

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. О. СУХОГО»**

УДК 621.313.333

Веппер Леонид Владимирович

**АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ ОДНОФАЗНОГО
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и
систем управления

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Гомель 2001

Работа выполнена на кафедре «Автоматизированный электропривод» Учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого».

- Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Тодарев В.В.
- Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Кузнецов А.П.
кандидат технических наук,
доцент Грачев С.А.
- Оппонирующая организация: Белорусская государственная
политехническая академия

Защита состоится 30 ноября 2001 г. в 10-00 на заседании совета по защите диссертаций К 02.13.01 в Учреждении образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого» по адресу: 246746, г. Гомель, пр-т Октября, 48, корп. 1, ауд. 516, Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого».

А. Храбров

сентябрь 2001 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Колебательное (возвратно-вращательное) движение рабочего органа используется во множестве рабочих машин и механизмов: испытательные стенды на вибрацию электронных узлов, корпусов и пружин; на стирание, сгиб-разгиб, разматывание-наматывание микрокабелей, тросиков, канатиков, корда; миксеры; стиральные машины; станки-качалки; спортивные вибростимуляторы; притирочные, шлифовальные, галтовочные обрабатывающие станки и т. д.

Наиболее распространенным электроприводом возвратно-вращательного движения является электропривод вращательного движения в котором используются либо механические преобразователи (редукторы), либо переключатели полярности или фазы напряжения питания электродвигателя для реверсирования направления вращения.

Использование редукторов ведет к потерям до 30 % мощности приводного электродвигателя, а применение переключателей приводит к жесткому реверсу, сопровождающемуся электрическими и механическими ударами, что снижает долговечность электропривода и рабочей машины в целом, а также ухудшает качество технологического процесса.

Отсюда ясна актуальность создания безредукторного электропривода возвратно-вращательного движения с мягким реверсом.

Такой электропривод позволит не только уменьшить металлоемкость и исключить электромеханические удары в рабочей машине, но и осуществить плавное оперативное регулирование частоты и амплитуды реверса, облегчить интеграцию привода с рабочим инструментом, улучшить динамические и энергетические показатели, а значит повысить производительность рабочей машины и качество продукции.

Интерес к отказу от "старт-стопного" (жесткого) реверса в пользу "синусного" (мягкого) в последнее время усиливается, что можно заметить по увеличению числа патентов на данную тему в Японии (Пат. 49-8565 и 49-8566), США (Пат. 3881 139), ФРГ (Пат. 1463612), Англии (Пат. 946155), Франции (Пат. 2050702).

Работы по созданию теории и практическому внедрению безредукторных электроприводов мягкого колебательного движения ранее основывались на получении качающегося магнитного поля в воздушном зазоре асинхронного электродвигателя или электрической машины двойного питания.

Такой подход реализовывался с помощью достаточно сложных мощных электронных блоков, осуществлявших модуляцию по амплитуде, фазе или частоте сетевого напряжения электропитания обмоток электродвигателя.

В данной работе предлагается совершенно новый принцип построения колебательного электропривода, основанный на обеспечении условий

возникновения устойчивого автоколебательного режима работы его силового электромеханического узла "асинхронный электродвигатель – упругий элемент".

В таком варианте автоколебательный электропривод чрезвычайно просто исполняется, поскольку для его реализации достаточно обмотки общепромышленного асинхронного электродвигателя (АД) подключить к однофазной электросети, а на валу разместить пружину или маятник (дисбаланс).

Однако введение пружинного или маятникового упругого элемента приводит к следующим бифуркациям движения вала АД:

- устойчивое или неустойчивое нулевое положение равновесия;
- устойчивый или неустойчивый автоколебательный цикл;
- смещение нейтралей колебаний;
- вращение.

Следовательно, для развития и внедрения автоколебательных электроприводов, как нового перспективного класса безредукторных приводов колебательного движения, актуальным становится исследование автоколебаний его силового элемента, состоящего из однофазного асинхронного электродвигателя и размещенных на его валу пружины или маятника.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в соответствии с темами научно-исследовательских работ кафедры "Автоматизированный электропривод" Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого № Гос. рег. 1996569 "Гиперкомплексный метод анализа и синтеза автоматизированных электроприводов на несущей переменного тока" и № Гос. рег. 1998838 "Анализ и синтез автоколебательных процессов в электромеханических системах с периодической нелинейностью".

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключается в определении и исследовании условий возникновения, устойчивости и бифуркаций автоколебаний в однофазном асинхронном электродвигателе с пружиной или маятником на валу и разработке методики его выбора в качестве силового элемента автоколебательной электромеханической системы управления.

Для достижения этой цели потребовалось решить следующие задачи:

– получить дифференциальное уравнение движения асинхронного однофазного электродвигателя с пружинно-маятниковой упругостью и силами нагрузки сухим и жидкостным трением;

– аналитическим исследованием установить соотношения между параметрами электропитания, электродвигателя, упругости и нагрузки для условий возникновения, устойчивости, управляемости и бифуркаций автоколебательного процесса;

- разработать математическое и программное обеспечение инженерной методики выбора асинхронного электродвигателя как силового элемента автоколебательного автоматизированного электропривода;
- произвести экспериментальную проверку теоретических результатов на адекватность реальным физическим процессам;
- осуществить разработку и внедрение испытательного стенда пружинных подвесок на основе автоколебательного асинхронного электродвигателя.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является безредукторный колебательный асинхронный электропривод, а предметом исследования – силовой элемент автоколебательной электромеханической системы управления, состоящий из однофазного асинхронного электродвигателя с пружиной или (и) маятником (дисбалансом) на его валу.

Гипотеза. Предполагалось, что определение условий возникновения, устойчивости и бифуркаций автоколебательного движения электромеханической системы "однофазный асинхронный электродвигатель – упругий элемент" позволит получить научно обоснованные рекомендации для построения нового перспективного класса безредукторных электроприводов колебательного движения.

Методология и методы проведения исследования. При аналитическом исследовании автоколебательного режима однофазного асинхронного электродвигателя использовались традиционные методы интегрального и дифференциального исчисления и теории автоматического управления. Численный анализ осуществлялся на компьютере с использованием оригинальной программы, разработанной автором. Подтверждение достоверности результатов, полученных теоретически, проводилось экспериментальными исследованиями на испытательном стенде пружин, внедренном в производство и учебный процесс.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Обобщены схемы функционально-структурной организации силовой части автоколебательных электромеханических систем и определены наиболее перспективные для привода рабочих органов машин в колебательное движение.

Найдена наиболее точная аналитическая аппроксимация механической характеристики трехфазного асинхронного электродвигателя с обмотками, пересоединенными для включения в однофазную электросеть, как с повышенным, так и пониженным критическим скольжением.

Получены в канонической форме новые дифференциальные уравнения движения системы "однофазный асинхронный электродвигатель – упругий элемент" при суммарной нагрузке сухим и жидкостным трением и реализации упругого элемента линейной пружиной или (и) маятником.

Впервые найдены критериальные аналитические соотношения между параметрами электросети, электродвигателя, пружины, маятника и нагрузки сухим и жидкостным трением, определяющие условия возникнове-

ния, устойчивости, управляемости и бифуркаций автоколебательного процесса в системе как при пружинном, так и при маятниковом упругом элементе.

Разработано новое математическое и программное обеспечение методики выбора общепромышленного трехфазного электродвигателя в качестве силового элемента автоколебательной электромеханической системы управления.

Численным исследованием установлена область предельных значений нагрузок, при которых сохраняется устойчивый автоколебательный режим с регулируемой частотой и амплитудой колебаний.

Практическая и экономическая значимость полученных результатов. Практическая значимость работы заключается в разработке новой реализации силового элемента автоколебательной системы на основе однофазного асинхронного электродвигателя, полученного за счет переключения статорных обмоток в трехфазном электродвигателе, с маятником (дисбалансом) на валу; инженерной методики синтеза автоколебательной электромеханической системы; программного обеспечения анализа и синтеза автоколебательного силового элемента; замкнутой автоматической системы управления автоколебаниями; испытательного стенда.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, полученные в работе, внедрены на Гомельском заводе самоходных комбайнов и в МХАП "Облагропромэнерго", используются при чтении лекций по основам математического моделирования и в лабораторном практикуме по специальным электрическим машинам учебного плана подготовки студентов специальности Т.11.02.00 – "Автоматизированный электропривод" в Гомельском государственном техническом университете имени П. О. Сухого.

Экономическая значимость работы заключается в существенном упрощении реализации колебательных электроприводов при условии использования в них автоколебательной силовой части из общепромышленного трехфазного электродвигателя с маятником на валу, что позволяет повысить их надежность при увеличении материал- и энергосбережения.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. Автором защищаются:

1. Новый принцип построения асинхронного колебательного электропривода, основанный на обеспечении условий возникновения устойчивого автоколебательного режима работы трехфазного асинхронного электродвигателя при однофазном включении в сеть и размещении на его валу маятника (дисбаланса) или (и) пружины.

2. Математические модели движения системы "однофазный асинхронный электродвигатель – упругий элемент" при суммарной нагрузке сухим и жидкостным трением.

3. Критериальные аналитические соотношения между параметрами электросети, электродвигателя, пружины, маятника и нагрузки, определяющие условия возникновения, устойчивости, управляемости и бифуркаций автоколебательного процесса в системе как при пружинном, так и при маятниковом упругом элементе.

4. Инженерная методика синтеза автоколебательной электромеханической системы упомянутого типа.

5. Схемные реализации автоколебательного испытательного стенда с разомкнутой и замкнутой системами управления.

Личный вклад соискателя. Научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены лично соискателем или при его участии.

Гипотеза и общие направления исследований были реализованы при участии научного руководителя.

Апробация результатов диссертации. Материалы диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительный отзыв на:

– краевой научно-технической конференции "Автоматизация электроприводов и оптимизация режимов электропотребления" (г. Красноярск, 1985 г.);

– 51-й научно-технической конференции "Состояние и перспективы развития науки и подготовки инженеров высокой квалификации в БГПА" (г. Минск, 1996 г.);

– межвузовской конференции аспирантов и студентов ГКИ – ГПИ (г. Гомель, 1997 г.);

– международной научно-технической конференции "Технические ВУЗы – республике" (г. Минск, 1997 г.);

– международной научно-технической конференции "Современные проблемы машиноведения" (г. Гомель, 1998 г.; г. Гомель, 2000 г.);

– межкафедральном семинаре "Энергетика и промышленная электроника" ГГТУ им. П.О. Сухого в 1996 – 2001 гг.

Опубликованность результатов. Результаты выполненных исследований опубликованы в одной статье научного журнала Российской Федерации, двух статьях научного журнала Республики Беларусь, двух статьях ВУзовских сборников, четырех статьях материалов международных конференций, четырех тезисах докладов. Проведена предварительная экспертиза одной заявки на изобретение.

Общее количество опубликованных материалов составляет 41 страницу.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, двух приложений. Полный объем составляет 96 страниц, в том числе 29 рисунков на 26 страницах, 6 таблиц на 6 страницах, 2 приложения на 8 страницах и список из 58 использованных источников на 4 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы исследования автоколебательного режима работы асинхронного электродвигателя с упругостью на валу, как силового элемента нового класса безредукторных электроприводов колебательного движения.

В общей характеристике работы обоснована актуальность темы, ее связь с научно-исследовательскими работами кафедры "Автоматизированный электропривод" ГГТУ им. П.О. Сухого, сформулированы цели и задачи исследования, представлена научная новизна, практическая и экономическая значимость полученных результатов, перечислены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена изучению современного состояния и перспективам развития электроприводов колебательного движения. В ней приведен сравнительный анализ существующих принципов получения колебательного движения в электродвигателях и показана перспективность по простоте и эффективности реализации использования автоколебательного режима работы общепромышленного трехфазного асинхронного электродвигателя с пересоединением обмоток для подключения к однофазной электрической сети при расположении на его валу маятника или (и) пружины.

Сформулированы цель и задачи исследования, чем определены структура и общее содержание работы.

Во второй главе выводится уравнение движения автоколебательного однофазного асинхронного электродвигателя как с пружиной, так и с маятником на его валу.

Первоначально на основе критического сравнения возможных схем функционально-структурной организации силовой части автоколебательных электроприводов были выявлены две обобщенные схемы построения электромеханических автоколебательных узлов, отличающиеся взаимным расположением на выходном валу компенсатора реактивной механической энергии (пружина или маятник) и нагрузки.

Затем были определены наилучшие по сходимости с уравнением Клосса полиномиальные аналитические аппроксимации механической характеристики однофазного асинхронного электродвигателя, существенно уточняющие известную аппроксимацию Сюмека. Впервые были найдены аналитические выражения для коэффициентов аппроксимации характеристики общепромышленного трехфазного АД с повышенным и пониженным критическим скольжением в случае пересоединения его обмоток (рис. 1) для подключения к однофазной электрической сети с максимальной магнитодвижущей силой из 12 рассмотренных вариантов.

А далее на основе условия равновесия электромагнитного момента однофазного АД и нагружающих моментов было получено в абсолютных

переменных общее уравнение автоколебательного движения однофазного АД с маятником и пружиной на его валу

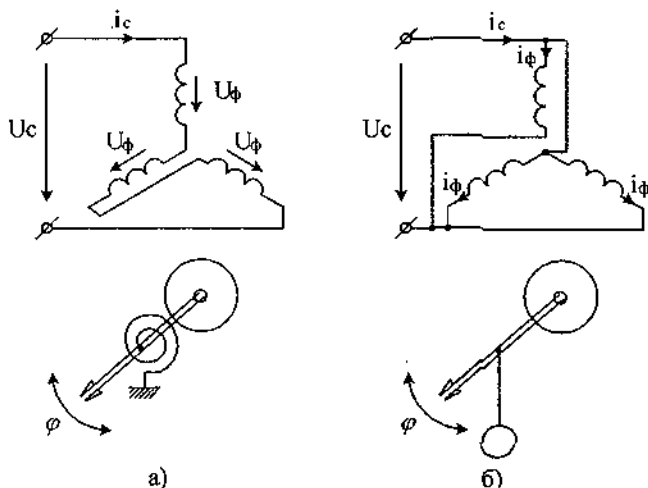


Рис. 1. Схемы автоколебательных асинхронных электродвигателей с пружиной (а) или маятником (б) на валу

$$\begin{aligned}
 & J_{\Sigma} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + H_{\Sigma} \frac{d\varphi}{dt} + M_{\text{тр}\Sigma} \text{Sign} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) + M_{\text{м}\Sigma} \sin \left(\frac{\varphi}{i} \right) + C_{\Sigma} \varphi = \\
 & = d_1 \frac{d\varphi}{dt} - d_2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^3 + d_3 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^5 - d_4 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^7,
 \end{aligned} \quad (1)$$

где φ – абсолютная угловая координата положения входного вала рабочей машины; J_{Σ} , H_{Σ} , $M_{\text{тр}\Sigma}$, $M_{\text{м}\Sigma}$, C_{Σ} – соответственно суммарные момент инерции, коэффициент демпфирования, момент сухого трения, маятниковый момент, коэффициенты жесткости ротора электродвигателя, маятника, пружины и нагрузки на валу; d_1 , d_2 , d_3 , d_4 – коэффициенты аппроксимации механической характеристики АД.

Это уравнение отличается от известных общностью нагрузки на валу АД и наличием ранее не рассматриваемой составляющей нагрузки от маятника.

Третья глава посвящена аналитическому исследованию уравнения движения (1), которое было "расщеплено" на два уравнения, описывающее

наличие на валу из упругих элементов только пружины ($C_{\Sigma} \neq 0$, $M_{\Sigma} = 0$) и только маятника ($C_{\Sigma} = 0$, $M_{\Sigma} \neq 0$).

В канонической форме записи в относительных переменных эти уравнения приняли вид

$$\ddot{\varphi} + \dot{\varphi} = -\mu_2 \cdot \text{Sign} \dot{\varphi} + (\mu_3 - \mu_4) \cdot \dot{\varphi} - \mu_4 \cdot \dot{\varphi}^3 + \mu_5 \cdot \dot{\varphi}^5 - \mu_6 \cdot \dot{\varphi}^7, \quad (2)$$

$$\ddot{\varphi} + \sin \varphi = -\mu_2 \cdot \text{Sign} \dot{\varphi} + (\mu_3 - \mu_4) \cdot \dot{\varphi} - \mu_4 \cdot \dot{\varphi}^3 + \mu_5 \cdot \dot{\varphi}^5 - \mu_6 \cdot \dot{\varphi}^7, \quad (3)$$

где φ , $\dot{\varphi}$, $\ddot{\varphi}$ – относительная угловая координата положения входного вала рабочей машины и ее первая (скорость) и вторая (ускорение) производные по относительному времени $\tau = \omega_0 t$; t – реальное текущее время; $\omega_0 = \sqrt{C_{\Sigma} \cdot J_{\Sigma}}$ – собственная частота колебаний; μ_1 , μ_2 – относительные коэффициенты, определяющие нагрузку жидкостным и сухим трением; μ_3 , μ_4 , μ_5 , μ_6 – относительные коэффициенты полиномиальной аппроксимации механической характеристики однофазного АД.

Видно принципиальное отличие левых частей уравнений (2) и (3), где представлены консервативные пары "момент инерции – угловая пружина" в уравнении (2) и "момент инерции – маятник" в (3). В первом случае позиционный момент пружины линейно зависит от координаты положения, а во втором позиционный момент маятника – синусоидально.

Эта разница предопределила поочередное исследование уравнений.

Методом Ван дер Поля были определены уравнения фазовых траекторий движения, которые для углов колебаний, меньших $\pi/2$, совпадают с точностью до 15 % для обоих уравнений (2) и (3).

Их анализом были найдены уравнения связи параметров электропитания, двигателя, пружины, маятника и нагрузки, определяющие условия равновесных состояний, наличия предельных циклов автоколебаний и их устойчивости, срыва во вращательное движение.

На рис. 2 и рис. 3 представлены бифуркационные диаграммы, представляющие области наличия и отсутствия предельных циклов автоколебаний как устойчивых, так и неустойчивых (отмечены крестиками).

В качестве бифуркационных параметров использованы следующие обобщенные величины:

$$\lambda_1 = \frac{\mu_3 - \mu_4}{\mu_4} \text{ – относительное суммарное демпфирование;}$$

$$\lambda_2 = \frac{\mu_2}{\mu_4} \text{ – относительное сухое трение;}$$

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{\pi^2}{12}} \cdot \frac{\lambda_1}{\sqrt[3]{\lambda_2}} - \text{относительная общая нагрузка};$$

$$\rho = \varphi_m \cdot \sqrt[3]{\frac{3\pi}{16\lambda_2}} - \text{относительная амплитуда колебаний}.$$

Анализ "маятникового" уравнения (3) методом Ван дер Поля, относящегося к методам малого параметра, при углах колебаний с амплитудой $\varphi_m > \pi/2$ не привел к успеху.

Поэтому был использован следующий подход: первоначально были найдены для начальных условий $\varphi_0, \dot{\varphi}_0$ (пусковое отклонение маятника и скорость толчка) уравнения фазовых траекторий свободных колебаний маятника, а затем эти уравнения были скорректированы с помощью интеграла, учитывающего влияние сил диссипации и электромагнитной подпитки.

Это позволило получить фазовые траектории движения нагруженно-го маятника с подпиткой от АД, которые в сравнении с фазовыми траекториями движения пружины приведены на рис. 4.

В целом проведенное аналитическое исследование уравнений (2, 3) позволило не только создать математическое обеспечение для синтеза (проектирования) силового элемента автоколебательного электропривода, но и получить ряд полезных для практики результатов:

– однофазный асинхронный электродвигатель с пружиной на валу имеет одно устойчивое положение равновесия, а с маятником на валу – несколько;

– условия наличия предельных циклов автоколебаний и их устойчивость при амплитуде колебаний не более $\pi/2$ одинаковы для пружинных и маятниковых колебательных ОАД;

– бифуркация автоколебаний во вращение в пружинном ОАД отсутствует, а в маятниковом возможна при пуске с начальными условиями

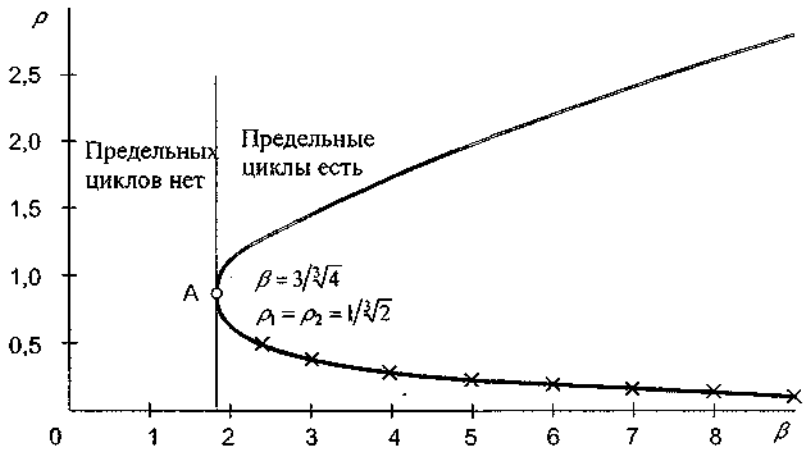
$$\frac{1}{4} \dot{\varphi}_0^2 + \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} > 1;$$

– условием запуска маятникового ОАД в автоколебания без срыва во вращение является отсутствие начального толчка ($\dot{\varphi}_0 = 0$) и наличие начального отклонения маятника φ_0 , определяемого неравенством

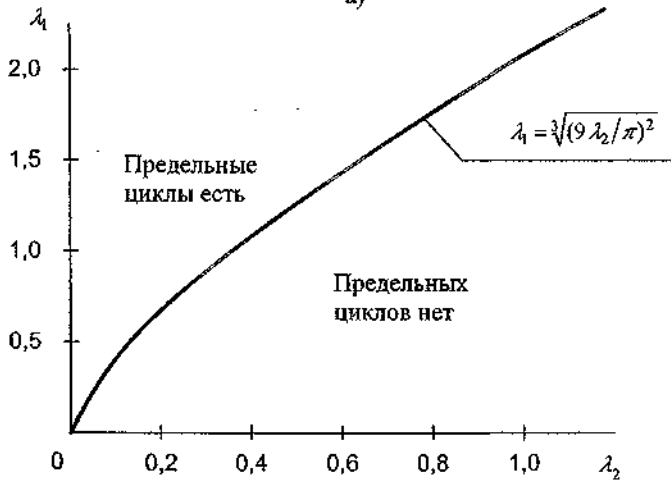
$$\sin^2 \frac{\varphi_0}{2} < 1;$$

– условием запуска маятникового ОАД во вращение является отсутствие начального отклонения маятника ($\varphi_0 = 0$) и наличие начального толчка со скоростью

$$\frac{1}{4} \dot{\varphi}_0^2 > 1.$$

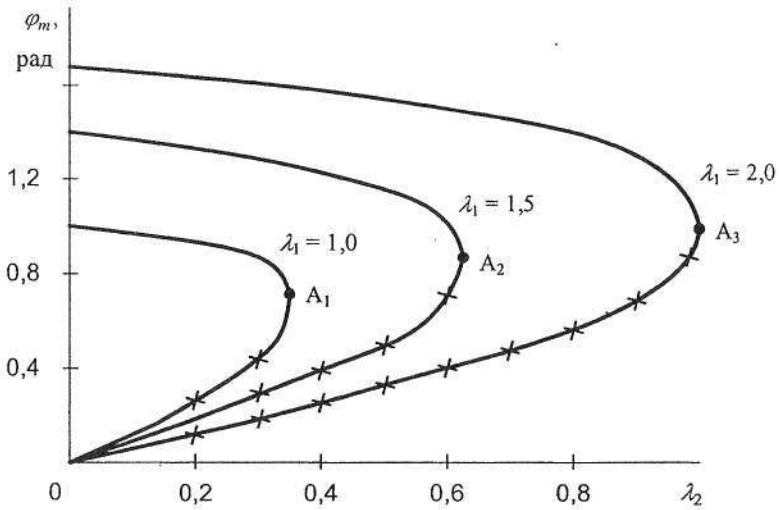


а)

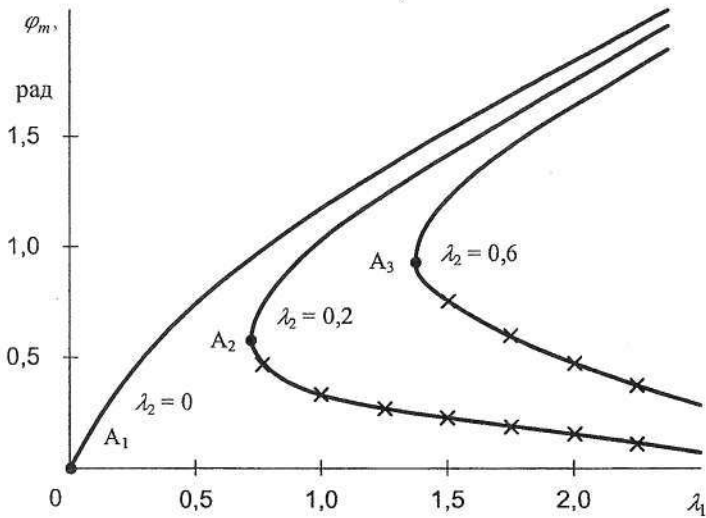


б)

Рис. 2. Бифуркационная диаграмма (а) и граница раздела существования и отсутствия предельных циклов автоколебаний (б) при пружинном и маятниково-пружинном КРЭ

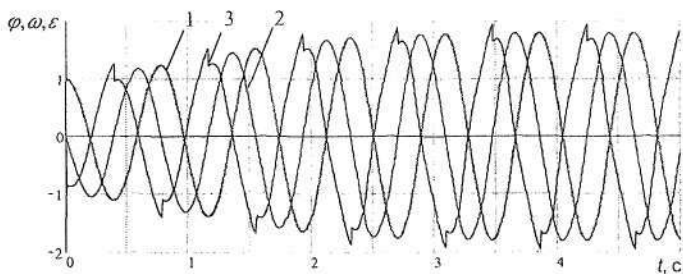


a)

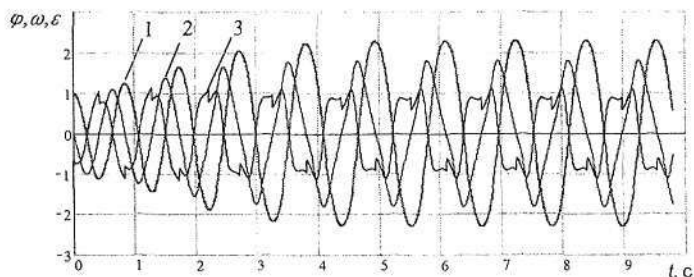


б)

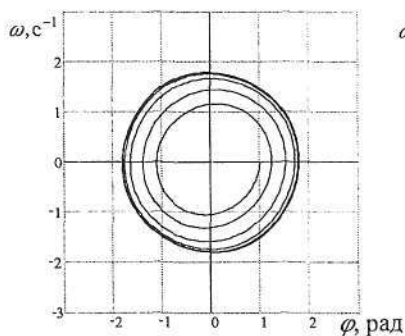
Рис. 3. Бифуркационные диаграммы в координатах "амплитуда – сухое трение" (а) и "амплитуда – суммарное демпфирование" (б)



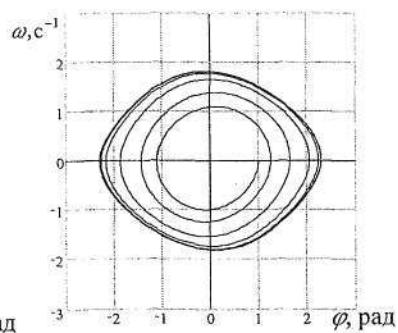
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Временные диаграммы (а, б) угла (1), скорости (2), ускорения (3) и фазовые траектории (в, г) автоколебательного цикла ОАД с пружинным (а, в) и маятниковым (б, г) КРЭ для $C_{\Sigma} = 20$ Нм, $M_{mp\Sigma} = 3,2$ Нм, $J_{\Sigma} = 0,3$ кг·м², $\varphi_0 = 1$ рад

В четвертой главе излагаются результаты практического использования автоколебательного режима работы однофазного асинхронного электродвигателя.

Первоначально описывается инженерная методика выбора общепромышленного асинхронного электродвигателя для работы в автоколебательном режиме, построенная на основе полученных в 3-й главе аналитических критериальных соотношений и специально разработанного программного обеспечения.

По этой методике был разработан и изготовлен автоколебательный стенд испытания пружин на базе общепромышленного АД типа АИР71А6У3, представленный на фотографии 1.

Испытательный стенд с маятниковым электроприводом обеспечивает устойчивые автоколебания в диапазоне частот 1,0...2,5 Гц с амплитудами 0,5...1,2 рад.

Регулировать амплитуду колебаний можно, изменяя или напряжение электропитания обмоток, или длину и вес маятника, а частоту – только изменяя длину и вес маятника. При этом диапазон регулирования амплитуды не превышает 1:2 (рис. 5).

Пружинный электропривод работает в режиме автоколебаний значительно устойчивее, чем маятниковый и не может сорваться во вращение. Диапазоны регулирования частот и амплитуд автоколебаний достигают 0,5÷3,5 Гц и 0,5÷15 рад соответственно, то есть значительно превышают диапазоны регулирования, обеспечиваемые маятниковым электроприводом.

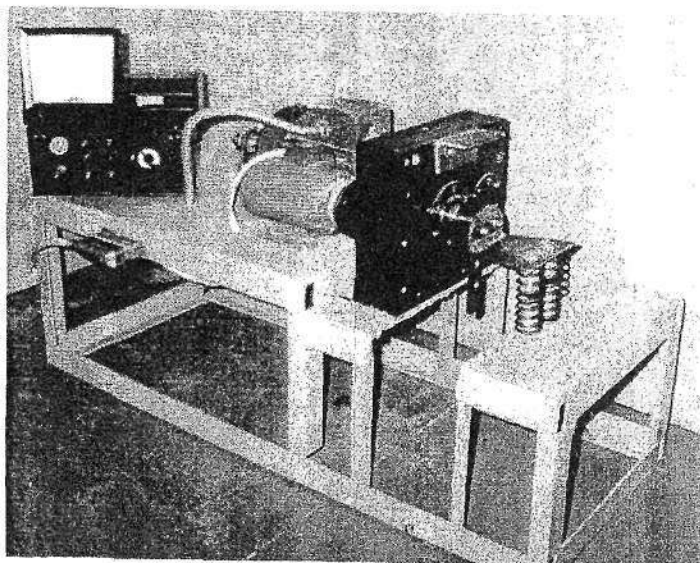
Маятниковый привод в техническом исполнении значительно проще пружинного и надежнее в работе.

Поэтому применение автоколебательного электропривода с пружинной целесообразнее только в естественном варианте, когда испытуемые пружины одновременно играют роль компенсатора реактивной энергии.

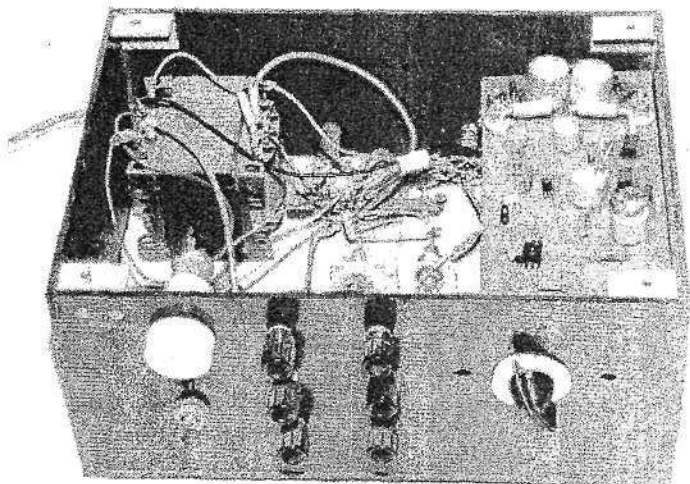
Пуск маятникового и пружинного электропривода осуществляется за счет начального отклонения маятника или пружины на угол равный амплитуде колебаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований решена научно-прикладная задача по исследованию возникновения, устойчивости и бифуркаций автоколебательного движения в однофазных асинхронных электродвигателях с пружинно-маятниковой упругостью на валу и разработке методики его выбора для автоколебательной электромеханической системы управления. Это подтверждается следующими результатами, полученными в данной диссертационной работе:

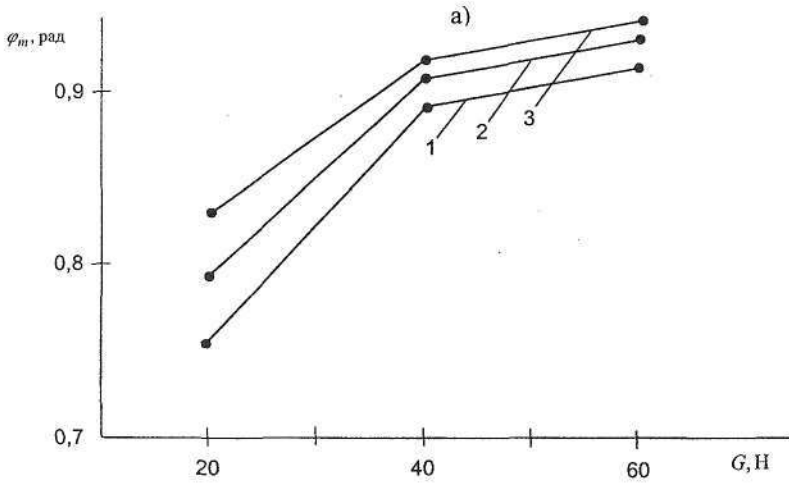
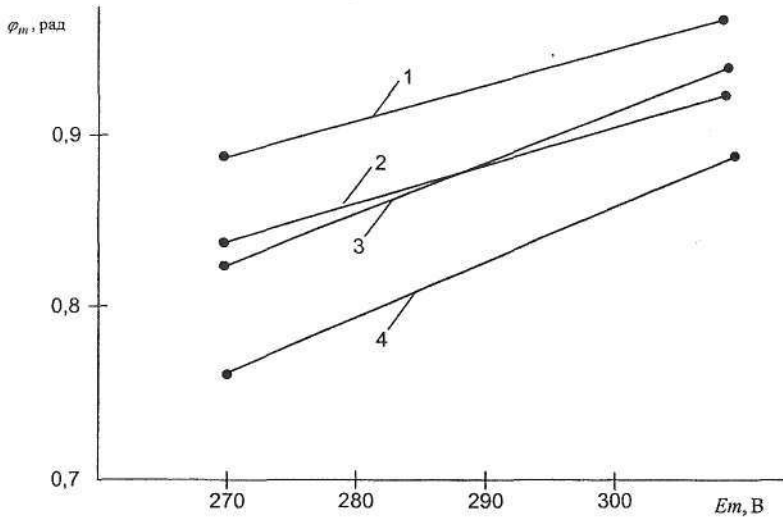


а)



б)

Фото 1. Испытательный стенд с пружинами сжатия (а)
и блок управления стендом (б)



б)

Рис. 5. Зависимость амплитуды колебаний маятникового электропривода от электропитания (а) при весе маятника 60 Н (1, 2) и 40 Н (3, 4) и от веса маятника (б) при $E_m = 311$ В и длине 0,3 м (1); 0,4 м (2); 0,5 м (3)

1. Построена математическая модель движения однофазного асинхронного электродвигателя с пружинно-маятниковой упругостью на валу при нагрузке сухим и жидкостным трением, позволяющая исследовать его автоколебательные режимы работы [1, с. 7; 2, с. 52-54; 7, с. 37-42; 8, с. 94-96].

2. Определены по математической модели методами фазовой плоскости и Ван дер Поля аналитические соотношения между параметрами электропитания электродвигателя, пружинно-маятникового компенсатора реактивной механической энергии и нагрузочных моментов, являющиеся условиями возникновения, устойчивости, управляемости и бифуркаций автоколебательного процесса [4, с. 25-27; 6, с. 45-49].

3. Разработано математическое и программное обеспечение инженерной методики, ориентированной на научно обоснованный выбор общепромышленного асинхронного электродвигателя в качестве силового элемента автоколебательной системы управления [3, с. 181; 10, с. 86-88; 11, с. 174-176; 12, с. 176-177].

Доказана численным анализом и экспериментальными исследованиями адекватность выводов и рекомендаций, полученных теоретически и определенных по реальным автоколебательным процессам [9, с. 69-72; 12, с. 176-177; 13, с. 33-37].

Разработан и внедрен на заводе самоходных комбайнов объединения "Гомсельмаш", Гомельском межхозяйственном арендном предприятии "Облагропромэнерго", а также в учебный процесс для специальности Т.11.02.00 испытательный стенд на основе автоколебательного режима работы асинхронного электродвигателя [5, с. 16; 9, с. 69-72; 14, с. 68].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Захаренко С.И., Тодарев В.В., Веппер Л.В. Безредукторный электропривод периодического движения // Автоматизация электроприводов: Материалы краевой науч.-техн. конф. – Красноярск, 1985. – С. 7.

2. Соленков В.В., Веппер Л.В. Электромеханические переходные процессы в асинхронных двигателях с тормозными устройствами // Межвузовский сборник «Динамика электрических машин». – Омск, 1987. – С. 52-54.

3. Тодарев В.В., Веппер Л.В. Техничко-экономические аспекты синтеза асинхронных колебательных электроприводов // Состояние и перспективы развития науки и подготовки инженеров высокой квалификации в БГПА: Материалы 51-й науч.-техн. конф. – Минск: БГПА, 1996. – С. 181.

4. Веппер Л.В. Анализ уравнения движения асинхронного автоколебательного электропривода // Сборник материалов межвуз. конф. аспирантов и студентов. – Гомель: ГКИ – ГПИ, 1997. – С. 25-27.

5. Тодарев В.В., Веппер Л.В. Автоколебательный асинхронный электропривод //Технические ВУЗы – республике: Материалы 51-й науч. – техн. конф. – Минск: БГПА, 1997. – С. 16.

6. Луковников В.И., Тодарев В.В., Веппер Л.В. Автоколебательный режим однофазного асинхронного электродвигателя //Известия ВУЗов и ЭО СНГ. Энергетика. – 1998. – № 2. – С. 45-49.

7. Луковников В.И., Тодарев В.В., Веппер Л.В. Моделирование автоколебательного асинхронного электропривода //Известия ВУЗов и ЭО СНГ. Энергетика. – 1998. – № 3. – С. 37-42.

8. Луковников В.И., Веппер Л.В., Логвин В.В., Рожков А.И. Математическая модель трехфазного асинхронного электродвигателя с продольно-поперечной несимметрией линии его электропитания //Электричество. – М., 1999. – № 8. – С. 94-96.

9. Веппер Л.В. Однотиристорный автоколебательный маятниковый асинхронный электропривод //Современные проблемы машиноведения: Материалы международной науч.-техн. конф., посвящ. П. О. Сухому. – Гомель: ГПИ, 1998. – Т. 2 – С. 69-72.

10. Луковников В.И., Веппер Л.В., Спорик А.Е. Обобщенная модель маятникового электропривода //Современные проблемы машиноведения: Материалы международной науч.-техн. конф., посвящ. П. О. Сухому. – Гомель: ГПИ, 1998. – Т. 2. – С. 86-88.

11. Тодарев В.В., Веппер Л.В. Принципы повышения энергетических показателей колебательных электроприводов //Современные проблемы машиноведения: Материалы международной науч.-техн. конф., посвященной П. О. Сухому. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2000. – Т. 2. – С. 174-176.

12. Веппер Л.В., Спорик А.Е., Бескровный А.В. Численный анализ способов создания периодического движения асинхронных электродвигателей //Современные проблемы машиноведения: Материалы международной науч.-техн. конф., посвящ. П.О. Сухому. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2000. – Т. 2. – С. 176-177.

13. Луковников В.И., Тодарев В.В., Веппер Л.В. Энергетические показатели асинхронных короткозамкнутых электродвигателей колебательного режима работы и пути их повышения //Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2000. – № 1. – С. 33-37.

14. Автоколебательный электропривод /В.И. Луковников, В.В. Тодарев, Л.В. Веппер. – № а19990543; Заявл. 1.06.1999; Опубл. 15.02.2000 //Изобретения, полезные модели, промышленные образцы /Дзерж. пат. ведомства Рэсп. Беларусь. – 2000. – № 1. – С. 68.

РЕЗЮМЕ

Веппер Леонид Владимирович

Автоколебательный режим однофазного асинхронного электродвигателя

Однофазный асинхронный электродвигатель, пружина, маятник, автоколебания, бифуркации, анализ, синтез, математическое и программное обеспечение, методика проектирования, реализации.

Объект исследования – безредукторный колебательный асинхронный электропривод.

Предмет исследования – однофазный асинхронный электродвигатель с маятником или (и) пружиной на валу.

Цель работы заключается в определении и исследовании условий возникновения, устойчивости и бифуркаций автоколебаний в однофазном асинхронном электродвигателе с маятником или пружиной на валу и разработке методики его выбора для работы в качестве силового элемента автоколебательной системы управления.

Научная и практическая значимость полученных результатов состоит в том, что:

- получены в канонической форме дифференциальные уравнения движения однофазного асинхронного электродвигателя как с маятником, так и с пружиной на валу;

- найдены критериальные аналитические соотношения между параметрами электропитания, электродвигателя, маятника, пружины и нагрузки, определяющие условия возникновения, устойчивости, управляемости и бифуркаций автоколебательного процесса;

- разработана инженерная методика и ее программное обеспечение для выбора общепромышленного трехфазного электродвигателя в качестве силового элемента автоколебательной системы управления;

- разработаны испытательные стенды пружин с разомкнутой и замкнутой системой управления автоколебаниями асинхронного электродвигателя с упругостью на валу.

Результаты исследований могут быть использованы на предприятиях, проектирующих, изготавливающих и эксплуатирующих электроприводы рабочих машин с колебательным движением рабочего органа, в частности, на Гомельском заводе самоходных комбайнов и в МХАП "Облагропром".

Область применения – организации и предприятия, занимающиеся проектированием и производством электроприводов колебательного движения.

SUMMARY**Vepper Leonid Vladimirovich****Oscillatory conditions of the single-phase asynchronous electric motor**

The single-phase asynchronous electric motor, spring, pendulum, auto-oscillation, bifurcations, analysis, synthesis, mathematical and software technique of projection, realization.

Object of the research is a oscillatory asynchronous electric drive.

Subject of the research is a single-phase asynchronous electric motor with a pendulum or (and) a spring on the shaft.

The purpose of the work consist in definition and research of conditions of origin, stability and bifurcations of auto-oscillation in the single-phase asynchronous electric motor with a pendulum or spring on the shaft and development choice technique for operation as a force element of an auto-oscillating system of control.

The scientific and practical significance of obtained outcomes is, that:

the differential equations of driving of the single-phase asynchronous electric motor both with a pendulum, and with a spring on the shaft are obtained in initial form;

the criterial analytical relationship between parameters of current supply, electric motor, pendulum, spring and load defining conditions of origin, stability, controllability and bifurcations of self-sustained oscillations was found;

the engineering technique and its software to define of the three-phase commercial electric motor is developed as a force element of an an auto-oscillating system of control;

the test beds of springs with broken and closed-loop system of control of auto-oscillation of the asynchronous electric motor with elasticity on the shaft are developed.

The results of researches can be used at the enterprises designing, working machines, making and maintaining electric drives, with an oscillating motion of an end-effector, in particular, on the Gomel factory of self-propelled combines and in МХАП «Облагропром».

Area of application – organisations and enterprises occupied with projection of electric drives of an oscillating motion.

РЭЗЮМЕ

Веппер Леанід Уладзіміравіч

Аўтавагальны рэжым аднафазнага асінхроннага электрарухавіка

Аднафазны асінхронны электрарухавік, пружына, маятнік, аўтаваганні, біфуркацыі, аналіз, сінтэз, матэматычнае і праграмае забеспячэнне, метадыка практавання, рэалізаваанне.

Аб'ект даследавання – безрэдуктарны вагальны асінхронны электрапрывод.

Прадмет даследавання – аднафазны асінхронны электрарухавік з маятнікам або (і) пружынай на валу.

Мэта працы зводзіцца да вызначэння і даследавання ўмоў узнікнення, устойлівасці і біфуркацый аўтаваганняў у аднафазным асінхронным электрарухавіку з маятнікам або пружынай на валу і распрацоўцы метадыкі яго выбару для працы ў якасці сілавога элемента аўтавагальнай сістэмы кіравання.

Навуковая і практычная значнасць атрыманых вынікаў складаецца з таго, што:

– атрыманы ў кананічнай форме дыферэнцыяльныя ўраўненні руха аднафазнага асінхроннага электрарухавіка як з маятнікам, так і з пружынай на валу;

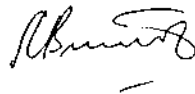
– вышуканы крытэрыяльныя аналітычныя суадносіны паміж параметрамі электрасілкавання, электрарухавіка, маятніка, пружыны і нагрукі, вызначаючыя ўмовы ўзнікнення, устойлівасці, кіравальнасці і біфуркацый аўтавагальнага працэсу;

– распрацавана інжынерная метадыка і яе праграмае забеспячэнне для выбару агульнапрамысловага трохфазнага электрарухавіка ў якасці сілавога элемента аўтавагальнай сістэмы кіравання;

– распрацаваны выпрабавальныя стэнды пружын з разамкнутай і замкнутай сістэмай кіравання аўтаваганьнямі асінхроннага электрарухавіка з круткацю на валу.

Вынікі даследаванняў могуць быць выкарыстаны на прадпрыемствах, праектуючых і эксплуатауючых электрапрыводы рабочых машын з вагальным рухам рабочага органа, ў прыватнасці, на Гомельскім заводзе самаходных камбайнаў і ў МХАП «Аблаграпрам».

Вобласць выкарыстання – арганізацыі і прадпрыемствы, займаючыся практаваннем і вырабам электрапрывадоў вагальнага руху.



Веппер Леонид Владимирович

**АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ ОДНОФАЗНОГО
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и
систем управления

Редактор: Н. Г. Мансурова
Компьютерная верстка: Н. Б. Козловская

Подписано в печать 25.10.2001.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. 1,39. Уч. – изд. л. 1. Тираж 100 экз.
Заказ № 100/179

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого».
Лицензия ЛВ № 399 от 12.06.2001.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

Отпечатано на ризографическом оборудовании Учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого».
Лицензия ЛП № 114 от 12.06.2001.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.