

На правах рукописи

ШАПОШНИКОВ Александр Михайлович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ТРЕХКОМПОНЕНТНЫМИ
МАГНИТОМЕТРАМИ В ПРОГРАММНО
УПРАВЛЯЕМЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

**Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

УФА – 2011

Работа выполнена на кафедре промышленной электроники
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический
университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Миловзоров Георгий Владимирович
ФГБОУ ВПО УГАТУ

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Галиев Анвар Лутфрахманович
филиал ФГБОУ ВПО УГАТУ
в г. Стерлитамак

доктор технических наук
Коровин Валерий Михайлович
ОАО «Башнефтегеофизика»

Ведущая организация: ОАО НПФ «Геофизика»

Защита состоится «20» декабря 2011 г. в 10⁰⁰ часов на заседании совета
Д-212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом
университете по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского
государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «___» _____ года.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять в
диссертационный совет Д-212.288.02 по адресу: 450000, Уфа-центр,
ул. Карла Маркса, д. 12, УГАТУ.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент

А.В. Месропян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Инклинометрические преобразователи (ИнП) являются необходимым и важнейшим элементом современных автоматизированных систем управления технологическим процессом бурения (АСУТП-бурение). Это обусловлено их функциональным назначением – измерением различных параметров, к основным из которых относятся азимутальный, зенитный и визирный углы, однозначно определяющие пространственную ориентацию разбуриваемых скважин. К дополнительным измеряемым параметрам относятся температура в точке забоя, частота вращения вала электрогенератора, уровень естественного гамма-излучения и др. На основе информации об измеряемых параметрах, получаемых с помощью ИнП, реализуется собственно процесс бурения: определение режимов работы наземной и забойной аппаратуры, управление исполнительными механизмами, взаимодействие обслуживающего персонала и т.д. Следовательно, успешное функционирование АСУТП-бурение зависит, в первую очередь, от работы ИнП. Критериями качества используемых преобразователей являются точность измерения обозначенных параметров, надежность и исправность при воздействии дестабилизирующих факторов (к ним относятся широкий диапазон температуры, вибронагрузки различных амплитуд и частот и др.).

Эффективность использования ИнП определяется не только точностью входящих в их состав первичных датчиков, особенностями программного обеспечения, надежностью электронных компонентов и конструкции преобразователей в целом, но и качественной и оперативной подготовкой их к бурению. Главным этапом при этом является проведение экспериментальных исследований (в том числе калибровочных и поверочных испытаний), которые осуществляются с помощью специальных установок.

Разработчиками и специалистами достигнуты определенные результаты в области экспериментальных исследований ИнП, тем не менее, следует признать, что существующие методики и соответствующие установки обладают рядом существенных недостатков, а именно:

1. необходимостью изменения пространственной ориентации инклинометрических преобразователей, в результате чего имеется влияние «человеческого фактора» на итоговый результат;
2. длительным временем проведения экспериментальных операций, составляющим от одного до нескольких часов;
3. дорогостоящим позиционирующим оборудованием (десятки тыс. долларов США), используемым только в специальных лабораториях и помещениях;
4. отсутствием возможности проведения исследований при различных температурных диапазонах.

Таким образом, повышение эффективности проведения экспериментальных исследований ИнП с трехкомпонентными

магнитометрами, которое может быть достигнуто за счет разработки математических моделей и основанных на них новых алгоритмах и соответствующих аппаратных реализациях, является актуальной научно-технической задачей.

Цель диссертационной работы: разработка научно обоснованных технических и методических решений, обеспечивающих более эффективные экспериментальные исследования инклинометрических преобразователей с трехкомпонентными магнитометрами в программно управляемых магнитных полях.

Решаемые задачи

Для достижения сформулированной цели были поставлены и решены следующие задачи.

1. Обзор и анализ современных разработок в области инклинометрии, а также технических и методических средств экспериментальных исследований ИнП, определение наиболее перспективных направлений их развития.

2. Разработка математических моделей инклинометрических преобразователей с трехкомпонентными магнитометрами в условиях воздействия программно управляемых магнитных полей.

3. Анализ погрешностей инклинометрических преобразователей и определение их доминирующих составляющих.

4. Разработка аппаратурно-методического комплекса и программно-алгоритмического обеспечения экспериментальных исследований инклинометрических преобразователей в программно управляемых магнитных полях.

5. Проведение комплекса экспериментальных исследований и внедрение результатов работы.

Достоверность полученных результатов основана на использовании в теоретических построениях общепризнанных законов, корректного применения широко апробированного математического аппарата, а также подтверждена сравнением результатов с экспериментальными данными, полученными с помощью известных аттестованных методик.

Методы исследования

Для решения поставленных задач использовались теоретические и экспериментальные методы, включающие элементы теории аналитической геометрии, математического и компьютерного моделирования в среде MATLAB, статистические методы обработки результатов измерений в табличном процессоре MS Excel, элементы аналоговой, цифровой и вычислительной техники.

На защиту выносятся:

1. Математические модели ИнП с трехкомпонентными магнитометрами в программно управляемых магнитных полях.

2. Аналитические зависимости погрешностей ИнП и их доминирующие составляющие.

3. Методика экспериментальных исследований ИнП, обеспечивающая однозначное определение основных параметров магниточувствительных датчиков.

4. Аппаратурно-методический комплекс и алгоритмическое обеспечение экспериментальных исследований ИнП в программно управляемых магнитных полях.

Научная новизна

1. Разработаны математические модели, составляющие фундаментальную основу методического и алгоритмического обеспечения экспериментальных исследований ИнП в программно управляемых магнитных полях.

2. Предложена методика экспериментальных исследований, обеспечивающая определение основных параметров магниточувствительных датчиков ИнП в условиях его фиксированного пространственного положения и программно управляемого вращения вектора результирующего магнитного поля, генерируемого системой колец Гельмгольца.

3. Разработано алгоритмическое обеспечение экспериментальных исследований ИнП, адаптированное к дискретно управляемым системам генерирования вращающихся магнитных полей.

Практическая значимость и внедрение результатов работы

1. Математические модели, составляющие основу обработки результатов экспериментальных исследований ИнП в программно управляемых магнитных полях и анализ инструментальных погрешностей.

2. Аппаратурно-методический комплекс, обеспечивающий более высокую эффективность экспериментальных исследований ИнП в программно управляемых магнитных полях.

3. Программно-алгоритмическое обеспечение управления пространственной системы колец Гельмгольца, позволяющее проведение экспериментальных исследований ИнП в условиях вращающихся магнитных полей (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010613391).

4. Результаты диссертационной работы, внедренные в ЗАО «Технобурсервис» (г. Нижневартовск), ООО «Телекоммуникации ГА» (г. Уфа) и в учебном процессе ФГБОУ ВПО УГАТУ.

Апробация работы

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях различного уровня: научно-практическая конференция «Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин», г. Уфа, 2008 г.; международная школа-семинар «Магнитные явления и их использование в науке, технике, медицине и экологии», г. Ижевск, 2008 г.; 4-я Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых (с международным участием) «Актуальные проблемы науки и техники», г. Уфа, 2009 г.; научно-практическая конференция «Новые достижения в технике и технологии геофизических

исследований скважин», г. Уфа, 2009 г.; 10-я международная научно-техническая конференция «Измерение, контроль, информатизация», г. Барнаул, 2009 г.; 5-я Всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых (с международным участием) «Актуальные проблемы науки и техники», г. Уфа, 2010 г.; международная научная конференция «Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ-2010», г. Астрахань, 2010 г.; международная молодежная научная конференция «XVIII Туполевские чтения», г. Казань, 2010 г.; Всероссийская молодежная научная конференция «Мавлютовские чтения», г. Уфа, 2010 г.; научно-практическая конференция «Новые достижения в технике и технологии геофизических исследований скважин», г. Уфа, 2010 г.

Публикации

Основные результаты диссертационной работы отражены в 18 публикациях, в том числе 3 статьях в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК, 9 статьях в сборниках научных трудов, 5 публикациях в сборниках материалов и тезисов конференций и 1 свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, списка использованной литературы из 74 наименований и трех приложений. Диссертация изложена на 154 страницах машинописного текста и содержит 43 рисунка и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель работы и задачи, которые необходимо решить для ее достижения.

В первой главе проведен анализ существующих разработок в области построения отечественных и зарубежных ИнП, выявлены общие тенденции и проблемы их развития, сформулированы задачи исследований.

В результате анализа известных работ и разработок в области инклинометрии установлено, что практически все современные ИнП строятся на базе трех акселерометров и трех магнитометров. Лучшие ИнП имеют следующие точностные показатели:

1. азимутального угла – до $\pm 0,5...1^\circ$;
2. зенитного угла – до $\pm 0,1^\circ$;
3. визирного угла – до $\pm 0,1^\circ$.

Известно, что указанные погрешности измерения справедливы при так называемых нормальных климатических условиях в отсутствии вибраций и посторонних (техногенных) источников магнитных полей. В процессе эксплуатации погрешность измерений углов может возрасти на порядок.

В результате критического анализа основных тенденций развития ИнП установлено, что недостаточное внимание уделяется проведению их экспериментальных исследований.

Произведен анализ аппаратно-методических комплексов для проведения экспериментальных исследований ИнП. При этом выявлено, что существующие и наиболее распространенные методики экспериментальных исследований обладают рядом серьезных недостатков, главными из которых следует признать высокую стоимость соответствующего оборудования, влияние «человеческого» фактора на результат операций, большие затраты времени. На базе произведенного анализа разработок ИнП и тенденций их развития определены наиболее перспективные направления дальнейшего совершенствования аппаратуры для проведения экспериментальных исследований ИнП с трехкомпонентными магнитометрами (ТМ), выполнена постановка задач исследования.

Представлена структура современной АСУТП-бурения, определены основные требования, предъявляемые к ИнП как к элементу системы управления.

Предложена методика экспериментальных исследований ИнП, суть которой заключается в том, что необходимо вращение и фиксация в определенных пространственных положениях не ИнП относительно опорного магнитного поля, а наоборот – вращение вектора опорного магнитного поля (ОМП) относительно неподвижного ИнП.

Приведены основные параметры ТМ, определение значений которых составляет основу экспериментальных исследований ИнП. К ним относятся.

1. Углы смещения осей чувствительности ТМ относительно ортонормированного базиса корпуса ИнП.

На рисунке 1 слева схематично представлена часть ИнП с расположенным в ней ТМ. Оси чувствительности первичных датчиков ТМ не совпадают с осями ортогонального базиса (ОБ) ИнП. Справа представлен ортогональный базис $Oxyz$, а также, для примера, магнитометр F_z , с «неидеальным» расположением оси его чувствительности.

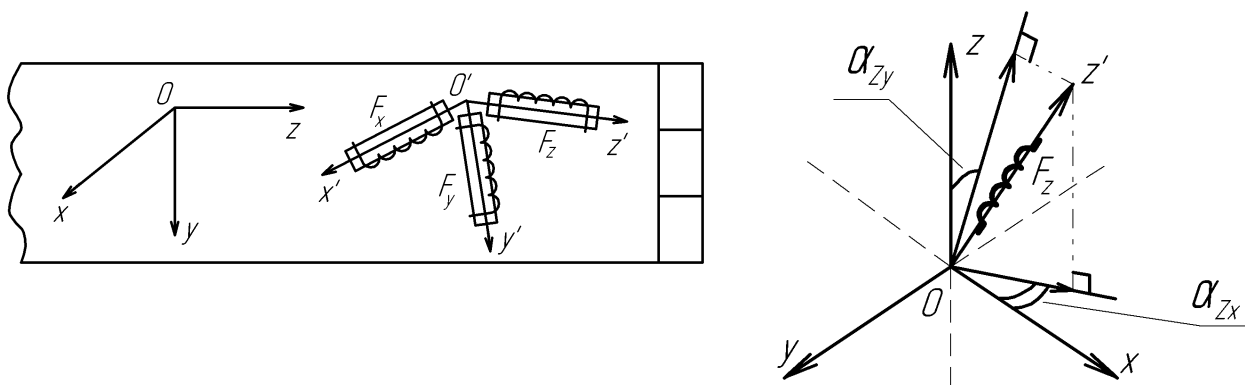


Рисунок 1 – Компонировка ТМ и размещение датчика F_z относительно ортогонального базиса корпуса ИнП

В идеальном случае ось чувствительности Oz' магнитометра F_z совпадает с осью Oz . Однозначно действительное положение оси чувствительности описывается двумя координатами – углами смещения, которыми для датчика F_z , как показано на рисунке 1, являются α_{zy} , α_{zx} – углы между проекциями $O'z$ на плоскости zOy , xOy и осями Oz , Ox соответственно. Таким образом, смещение осей чувствительности всех датчиков ТМ относительно ОБ однозначно описывается с помощью шести углов: α_{xy} , α_{xz} для датчика F_x ; α_{yx} , α_{yz} для датчика F_y ; α_{zy} , α_{zx} для датчика F_z .

2. Коэффициенты преобразования «индукция-напряжение».

3. Предельные значения динамического диапазона измерения (напряжения насыщения).

Во второй главе произведено математическое моделирование ИнП с трехкомпонентными магнитометрами в программно управляемых магнитных полях.

Для решения задачи математического моделирования приняты следующие допущения:

1. магнитное поле, создаваемое системой, однородное и линейное в объеме локализации ТМ;

2. геомагнитное поле (ГМП) ламинарное и постоянное;

3. нормальные климатические условия.

Сигнал на выходе i -го ($i=x, y, z$) магнитометрического датчика в составе ТМ определяется следующим выражением:

$$\begin{cases} U_i = U_{imax}, \text{ при } |\vec{B}| \cdot \cos \rho_i \geq B_{imax}, \\ U_i = k_i \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \rho_i + U_{i0}, \text{ при } B_{imin} < |\vec{B}| \cdot \cos \rho_i < B_{imax}, \\ U_i = U_{imin}, \text{ при } |\vec{B}| \cdot \cos \rho_i \leq B_{imin}; \end{cases} \quad (1)$$

где k_i – коэффициент преобразования «индукция-напряжение»; $\vec{B}$ – вектор индукции магнитного поля; ρ_i – угол между вектором $\vec{B}$ и положительным направлением оси чувствительности датчика; U_{imin} , U_{imax} – минимально и максимально возможные значения выходного сигнала магнитометра при воздействии вдоль его оси чувствительности индукции насыщения B_{imin} и B_{imax} соответственно. Величина $\cos \rho_i$ определяется следующим выражением:

$$\cos \rho_i = \frac{F_{ix} \cdot B_{\Sigma x} + F_{iy} \cdot B_{\Sigma y} + F_{iz} \cdot B_{\Sigma z}}{\sqrt{F_{ix}^2 + F_{iy}^2 + F_{iz}^2} \cdot \sqrt{B_{\Sigma x}^2 + B_{\Sigma y}^2 + B_{\Sigma z}^2}}, \quad (2)$$

где $B_{\Sigma x}$, $B_{\Sigma y}$, $B_{\Sigma z}$ – координаты вектора $\vec{B}_{\Sigma}$; F_{ix} , F_{iy} , F_{iz} – координаты вектора, коллинеарного оси чувствительности датчиков.

При отсутствии ОМП на датчики воздействует только вектор геомагнитного поля, поэтому выражение для определения выходного сигнала каждого датчика $U_{ГМП i}$ выглядит следующим образом:

$$U_{\text{ГМП}i} = k_i \cdot |\vec{B}_{\text{ГМП}}| \cdot \cos \rho_{\text{ГМП}i} + U_{i0}, \quad (3)$$

где $\rho_{\text{ГМП}i}$ – угол между вектором оси чувствительности и вектором $\vec{B}_{\text{ГМП}}$.

При воздействии ОМП выходной сигнал датчика определяется следующим выражением:

$$U_i = k_i \cdot |\vec{B}_{\text{ГМП}}| \cdot \cos \rho_{\text{ГМП}i} + k_i \cdot |\vec{B}_{\text{СКГ}}| \cdot \cos \rho_{\text{СКГ}i} + U_{i0}, \quad (4)$$

где $\rho_{\text{СКГ}i}$ – угол между вектором оси чувствительности и вектором $\vec{B}_{\text{СКГ}}$. Полученное выражение представляет собой сумму двух составляющих, которые являются проекциями двух векторов магнитных полей (ГМП и ОМП). Первое слагаемое является константой, поэтому последнее соотношение с учетом постоянства U_{i0} целесообразно представить в следующем виде:

$$U_i = k_i \cdot |\vec{B}_{\text{СКГ}}| \cdot \cos \rho_{\text{СКГ}i} + \text{const}. \quad (5)$$

При поочередном воздействии на i -датчик векторов ОМП различных величин и направлений выражения выходного сигнала запишутся соответственно:

$$U_{i(1)} = k_i \cdot |\vec{B}_{\text{СКГ}(1)}| \cdot \cos \rho_{\text{СКГ}i(1)} + \text{const}, \quad (6)$$

$$U_{i(2)} = k_i \cdot |\vec{B}_{\text{СКГ}(2)}| \cdot \cos \rho_{\text{СКГ}i(2)} + \text{const}. \quad (7)$$

При сохранении направления вектора ОМП постоянным в обоих случаях и совпадении его с осью чувствительности датчика, величины $\rho_{\text{СКГ}i}$ в обоих случаях равны 1. С учетом этого после вычитания выражения (6) из (7) получается следующее равенство, определяющее коэффициент k_i :

$$k_i = \frac{U_{i(2)} - U_{i(1)}}{|\vec{B}_{\text{СКГ}(2)}| - |\vec{B}_{\text{СКГ}(1)}|}. \quad (8)$$

Полученные выражения представляют собой статическую математическую модель ИнП на основе ТМ, которая определяет взаимосвязь выходных сигналов трехкомпонентного магнитометра с параметрами геомагнитного и дискретно управляемых опорных магнитных полей и индивидуальными параметрами ТМ.

Сигналы с магнитометров в составе ИнП необходимы для определения азимутального угла по формуле:

$$\alpha = \arctg \frac{-B_x \cdot \sin \varphi - B_y \cdot \cos \varphi}{(B_x \cdot \cos \varphi - B_y \cdot \sin \varphi) \cdot \cos \theta + B_z \cdot \sin \theta}, \quad (9)$$

где B_x, B_y, B_z – измеренные проекции индукции магнитного поля [мкТл] при известных зенитном θ и визирном φ углах. На его основе известно

выражение, связывающее погрешность определения азимута $\Delta\alpha$ с погрешностью измерения проекций магнитного поля ΔB :

$$|\Delta\alpha| = \frac{\sqrt{5}}{|\cos v|} \cdot \Delta B, \quad (10)$$

где v – угол магнитного наклонения для конкретной широты местности. Следует отметить, что для получения этого выражения было принято допущение об одинаковой погрешности измерения проекций $\Delta B_x = \Delta B_y = \Delta B_z = \Delta B$.

С учетом того, что углы α_{zy} , α_{zx} одного порядка, равно как и погрешность их определения в процессе экспериментальных исследований ИнП, можно принять следующее допущение: $\alpha_{zy} = \alpha_{zx} = \gamma$, $\Delta\alpha_{zx} = \Delta\alpha_{zy} = \Delta\gamma$. Тогда, окончательно выражение погрешности вычисления азимутального угла примет следующий вид:

$$\Delta B = B' \cdot \left[-\frac{1}{k^2 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma}} \cdot \Delta k - \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma}{k \cdot \cos^2 \gamma} \cdot (1 + 2 \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma)^{-3/2} \cdot \Delta \gamma \right]. \quad (11)$$

При анализе выражения (11) можно сделать следующие выводы:

1. при допущении, что $\Delta\gamma = 0^\circ$, и подстановке частных значений $k = 0,035$ В/мкТл и $\gamma = 1^\circ$ вытекает требование к максимальной относительной погрешности определения $\Delta k/k \leq 0,43\%$;

2. при допущении, что $\Delta k = 0$ В/мкТл, и подстановке вышеуказанных номинальных значений для k и γ вытекает требование к максимальной погрешности определения $\Delta\gamma/\gamma \leq 1\%$.

В третьей главе произведен обзор и анализ известных систем контурных токов, с помощью которых создаются генераторы опорных магнитных полей. К ним принадлежат системы Гельмгольца, Максвелла, Браунбека и Гаррета. Однако, среди систем, обеспечивающих высокую и достаточную степень однородности генерируемого ОМП в заданном объеме (до 0,001%), кольца Гельмгольца получили наиболее широкое распространение.

Индукция поля B_i , генерируемого каждой парой КГ, определяется следующим выражением:

$$\vec{B}_i = \mu \cdot \mu_0 \cdot H = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{I \cdot w}{R} \cdot (1 + \alpha^2)^{-3/2}, \quad (12)$$

где μ – относительная магнитная проницаемость окружающей среды; μ_0 – магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.; I – ток через катушку Гельмгольца; w – количество витков одного кольца катушки Гельмгольца;

R – радиус кольца; α – отношение расстояния от центра пары КГ до точки измерения индукции к радиусу кольца.

На основе КГ предложены различные варианты построения дискретно управляемых генераторов ОМП с возможностью изменения величины и направления индукции поля. Одним из вариантов подобного рода систем является двухфазная система колец Гельмгольца (СКГ). Она предназначена для создания ОМП в плоскости и представляет собой две пары перпендикулярно расположенных КГ.

На рисунке 2 представлена структура системы на базе квадратурных колец, в которой с помощью управляемых коммутаторов УК-1(x,y) и УК-2(x,y) по управляющим сигналам $Q_{1x(1y)}$ и $Q_{2x(2y)}$ дискретно изменяется направление постоянного тока в КГ.

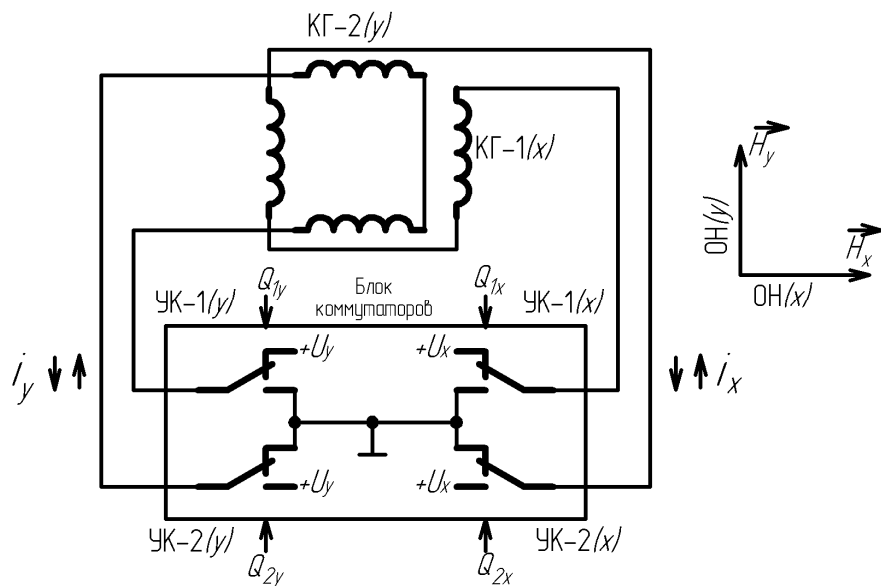


Рисунок 2 – Структура двухфазной дискретно управляемой системы генерирования ОМП

Векторные диаграммы работы двухфазной системы представлены на рисунке 3, а внешний вид – на рисунке 4.

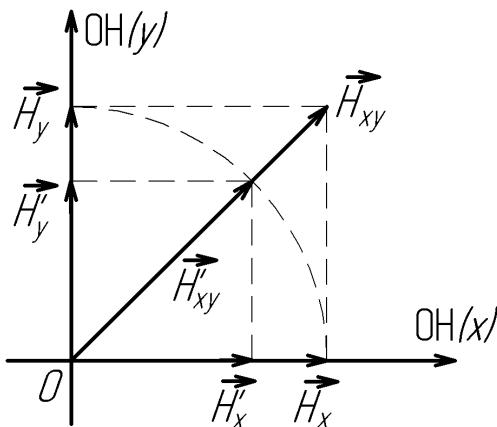


Рисунок 3 – Векторные диаграммы работы двухфазной системы

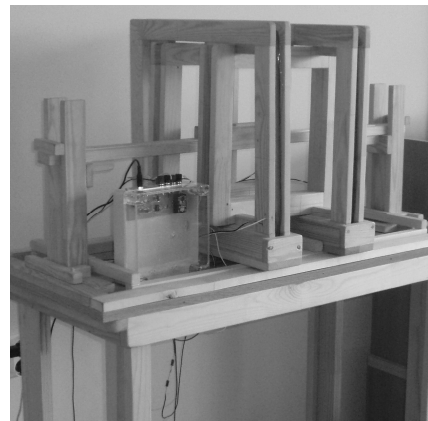


Рисунок 4 – Внешний вид двухфазной системы

Каждая пара КГ-1(x) и КГ-1(y), включенная отдельно, создает напряженность ОМП H_x и H_y соответственно. При одновременном протекании токов i_x и i_y через катушки создается поле, направление вектора напряженности которого зависит от соотношения этих токов.

На рисунке 3 представлены векторные диаграммы результирующих напряженностей индуктируемого магнитного поля в плоскости осей намагничивания КГ-1(x) и КГ-2(y).

При этом возможны два алгоритма функционирования системы. Первый предполагает поочередное включение катушек по оси Ox и Oy в прямом и обратном направлениях. ОН(x), ОН(y) – оси намагничивания, создаваемые парами КГ-1(x) и КГ-2(y) соответственно. Второй алгоритм функционирования предполагает «перекрытие» диапазонов (токи i_{x2} и i_{y2}). Этому режиму соответствует восемь дискретных положений результирующего вектора.

Другим вариантом построения систем генерирования ОМП является трехфазная СКГ, структура которой представлена на рисунке 5. Индуктор состоит из источника опорного напряжения (ИОН), управляемых коммутаторов УК, катушек w_A , w_B , w_C и токозадающих резисторов. ИОН через УК-1, УК-2 и УК-3 подключается к катушкам w_A , w_B , w_C соответственно. Векторные диаграммы представлены на рисунке 6.

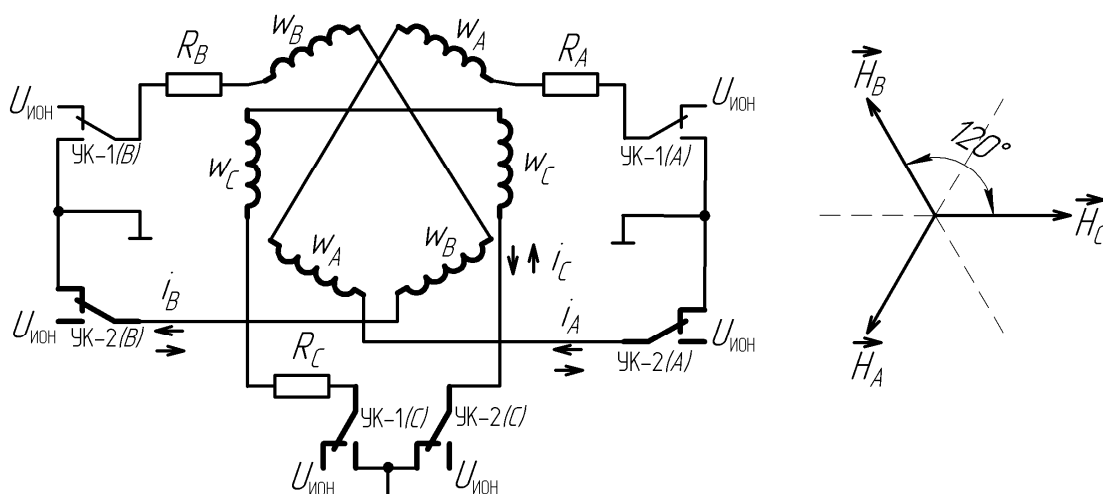


Рисунок 5 – Структура трехфазной дискретно управляемой системы генерирования ОМП

На рисунке 7 представлена схема СКГ, состоящая из трех взаимно перпендикулярных идентичных пар КГ $_x$, КГ $_y$, КГ $_z$, а также ИнП (инклинометр), внутри которого размещается ТМ, подвергаемый экспериментальным исследованиям.

Согласно принципу суперпозиции индукция магнитного поля $\vec{B}_{СКГ}$, генерируемого тремя КГ, определяется соотношением:

$$\vec{B}_{СКГ} = \vec{B}_x + \vec{B}_y + \vec{B}_z, \quad (13)$$

где $\vec{B}_x$, $\vec{B}_y$, $\vec{B}_z$ – векторы магнитной индукции, наводимые парами КГ_x, КГ_y, КГ_z соответственно и вычисляемые с помощью выражения (12).

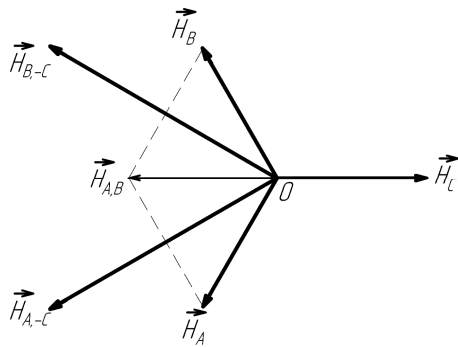


Рисунок 6 – Векторные диаграммы работы трехфазной системы

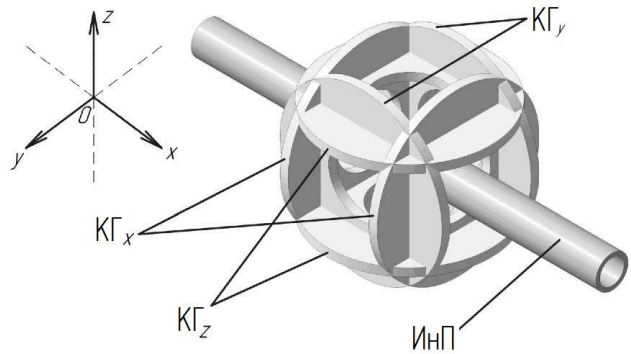


Рисунок 7 – Компоновка пространственной системы генерирования ОМП

На основе предложенной пространственной СКГ разработана автоматизированная система для генерирования ОМП и контроля его параметров, структура которой представлена на рисунке 8.

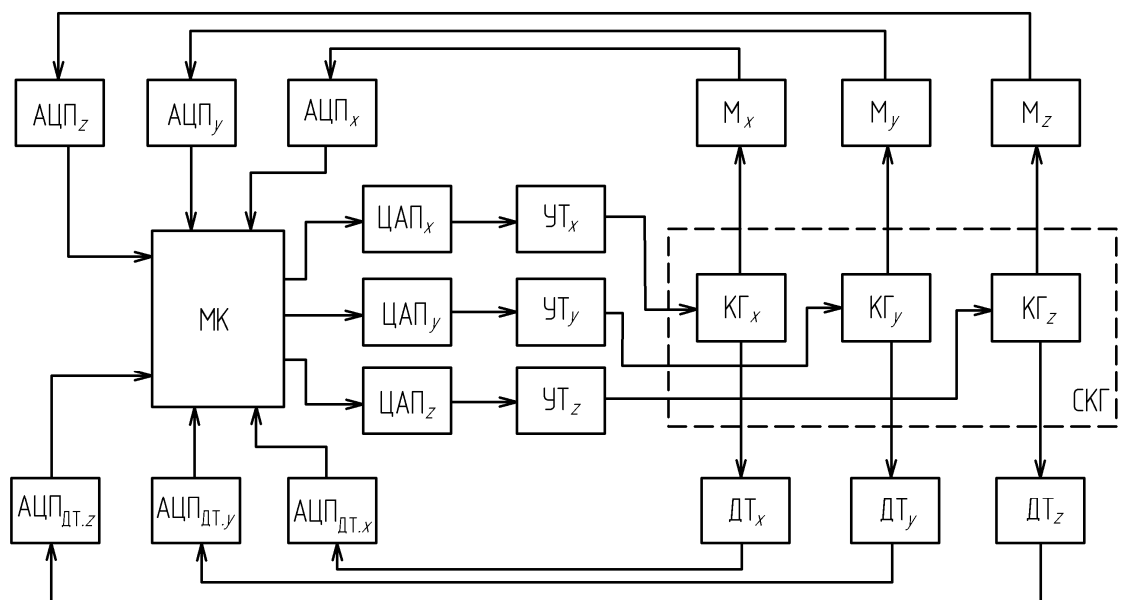


Рисунок 8 – Структура автоматизированной системы для проведения экспериментальных исследований ИнП

Принцип ее работы заключается в следующем. Микроконтроллер МК вырабатывает управляющие коды для цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП). Усилители тока (УТ) масштабируют до необходимого уровня и

создают токи в СКГ. Напряженность суммарного магнитного поля, наводимого системой СКГ, и геомагнитного поля фиксируется каждым датчиком в составе ТМ. Кроме того, в цепи каждой пары КГ установлено по одному датчику тока (ДТ), показания которых (равно как и показания магнитометров) оцифровываются с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и передаются в МК. Следовательно, по показаниям ДТ однозначно определяется вектор напряженности магнитного поля, наводимого СКГ. Необходимость их использования обусловлена возможным дрейфом УТ, а также изменением сопротивления катушек, которое зависит как от температуры окружающей среды, так и от протекающих токов.

Таким образом, с помощью разработанной системы можно осуществлять программно управляемое генерирование ОМП с произвольным направлением вектора индукции.

Разработано программно-алгоритмическое обеспечение для автоматизированного проведения экспериментальных исследований ИнП, основанной на полученных математических моделях и предложенной аппаратной реализации установки. На рисунке 9 представлены структуры обобщенного алгоритма определения параметров ТМ в процессе экспериментальных исследований.

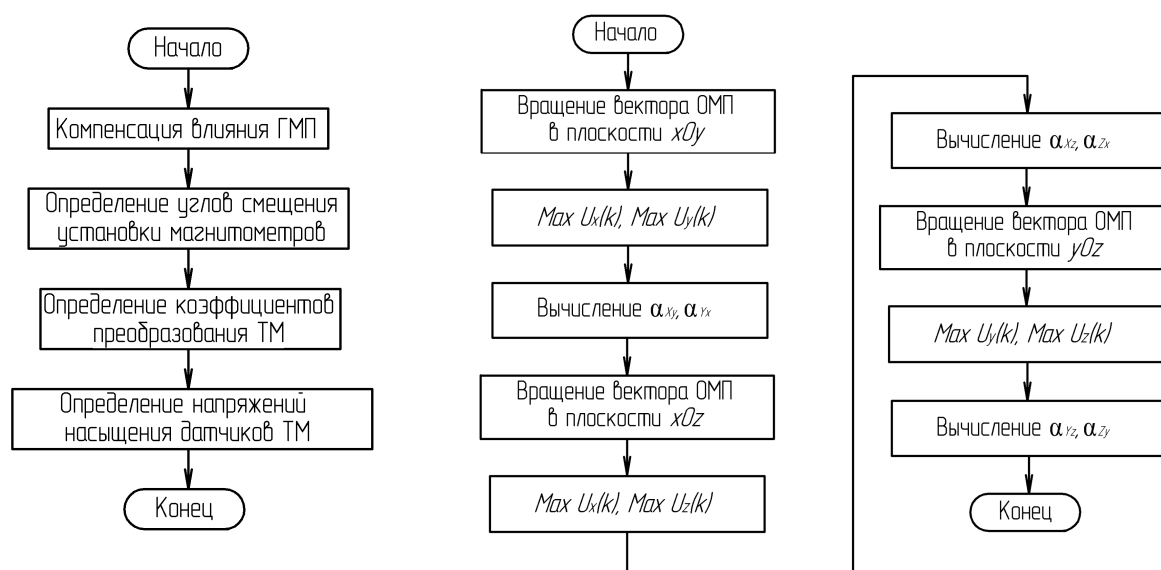


Рисунок 9 – Структуры обобщенного алгоритма экспериментальных исследований ИнП и определения углов смещения осей чувствительности магнитометров

Разработана методика экспериментальных исследований ИнП в автоматическом режиме.

В четвертой главе проводятся экспериментальные исследования ИнП с трехкомпонентными магнитометрами. Эти исследования состоят из двух этапов. К первому относится проведение моделирования процесса, представляющее собой вычислительный эксперимент, на основе

программного обеспечения для ПЭВМ. Второй этап заключается в проведении натурных испытаний, в ходе которого производятся экспериментальные исследования ИнП с использованием традиционной и предложенной методик и сравнение полученных результатов.

Результаты экспериментальных исследований занесены в таблицы.

Таблица 1. Углы смещения осей чувствительности датчиков трехкомпонентных магнитометров, определенные по традиционной методике и с помощью предлагаемого программно-аппаратного комплекса на основе СКГ

Углы смещения	По традиционной методике (A_t), град.	С помощью предлагаемой СКГ ($A_{СКГ}$), град.	$(A_{СКГ} - A_t) / A_t \cdot 100, \%$
α_{Xy}	0,533	0,501	-6,0
α_{Xz}	-0,189	-0,197	4,2
α_{Yx}	0,481	0,457	-5,0
α_{Yz}	0,103	0,095	-7,8
α_{Zx}	0,149	0,159	6,7
α_{Zy}	-0,647	-0,699	8,0

Таблица 2. Коэффициенты преобразования датчиков трехкомпонентных магнитометров, определенные по традиционной методике и с помощью предлагаемого программно-аппаратного комплекса на основе СКГ

Коэффициенты преобразования	По традиционной методике (A_t), В/мкТл	С помощью предлагаемой СКГ ($A_{СКГ}$), В/мкТл	$(A_{СКГ} - A_t) / A_t \cdot 100, \%$
k_x	0,047	0,044	-6,4
k_y	0,041	0,039	-4,9
k_z	0,038	0,041	7,9

Таблица 3. Значения напряжения насыщения датчиков трехкомпонентных магнитометров, определенные по традиционной методике и с помощью предлагаемого программно-аппаратного комплекса на основе СКГ

Напряжения насыщения	По традиционной методике (A_t), В	С помощью предлагаемой СКГ ($A_{СКГ}$), В	$(A_{СКГ} - A_t) / A_t \cdot 100, \%$
$U_{x(+)}$	4,962	4,815	-3,0
$U_{x(-)}$	-5,014	-5,195	3,6
$U_{y(+)}$	5,113	4,913	-3,9
$U_{y(-)}$	-5,009	-4,787	-4,4
$U_{z(+)}$	5,097	4,924	-3,4
$U_{z(-)}$	-4,867	-4,633	-4,8

Заключение

1. Проведены обзор и анализ технической литературы, в результате которых выявлены достижения в области построения инклинометрической аппаратуры, тенденции и проблемы ее дальнейшего развития. Определены технические задачи, решение которых необходимо для совершенствования инклинометрической аппаратуры. Установлено, что среди этих задач ведущее положение занимает развитие теории экспериментальных исследований инклинометрических преобразователей в плане повышения эффективности их проведения.

2. Разработаны математические модели, отдельно учитывающие влияние геомагнитного и опорного магнитных полей. Они составляют фундаментальную основу методического и алгоритмического обеспечения и позволяют производить экспериментальные исследования ИнП в программно управляемых магнитных полях независимо от окружающей магнитной обстановки.

3. На основе разработанных математических моделей получены аналитические зависимости погрешности ИнП. Согласно требованиям к погрешности измерения азимутального угла установлено, что максимально допустимые значения относительной погрешности определения должны составлять по углам смещения оси чувствительности не более 1%, а по коэффициентам преобразования – не более 0,43%.

4. Разработан аппаратно-методический комплекс и алгоритмическое обеспечение для экспериментальных исследований инклинометрических преобразователей без применения дорогостоящего оборудования. Использование этой разработки позволяет сократить время проведения экспериментальных исследований ИнП в 10 раз и более. Показано, что значения основных параметров магнитных датчиков, измеренные с помощью разработанного комплекса и с помощью традиционных установок, отличаются не более, чем на 8%. Программное обеспечение зарегистрировано в «РОСПАТЕНТ».

5. Результаты работы, внедренные в ЗАО «ТехноБурСервис» (г. Нижневартовск), ООО «Телекоммуникации ГА» (г. Уфа), обеспечивают повышенную эффективность проведения экспериментальных исследований ИнП по сравнению с традиционными установками и методиками. Также результаты диссертации используются в изучении профильных дисциплин, курсовом и дипломном проектировании на кафедре промышленной электроники ФГБОУ ВПО УГАТУ.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК

1. Ломаев Г.В., Миловзоров А.Г., Шапошников А.М. О построении феррозондовой магнитометрической аппаратуры // Вестник ИжГТУ. – 2009. № 4. С. 122-125.

2. Миловзоров Г.В., Шапошников А.М., Жияев Ю.П., Миловзоров А.Г. Программно-управляемые системы генерирования вращающихся магнитных полей // Вестник УГАТУ. – 2010. Т.14, №1 (36). С. 56-61.

3. Миловзоров Г.В., Шапошников А.М., Жияев Ю.П., Миловзоров Д.Г. Программно-аппаратный комплекс для автоматизированной калибровки инклинометрических преобразователей с феррозондовыми датчиками // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. №5. С. 61-65.

В других изданиях

4. Жияев Ю.П., Яковлев С.М., Шапошников А.М. Миловзоров Г.В. Особенности построения и функционирования в реальном времени забойной инклинометрической системы «Геопласт» // Электронные устройства и системы: Сб.науч.тр. – Уфа: УГАТУ, 2008. С. 187-191.

5. Шапошников А.М., Миловзоров А.Г. Дискретно управляемая система генерирования вращающегося магнитного поля // Электронные устройства и системы: Сб.науч.тр. – Уфа: УГАТУ, 2008. С. 79-84.

6. Жияев Ю.П., Яковлев С.М., Шапошников А.М. Забойная инклинометрическая система реального времени «Геопласт» // Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин: Материалы научно-практической конференции – Уфа: Геофизика, 2008. С. 193-194.

7. Шапошников А.М., Миловзоров А.Г. Трехфазный индуктор вращающегося магнитного поля с дискретно-релейными режимами управления // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Сб.науч.тр. – Уфа: УГАТУ, 2008. С. 268-271.

8. Шапошников А.М. Особенности алгоритмического обеспечения для калибровки трехкомпонентного феррозондового геомагнитометра инклинометрической системы // Актуальные проблемы науки и техники: Сб.науч.тр. – Уфа: УГАТУ, 2009. Т.2. С. 404-407.

9. Шапошников А.М., Миловзоров А.Г. Измерение параметров магнитных датчиков инклинометров с помощью системы пар колец Гельмгольца // Электроника, автоматика и измерительные системы: Сб.науч.тр. – Уфа: УГАТУ, 2009. С. 50-55.

10. Жияев Ю.П., Яковлев С.М., Миловзоров Г.В., Шапошников А.М. Забойная скважинная система реального времени «Геопласт-35ИГ» // Новые достижения в технике и технологии геофизических исследований скважин: Материалы конференции. – Уфа: Геофизика, 2009. С. 211-212.

11. Шапошников А.М., Миловзоров А.Г., Жияев Ю.П. Программно-аппаратная система генерации вращающихся магнитных полей и контроля их параметров на базе системы пар колец Гельмгольца // Измерение, контроль, информатизация: Материалы конференции. – Барнаул: АлтГТУ, 2009. С. 202-203.

12. Жилиев Ю.П., Яковлев С.М., Миловзоров Г.В., Шапошников А.М. Семейство забойных телеметрических приборов «Геопласт» для MWD/DWD-систем наклонно-направленного бурения // Электронные устройства и системы: Сб.науч.тр. – Уфа: УГАТУ, 2010. С. 117-121.

13. Шапошников А.М. Особенности калибровки трехкомпонентного магнитометра в опорном магнитном поле // Пятая всероссийская зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых: Сб.науч.тр. – Уфа: УГАТУ, 2010. Т.1. С. 331-334.

14. Миловзоров Г.В., Шапошников А.М. Моделирование калибровки трехкомпонентного геомагнитометра, основанной на применении системы колец Гельмгольца // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010613391. – М.: РосАПО, 2010.

15. Миловзоров Г.В., Жилиев Ю.П., Шапошников А.М. Современное состояние и основные тенденции развития забойных геонавигационных систем // Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ-2010»: Материалы международной научной конференции. – Астрахань: Астраханский университет, 2010. Т.2. С. 5-6.

16. Шапошников А.М. Система генерирования вращающихся магнитных полей на базе системы колец Гельмгольца // XVIII Туполевские чтения: Материалы конференции. – Казань: КГТУ, 2010. Т. 5. С. 304.

17. Шапошников А.М. Методика автокомпенсации геомагнитного поля при калибровке трехкомпонентного магнитометра // Мавлютовские чтения: Сб. науч. тр. – Уфа: УГАТУ, 2010. Т.2. С. 117-118.

18. Шапошников А.М., Миловзоров А.Г. Система калибровки феррозондов навигационных систем на базе генератора вращающихся опорных магнитных полей // Магнитные явления: Сб.науч.тр. – Ижевск: ИжГТУ, 2011. С.59-64.

Диссертант

А.М. Шапошников

ШАПОШНИКОВ Александр Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ТРЕХКОМПОНЕНТНЫМИ
МАГНИТОМЕТРАМИ В ПРОГРАММНО УПРАВЛЯЕМЫХ
МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати _____ г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № _____

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12.