистов "Радиотехнические и информационные системы и устройства" Тезисы докладов научно методической конференции. - Томск: Изд-во ТУСУР, 20-22 мая 1997. 128-129 с.