

M432624

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское
ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ЛИБАРСКАЯ ГАЛИНА АЛЕКСАНДРОВНА

УДК 620.179.16

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА В ИЗДЕЛИЯХ, РАБОТАЮЩИХ
ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЯХ

Специальность 05.02.11 - Методы контроля
в машиностроении

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Трудового Красного
Знамени автомобильно-дорожном институте.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
ВОРОБЬЕВ В.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор БЫКОВ М.А.
кандидат технических наук
КРИБОНОВ В.К.

Ведущее предприятие - указано в решении специализирован-
ного ученого совета.

Защита диссертации состоится 30 декабря 1985 г.
на заседании специализированного совета К 053.15.01 в Москов-
ском высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана по адресу:
107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный
печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им.
Н.Э. Баумана.

Телефон

Автореферат

/ УЧЕНЫ
СПЕЦИАЛИ
К.Т.Н

БОВ

Заказ № 4.
Тип. МВТУ

П.Л.

М432627

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Определение мощности энергетических установок, эксплуатационных и ресурсных возможностей мобильных агрегатов автомобилей, сельскохозяйственных машин, тракторов и других видов транспорта вызывает необходимость осуществления контроля крутящего момента ($M_{кр}$). При этом предъявляются высокие требования к методам и средствам определения крутящего момента в изделиях, работающих при динамических нагрузках. Так, например, в автомобилестроении предусмотренная ГОСТ 14846-69 погрешность при контроле параметров агрегатов и узлов на испытательных стендах не должна превышать 1%. Наряду с высокой точностью, необходимо соблюдение таких требований к методам и средствам контроля как надежность, дистанционность и простота эксплуатации.

Существуют различные методы и средства определения крутящего момента, в той или иной степени отвечающие современным требованиям, однако, каждый из них обладает известными недостатками, тормозящими их широкое применение. Например, контроль косвенным методом позволяет определить момент в узлах механизма по вторичным параметрам приводного двигателя. Этот метод обеспечивает высокую надежность, но точность измерения не превышает 5%. Определение крутящего момента прямым методом, например, с помощью тензометрических датчиков, обеспечивает требуемую точность, однако, сложность съема информации ведет к снижению надежности и усложнению эксплуатации.

Таким образом, разработка методов и средств определения крутящего момента, соответствующих современным требованиям контроля, является важной и актуальной задачей. Общегосударственная значимость этой проблемы была особо подчеркнута в Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О мерах по дальнейшему повышению технического уровня двигателей внутреннего сгорания". Существенное место в этом документе отводится созданию высококачественных средств контроля крутящего момента.

Цель работы и основные задачи исследования. Целью работы является повышение точности контроля крутящего момента в изделиях, работающих при динамических нагрузках.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1432627

Любарская Г.А. Разработка



1. Провести анализ существующих методов контроля крутящего момента с целью выявления основных факторов, определяющих точность результатов контроля.

2. Обосновать возможность использования ферромагнитных покрытий при определении крутящего момента.

3. Провести теоретическое и экспериментальное исследование параметров преобразователя, позволяющего осуществлять контроль крутящего момента.

4. Разработать и опробовать в производственных условиях устройство для определения крутящего момента, соответствующее современным требованиям точности контроля в изделиях, работающих при динамических нагрузках.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Разработан бесконтактный метод определения крутящего момента на вращающемся валу с повышенной точностью на основе выбора оптимальных электрофизических и геометрических параметров покрытий, электролитически осаждаемых на объект контроля.

2. Теоретически получен обобщенный критерий, позволяющий выбирать оптимальные параметры ферромагнитного покрытия таким образом, что влияние изменения электрофизических и геометрических параметров исследуемого объекта на результат контроля не превышает заданной погрешности.

3. Экспериментальным путем подтверждено, что использование ферромагнитного покрытия при определении крутящего момента позволяет получить практически линейную выходную характеристику и избавиться от влияния магнитоупругого гистерезиса подложки.

Практическая ценность. На основе полученных аналитических выражений разработана инженерная методика расчета и выбора с помощью ЭВМ оптимальных параметров магнитоупругих преобразователей в зависимости от электрофизических свойств материала и геометрических параметров объекта контроля.

Разработано устройство для определения крутящего момента с погрешностью не более 1%. Устройство предназначено для стендовых испытаний изделий, работающих при динамических нагрузках. Выпущена опытная партия устройств определения крутящего момента в количестве 10 комплектов.

Результаты работы внедрены на Волжском автомобильном заводе. Экономический эффект от внедрения составляет 69,7 тыс. рублей в год.

Методы исследования. Закономерности изменения выходных параметров преобразователя определялись на основе решения краевой задачи электродинамики. В данной работе используется аппарат математического анализа, теории вероятностей, математической статистики. Экспериментальные исследования проведены на специально разработанных установках и образцах, а также с помощью современной отечественной и зарубежной аппаратуры.

Апробация. Основные результаты работы доложены и обсуждены на научно-методических и научно-исследовательских конференциях МАДИ (1982, 1983, 1984 гг.), на всесоюзных конференциях: "Электромагнитные методы контроля качества материалов и изделий" (Омск, 1983 г.); "Робототехника и автоматизация производственных процессов" (Барнаул, 1983 г.), а также на научно-технических конференциях КуИСи, Куйбышев, 1982, 1983 гг.; на научном семинаре кафедры АМ-7 МВТУ им. Н.Э. Баумана (1984 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 4 печатные работы.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 98 страницах машинописного текста, иллюстрируется 36 рисунками, содержит 12 таблиц, состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы (101 наименование), приложения на 20 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, указаны цель и задачи, решаемые в работе, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проводится анализ существующих методов контроля крутящего момента в изделиях, работающих при динамических нагрузениях.

В настоящее время для контроля крутящего момента наиболее широкое распространение получили такие методы как фазовый, тензометрический, оптический и магнитоупругий. Однако, использование этих методов не удовлетворит в полной мере современным требованиям, предъявляемым к методам и средствам контроля. Так, при использовании фазового метода вследствие высокой температурной погрешности не удается достичь

требуемой точности, а необходимость наличия большой базы измерения ведет к снижению надежности работы системы. Применение тензометрического метода связано со сложностью передачи информации с вращающегося объекта контроля, что ведет к резкому снижению надежности работы и усложняет эксплуатацию. Анализ показывает, что в большей степени перечисленным требованиям контроля удовлетворяет магнитоупругий метод. Разработкой и внедрением этого метода занимались такие советские и зарубежные ученые, как : С.Д. Левинтов, Т.Я. Гораздовский, Т.М. Мухиев, Я.Я. Томсон, *O. Dahle* и другие.

По данным отечественных и зарубежных исследований основным недостатком средств контроля, основанных на магнитоупругом методе, является нелинейность выходной характеристики и магнитоупругий гистерезис. В связи с этим точность существующих устройств не превышает 3-4%.

Установлено, что существующие способы повышения точности магнитоупругих средств контроля Мкр ведут к ухудшению прочностных свойств объекта контроля и снижению срока его службы. Задача создания высокоточных методов и средств контроля Мкр является противоречивой, так как одновременно с уменьшением погрешности от магнитного гистерезиса и получения линейной выходной характеристики необходимо обеспечить малый упругий гистерезис, жесткость и долговечность объекта контроля при знакопеременных нагрузках. В связи с этим в настоящей работе предлагается метод контроля крутящего момента с использованием ферромагнитного покрытия. При этом методе основной силовой поток проходит непосредственно через объект контроля, выполненный из высококачественной стали, а поверхностные напряжения воспринимаются ферромагнитным покрытием, обладающим хорошими магнитными характеристиками, в том числе минимальным магнитным гистерезисом. Применение ферромагнитного покрытия позволяет обеспечить контроль крутящего момента на объектах, выполненных из немагнитных материалов, а также без нарушения кинематической схемы изделий, работающих при динамических нагрузениях. В последнем случае покрытие наносится непосредственно на контролируемый объект, что позволяет определять крутящий момент в процессе его эксплуатации.

В связи с тем, что в настоящее время недостаточно изучены особенности использования ферромагнитных покрытий для контроля

напряжений, действующих на поверхности элементов и узлов механизмов, необходимо проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств различного вида покрытий.

Вторая глава посвящена исследованию взаимодействия поля преобразователя с многослойным объектом контроля, а также анализу и оптимизации их параметров. С этой целью решена одна из краевых задач электродинамики. Расчетная модель прямоугольного преобразователя представлена в виде двухпроводной линии, расположенной параллельно двухслойному цилиндру (рис. 1).

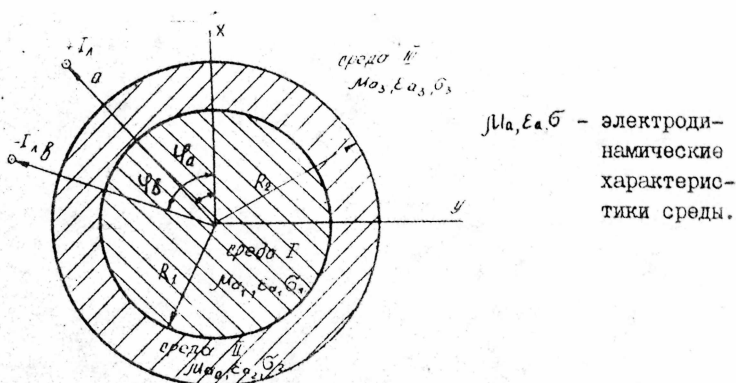


Рис. 1. Расчетная модель

В результате решения получено выражение для вносимого в преобразователь комплексного сопротивления Z_{in} , связывающее электрофизические и геометрические параметры объекта контроля. Оно имеет вид:

$$Z_{in} = \frac{\omega \mu_0}{4\pi} i \sum_{n=0}^{\infty} \left[\left(\frac{R_2}{a} \right)^{2n} - \left(\frac{R_2}{b} \right)^{2n} - \left(\frac{R_2}{a} \right)^n \left(\frac{R_2}{b} \right)^n \cos n(\varphi_0 - \varphi_1) \right] 2F_n, \quad (1)$$

где F_n — постоянный коэффициент, определяемый из граничных условий

$$F_n = \frac{1}{n} \cdot \frac{\frac{\mu_0}{\mu_1} (A_2 A_5 D_3 - A_2 B_2 C_5 - A_3 B_2 C_3 + A_5 B_2 C_3) - R_2 (B_3 C_2 C_5 - A_5 D_3 C_2 - A_3 D_2 C_5 + A_5 D_2 C_3)}{\frac{\mu_0}{\mu_1} (A_2 A_5 D_3 - A_2 B_2 C_5 - A_3 B_2 C_3 + A_5 B_2 C_3) + R_2 (B_3 C_2 C_5 - A_5 D_3 C_2 - A_3 D_2 C_5 + A_5 D_2 C_3)}, \quad (2)$$

$$A_1 = J_n(V_1 R_1); \quad A_2 = J_n(V_2 R_2); \quad A_3 = J_n(V_2 R_1); \quad A_5 = J_n(V_1 R_1);$$

$$B_1 = H_n^{(2)}(V_3 R_2); \quad B_2 = H_n^{(2)}(V_2 R_2); \quad B_3 = H_n^{(2)}(V_2 R_1);$$

$$C_1 = \frac{1}{\mu_3} \frac{\partial J_n(V_3 R_2)}{\partial R_2}; \quad C_2 = \frac{1}{\mu_3} \frac{\partial J_n(V_2 R_2)}{\partial R_2}; \quad C_3 = \frac{1}{\mu_3} \frac{\partial J_n(V_3 R_1)}{\partial R_1};$$

$$C_5 = \frac{1}{\mu_1} \frac{\partial J_n(V_1 R_1)}{\partial R_1}; \quad (3)$$

$$D_1 = \frac{1}{\mu_3} \frac{\partial H_n^{(2)}(V_3 R_2)}{\partial R_2}; \quad D_2 = \frac{1}{\mu_2} \frac{\partial H_n^{(2)}(V_2 R_2)}{\partial R_2}; \quad D_3 = \frac{1}{\mu_2} \frac{\partial H_n^{(2)}(V_2 R_1)}{\partial R_1}$$

$J_n(V_n R_n)$ — функция Бесселя; $H_n^{(2)}(V_n R_n)$ — функция Ганкеля.

Анализ выражения (I), проведенный с помощью ЭВМ, показал, что из всех исследуемых параметров объекта контроля наибольшее влияющее воздействие на результат контроля оказывает изменение радиуса R_1 , зависящего от толщины ферромагнитного покрытия.

Установлено, что чувствительность преобразователя достигает максимума при толщине ферромагнитного слоя от $36 \cdot 10^{-6}$ до $70 \cdot 10^{-6}$ м. При дальнейшем увеличении толщины покрытия чувствительность остается постоянной, равной максимальной величине.

При контроле с использованием ферромагнитного покрытия важной задачей является определение его оптимальной толщины, поскольку, с одной стороны, осаждаемое покрытие должно быть достаточно толстым, с тем, чтобы на результат контроля не оказывали влияние магнитные характеристики материала самого объекта контроля. Вместе с тем, осаждение толстых ферромагнитных пленок представляет сложную технологическую задачу, следствием которого является нестабильность физико-химических параметров нанесенного покрытия, наличие локальных дефектов ее структуры и удорожание конструкции.

В связи с этим разработан критерий выбора оптимальной толщины ферромагнитного покрытия. На основании результатов анализа выражения (1) в качестве такого критерия выбрано соотношение:

$$\delta \frac{\partial Z_{\text{вн}}}{\partial \mu_2} \geq \frac{\partial Z_{\text{вн}}}{\partial R_1} \quad (4)$$

где δ - погрешность контроля.

Оптимальная толщина ферромагнитного покрытия H с учетом критерия (4) и выражений (1) - (3) определяется как:

$$H = R_2 - R_1 \quad (5)$$

Для расчета параметров преобразователя и объекта контроля был разработан алгоритм вычислений и составлена программа для ЭВМ ЕС-1022. На этой основе создана методика выбора оптимальных параметров многослойных магнитоупругих преобразователей, исходя из точности и условий контроля.

Третья глава посвящена обоснованию выбора материала ферромагнитного покрытия, изучению особенностей нанесения покрытия на объект контроля, экспериментальному исследованию многослойных объектов контроля, выполненных из различных материалов, анализу результатов исследования.

Наличие ферромагнитного слоя, применяемого для повышения точности контроля крутящего момента, должно обеспечивать высокое значение коэффициента магнитострикции, минимальную величину коэрцитивной силы (0,3 - 3 А/м), высокую магнитную проницаемость (10^5 Гс/э), однородность магнитных свойств материала.

Анализ существующих магнитных материалов и методов их нанесения с учетом перечисленных требований к ферромагнитному покрытию показал, что наиболее подходящим является пермаллой состава 50%Ni - 50%Fe, нанесенный на объект контроля методом электролитического осаждения.

Работы по созданию ферромагнитных покрытий на объектах контроля со сложной конфигурацией проводились совместно с лабораторией ферромагнитных пленок Института физики твердого тела и полупроводников АН БССР.

Многочисленными экспериментами установлено, что применение пермаллового покрытия толщиной, соответствующей оптимальной, позволяет снизить погрешность при определении крутящего момента до 1%. Так, при исследовании вала, изготовленного из высококачественной легированной стали 65 Г, обычным магнитоупругим методом определить $M_{кр}$ не представлялось возможным из-за крайне низких магнитоупругих свойств этого материала и практически отсутствия чувствительности. После нанесения на вал пермаллового покрытия чувствительность составила 0,42 В/кг·м, погрешность от гистерезиса 0,12%, а погрешность от нелинейности 0,35%.

Испытания вала из стали марки 40 X показали, что в зоне нанесения нелинейности 0,5 %. При контроле $M_{кр}$ на валу из этого же материала без применения покрытия чувствительность была крайне низкой, а погрешность от магнитоупругого гистерезиса составила 10%. Зависимости измеряемого момента $M_{изм}$ от эталонного $M_{эт}$ для образцов из стали 40 X без применения покрытия и с ферромагнитным покрытием приведены соответственно на рис. 2 и 3.

Как видно из рис. 2, характеристика, снятая при постепенном нагружении испытуемого вала, в значительной степени отличается от характеристики, снятой при постепенном разгрузении. Это связано с действием магнитоупругого гистерезиса. В то же время на рис. 3 показано, что характеристика, снятая при нагружении вала, практически совпадает с характеристикой, снятой при разгрузении, что свидетельствует о пренебрежимо малом влиянии магнитоупругого гистерезиса на результат испытаний. Применение метода контроля $M_{кр}$ с использованием ферромагнитного покрытия при исследовании образца из стали 40 X позволило снизить погрешность от магнитоупругого гистерезиса в 100 раз. Аналогичные результаты получены и при контроле валов из стали марки 3X-15 и ст. 35.

Результаты экспериментов показали, что во всех случаях при осаждении на образец покрытия с толщиной, соответствующей оптимальной расчетной величине, погрешность контроля не пре-

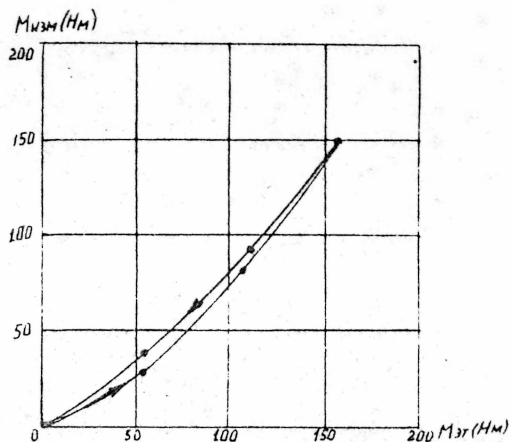


Рис. 2. Зависимость измеряемого момента $M_{изм}$ от эталонного $M_{эт}$ для образца из стали 40X без ферромагнитного покрытия:
 ↑ - нагружение; ↓ - разгружение.

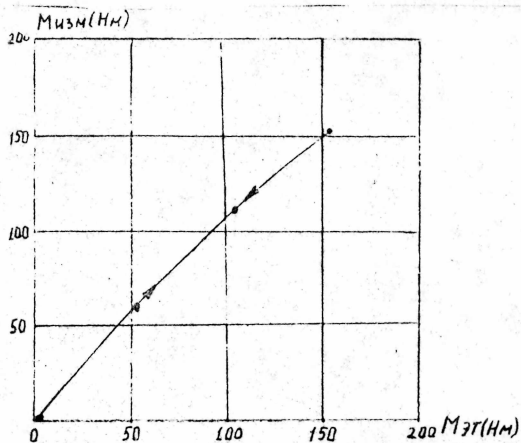


Рис. 3. Зависимость измеряемого момента $M_{изм}$ от эталонного $M_{эт}$ для образца из стали 40X с ферромагнитным покрытием.

вышает 1%. Так, например, на валах из стали марки ШХ-15 с пермаллоевым покрытием толщиной 6 мкм погрешность контроля составила: от магнитного гистерезиса 0,08%, от нелинейности 0,39%. При исследовании вала, изготовленного также из стали ШХ-15 с осажженным ферромагнитным слоем с толщиной, соответствующей оптимальной, погрешность от нелинейности составила 0,37%, а от магнитоупругого гистерезиса 0,01%.

На основании приведенных в главе исследований установлено, что метод контроля $M_{кр}$ с использованием ферромагнитного покрытия позволяет определить крутящий момент с повышенной точностью на валах, выполненных из немагнитных материалов с высокими прочностными и упругими свойствами.

В четвертой главе рассмотрены вопросы разработки средств определения крутящего момента с использованием ферромагнитного покрытия.

На базе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработано устройство определения крутящего момента, состоящее из электронного измерительного блока и блока многослойных магнитоупругих преобразователей.

Блок магнитоупругих преобразователей представляет собой цилиндрический корпус сборной конструкции, в котором установлены две пары преобразователей таким образом, что их полюса располагаются по направлениям главных механических напряжений, возникающих при скручивании объекта контроля.

Электронный измерительный блок включает в себя источник питания, блоки запуска и синхронизации, блоки измерения и запоминания.

Выполнена конструкция устройства на стандартных элементах серии 574УД-1.

Принцип действия устройства основан на регистрации свойств материала ферромагнитного слоя вала, вызванных действием механических напряжений, например, крутящего момента. Контроль осуществляется точечным способом, т.е. измерения производятся практически в одной и той же точке вала путем подачи в обмотки преобразователей импульсов прямоугольной формы. О результатах измерения судят по амплитуде сигнала, вырабатываемого преобразователями.

Порядок работы устройства контроля с многослойным магнитоупругим преобразователем состоит в следующем.

Сначала на вал, изготовленный из высококачественной стали, наносят ферромагнитное покрытие, толщина которого вычислена по методике, представленной в главе 2.

Корпус с преобразователями крепится на валу посредством двух шарикоподшипников. Вал с блоком преобразователей с помощью двух фланцев устанавливается в разрез кинематической схемы контролируемого объекта на испытательном стенде. С помощью высокочастотных кабелей блок преобразователей подключается к электронному измерительному блоку. Величина контролируемого крутящего момента считывается с регистрирующего устройства. Прибор имеет выход для подключения шлейфового осциллографа.

В пятой главе исследованы вопросы достоверности метода контроля с использованием ферромагнитного покрытия, а также метрологические характеристики и практическая реализация средств контроля, основанного на разработанном методе.

Анализ достоверности проведен по аналогии с методикой, разработанной в работах В.Н. Волченко.

В настоящей работе достоверность контроля крутящего момента является степенью соответствия замеренных величин $M_{из}$ их реальным значениям $M_{эт}$. Согласно расчетам достоверность предложенного метода контроля достигает 93%.

Исследование точности устройства контроля проведено по двум направлениям:

1) анализ принципиально-теоретических (методических) погрешностей;

2) оценка метрологических параметров с помощью экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования метрологических характеристик проводились в лабораторных условиях на специальном стенде для статических испытаний с использованием мерного плеча и мерного груза, а также в заводских условиях на стенде фирмы "Amsler". Динамическая погрешность исследовалась на стенде для испытания узлов трансмиссии автомобиля "Жигули" Волжского автозавода с использованием прибора фирмы "Vibrometter".

На основании серий испытаний и статистической обработки данных по общепринятой методике с привлечением ЭВМ выявлено, что во всех случаях погрешность разработанного устройства контроля $M_{кр}$ не превышает 1%.

Средства контроля, основанные на предложенном методе, используются для испытания изделий, работающих при динамических нагрузениях на следующих стендах Волжского автозавода: стенд испытания узлов трансмиссии автомобиля; стенд для испытания карданных валов и стенд для испытания главного привода электро-мобили.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Установлено, что существующие методы контроля крутящего момента в изделиях, работающих при динамических нагрузениях, не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Наличие высокой точности контроля достигается за счет снижения надежности и усложнения эксплуатации.

2. На основе теоретических исследований взаимодействия первичного преобразователя с объектом контроля получен обобщенный критерий, позволяющий выбирать оптимальные параметры ферромагнитного покрытия таким образом, что влияние изменения электрофизических и геометрических параметров исследуемого объекта на результат контроля не превышает задаваемой погрешности.

3. На основе экспериментальных исследований показано, что использование ферромагнитного покрытия при определении крутящего момента позволяет получить практически линейную выходную характеристику и избавиться от влияния магнитоупругого гистерезиса подложки и что нанесение ферромагнитного покрытия α толщиной, соответствующей оптимальной расчетной, практически обеспечивает заданную точность контроля.

4. В результате анализа особенностей ферромагнитных материалов и методов их нанесения установлено, что обеспечивающим заданную точность контроля материалом является пермаллой состава $50\% Ni - 50\% Fe$, нанесенный методом электролитического осаждения.

5. Разработан магнитоупругий преобразователь, в котором силовой поток проходит непосредственно через объект контроля, а поверхностные напряжения, возникающие от действия $M_{кр}$, воспринимаются ферромагнитным покрытием.

6. Разработано средство определения $M_{кр}$ в изделиях, работающих при динамических нагрузениях, основным элементом которого является многослойных магнитоупругий преобразователь.

7. Проведены теоретические и экспериментальные исследования разработанного средства контроля крутящего момента с целью метрологической оценки его параметров. Результаты этих исследований, обработанные на ЭВМ по специально разработанной для этой задачи программе, показали, что погрешность устройства контроля Мкр не превышает 1%.

8. Разработан метод, основанный на применении ферромагнитного покрытия при определении Мкр, позволяющий повысить точность контроля до 1%, при сохранении надежности и дистанционности. Создана и выпущена опытная партия устройств контроля Мкр с многослойным магнитоупругим преобразователем.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Абламунец И.Г., Любарская Г.А. Метод расчета индуктивностей магнитоупругих преобразователей для контроля крутящего момента. - Автоматические системы и устройства контроля и управления качеством строительства: Сб. трудов МАДИ., 1983, с. 106-110.
2. Абламунец И.Г., Любарская Г.А. Применение тонкопленочных ферромагнитных покрытий для контроля механических напряжений. - Электромагнитные методы контроля качества материалов и изделий: Тез. докл. IV Всесоюзной конф. - Омск, ч. 2, 1983, с. 70-71.
3. Абламунец И.Г., Любарская Г.А. Использование тонкопленочного ферромагнитного покрытия для магнитоупругого преобразователя крутящего момента. - Робототехника и автоматизация производственных процессов: Тез. докл. Всесоюзной конф. - Барнаул, ч. 3, 1983, с. 85.
4. Абламунец И.Г., Любарская Г.А., Макаров С.А. Построение математической модели для анализа характеристики быстродействующего измерителя момента. - Алгоритмы, средства автоматического контроля: Тез. докл. Поволжской научно-технической конф. - Волгоград, 1984, с. 61-62.

Любар