

На правах рукописи

БУЯК АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА КАЧЕСТВО
ОДНОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2003

Работа выполнена на кафедре электрических машин и аппаратов Томского политехнического университета.

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Селяев А.Н.
кандидат технических наук, доцент
Педиков В.М.

Ведущее предприятие: ГНУ НИИ АЭМ при ТУСУР, г. Томск

Защита диссертации состоится ____ декабря 2003 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета К212.269.03 при Томском политехническом университете (634034, г. Томск, пр. Ленина, 30, ТПУ).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ТПУ.

Автореферат диссертации разослан «__» ноября 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

к.т.н., доцент

_____ Ю.Н. Дементьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Повышенный интерес к качеству в последние 20 лет вызван требованиями рынка, определяющими главные цели и задачи в развитии современного промышленного производства. Основными из них являются: повышение качества, конкурентоспособности и экономичности выпускаемой продукции, повышение ее надежности, снижение себестоимости, материалоемкости и энергопотребления. Решение этих и других задач особенно важно при проектировании и изготовлении электрических машин (ЭМ) малой мощности, производство которых в настоящее время, представляет собой самостоятельную развивающуюся отрасль.

Среди ЭМ малой мощности широкое распространение получил асинхронный двигатель (АД), в частности однофазный асинхронный двигатель (ОАД). Область применения ОАД очень широка и разнообразна, что предопределено их относительной простотой и достаточно высокой надежностью.

Однако, многолетний опыт разработки, изготовления и эксплуатации машин малой мощности показывает, что характеристики серийных двигателей имеют большой разброс и существенно отличаются от расчетных, часто в сторону ухудшения. Для устранения этих недостатков рассеивание входных факторов должно учитываться на всех этапах разработки и изготовления машины. Влияние этого рассеивания на выходные параметры противоречиво и имеет тенденцию к изменению с течением времени, что создает дополнительные трудности в повышении точности расчетов. Для учета влияния погрешностей конструктивно-технологических факторов (КТФ) приходится без достаточных обоснований увеличивать запасы по всем показателям качества (ПК), что приводит к дополнительным экономическим затратам, вызванным увеличением материалоемкости или трудоемкости при необоснованно жестких допусках, а зачастую и к несоответствию ПК установленным требованиям стандартов.

В связи с этим проблема исследования процесса формирования качества ОАД на этапах проектирования и изготовления, а также разработка научно-обоснованных рекомендаций по совершенствованию методов расчета, организации производства и контроля качества представляется актуальной.

Вопросам исследования влияния технологических погрешностей на ПК ОАД малой мощности посвящена настоящая работа, которая является частью комплексной работы по совершенствованию методов обеспечения качества электрических машин, проводимой 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 по гранту Минобразования России.

Автор считает своим долгом выразить искреннюю признательность научному консультанту – к.т.н., доценту Шапкиной Ольге Федоровне за помощь в работе.

Цель работы

Целью работы является исследование и оценка влияния технологических погрешностей конструктивно-технологических факторов на показатели качества однофазных асинхронных двигателей малой мощности и разработка научно обоснованных рекомендаций по обеспечению их качества при проектировании и изготовлении.

Методы исследования

При решении вопросов влияния погрешностей конструктивно-технологических факторов на показатели качества ОАД малой мощности при изготовлении в настоящей работе использовались теория электрических машин малой мощности, системного анализа и математической статистики, теории вероятностей и выбора решений, имитационное моделирование, а также экспериментальные исследования технологического процесса изготовления ОАД малой мощности.

Все исследования проведены с применением современных ПЭВМ.

Научная новизна работы

- разработана структурная модель обеспечения качества однофазных асинхронных двигателей, позволившая конкретизировать перечень элементов, оказывающих влияние на их качество, и установить взаимосвязи между ними;
- разработана математическая модель обеспечения качества однофазных асинхронных двигателей, учитывающая вероятностный характер процессов при их изготовлении, а также высокую чувствительность уровня качества однофазных асинхронных двигателей малой мощности к внешним и внутренним возмущениям системы, включающей в себя процессы проектирования и изготовления;
- впервые получены уравнения регрессии, учитывающие нелинейную связь между погрешностями конструктивно-технологических факторов и показателями качества и позволяющие повысить точность оценки качества однофазных асинхронных двигателей малой мощности;
- произведено экспериментальное исследование технологического процесса изготовления однофазных асинхронных двигателей малой мощности с использованием разработанной математической модели, позволившее
- проанализировать и оценить влияние точности изготовления деталей, узлов и сборочных единиц на технико-экономические показатели однофазных асинхронных двигателей с целью обеспечения заданного уровня качества и выработать необходимые практические рекомендации;
- предложен алгоритм поиска оптимальной величины и выбора оптимальных характеристик контроля для емкости конденсатора, обеспечивающих заданное качество однофазных асинхронных двигателей малой мощности.

Указанные результаты работы выносятся на защиту.

Практическая ценность

Практическая ценность работы состоит в том, что полученные при ее выполнении результаты, направлены на повышение уровня качества

изготавливаемых однофазных асинхронных двигателей, а также на снижение материальных и трудовых затрат в процессе их производства:

- разработанный комплекс математических моделей обеспечения качества однофазных асинхронных двигателей позволяет провести экспериментальные исследования процесса формирования показателей качества при проектировании и изготовлении с использованием машинных экспериментов на ПЭВМ, что дает возможность на различных этапах создания однофазных асинхронных двигателей малой мощности обеспечить заданный уровень качества и управлять им;
- использование полученных уравнений регрессии позволяет повысить точность оценки уровня качества еще на стадии проектирования и оптимизировать процесс изготовления;
- предложен план и методика статистических исследований технологических погрешностей конструктивно-технологических факторов и показателей качества, а также сформирована база данных по их рассеиванию;
- разработана инженерная методика определения оптимальной величины емкости конденсатора и процесса контроля ее величины, что позволяет обеспечивать заданный уровень качества однофазных асинхронных двигателей малой мощности с учетом рассеивания величины емкости и изменением ее во времени;
- предложены конкретные рекомендации по обеспечению требуемого уровня качества однофазных асинхронных двигателей малой мощности при их проектировании и изготовлении, которые позволяют реально снизить рассеивание технико-экономических показателей.

Наибольшую практическую ценность полученные результаты исследований имеют для проектирования и изготовления однофазных асинхронных двигателей, отвечающих современным тенденциям ужесточения требований к стабильности качества изделий. Они также предназначены для использования на этапе технологической подготовки производства однофазных асинхронных двигателей малой мощности.

Апробация

Основные результаты проведенных исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на научных семинарах кафедры «Электрические машины и аппараты» Томского политехнического университета и следующих конференциях:

- Четвертая областная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 1998).
- Пятая областная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 1999).
- Шестая международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 2000).

- Седьмая международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 2001).
- Международная научно-техническая конференция «Электромеханические преобразователи энергии» (г. Томск, 2001).
- Восьмая международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 2002).

Публикации

По результатам проведенных исследований опубликовано семь печатных работ и одна статья депонирована в ВИНТИ.

Реализация результатов работы

Основные результаты работы используются при разработке и совершенствовании методов обеспечения качества при изготовлении ОАД малой мощности в СКБ «Сибэлектромотор» (г. Томск) в виде методик, алгоритмов и программ.

Математическая модель обеспечения качества ОАД используется в учебном процессе кафедры ЭМА Томского политехнического университета при изучении курса «Качество и надежность электрических машин» по специальности 180100 – электромеханика при выполнении лабораторных работ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из шести разделов, содержащих 125 страниц машинописного текста, 11 таблиц, 46 рисунков, 5 приложений и списка литературы из 130 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации и дана общая характеристика выполненной работы. Сформулированы цель работы, научная новизна и практическая ценность диссертации. Приведена краткая аннотация выполненной работы по разделам.

Во **втором разделе** проведен анализ современного состояния проблемы обеспечения качества ОАД малой мощности, который показал, что

Современное производство – сложный и динамичный процесс с устойчивой и прогрессирующей тенденцией к дальнейшему усложнению. Это проявляется в высоких темпах выпуска продукции, в частом обновлении и постоянном расширении ассортимента, в повышении требований к качеству продукции, в использовании новых видов материалов, во внедрении новой современной техники и технологий.

Требуемый уровень качества ОАД достигается решением задач обеспечения точности конструкции двигателей, их производства и метрологической точности, т.е. точность является определяющим понятием, поскольку, обеспечивая при изготовлении заданную точность, можно гарантировать заложенные при проектировании показатели качества.

Как показывает проведенный анализ, в настоящее время отсутствует единый подход к решению проблемы обеспечения качества ОАД малой мощности. Разработаны лишь отдельные рекомендации и мероприятия по

обеспечению их качества. Мониторинг качества ОАД малой мощности в эксплуатации не систематизирован. Публикации касаются в основном конкретных типов и серий ОАД, выпускаемых на том или ином предприятии.

Третий раздел посвящен разработке комплекса моделей обеспечения качества ОАД малой мощности.

На основе системного анализа решения проблемы обеспечения качества в работе впервые разработана структурная модель обеспечения качества при изготовлении однофазных асинхронных двигателей малой мощности (рис. 1).

Данная модель позволяет с единых позиций оценить как технический уровень при проектировании, так и уровень качества при изготовлении ОАД.

При разработке структурной модели были приняты следующие допущения:

- элементы системы, находящиеся на одном уровне взаимно независимы;
- известны точностные характеристики технологического процесса.

Характеристика уровней структурной модели:

Нулевой уровень дерева целей определяет глобальную цель – обеспечение качества изготовления ОАД;

Уровень А – состоит из ПК, которые количественно характеризуют качество изготавливаемого ОАД. Они относятся к единичным показателям качества и устанавливаются государственными и отраслевыми стандартами, техническими условиями и другой нормативно-технической документацией.

Уровень Б состоит из конструктивно-технологических параметров материалов, сборочных единиц и отдельных деталей.

Элементами **уровня В** являются параметры, контролируемые в процессе производства.

Если единичные показатели сгруппировать (уровень А) по физической природе, то получаются три целостные подсистемы:

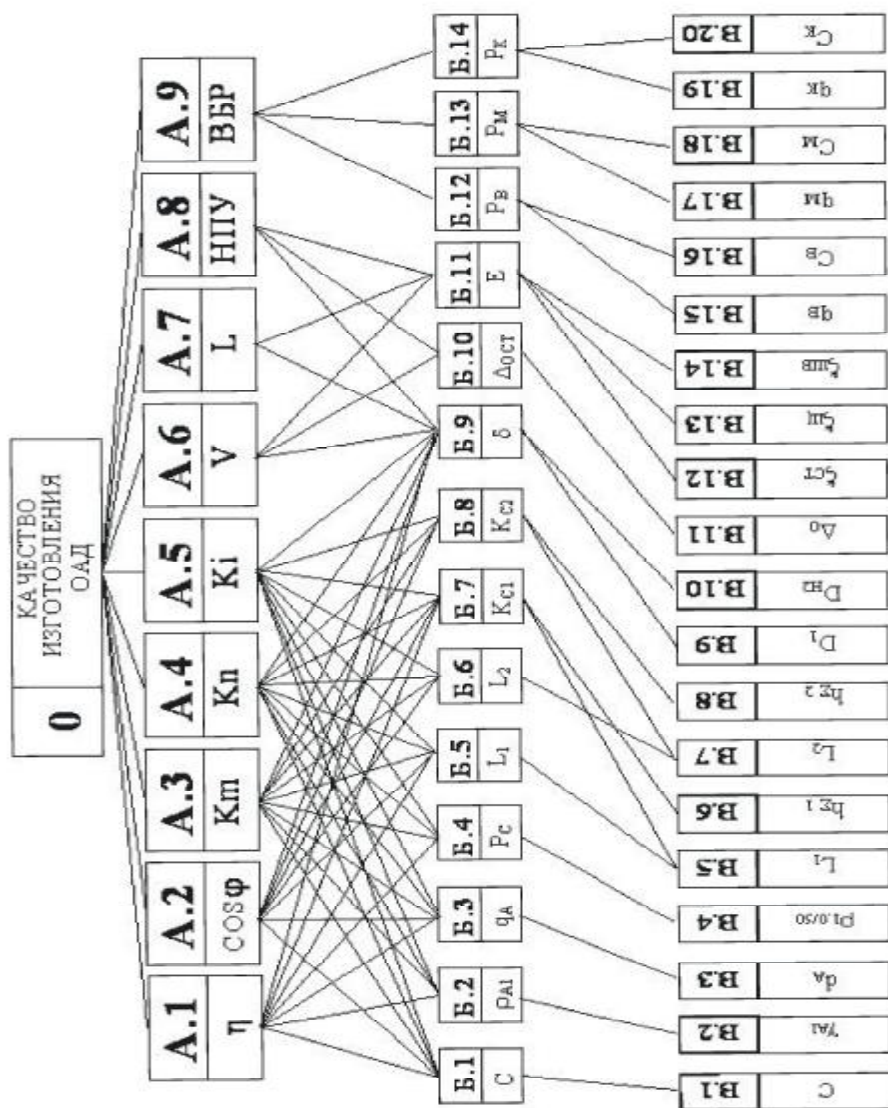
1. Энергомеханические показатели качества А.1,..., А.5, которые на уровне Б связаны с 9 элементами.
2. Вибрация, шум и надежность подшипникового узла А.6, А.7, А.8, которые на уровне Б связаны с 3 элементами.

Величина воздушного зазора определяет значения показателей этих двух подсистем и является общим элементом низшего для них уровня.

3. Вероятность безотказной работы обмоток А.9. Она связана с шестью элементами на уровне В через уровень Б.

Каждую из этих подсистем можно рассматривать отдельно, что значительно упрощает выборку мероприятий и рекомендаций по обеспечению заданного уровня каждого элемента системы.

Основное преимущество представленной структурной модели в том, что она наглядно отражает процесс формирования качества ОАД малой мощности. Причем, каждый уровень обеспечивает решение только частных задач, определяемых вышестоящим уровнем, и при этом наделен некоторой независимостью, т.е. главная цель конкретизируется в деталях через частные задачи.



Дальнейшие исследования проводились только для энергомеханических ПК ОАД малой мощности.

При разработке математической модели формирования качества ОАД был проведен анализ уже существующих моделей и, в частности, классической математической модели обеспечения качества АД. Проведенный анализ выявил ограничения возможностей ее использования для ОАД малой мощности в связи с тем, что она реализуема только при малых погрешностях КТФ и постоянстве коэффициентов влияния.

Проведенная в работе количественная оценка влияния погрешностей КТФ на рассеивание выходных ПК ОАД малой мощности с использованием численного метода для расчетов коэффициентов влияния в диапазоне изменения факторов $\pm 10\%$ от номинала показала, что они не постоянны и не всегда подчиняются линейному закону.

Для расчета коэффициентов влияния была использована следующая формула

$$C_{ji} = \frac{Y_j - Y_{ji}}{x_i - x_{ii}} \cdot \frac{x_{ii}}{Y_{ji}}$$

где Y_j - значение j -го ПК для i -го значения фактора; x_i - значение i -го КТФ с учетом его действительного отклонения; Y_{ji} и x_{ii} - номинальные значения ПК и КТФ.

В работе приняты следующие обозначения ПК: Y_1 - коэффициент полезного действия; Y_2 - коэффициент мощности; Y_3 - кратность максимального момента; Y_4 - кратность пускового момента; Y_5 - кратность пускового тока.

Учитывая большое разнообразие ОАД малой мощности, было принято решение все дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования ограничить только конденсаторными двигателями. В качестве объекта исследований был выбран конденсаторный двигатель КД 180-4/56РК, выпускаемый в ОАО «Сибэлектромотор», г. Томск.

Анализ влияния погрешностей входных факторов на отклонения выходных показателей двигателя позволил выделить те из них, к которым выходные показатели наиболее чувствительны, а также получить уравнения регрессии, позволяющие повысить точность оценки чувствительности ПК ОАД от реальных погрешностей КТФ, что особенно важно для машин малой мощности.

Так, например, для коэффициента полезного действия уравнение регрессии от погрешности длины пакета статора имеет вид

$$dY_1 = 0.042398021 + 0.18576621 \cdot dx_5 - 0.0085417812 \cdot dx_5^2,$$

для коэффициента мощности от погрешности диаметра провода

$$dY_2 = 0.04295932 - 0.17899172 \cdot dx_3 + 0.0013917388 \cdot dx_3^2,$$

для кратности максимального момента от погрешности удельной проводимости материала клетки ротора

$$dY_3 = 4.1725492 \cdot (0.9902574 - \exp(-0.05372142 \cdot dx_2)),$$

для кратности пускового момента от погрешности длины пакета статора (рис. 2)

$$dY_4 = 0.33359962 \cdot (1 - \exp(-0.15017282 \cdot dx_5)),$$

а для кратности пускового тока от погрешности емкости конденсатора (рис. 3)

$$dY_5 = \frac{(0.0420579 - 0.20970129 \cdot dx_1)}{1 - 0.02775627 \cdot dx_1 - 0.00254438 \cdot dx_1^2}.$$

где δY_j и δx_i - относительные погрешности ПК и КТФ соответственно.

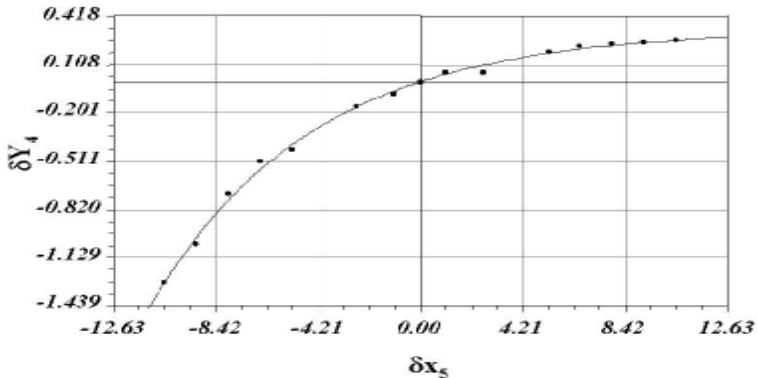


Рис. 2. Зависимость между рассеиванием кратности пускового момента и погрешностью длины пакета статора

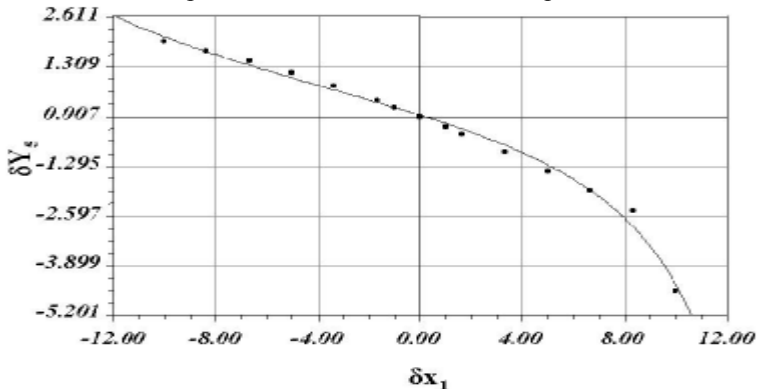


Рис. 3. Зависимость между рассеиванием кратности пускового тока и погрешностью емкости рабочего конденсатора

Таким образом, учитывая нелинейные связи между погрешностями КТФ и ПК ОАД, была разработана математическая модель формирования качества ОАД малой мощности, обеспечивающая высокую степень чувствительности энергомеханических ПК ОАД к погрешностям КТФ.

В общем виде математическая модель формирования качества ОАД малой мощности можно записать в виде следующей системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} dY_1 &= a_{10} + f_{11}(dx_1) + \dots + f_{1i}(dx_i) + \dots + f_{1n}(dx_n) \\ \dots\dots\dots \\ dY_j &= a_{j0} + f_{j1}(dx_1) + \dots + f_{ji}(dx_i) + \dots + f_{jn}(dx_n) \\ \dots\dots\dots \\ dY_m &= a_{m0} + f_{m1}(dx_1) + \dots + f_{mi}(dx_i) + \dots + f_{mn}(dx_n) \end{aligned} \right\}$$

где $f_{ji}(dx_i)$ - функция влияния погрешности КТФ на рассеивание ПК.

Рассматривая роль КТФ, необходимо отметить, что на формирование погрешностей большинства выходных показателей оказывает влияние целая совокупность отклонений входных факторов. Долю влияния каждого фактора из этой совокупности в отклонении выходного показателя очень сложно выделить, но через коэффициенты влияния можно оценить погрешность какого из факторов более значительна.

Четвертый раздел посвящен исследованию технологических погрешностей КТФ и ПК ОАД и выработке практических рекомендаций по контролю.

В основу данных исследований положены методы математической статистики и обработки статистических данных для анализа качества изготовления ОАД малой мощности, выпускаемых в ОАО «Сибэлектромотор», г. Томск.

Состав рассматриваемых параметров, представляющих интерес при проведении экспериментальных исследований, определен представленной в работе структурной моделью ОАД, которая наглядно демонстрирует связи между элементами

Экспериментальные исследования проведены на ОАО «Сибэлектромотор», г. Томск. Результаты для КТФ приведены в табл. 1 в виде значений половины поля рассеивания $0.5 \cdot I_x$ для конденсаторного двигателя КД 180-4/56РК в условиях установившегося производственного процесса изготовления.

Таблица 1

Наименование КТФ	$0.5 \cdot I_x$, %
Диаметр провода главной фазы - d_A	2.5
Длина сердечника статора - L_1	2.31
Длина сердечника ротора - L_2	1.77
Величина воздушного зазора - δ	16
Удельные потери в стали - $p_{1.0/50}$	36
Удельное электрическое сопротивление обмотки ротора - ρ_{Al}	12
Коэффициент заполнения сталью сердечника статора - K_{C1}	2.1
Коэффициент заполнения сталью сердечника ротора - K_{C2}	2.1
Емкость конденсатора - C	10

Представленные данные о погрешностях КТФ при изготовлении ОАД позволяют дать оценку состояния технологического процесса их изготовления, проанализировать его точностные характеристики, определить

степень чувствительности изменения выходных показателей, разработать ряд рекомендаций по согласованию точности технологического процесса с заданным уровнем качества ОАД, а также управлять качеством ОАД.

Погрешности выходных ПК ОАД следует рассматривать как следствие влияния рассеивания КТФ, нестабильности технологических процессов изготовления отдельных деталей, обмоток, сердечников, процессов сборки, настройки, а также целого ряда других причин, имеющих место при производстве двигателей.

В табл. 2 приведены результаты статистической обработки протоколов типовых испытаний выборки конденсаторного двигателя КД 180-4/56РК, выпускаемых в ОАО «Сибэлектромотор», г. Томск. Следует отметить, что все измерения выходных ПК проводились при номинальной емкости рабочего конденсатора. При этом средние значения $\bar{Y}_{\dot{y}_j}$ для $\cos\phi$, K_m , K_p превышают номинальные Y_{nj} , а K_i имеет запас.

Таблица 2

ПК ОАД	Y_{nj}	$\bar{Y}_{\dot{y}_j}$	Отклонение	
			$S_{\bar{Y}_{\dot{y}_j}}$	$S_{\bar{Y}_{\dot{y}_j}}, \%$
Y_1	0.61	0.610	0.01760	2.89
Y_2	0.87	0.893	0.00867	0.97
Y_3	1.6	1.620	0.04876	3.01
Y_4	0.55	0.556	0.01838	3.31
Y_5	2.7	2.345	0.06704	2.86

Многолетние экспериментальные наблюдения за процессом изготовления ОАД малой мощности позволили создать базу данных по рассеиванию выходных энергомеханических ПК и КТФ.

Полученные точностные характеристики определяют технические возможности существующих технологических процессов и предназначены не только для исследования технологических погрешностей выпускаемых ОАД малой мощности, но и проектируемых, а также решать задачи синтеза и оптимизации управления качеством при проектировании и изготовлении ОАД.

Анализ погрешностей показателей качества ОАД малой мощности, полученных по результатам типовых испытаний, показал, что для решения задач управления качеством необходимо исследовать влияние погрешностей КТФ и точности технологического процесса на формирование энергомеханических характеристик.

Основой для этого исследования могут служить полученные экспериментальным путем характеристики рассеивания КТФ и разработанная математическая модель обеспечения качества ОАД.

В **пятом разделе** проведено моделирование рассеивания ПК ОАД на примере конденсаторного двигателя КД 180-4/56РК. Результаты представлены в виде таблиц и гистограмм рассеивания энергомеханических ПК. Анализ результатов представлен для двух возможных случаев:

- емкость конденсатора неизменна и равна номиналу,

- емкость конденсатора изменяется в пределах допуска.

При моделировании технологического процесса приняты следующие допущения:

- относительные отклонения входных факторов носят случайный характер,
- закон распределения отклонений входных факторов нормальный,
- систематическая составляющая погрешностей входных параметров отсутствует.

В общем виде структурная схема математического моделирования процесса изготовления ОАД представлена на рис. 4.

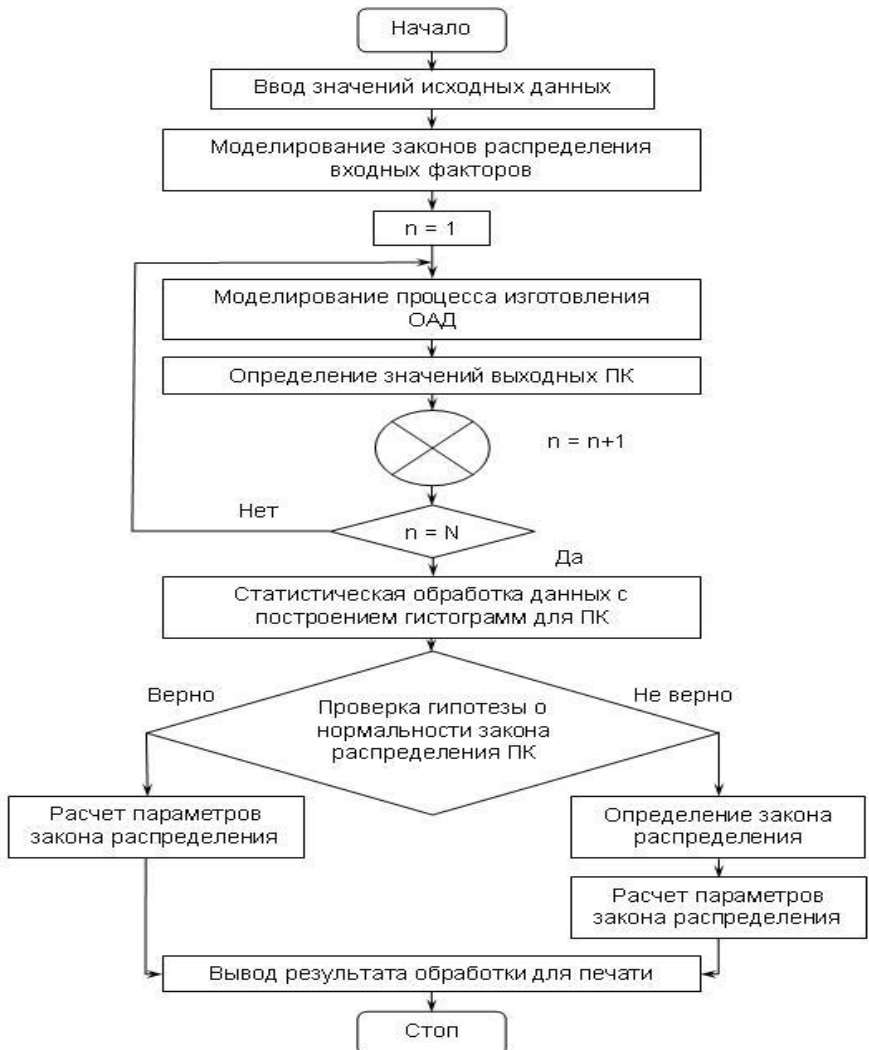


Рис. 4. Схема алгоритма расчета энергомеханических характеристик ОАД

В качестве исходных данных используются реальные значения входных факторов с действительным полем рассеивания, что повышает точность моделирования.

Результаты моделирования для конденсаторного двигателя КД 180-4/56РК при номинальной емкости конденсатора $C_n = 6$ мкФ представлены в табл. 3.

Сравнительный анализ результатов моделирования с данными статистической обработки результатов типовых испытаний (табл. 2) показал, что средние значения ПК при моделировании несколько ниже экспериментальных, за исключением величины коэффициента мощности, которая превышает на 1.904 % экспериментальное значение.

Таблица 3

Название ПК ОАД	$\bar{Y}_{mj}$	Отклонение	
		$\hat{r}_{\bar{Y}_{mj}}$	$\hat{r}_{\bar{Y}_{mj}}, \%$
Y_1	0.600	0.01630	2.710
Y_2	0.910	0.00877	0.964
Y_3	1.600	0.04669	2.918
Y_4	0.530	0.01826	3.445
Y_5	2.171	0.06396	2.934

Относительная погрешность определения среднего значения для коэффициента полезного действия при моделировании составила 1.639 %, а среднеквадратического отклонения – 7.386 %, что вполне допустимо, т.к. при моделировании рассеивание $\hat{r}_{\bar{Y}_{mj}}$ получилось меньше полученного экспериментально $S_{\hat{Y}_{jj}}$.

Отклонение средней величины кратности пускового тока при моделировании составляет 7.42 % относительно экспериментального значения, а среднеквадратическое отклонение ниже экспериментального на 4.594 %, которое можно объяснить тем, что методика расчета пусковых характеристик ОАД учитывает не все факторы, которые в реальном технологическом процессе производства оказывают влияние на K_i .

Тоже самое можно отнести к результатам моделирования рассеивания кратности пускового момента.

Отклонение среднего значения кратности максимального момента от полученного экспериментально составило 1.235 %, а величины среднеквадратического отклонения – 4.245 %, что допустимо.

В целом можно заключить, что имеет место удовлетворительная сходимость результатов моделирования и реального эксперимента.

В процессе эксплуатации ОАД величина емкости не всегда соответствует номинальному значению. Допустимое рассеивание составляет ± 10 % для рабочего и ± 20 % для пускового конденсаторов, что нельзя не учитывать.

Результаты моделирования для конденсаторного двигателя КД 180-4/56РК при тех же значениях КТФ и переменной в пределах допуска емкости конденсатора ($C = 6 \pm 10\%$ мкФ) представлены в табл. 4.

Таблица 4

Название ПК ОАД	$\bar{Y}_{m\bar{n}j}$	Отклонение	
		$\acute{P}_{Y_{m\bar{n}j}}$	$\acute{P}_{Y_{m\bar{n}j}}, \%$
Y_1	0.600	0.02149	3.577
Y_2	0.908	0.01051	1.155
Y_3	1.596	0.08514	5.331
Y_4	0.527	0.03460	6.543
Y_5	2.173	0.07149	3.292

Сравнительный анализ результатов моделирования полученных при номинальной емкости и переменной в пределах допуска показал, что средние значения $\bar{Y}_{mj}$ и $\bar{Y}_{m\bar{n}j}$ практически не изменились. Однако, рассеивание ПК стало значительно больше (табл. 5) и, следовательно, можно считать, что количество двигателей, не отвечающих установленным требованиям увеличилось.

Таблица 5

Название ПК ОАД	Отклонение		
	$S_{Y_{\acute{y}j}}$	$S_{Y_{mj}}$	$S_{Y_{m\bar{n}j}}$
Y_1	0.01760	0.01630	0.02149
Y_2	0.00867	0.00877	0.01051
Y_3	0.04876	0.04669	0.08514
Y_4	0.01838	0.01826	0.03460
Y_5	0.06704	0.06396	0.07149

На основании представленных данных моделирования рассеивания ПК ОАД малой мощности разработаны следующие рекомендации по согласованию точности технологического процесса с заданным уровнем качества АД:

1. При полях рассеивания КТФ, приводящих к появлению вероятностей выхода за пределы поля допуска $P_{\text{ВЫХ}}$ ПК ОАД необходимо вводить как входной контроль, так и контроль КТФ в ходе технологического процесса.

2. Изменяя точностные характеристики технологического процесса смещением уровня его настройки, возможно снижение $P_{\text{ВЫХ}}$ для ПК ОАД до минимального значения.

3. Согласование точностных характеристик технологического процесса и поля рассеивания КТФ (оптимизация по критерию $P_{\text{ВЫХ}} = \min$) позволяет выбирать стратегию производства, обеспечивающую заданное качество.

Для устранения негативного влияния погрешности емкости рабочего конденсатора на энергомеханические характеристики ОАД необходимо ограничивать как ее значение, так и ее рассеивание, что позволит снизить долю брака по ПК при выпуске ОАД малой мощности. В связи с этим были поставлены задачи поиска оптимальной величины емкости конденсатора и разработки процесса контроля ее величины.

Задача выбора оптимальной величины емкости конденсаторов, используемых для работы ОАД малой мощности, наиболее естественным образом могла быть реализована на реальных двигателях, что устранило бы много затруднений. Однако, такой подход имеет ряд значительных недостатков. В этих условиях неизбежно проведение всего спектра исследований на математических моделях.

Наиболее эффективно решить задачу поиска оптимальной величины емкости конденсатора можно, используя математическую модель обеспечения качества ОАД, представленную в 3 разделе диссертации.

При этом в качестве варьируемого параметра используется величина емкости и параметры закона распределения ее погрешностей (либо изменения во времени). Моделирование процесса изготовления ОАД проведено для различных теоретически возможных областей изменения емкости: от $C = \text{Const}$ до предельных случаев, когда рассеивание емкости конденсатора может быть односторонне предельное (либо в сторону уменьшения, либо в сторону увеличения).

Количественная оценка результатов моделирования произведена по одной из основных характеристик рассеивания случайной величины – вероятности выхода за пределы поля допуска.

Сравнительный анализ результатов моделирования показал, что при неизменной величине емкости рабочего конденсатора, равной номиналу, имеется некоторая доля брака по коэффициенту мощности ($R_{\text{вых}} = 1.4 \%$ от общего объема партии из $N=1000$ шт.), а в случае ее изменения в пределах допуска несоответствия установленным требованиям возникают и по другим энергомеханическим ПК. Так, например, для коэффициента полезного действия $R_{\text{вых}} = 0.1 \%$; кратности максимального момента $R_{\text{вых}} = 2.9 \%$; кратности пускового момента $R_{\text{вых}} = 1 \%$, а для коэффициента мощности $R_{\text{вых}}$ увеличилась до 3.6% . В общем объеме партии брак составил 6.5% .

Наиболее оптимальным с точки зрения минимальной доли брака в общем объеме партии оказался случай когда все значения емкости конденсаторов больше номинального. В общем объеме партии, $N = 1000$ шт., брак составил 1% , что ниже аналогичного показателя для случая когда емкость конденсатора не изменяется и равна номиналу.

Таким образом, задаваясь величиной $R_{\text{вых}}$ ПК ОАД и определив пути управления процессом (либо снижением рассеивания σ_{Y_j} , либо смещением среднего на $\Delta \bar{Y}_j$), можно найти оптимальную величину рабочей емкости.

В связи с тем, что конденсаторы - изделие покупное, то для обеспечения оптимальных значений целесообразно проводить сплошной входной контроль по количественному признаку.

Наличие контроля существенно снижает рассеивание контролируемых факторов и тем больше, чем выше точность измерений.

Закон распределения результатов измерений при этом является композицией законов распределения контролируемого фактора и погрешностей измерения и описывается

$$j_1(x_i) = j_1(x_i) \int_{-\infty}^{\infty} j_2(y) dy,$$

где $\varphi_1(x_i)$ – закон распределения плотности вероятностей контролируемого КТФ; $\varphi_2(y)$ – закон распределения плотности вероятностей погрешностей измерений.

Учитывая тот факт, что процесс контроля сам по себе увеличивает затраты на изготовление, возникает вопрос определения экономически целесообразной его стратегии, т.е. решение задачи согласования характеристик погрешностей контролируемой величины и точности ее измерения, что с легкостью решается при использовании математического моделирования.

Алгоритм математической модели технологического процесса с учетом операции измерительного контроля представлен на рис. 5. Программа математической модели разработана с применением пакета прикладных программ «STATISTICA».

Моделирование осуществлялось для 1000 наблюдений. На модели проведено исследование технологической операции при различных сочетаниях допусков и уровней точности измерительного инструмента.

За допустимый интервал относительного отклонения параметра (поле допуска) взяты те же интервалы, что и при поиске оптимального значения емкости конденсатора.

Наличие погрешностей измерения приводит к появлению годных деталей, признанных браком (ошибки 1-го рода), и к появлению деталей, ошибочно признанных годными (ошибки 2-го рода). Рост погрешности измерения приводит к тому, что кривая нормального закона распределения сглаживается, пик ее опускается, а склоны теряют крутизну из-за увеличения дисперсии.

Анализ полученных данных свидетельствует, что:

- количество ошибочно принятых годными емкостей конденсаторов возрастает с ростом погрешности измерения, не превышая при этом 3.5% от общего числа принятых годными емкостей конденсаторов;
- процентное содержание ложно забракованных емкостей конденсатора в корзине брака увеличивается с ростом погрешности измерения, достигая 4.2% от общего числа принятых бракованными при поле допуска 1.5σ и погрешности измерения 0.15 о.е.;
- при увеличении поля допуска на контролируемую величину доля брака в корзине годных снижается до нуля, а доля годных в корзине брака возрастает.

Разработанная математическая модель контрольной операции позволяет исследовать достоверность контроля качества, а также оценить взаимное влияние полей рассеивания исследуемого фактора и среднеквадратического отклонения погрешности измерения на количественные характеристики результатов контроля.

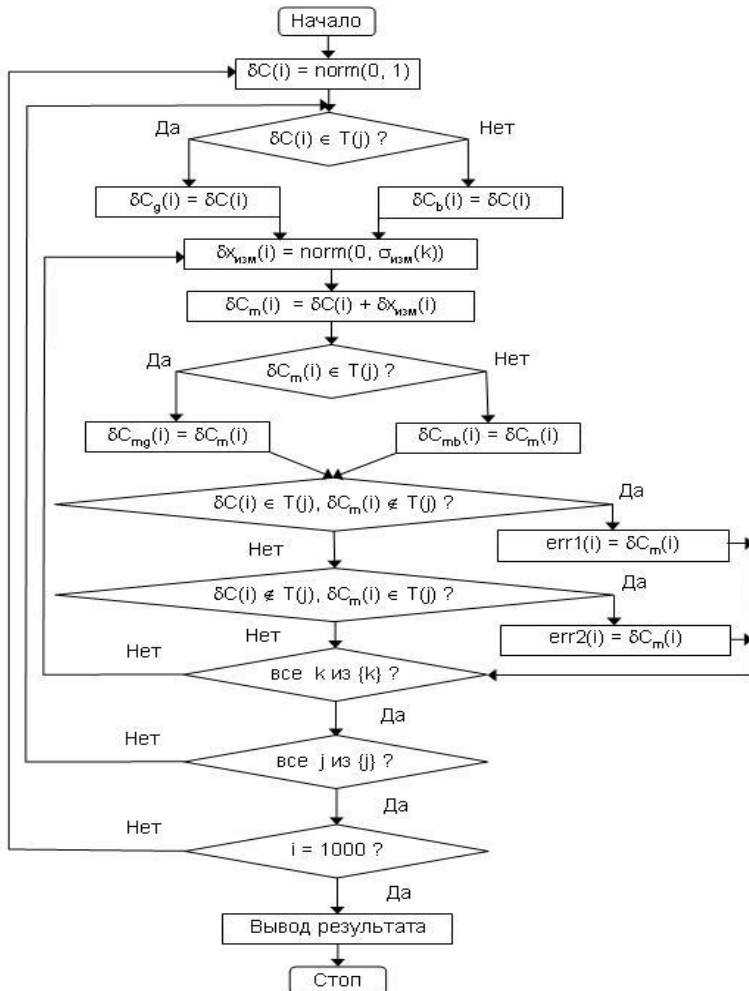


Рис. 5. Алгоритм модели технологического процесса с учетом операции измерительного контроля для емкости конденсатора

Практическая ценность разработанной методики заключается в том, что на ее основе возможно управлять процессом формирования качества ОАД малой мощности.

Заключение

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований, представленных в настоящей диссертационной работе, разработаны математические модели, которые способствуют решению ряда вопросов по совершенствованию существующей системы менеджмента качества при проектировании и изготовлении однофазных асинхронных двигателей малой мощности.

Основные наиболее важные результаты:

1. На основе системного анализа впервые разработана структурная модель обеспечения качества при изготовлении однофазных асинхронных двигателей малой мощности, дающая наглядное представление о путях решения вопросов обеспечения заданного качества однофазных асинхронных двигателей на различных стадиях производства с учетом особенностей их конструкции, условий эксплуатации и внутренних связей между элементами системы.

2. Представлена количественная оценка влияния погрешностей конструктивно-технологических факторов на рассеивание энергомеханических показателей качества однофазных асинхронных двигателей. Результаты исследований показали, что для повышения точности оценки чувствительности показателей качества однофазных асинхронных двигателей следует использовать уравнения регрессии, полученные в данной работе.

3. Разработанная математическая модель является основой управления процессом формирования качества однофазных асинхронных двигателей малой мощности с учетом точностных характеристик конструктивно-технологических факторов и возможностей технологического процесса и позволяет проводить сравнительный анализ возможных вариантов организации производственного процесса с целью обеспечения заданного качества однофазных асинхронных двигателей еще на стадии проектирования.

4. Многолетние наблюдения за процессом изготовления однофазных асинхронных двигателей позволили создать базу данных по рассеиванию выходных энергомеханических показателей качества и конструктивно-технологических факторов, которая может быть использована в точностных расчетах при проектировании, изготовлении и эксплуатации однофазных асинхронных двигателей малой мощности.

5. Предложены научно-обоснованные рекомендации по:

- учету рассеивания конструктивно-технологических факторов на этапах проектирования и изготовления однофазных асинхронных двигателей малой мощности;

- выбору оптимальной величины емкости, обеспечивающей стабильный уровень качества энергомеханических показателей качества однофазных асинхронных двигателей малой мощности;

- выбору стратегии контроля величины емкости конденсатора в процессе производства однофазных асинхронных двигателей малой мощности и согласованию параметров точности технологической операции и уровня погрешности контрольной операции.

6. Все разработанные модели доведены до алгоритмов и программ, что позволяет использовать их при совершенствовании технологических процессов изготовления однофазных асинхронных двигателей малой мощности и в системах автоматизированного управления производственным процессом.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Буюк А.Н., Елисеев А.В., Муравлев О.П. Выбор параметров однофазных асинхронных двигателей для управления качеством при их изготовлении // Современные техника и технологии: Труды 4-ой обл. науч.-практич. конф. – Томск, 1998. – С.182-183.
2. Буюк А.Н., Шапкина О.Ф. Влияние погрешностей конструктивно-технологических факторов на показатели качества асинхронных двигателей малой мощности // Современные техника и технологии: Труды 5-ой обл. науч.-практич. конф. – Томск, 1999. – С.282-284.
3. Буюк А.Н., Шапкина О.Ф. Исследование погрешностей конструктивно-технологических факторов однофазных асинхронных двигателей // Современные техника и технологии: Труды 7-ой межд. науч.-практич. конф. – Томск, 2001. – Т.2. – С.109-112.
4. Буюк А.Н., Шапкина О.Ф. Моделирование рассеивания показателей качества однофазных асинхронных двигателей // Современные техника и технологии: Труды 6-ой межд. науч.-практич. конф. – Томск, 2000. – С.280-282.
5. Буюк А.Н., Шапкина О.Ф. Оценка чувствительности показателей качества однофазных асинхронных двигателей к погрешностям конструктивно-технологических факторов. – Томск, 2002. – Деп. в ВИНТИ 20.06.02, № 1152-132002.
6. Буюк А.Н., Шапкина О.Ф., Турубаров А.В. Математическая модель формирования технологических погрешностей показателей качества однофазных асинхронных двигателей // Электромеханические преобразователи энергии: Матер. межд. науч.-технич. конф. – Томск, 2001. С.115-116.
7. Buyak A.N., Shapkina O.F. Action of the condenser capccity on the indications of single phase asynchronous motor quality // Modern technique and technologies: The eight Internationel Scientific and Practical Conference of Students, Post graduates and Young Scientists. April 8 – April 12, 2002. – Tomsk, 2002. – P.108-109.
8. Buyak A.N., Shapkina O.F. Dispersion simulation of quality coefficients of single phase asynchronous engines // Modern technique and technologies: The sixth Internationel Scientific and Practical Conference of Students, Post graduates and Young Scientists. February 28 – March 3, 2000. – Tomsk, 2000. – P.182-184.