

На правах рукописи

Прохоренко Евгений Валерьевич

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Специальность 05.13.05 – “Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления”

Автореферат диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск - 2003

Работа выполнена в Новосибирском государственном техническом
университете.

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор Анисимов Александр Саввович

Официальные оппоненты

1. доктор технических наук, профессор Шевченко Александр Федорович
2. доктор технических наук, профессор Каргин Владимир Анатольевич

Ведущее предприятие

Новосибирский научно-исследовательский институт измерительных приборов.

Защита диссертации состоится "19" августа 2003г в 10 часов00 минут,
на заседании диссертационного совета Д 212.173.05 при Новосибирском
государственном техническом университете по адресу: 630092, г. Новосибирск,
пр-т К. Маркса 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского
государственного технического института.

Автореферат разослан "26" августа 2003г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета



Воевода А.А.

2003-А
4825

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Создание конкурентоспособной продукции бытового назначения (компрессоры, маслобойки, бритвы и т.д.) непосредственно зависит от использованных в ней электромагнитных преобразователей энергии. Особенно интересны как в научном плане, так и в коммерческом приложении вибрационные электромагнитные механизмы (ВЭМ), в которых рабочий орган совмещен с двигателем. Этот факт положительно сказывается на улучшении технологичности конструкций и повышении их надежности из-за отсутствия промежуточных согласующих механизмов (кулисных, кулачковых). Такие ВЭМ могут быть использованы при создании устройств бытового назначения, например, компрессоров для перекачивания жидкостей и газов а также электробритв, маслобоек и других механизмов. Они свидетельствуют о перспективе разработки теории и практического использования вибрационных электромагнитных двигателей в бытовой технике. Однако этим вопросам в технической литературе последнего времени, посвященной электромагнитным устройствам, уделяется недостаточно внимания. В частности, проблема синтеза этих двигателей до настоящего времени не решена, а существующие методы расчета ВЭМ не достаточно точно и глубоко раскрывают состояние электромагнитного поля и поведение объекта в динамике. Среди большого количества предложенных конструктивных решений ВЭМ выявлен ряд недостатков, снижающих их технические и потребительские характеристики и ограничивающих их применимость в бытовой технике, в частности, технологическая сложность изготовления, высокая стоимость подготовки производства и себестоимость серийных изделий, а также повышенный шум во время работы и нередко низкая надежность.

Целью настоящей работы является исследование вибрационных электромагнитных механизмов, состоящих из сопряженных рабочих органов и двигателя, обладающих высокой надежностью, технологичностью изготовления, низким уровнем шума, низкой себестоимостью для создания условий разработки на этой основе различных приборов бытового назначения.

В соответствии с этой целью сформированы задачи:

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА
С.Петербург
09 003 акт/98

- проведение теоретического анализа электромагнитного поля и динамических процессов;
- выявление взаимосвязи интегральных и отдельных составляющих потоков электромагнитной энергии, для расчета на их основе статических характеристик;
- определение принципов оптимизации конструкции и рабочих режимов;
- разработка вибрационных двигателей применительно к устройствам бытового назначения.

Достижение поставленной цели осуществлено на основе концепции конструктивного исполнения вибрационного электромагнитного механизма с динамическим уравниванием подвижных частей и совмещением рабочих органов и двигателя.

Это позволило:

- улучшить технологичность полученных конструкций;
- повысить надежность;
- минимизировать расход материала на изделие;
- уменьшить себестоимость серийных изделий;
- уменьшить уровень шума и вибрации изделия в целом;
- создать условия для дальнейшего совершенствования конструкции с целью улучшения массогабаритных, энергетических и динамических показателей.

Методика проведения исследований.

Теоретические исследования проводились аналитическими и численными методами математики с использованием современной вычислительной техники.

Экспериментальные исследования проводились на специально созданном стенде, в состав которого входят современные аналоговые и цифровые измерительные комплексы, позволяющие производить многопараметрическую регистрацию и обработку в режиме реального времени механических и электрических параметров исследуемого объекта.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендации обеспечивалось:

- применением аналитических и экспериментальных методов исследования и решения характерных модельных задач;
- исследованием электромагнитного поля аналитически-численным методом;
- расчетом статических и динамических характеристик устройств;
- созданием алгоритма расчета вибрационного электромагнитного механизма;
- проведением исследований и формулировкой на их основе выводов представляющих собой базовые положения для расчета оптимального ВЭМ;
- созданием ряда электромагнитных устройств бытовой техники с высокими потребительскими свойствами

Основные положения, выносимые на защиту:

- 1) Разработанная методика проектирования ВЭМ.
- 2) Методика расчета статических и динамических характеристик вибрационного электромагнитного двигателя.
- 3) Новое техническое решение вибрационного электромагнитного двигателя, защищенное свидетельствами на полезную модель.

Научная значимость и новизна.

- 1) Разработана оригинальная методика расчета вибрационного электромагнитного двигателя, обеспечивающая получение устройств с низким уровнем шума и вибрации, высокой надежностью, включая расчет электромагнитных параметров активной зоны двигателя с учетом особенностей конструкции обмоточных и намагничивающих структур аналитически-численным методом анализа, анализ статических и динамических характеристик на основе цифрового моделирования магнитного поля ВЭМ.
- 2) Разработано оригинальное программное обеспечение для расчета параметров магнитного поля и исследования статических и динамических характеристик ВЭМ.
- 3) Создана оригинальная модель воздушного компрессора.
- 4) Создано бытовое устройство для аэрации семян.

Практическая ценность работы. Полученные результаты исследования обосновали базовые принципы, используемые для разработки вибрационных электромагнитных механизмов, которые позволили создать электромагнитные

устройства с низким уровнем шума, высокой надежностью и технологичностью, а также низкой себестоимостью, что обеспечивает бытовой технике высокие потребительские свойства. На основе этих принципов построены и внедрены в серийное производство азратор семян “Росток” и электромагнитный компрессор, на которые получены сертификаты соответствия и гигиенические сертификаты.

Апробация работы. Основные положения и отдельные результаты диссертации доложены и обсуждены:

- на семинарах кафедры автоматики НГТУ (1999, 2000, 2001, 2002гг);
- на региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Наука. Техника. Инновации”, г. Новосибирск (2001г);
- на международной научно-технической конференции “Проблемы современной электротехники”, г. Киев (2002г);
- на всероссийской научно-технической конференции “Проблемы проектирования и производства систем и комплексов”, г. Тула, (2002г).

По тематике диссертации имеется 6 публикаций, в том числе получены свидетельства на две полезные модели.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 133 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы из 93 наименований из них 80 отечественных и 13 зарубежных. Она включает 59 рисунков и 6 таблиц.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Во введении обоснована актуальность проблемы, определена цель и задача исследования. Приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор литературы, характеризующий технические решения электромагнитных механизмов. Проанализированы варианты конструктивных решений ВЭМ, построенные по различным принципам, в том числе на поляризованных и нейтральных электромагнитах.

В результате анализа различных конструкций наиболее интересными с точки зрения низкого уровня вибрации и шума, а так же повышенной надежности все-

го устройства оказались механизмы, построенные по принципу динамического уравнивания подвижных частей.

Обзор литературных и патентных материалов свидетельствует о том, что на практике при производстве вибрационных механизмов наметилась тенденция использования одно – двухобмоточных электромагнитов, как наиболее технологичных и экономически выгодных. При конструировании миниатюрных ВЭМ целесообразно применять магнитодинамический принцип построения магнитной цепи, который является наиболее технологичным и низкзатратным.

Обоснована эффективность использования принципа динамического уравнивания при взаимно-противоположном возвратно-поступательном движении подвижных частей, приводящего к значительному снижению уровня вибрации, уровня шума и повышению надежности всего устройства, что делает ВЭМ технически привлекательным.

На основе этого принципа предложено оригинальное конструктивное решение двигателя с взаимно обратными подвижными частями. Конструкция мембранного воздушного компрессора с предложенным двигателем представлена на рис. 1.

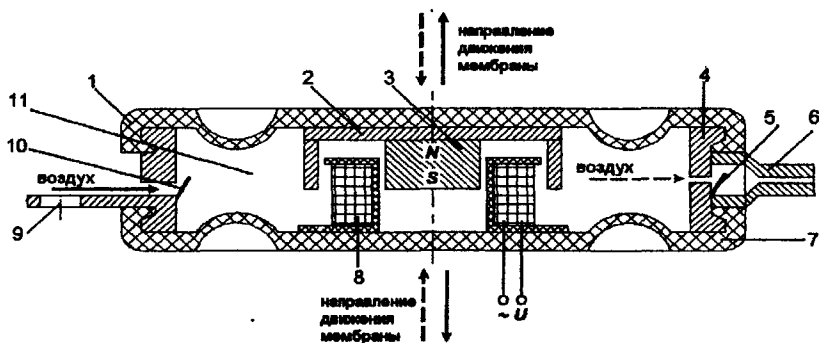


Рис. 1. Воздушный компрессор:

- 1 - верхняя мембрана; 2 - магнитопровод; 3 - постоянный магнит; 4 - корпус компрессора;
- 5 - выпускной клапан; 6 - штуцер; 7 - нижняя мембрана; 8 - катушка; 9 - крепящее отверстие;
- 10 - впускной клапан; 11 - рабочая камера

Проведен анализ методов исследования динамических процессов, протекающих в ВЭМ. Рассмотрены методики Лысова, Сотскова, Лившица. Предпочтение отдано численным методам расчета. Они позволили более гибко провести анализ динамики ВЭМ и оценить влияние вынуждающей нелинейной электромагнитной силы на характер колебательного движения подвижных частей ВЭМ.

Во второй главе представлена схема проектирования вибрационного электромагнитного механизма (рис. 2), которая отражает основные моменты процесса проектирования, содержание работы в отдельных фазах, а также динамику этих фаз. Это позволило разработать обобщенную модель вибрационного электромагнитного механизма с взаимно обратным движением подвижных частей (1) и получить результат, близкий к оптимальному.

$$\begin{cases} u(t) = i(t)r + \frac{d\Psi(i,t)}{dt} , \\ m_1 \cdot z_1'' + c_1 \cdot z_1' + k_1 \cdot z_1 + d_1 = F(t) , \\ m_2 \cdot z_1'' + c_2 \cdot z_1' + k_2 \cdot z_1 + d_2 = -F(t) , \\ \vec{F} = i \cdot [d\vec{l} \cdot \vec{B}] . \end{cases} \quad (1)$$

где $u(t)$ - напряжение питания, $i(t)$ - ток обмотки, r - активное сопротивление обмотки, Ψ - потокосцепление обмотки, m - приведенная масса подвижных частей, k - коэффициент упругости, c - коэффициент противодействующих сил зависящих от подвижных частей, d - коэффициент, характеризующий силы трения, $F(t)$ - электромагнитная сила, индексы 1 и 2 определяют принадлежность коэффициентов дифференциальных уравнений к первой и второй подвижной части устройства соответственно.

В представленной модели рассматриваемого двигателя считается, что магнитное поле статично и влияние на него поля катушки пренебрежительно мало.

Для ВЭМ формулировка задачи представляется как составление математической модели ВЭМ с определенными требованиями к исполнительному устройству:

- амплитуды перемещения и характера движения подвижных частей;
- величины и вида противодействующих сил;

- узлами стыковки исполнительного устройства и вибрационного двигателя.
- режим работы ВЭМ (продолжительный, кратковременный, прерывистый);
- максимальная потребляемая мощность;
- температура перегрева;
- частота питающей сети;
- напряжение питающей сети;
- особенности условий окружающей среды, в которой работает ВЭМ (температура, влажность, наличие масляного или водяного тумана, наличие легко воспламеняющихся, агрессивных сред и т.д.).
- Выработка дополнительных требований (эргономичность, отсутствие шума во время работы и т.д.)

Формулировка частной задачи проектирования вибрационного электромагнитного механизма сведена в таб. 1.

В третьей главе представлены результаты расчета магнитного поля магнитодинамического двигателя, возбужденного постоянным магнитом цилиндрической формы из сплава *НТ 32/136* с остаточной индукцией $B_r = 1.1 \div 1.15$ Тс и коэрцитивной силой $H_c = 960 \div 1360$ кА/м. В связи с аксиальной симметрией магнитного поля возбуждения распределение напряженности магнитного поля в функции радиальной и аксиальной координат найдено на базе решения уравнения Лапласа (форма лапласиана соответствует цилиндрической системе).

Граничные условия исследуемого пространства составлены на основании постоянства магнитной напряженности на торцевых поверхностях магнита и магнитопровода, а также равномерного распределения напряженности на боковой цилиндрической поверхности магнита вдоль координаты z . Вдоль внешних границ области принята равной нулю нормальная составляющая производной напряженности поля.

Уравнения Лапласа $\nabla^2 H = 0$ распадается по методу разделения переменных $H(r, z) = R(r) \cdot Z(z)$ на два (2), (3).

$$\frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial R}{\partial r} + k^2 R = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} - k^2 Z = 0. \quad (3)$$

Решение уравнения Лапласа определено аналитически-численным способом для ряда характерных зон. При этом $R(r)$ содержит частные решения в виде функций Бесселя 1-го и 2-го рода нулевого порядка:

$$R = A_1 \cdot J_0(kr) + A_2 \cdot Y_0(kr), \quad (4)$$

а $Z(z)$ – гиперболические функции:

$$Z = C \cdot ch(kz) + D \cdot sh(kz) \quad (5)$$

На основе метода приближений численно определены собственные числа задачи k_n для зон пространства и сформировано общее решение в виде бесконечного ряда произведений собственных функций на функции $Z(k_n, z)$. Коэффициенты членов ряда найдены разложением граничных зависимостей в ряд по собственным функциям с учетом ортогональности цилиндрических функций $R(k_n, r)$ с весом r . Точность расчета задачи связана с уровнем сходимости решений на границах зон, обусловленного количеством членов ряда и точностью расчета их коэффициентов. Экспериментальное измерение параметров поля возбуждения в точках пространства дало возможность уточнить правильность выбора граничных условий. Картина линий равной напряженности магнитного поля и картина распределения градиента напряженности магнитного поля в рабочей зоне в рабочей зоне приведена на рис. 3 и 4.

Картина распределения радиальной компоненты напряженности магнитного поля H представлена на рис. 5. Здесь же показано сечение проводников катушки в начальном положении. Отмечается крайне неравномерное состояние магнитной напряженности в области сечения проводников, что требует корректировки геометрии магнитной системы с целью повышения эффективности конструктивного исполнения активной зоны и использования материалов.

Найдены силы взаимодействия с током катушки подвижной мембраны и установлены тяговые характеристики устройства и рабочий диапазон перемещения по статической характеристике в функции координаты z (рис. 6).

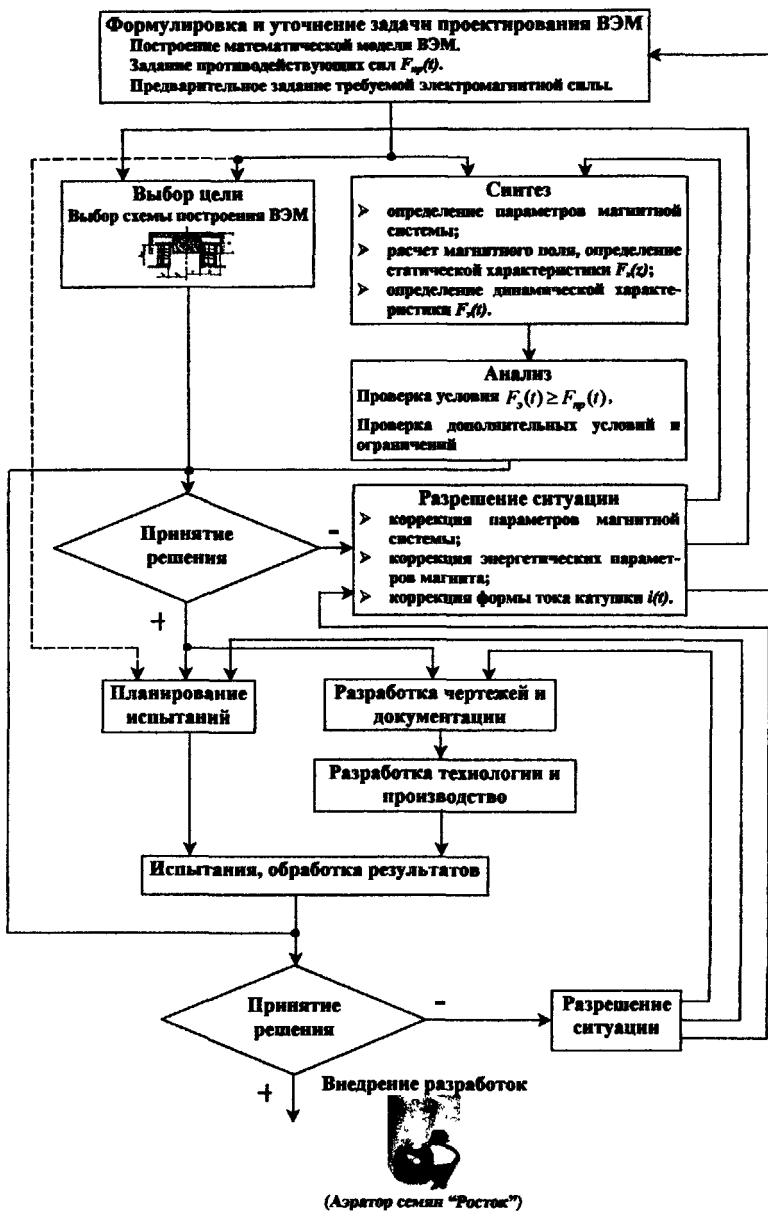


Рис. 2. Структурная схема алгоритма расчета ВЭМ

Таблица 1

Постановка задачи проектирования ВЭМ

№	Режим работы рабочего органа		
1	Амплитуда перемещения не менее, мм	Z_a	0.5
2	Закон движения подвижных частей	$Z(t)$	$Z_a \cdot \cos(\omega \cdot t)$
3	Нагрузочная характеристика, Н	$F_{np}(t, x)$	$m \cdot x'' + k \cdot x$
Параметры магнитной системы			
4	Частота питающей сети, Гц	f	10-100
5	Напряжение питающей сети, В	U	15
6	Температура перегрева, °С	t	10
7	Степень защиты		IP20
8	Режим работы		Непрерывный
9	Габариты, мм	глубина	10
		высота	10
		ширина	10
10	Дополнительные требования		минимальный шум во время работы (в диапазоне 0...20кГц не более 10 дБ)

При этом принимается допущение об отсутствии влияния собственного поля токов катушки на поле возбуждения, созданное постоянным магнитом со стабильной рабочей точкой. Одновременно с этим уточнялись массогабаритные параметры устройства и его конструктивное исполнение с целью достижения требуемых характеристик.

Исследованы динамические характеристики ВЭМ решением системы дифференциальных уравнений (1) методом Рунге – Кутты применительно к компрессору (рис. 1), получены зависимости ускорения, скорости и перемещения на частотах от 10 до 100 Гц (рис. 7, 8, 9).

Характер колебания подвижных частей на частотах 20 – 50 Гц удовлетворяет начальным условиям задачи синтеза. На всех частотах при условии равенства соответствующих коэффициентов системы дифференциальных уравнений обеспечивается динамическое уравновешивание.

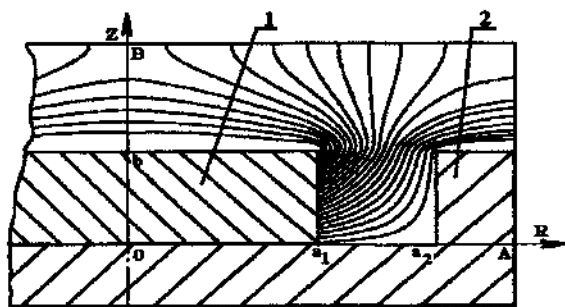


Рис. 3. Картина линий равной напряженности магнитного поля в рабочей зоне:
1 – магнит; 2 – магнитопровод

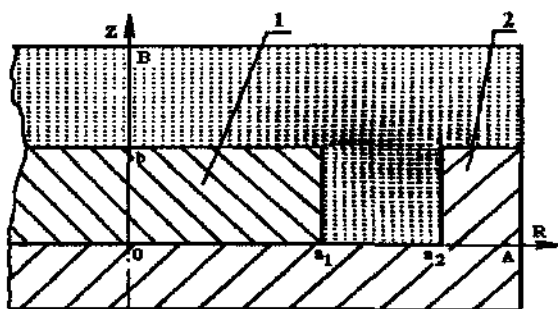


Рис. 4. Картина распределения градиента напряженности магнитного поля в рабочей зоне: 1 – магнит; 2 – магнитопровод

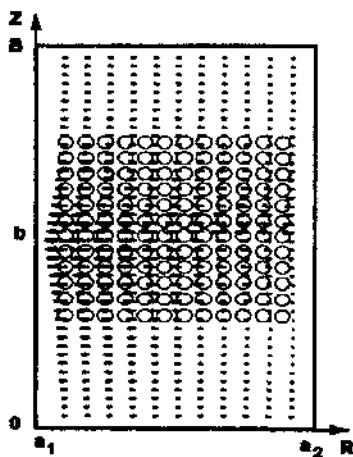


Рис. 5. Картина распределения радиальной составляющей напряженности магнитного поля в рабочей зоне

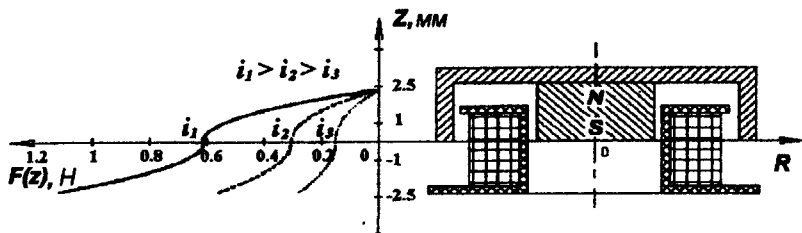


Рис. 6. Статическая характеристика

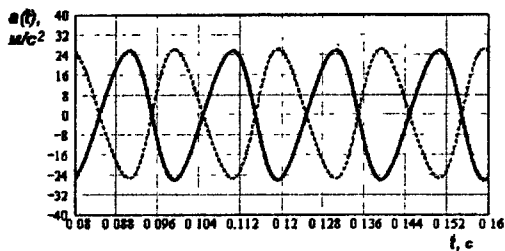


Рис. 7. Расчетное ускорение подвижных частей:

--- катушки; — магнита

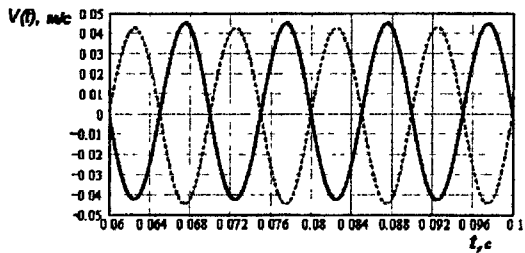


Рис. 8. Расчетная скорость подвижных частей:

--- катушки; — магнита

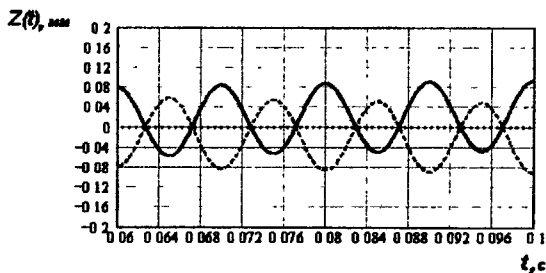


Рис. 9. Расчетное перемещение подвижных частей:

--- катушки; — магнита

Сформулированы требования к статическим параметрам устройства в соответствии с требованиями динамических характеристик ВЭМ. оптимальной характеристикой считается зависимость, при которой выполняется равенство:

$$F_s(t) = F_{np}(t)$$

Разработано оригинальное программное обеспечение для расчета параметров магнитного поля и исследования статических и динамических характеристик ВЭМ.

В четвертой главе изложены способы экспериментального исследования модели ВЭМ на специально спроектированном измерительном стенде, включающий в себя современную измерительную технику, в частности, микродатчики ускорения, согласующие устройства *Brule&Kjer*, измерительные преобразователи перемещения, цифровой осциллограф *Velleman* и ЭВМ в качестве устройства сбора, отображения и обработки экспериментальных данных. Измерения статических характеристик и магнитного поля в активной зоне модели ВЭМ (рис. 10) проведены на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 11. Размеры датчика позволили произвести измерения магнитного поля в непосредственной близости от поверхности магнита и магнитопровода. Погрешность результатов измерений для датчика холла *KSY44* в диапазоне до 1 Тл составляет $0,7\%$. Измеренные значения практически совпали в контрольных точках со значениями, полученными теоретическими расчетами.

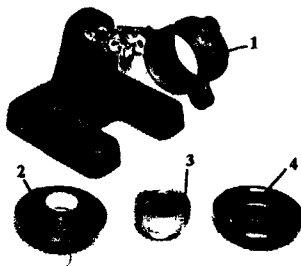


Рис. 10. Исследуемый образец:
1 – корпус; 2 - катушка и упругий элемент (мембрана) в сборе;
3 – магнитопровод и постоянный магнит в сборе; 4 – упругий элемент (мембрана)

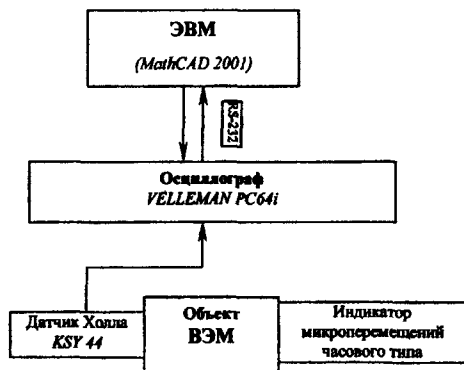


Рис. 11. Схема экспериментальной установки исследования магнитного поля ВЭМ

Для измерения статической силовой характеристики использовался источник питания, динамометр и измеритель микроперемещений часового типа. Подвижные части ВЭМ перемещались в соответствии с гармоническим законом.

Исследования показали, что ВЭМ с динамическим уравниванием подвижных частей и равными массами магнитопровода и катушки имеет практически линейную амплитудно-частотную характеристику (рис. 13) в диапазоне частот $f = 0 \dots 100$ Гц. Кроме этого выявлено влияние сил трения на характер движения подвижных частей. Это влияние возможно связано с влиянием сил сухого трения возникающих между магнитопроводом и катушкой и предположительно зависит от шероховатости трущихся поверхностей (класса точности обработки поверхностей трения) подвижных частей. На частотах выше 50 Гц действие таких помех пренебрежимо мало. Статические характеристики позволили выявить энергетические возможности двигателя.

Измерения динамических величин проведены на установке, схематическое изображение которой приведено на рис. 12.

Экспериментальная оценка динамического уравнивания ВЭМ при различных массах подвижных частей представлена на осциллограммах амплитуды ускорения при частотах 20, 50 и 100 Гц (рис. 14–16). Чувствительность датчиков - 1.89 мВ/г.

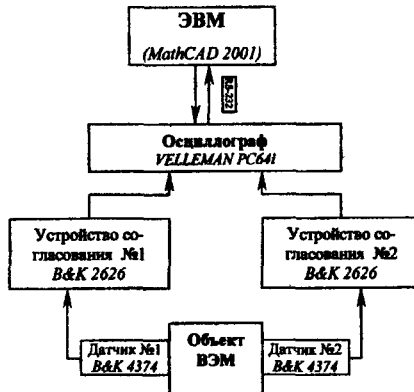


Рис. 12. Схема экспериментальной установки исследования динамических характеристик ВЭМ

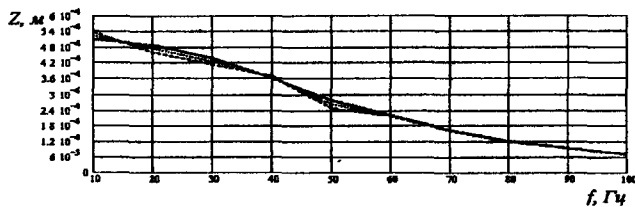
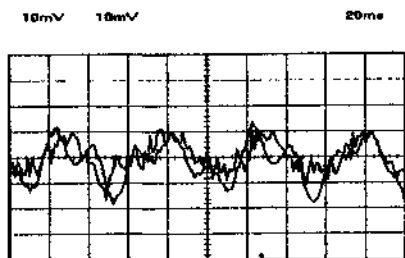


Рис. 13. АЧХ ВЭМ (сталь магнитопровода - Ст.3, масса подвижных частей 15г):
 ——— магнитопровод; - - - катушка; ···· среднее значение

Осциллограммы свидетельствуют, что на частотах 50 и 100 Гц закон движения магнитопровода и катушки имеет вид, близкий к гармоническому, а амплитуды ускорения перемещения магнита и катушки практически равны. Это достигается не только равенством масс подвижных частей двигателя, но и подбором соответствующих динамическому уравновешиванию частот генератора.

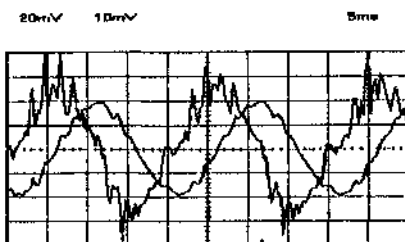
Влияние высокочастотной составляющей обусловлено шероховатостью трущихся поверхностей и существенно сказывается на частотах до 50 Гц. Следовательно, при изготовлении ВЭМ для этого частотного диапазона необходимо обеспечить более высокое качество обработки деталей.

Максимальное отклонение амплитуды колебаний подвижных частей приходится на частоту 20 Гц, а минимальное зафиксировано при частоте 51 и 98 Гц при используемых массах подвижных частей (рис. 17).



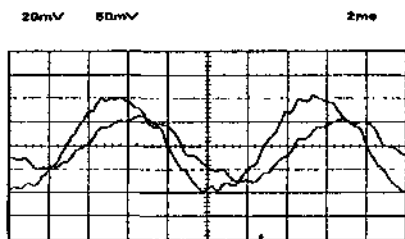
V_{max} 7.18mV

Рис. 14. Осциллограмма ускорения магнита и катушки ВЭМ на частоте $f_0 = 20$ Гц



V_{max} 26.71mV

Рис. 15. Осциллограмма ускорения магнита и катушки ВЭМ на частоте $f_2 = 50$ Гц



V_{max} 18.88mV

Рис. 16. Осциллограмма ускорения магнита и катушки ВЭМ на частоте $f_2 = 100$ Гц

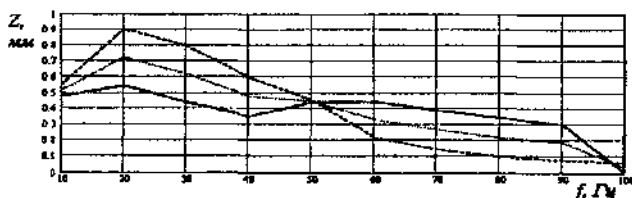


Рис. 17. Амплитудно-частотная характеристика ВЭМ:
 — магнитопровод; --- катушка; ···· - среднее значение

По результатам представленных экспериментов можно сделаны следующие выводы.

Динамическое уравнивание подвижных частей двигателя проще всего достигается при равенстве масс этих частей. Динамическое уравнивание лучше всего происходит на частотах выше 60 Гц. Однако эффект динамического уравнивания можно также достичь при различных массах подвижных частей.

Влияние высокочастотной составляющей существенно сказывается на частотах до 50 Гц. Следовательно, при проектировании ВЭМ в этом частотном диапазоне следует необходимо обеспечить более высокое качество обработки деталей. Максимальная амплитуда колебаний подвижных частей приходится на частоты до 20 Гц.

В таб. 2 приведены сравнительные характеристики ряда зарубежных магнитодинамических двигателей, используемых в качестве приводов для аквариумных компрессоров. Выявлено явное преимущество рассматриваемой в работе модели вибрационного электромагнитного механизма с динамическим уравниванием подвижных частей, выпускаемый фирмой "МагНЭТИка".

Таблица 2

Сравнительные характеристики двигателей

Фирма – производитель (модель)	Масса магнитной системы и катушки, г	Динамическое уравнивание	Потребляемая мощность, Вт	Среднее усилие на подвижных частях, Н
<i>Champion</i>	75	нет	7	1
<i>Atman (AT-801)</i>	80	нет	7	1
<i>Aquiles</i>	85	нет	6	1
<i>Resun (AC-9901)</i>	110	есть	3	2
<i>МагНЭТИка</i>	35	есть	5	1

В приведенной таблице при практически равных усилиях и перемещениях подвижных частей масса компрессора, выполненного в соответствии с расчетами и рекомендациями автора (производимого фирмой МагНЭТИка) в два и более раза меньше.

ВЫВОДЫ

1. Создана схема формирования конструктивного исполнения вибрационных электромагнитных двигателей с динамическим уравниванием подвижных частей. Реализованы научно-технические решения электродвигателей нового поколения, удовлетворяющие критериям современной бытовой техники на уровне мировых стандартов.
2. Произведен расчет электромагнитных параметров активной зоны двигателя с учетом особенностей конструкции обмоточных и намагничивающих структур ВЭМ аналитически-численным методом анализа. Полученные зависимости параметров электромагнитного поля от координат пространства достаточно точно отражают адекватность моделей реальным физическим объектам. Это позволило рассчитать интегральные характеристики электро-механического устройства и осуществить синтез геометрии магнитной системы двигателя с требуемыми электрофизическими свойствами.
3. Разработана методика анализа статических и динамических характеристик на основе цифрового моделирования магнитного поля ВЭМ.
4. Разработан алгоритм синтеза параметров устройств, позволяющий получить ВЭМ с параметрами на уровне лучших мировых стандартов.
5. По результатам исследований электромагнитных, статических и динамических характеристик двигателя проведено опытно-экспериментальное макетирование. Результаты макетирования подтвердили достоверность расчетных методик и позволили скорректировать методику расчета и конструктивное исполнение вибрационного электромагнитного механизма.
6. На основании результатов исследований разработан и внедрен в серийное производство азратор семян “Росток”, аквариумный компрессор. Получен акт о внедрении, свидетельства на полезную модель, сертификаты соответствия, гигиенические сертификаты.

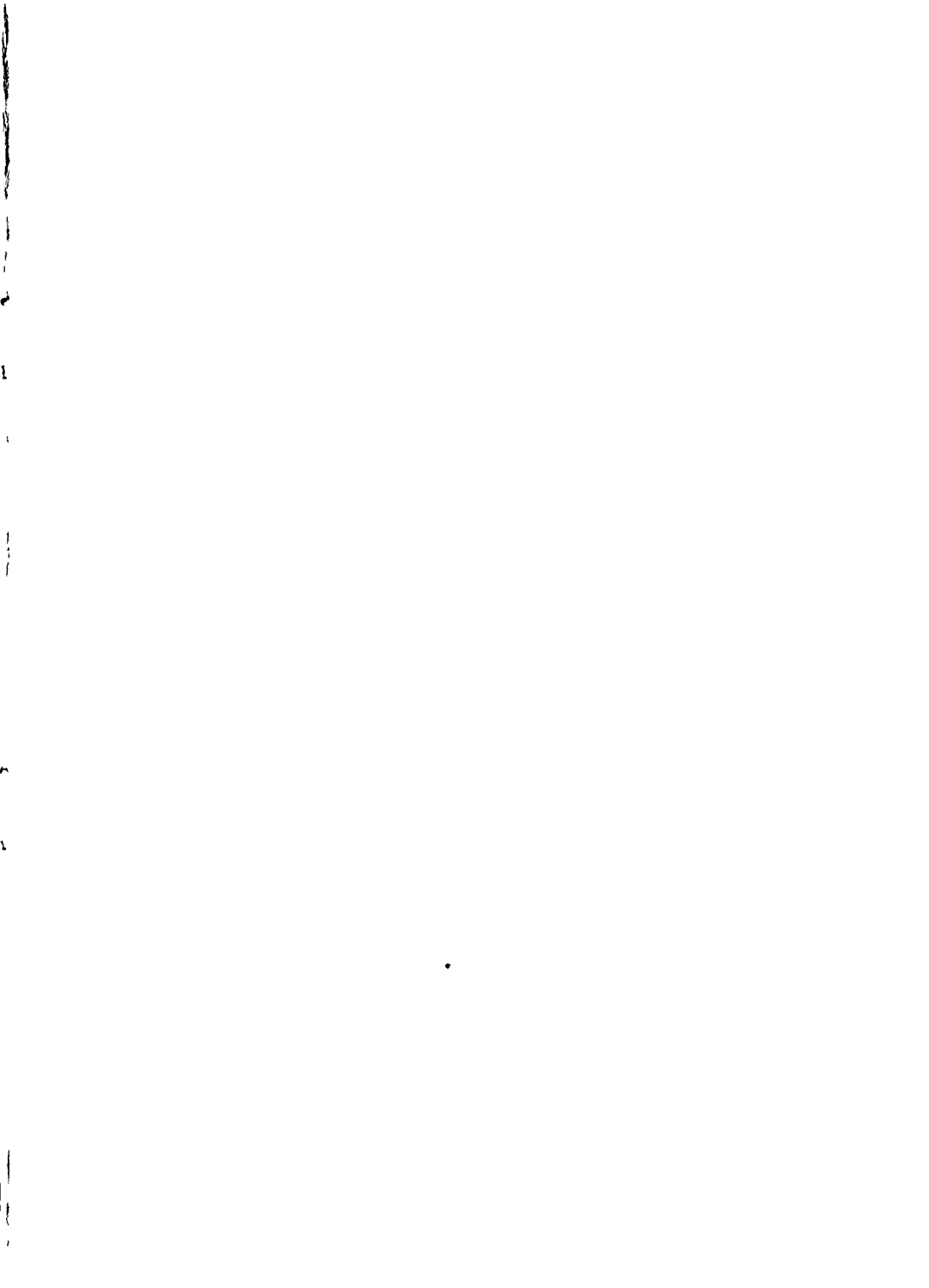
**СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ
ДИССЕРТАЦИИ**

1. Е.В. Прохоренко, А.И. Елшин, А.С. Анисимов. Расчет двумерного магнитного поля магнитодинамического компрессора // Наука. Техника. Иновации // Региональная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: тез. докл. в 5-ти частях. Новосибирск: изд-во НГТУ, 2001. Часть 3. С. 150-151.
2. А.И. Елшин, Е.В. Прохоренко. Анализ тяговых характеристик магнитодинамического двигателя // Научный вестник НГТУ. 2002. №2. С. 145-154.
3. А.И. Елшин, Е.В. Прохоренко, В.В. Кожухов. Исследование магнитного поля компрессора для перекачки жидкости // Сб. науч. тр. "Техническая электродинамика". Киев, 2002. С. 1- 6.
4. Елшин А.И., Прохоренко Е.В. Математическое моделирование вибрационного электродвигателя. // Проблемы проектирования и производства систем и комплексов. Материалы ВНПК. Серия Проблемы специального машиностроения. Известия ТулГУ. Выпуск 5. Часть 2. Тула 2002. С. 139 – 142.
5. Свидетельство на полезную модель RU 20216 U1. Бытовой аэратор / Прохоренко Е.В., Сидоров В.М., Одокиенко С.И. // Открытия. Изобретения.-2001.- №30.
6. Свидетельство на полезную модель. Электромагнитный компрессор / Прохоренко Е.В., Сидоров В.М., Одокиенко С.И. // Положительное решение от 12.10.2002.



Подписано в печать 20.02 . Формат 84x60x1/16
Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Печ. л. 1.00.
Заказ № 135

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20



2003-A

4825

-4825