

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

---

## ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ '16

### Молодежная секция

Сборник докладов  
18–22 апреля 2016 г.

Санкт-Петербург  
2016

УДК 001.08

3-13

3-13 Завалишинские чтения: молодежная секция. Сб. докл. / СПб.: ГУАП., 2016. 210 с.: ил.

ISBN 978-5-8088-1110-2

Помещенные в сборнике доклады отражают весь спектр направлений научных работ, проводимых Институтом инновационных технологий в электромеханике и робототехнике от проектирования отдельных элементов и устройств, технологий их создания, решения вопросов диагностики и разработки прикладного программного обеспечения, до построения сложных систем и комплексов, различных по своему функциональному назначению.

Оргкомитет конференции

- Ю. А. Антохина* – доктор экономических наук, доцент, ректор ГУАП
- А. А. Оводенко* – доктор технических наук, профессор, президент ГУАП
- В. Ф. Шишлаков* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления в технических системах
- А. А. Ефимов* – доктор технических наук, профессор кафедры управления в технических системах
- А. Л. Ронжин* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электромеханики и робототехники

ISBN 978-5-8088-1110-2

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2016

УДК 629.735.33

**Абдулсалам Билкису**

студентка кафедры «Систем и технологий управления»  
Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого  
**И. Л. Тарасова** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник,  
Институт проблем машиноведения РАН – научный руководитель

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕСНИЧАТОГО ДВИЖИТЕЛЯ  
МЕДИЦИНСКОГО МИКРОРОБОТА**

Одной из наиболее актуальных проблем в медицинской практике сегодня является проблема внутрисосудистой диагностики и хирургии. В настоящее время подобные операции проводятся путем введения в сосуд катетера, на конце которого укреплен необходимый инструмент. Несмотря на то, что существует достаточно большое количество устройств и методов для проведения внутрисосудистых операций, они не всегда позволяют достичь необходимого результата.

Возможный путь совершенствования технологии проведения внутрисосудистых операций заключается в применении микророботов, способных под наблюдением хирурга перемещаться внутри сосуда с учетом конкретной обстановки в рабочей зоне и выполнять необходимые операции. К ним можно отнести наблюдение за состоянием внутренних стенок сосуда, доставку лекарственных препаратов точно к месту их применения, выполнение операций по разрушению тромбов, например, с помощью ультразвуковых инструментов и др. Работы в данном направлении ведутся во всем мире, включая и Россию [1, 2]. Одной из главных проблем при создании микроробота является построение системы перемещения его в условиях биологической среды. При этом одной из наиболее сложных и трудно решаемых проблем является создание управляемых миниатюрных и энергоэффективных движителей для подобных микро роботов. При решении этой проблемы актуально использование движителей, имитирующих работу мышц животных и человека и, в частности, работу реснитчатого аппарата [3]

Цель данной работы – разработка новой структуры управляемого реснитчатого движителя, имитирующего работу медицинского микроробота.

Ресничка представляет собой тонкий цилиндрический вырост цитоплазмы с диаметром около 300 нм, покрытый плазмолеммой. Внутри располагается аксонома, состоящая из микротрубочек. Микротрубочки представляют собой полые цилиндры диаметром 25 нм, стенка которых состоит из полимеризованных молекул тубулина (состоящего из двух субъединиц  $\alpha$  и  $\beta$ ) [4].

Рассмотрим следующую схему синхронизации ресничек с помощью ионов кальция. Выброс ионов кальция происходит в определенные фазы колебаний. При биении ресничек можно выделить три основные фазы: гребок, расслабление и возврат (рис.1).

Фаза «Гребок». Ионы кальция, проходящие через каналы в мембране базального тельца, соответствующие определенным микротрубочкам, из-за разности потенциалов движутся к отрицательно заряженному (-) концу микротрубочки и участвуют в гидролизе Аденозинтрифосфатсинтаза (АТФ). Так как большая часть ионов связывается при гидролизе, то заряд (+) конца микротрубочки не изменяется. При дальнейшем увеличении концентрации кальция, когда все динеиновые ручки задействованы, вызывает нейтрализацию заряда (+) конца и прекращает поток кальция к (+) концу. Концентрация кальция вблизи (-) конца увеличивается и закрывает кальциевый насос.

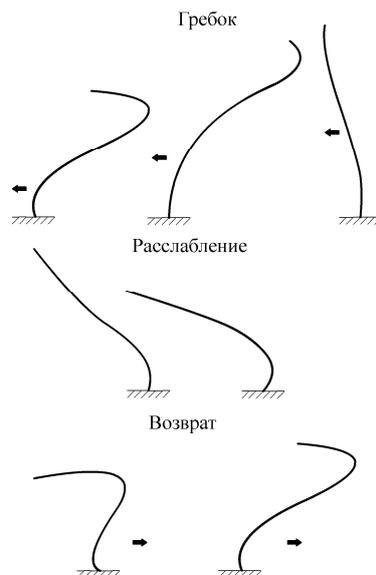


Рис. 1. Фазы колебаний реснички

Фаза «Расслабление». Начинается восстановление АТФ с выделением свободного кальция, который выводится через цитоплазматическую мембрану в перичилиарную жидкость. Кальций переносится перичилиарной жидкостью к следующей ресничке, проходит через цитоплазматическую мембрану и при превышении порога срабатывания запускает фазу «гребок» следующей реснички. Натяжение динеиновых ручек ослабевает, что уменьшает жесткость реснички. Ресничка в этой фазе начинает вести себя как нить.

Фаза «Возврат». Выделение кальция через цитоплазматическую мембрану реснички включает кальциевый насос микротрубочек, расположенных с противоположной стороны от микротрубочек, участвовавших в фазе «гребок». Задействуются динеиновые ручки вблизи (-) конца микротрубочки, что возвращает ресничку в исходное положение при минимальном гидродинамическом сопротивлении.

Компьютерную модель управляемого реснитчатого движителя можно представить, как модель двигателя, содержащего  $N$  последовательно соединенных блоков эффективной фазы и столько же блоков фазы возврата. Для компьютерной модели были использованы:

- временные параметры колебаний ресничек:
  - 180–240 колебаний совершает ресничка в минуту;
  - возврат происходит в 4 – 6 раз медленнее гребка;
  - число ресничек  $N=2000$ .
- расчетные параметры:
  - период колебаний  $T=(60/180-60/240)=(0,34-0,25)$  с
  - $T=Te+T\epsilon$
  - $Te=4T\epsilon$

Сигналы с выходов блоков эффективной фазы суммируются. Так же суммируются и сигналы с выходов блоков фазы возврата. При этом на выходе модели сумма сигналов возвратной фазы вычитается из суммы сигналов эффективной фазы.

Для получения требуемой временной диаграммы каждый блок эффективной фазы в ответ на входное скачкообразное воздействие вырабатывает с заданной задержкой  $\tau$  выходной импульс  $q=\pi/N$ , а каждый блок возврата в ответ на пода-

ваемое с задержкой  $N\tau$  входное скачкообразное воздействие вырабатывает с заданной задержкой  $4\tau$  выходной импульс той же амплитуды  $q = \pi/N$ . При этом выходные сигналы блоков эффективной фазы складываются и образуют угол гребка  $\xi = \pi$ . Так же выходные сигналы блоков фазы возврата складываются и образуют угол возврата  $q = \pi/N$ . Поэтому на выходе модели получается временная диаграмма, показанная на рис. 3. Схема модели, реализованной в среде Simulink MatLab, для одной реснички показана на рис. 2

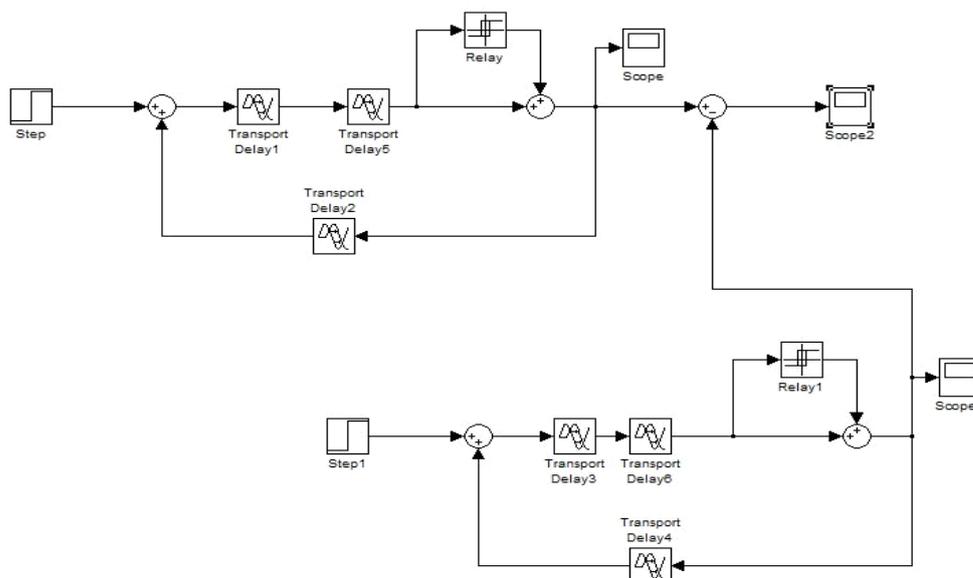


Рис. 2. Схема модели колебаний одной реснички, реализованной в среде Simulink MatLab

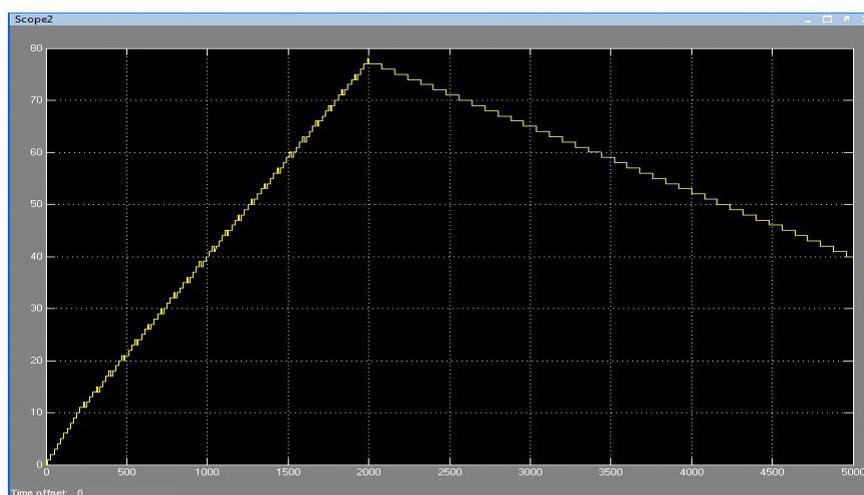


Рис. 3. Временная диаграмма, полученная на модели

Рассмотрен новый тип миниатюрного управляемого движителя, имитирующего работу реснитчатого аппарата человека. Использование компьютерного моделирования показало, что предложенный тип движителя позволяет достичь требуемых для медицинских микроботов динамических характеристик.

### Библиографический список

1. Саврасов Г.В., Нарайкин О.С., Гаврюшин С.С., Юценко А.С., Войнов В.В., Поспелов В.И., Потапцев И.С., Пивоваров В.Н. Внутрисосудистый микроробот // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2006. – №11.
2. Медицинский микроробот. Патент РФ № 2469752
3. Войнов В.В. Алгоритм нечеткого адаптивного управления медицинским микророботом.// Экстремальная робототехника: Труды десятой научно-технической конференции. – СПб., 2007. –Т.5 – С.240-244.
4. Алексеев Д.С., Баду Е.И., Городецкий А.Е., Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю., Тарасова И.Л. Моделирование реснитчатого аппарата мерцательных клеток./ Математическое моделирование, 2008.

УДК 621.51

**М. И. Бакустина, В. И. Гончарова, Д. Е. Попков**

студенты кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

**С. В. Солёный** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫЙ МОДУЛЬ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Современные технологии делают нашу жизнь проще. Автоматизация процессов, необходимых для комфортного проживания человека, делает их более дешевыми, качественными и доступными. Но все это было бы невозможно без информационных технологий. Современное развитие данной отрасли позволяет создавать устройства, которые способны частично перепрофилировать существующие электрические сети объектов жилого сектора в Smart Grid системы.

Одной из таких систем является управляемая по GSM каналу электропроводка помещения. Для ее создания не требуются мощные передатчики, разрешения соответствующих органов и прочие дорогостоящие вложения. Тем не менее, она способна облегчить жизнь ограниченным в передвижении или просто забывчивым людям.

Рассмотрим основную элементную базу и принцип действия предлагаемой системы. На данный момент Smart Grid системы строятся по модульному принципу, который осуществляет взаимодействие ряда основных блоков: микроконтроллер, GSM модуль, релейный модуль и источник питания (рис. 1).

Система, представленная на рис. 1, строится на базе микроконтроллера Arduino UNO с чипом ATmega328. Он представляет собой платформу, имеющую 14 цифровых входов/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы широтно-импульсной модуляции), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор с частотой 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы с данным микроконтроллером его необходимо подключить к компьютеру посредством кабеля USB, либо подать питание при помощи адаптера AC/DC или аккумуляторной батареи. Система, представленная на рис. 1, запитана от блока питания 5 В.

В качестве GSM модуля выбрана плата SIM800L. Это миниатюрный модуль GSM/GPRS сотовой связи на основе чипа SIM800L, разработанного компанией SIMCom Wireless Solutions. Стандартный интерфейс управления компонента SIM800L предоставляет доступ к сервисам сетей GSM/GPRS 850/900/1800/1900 МГц

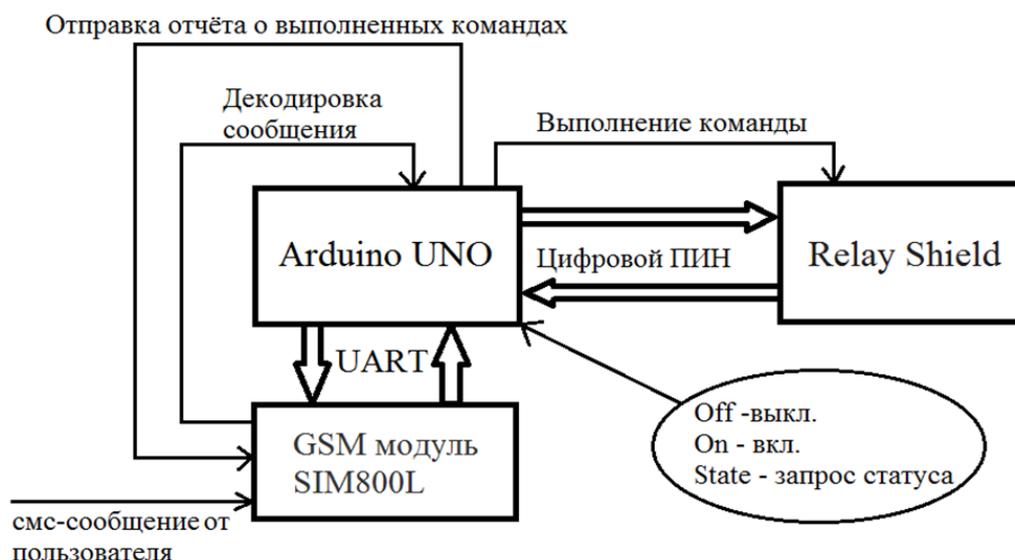


Рис. 1. Принцип работы модуля контроля электросети

для отправки звонков, SMS-сообщений и обмена цифровыми данными GPRS. В комплект поставки входит встроенная антенна, при этом для улучшения качества сигнала можно подключить дополнительную антенну. Управлять модулем можно при помощи компьютера через преобразователь интерфейса USB-UART или непосредственно через UART модулем микроконтроллера Arduino UNO. Также чип SIM800L имеет возможность общения по протоколу TCP/IP.

Для осуществления силовых коммутаций в электропроводке помещения применяется релейный модуль Relay Shield, который можно включить параллельно существующим бытовым выключателям, тем самым реализуя режим ручного и дистанционного управления электроприборами. Модуль Relay Shield содержит четыре электромеханических реле и позволяет Arduino UNO управлять четырьмя ветвями электропроводки. В системе на рис. 1 электромагнитное реле применяется для замыкания внешней силовой цепи при подаче сигнала с микроконтроллера на управляющую обмотку. Применение подобной схемы позволяет автоматически отключать нагрузку при исчезновении сигнала от микроконтроллера.

Система управления электропроводкой по GSM каналу функционирует следующим образом. В зависимости от требуемой операции собственник системы отправляет с мобильного телефона SMS-сообщение на SIM-карту, которая находится в модуле SIM800L. В SMS-сообщении могут быть прописаны следующие команды: «state» – статус, «off» – выключить, «on» – включить. Далее чип SIM800L передает полученный сигнал в Arduino UNO, в котором происходит интерпретация полученной команды согласно заложенному алгоритму. Также данная операция при необходимости может выполняться модулем Relay Shield. После этого Arduino UNO формирует отчет о выполнении команды или ошибке ее выполнения и через чип SIM800L отправляет его собственнику мобильного телефона [1].

Применение подобной системы позволяет контролировать и управлять электропроводкой помещения на расстоянии при минимальных энергетических и финансовых затратах, что подтверждает ее актуальность и перспективность использования в системе «Умный дом» и Smart Grid технологиях.

## Библиографический список

1. Официальный сайт компании Амперка <http://amperka.ru/>. Раздел Вики / SMS-розетка. Режим доступа к ссылке: <http://wiki.amperka.ru/projects: smart-power>. (Дата обращения 30.03.2016 г.).

УДК 621.3.077.2

**Е. А. Берестюк**

магистрант кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### **БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ В СОСТАВЕ СИЛОВОГО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (СГК250)**

#### **Описание силового гироскопического комплекса**

Силовой гироскопический комплекс (СГК) с кинетическим моментом 250 Н м с, рассматривается состоящим из силового гироскопического (СГП) и электронного приборов (ЭП).

Подсистемы СГК:

– силовой гироскоп (СГ) состоит из бесконтактного двигателя постоянного тока (БДПТ) (без датчика положения ротора (ДПР)) с электронным блоком управления двигателем и работает в следующих режимах: разгон по программе, вращение с установившейся скоростью по программе стабилизации, торможение по программе, выбег;

– исполнительный электропривод (ИЭП) состоит из: БДПТ с резервированным электронным блоком управления приводом и двух дублированных датчиков угла (ДУ) (один из которых установлен на оси двигателя, второй – на оси подвеса гиromотора) с дублированным преобразователем угла и работает в следующих режимах: изменения скорости поворота оси ИЭП, удержание в нуле (по углу), в соответствии с кодом линии передачи информации (ЛПИ) по программе МК ИЭП, динамического торможения – при отсутствии питания на СГК;

– подсистема внешнего интерфейса (часть системы магистрального последовательного интерфейса (МПИ)): модули оконечного устройства (ОУ) с устройствами и микроконтроллером ОУ, работающие в режимах: приема–передачи кодовой информации (в соответствии с Протоколом информационного обмена и ГОСТ Р 52071-2003) и преобразования кода МПИ в код внутренней информационной системы по специальному протоколу по программе МК ОУ;

– подсистемы вторичного питания, состоящие из вторичных источников питания (ВИП), устройств защиты и др., работающие в режимах поддержания вторичного напряжения питания в пределах нормы при изменении нагрузки и напряжения питания.

Подсистемы СГ, ИЭП резервированы по принципу замещения резерва («холодное» резервирование).

#### **Назначение и кинематическая схема СГП**

СГП входит в состав СГК в качестве исполнительного органа для создания управляющих моментов, обеспечивающих заданную ориентацию космического аппарата (КА) в соответствии с принятыми законами управления. Кинематическая схема СГП представлена на рис. 1.

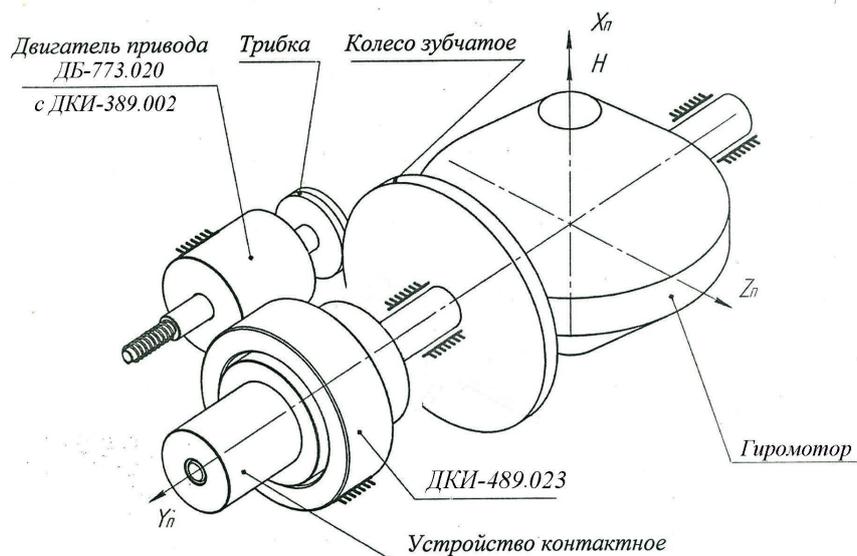


Рис. 1. Кинематическая схема СГП

В состав СГП входят:

- 1) электромеханическая часть системы ИЭП, включающая в себя:
    - исполнительный двигатель с дублированными статорными обмотками;
    - два датчика угла по оси подвеса ГМ;
    - два датчика по оси двигателя ИЭП;
    - электронные преобразователи сигналов датчиков угла в код угла и сигналов датчиков угла в код угла вала двигателя;
    - редуктор;
  - 2) гиросотор;
  - 3) устройство контактное;
  - 4) термометр (резистор);
  - 5) соединители типа РСЭ;
  - 6) монтажные провода типа МС.
- Внешний вид СГП представлен на рис. 2.

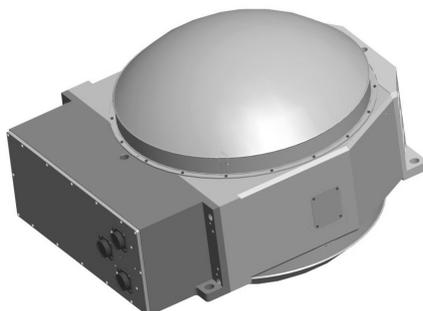


Рис. 2. Внешний вид СГП

Масса СГП – не более 44,5 кг.

Габаритные размеры СГП – 554×430×384 мм.

### Силовой гироскоп

Силовой гироскоп (СГ) предназначен для создания управляющих моментов в составе СГК. СГ состоит из гиросотора (ГМ) и электронного блока управления

двигателем. ГМ состоит из герметичного корпуса, внутри которого размещены ротор на двух радиально-упорных ШП, бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ) без датчика положения ротора (ДПР). Функционально СГ имеет два канала: основной и резервный. Один из каналов во время работы находится в «холодном» резерве.

### Блок управления двигателем

Блок управления двигателем (БУД) совмещает функции по управлению двигателем ГМ и функции блока согласования по осуществлению обмена с управляющей вычислительной системой (УВС) по магистральному последовательному интерфейсу (МПИ) и обеспечивает:

- частотный разгон ГМ, доразгон в режиме самокоммутации, стабилизацию номинальной частоты вращения ГМ;
- контроль тока ГМ в режиме разгона и стабилизации;
- контроль кинетического момента;
- обмен информацией с УВС по МПИ;
- обмен информацией с БУП по интерфейсу CAN (RS-485);
- выдачу в блок БУП команд на включение;
- подачу вторичного питания 27В на блок управления приводом (БУП).

БУД включает в себя два канала управления двигателем (УД), два канала питания для каналов управления двигателем (ПУД) и два канала источников вторичного питания 27 В для питания УД и БУП (ВИП27). Общая структурная схема приведена на рис. 4. Структурная схема одного канала УД приведена на рис. 3.

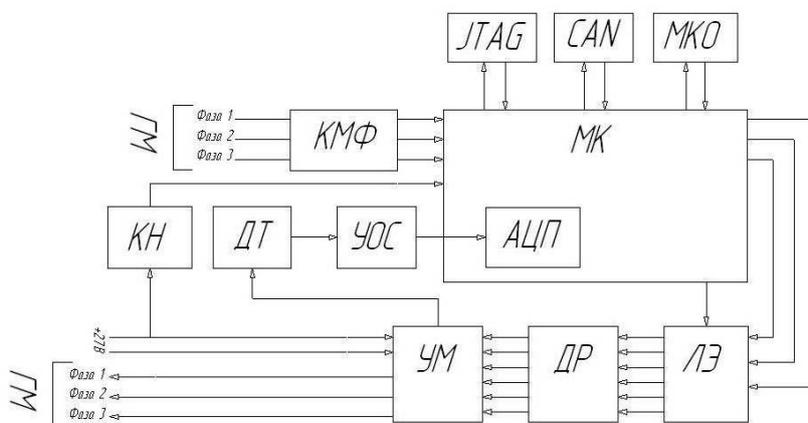


Рис. 3. Структурная схема одного канала УД

Разработка блока БУД включает в себя:

- разработку принципиальной электрической схемы БУД на отечественной элементной базе;
- формирование перечня используемых элементов в блоке БУД;
- создание технического задания на конструирование блока БУД;
- тестирование и отладка блока с помощью макетирования;
- моделирование различных участков схем, используя САПР Multisim 12.0;
- исследование микроконтроллера.

Условные обозначения, принятые на рис. 3: МК – микроконтроллер для обмена с БУП, УВС и формирования управляющих сигналов; КМФ – компаратор фаз для формирования сигналов управления по ЭДС вращения ГМ; УМ – усили-

тель мощности для обеспечения тока и напряжения питания ГМ; ЛЭ – логический элемент для формирования сигналов управления силовыми ключами УМ; ДР – драйвер для согласования ЛЭ и УМ; ДТ – датчик тока для измерения тока ГМ; УОС – усилитель обратной связи для обеспечения обратной связи по току ГМ; КН – компаратор напряжения для выдачи признака «27В норма» в МК; АЦП – аналого-цифровой преобразователь для преобразования напряжения, пропорционального току ГМ, в 12-ти разрядный код (встроен в МК); МПИ – магистральный последовательный интерфейс для обмена информацией МК с УВС; УВС – управляющая вычислительная система; JTAG – для тестирования, прошивки флэш-памяти МК и отладочных работ при разработке ПО; CAN (RS-485) – для обмена с БУП.

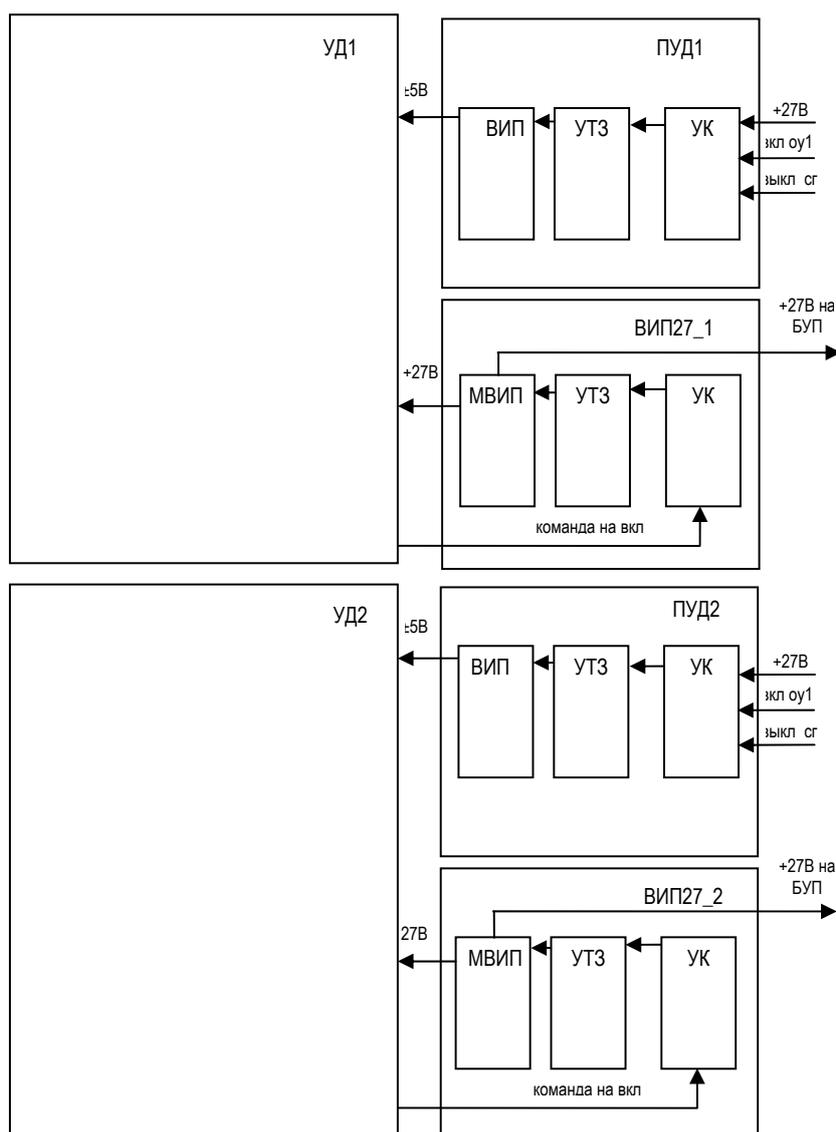


Рис. 4. Общая структурная схема (два канала)

На рис. 4 один канал ПУД включает в себя ВИП – вторичный источник питания для УД, формирующий напряжения  $\pm 5\text{В}$ , УТЗ – устройство токовой защиты для ограничения пусковых токов и тока короткого замыкания при неисправностях, УК – устройство коммутации для подключения через УТЗ к шинам питания ВИП; один канал ВИП27 включает в себя МВИП – мощный вторичный источник питания для гальванической развязки питания УМ и БУП по 27 В, УТЗ – устройство токо-

вой защиты для ограничения пусковых токов и тока короткого замыкания при неисправностях; УК – устройство коммутации для подключения через УТЗ к шинам питания МВИП.

### Библиографический список

1. Гироскопические системы / Под ред. Д. С. Пельпора. В 3 ч. – М.: Высшая школа, 1986–1988. Ч. 1: Теория гироскопов и гироскопических стабилизаторов. 1986; Ч. 2: Гироскопические приборы и системы. 1988; Ч. 3: Элементы гироскопических приборов. 1988
2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: "Академия", 2006. – 272 с.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-х томах = The Art of Electronics (© Cambridge University Press, 1980) / Пер. с англ. под ред. М. В. Гальперина; Переводчики: И. И. Короткевич, М. Б. Левин, В. Г. Микуцкий, Л. М. Наймарк, О. А. Соболева. – Изд. 3-е, стереотипное. – М.: Мир, 1986.

### УДК 621.18-52

#### **А. С. Бирючева**

студентка кафедры автоматки и телекоммуникаций

**Н. В. Жукова** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

Донецкий национальный технический университет

### **СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ ПАРОВОГО КОТЛА КОТЕЛЬНОЙ**

Показателем качества процесса горения является удельный расход топлива, который должен быть минимальным. Однако непосредственное оперативное управление этим показателем не представляется возможным, так как его вычисление связано с достаточно длительным интегрированием расхода топлива и нагрузки энергоблока. Поэтому предпринимались многочисленные поиски косвенной регулируемой величины, поддержание которой на том или ином уровне гарантировало бы достаточно приемлемую близость удельного расхода к минимуму [1].

Известно, что высокое качество сгорания топлива возможно только при вполне определенном подводе воздуха в топку. В существующих системах автоматизации [1] представлена схема «топливо – воздух», которая решает данную задачу (рис. 1). Регулятор подачи воздуха в топку РВ воздействует на регулирующий орган подачи воздуха. На его вход подается разность между действительным расходом воздуха  $G_v$  и его заданным значением  $G_v^3$ , которое вырабатывается в командном блоке (КБ) в зависимости от изменения расхода топлива  $G_T$  по заранее составленной режимной карте. Режимная карта может быть скорректирована подачей воздействия  $\alpha$  (коэффициент избытка воздуха).

Азот, содержащийся в воздухе, в горении не участвует и, нагреваясь, уносит значительное количество теплоты. Так как в воздухе содержится по объему около 21% кислорода и 79% азота и некоторых других газов, то теоретически необходимый для сжигания газа объем воздуха больше требуемого в  $100:21=4,76$  раза, а на каждый использованный кубический метр кислорода приходится  $79:21=3,76$  м<sup>3</sup> азота. Зная состав горючих газов и реакции горения, можно

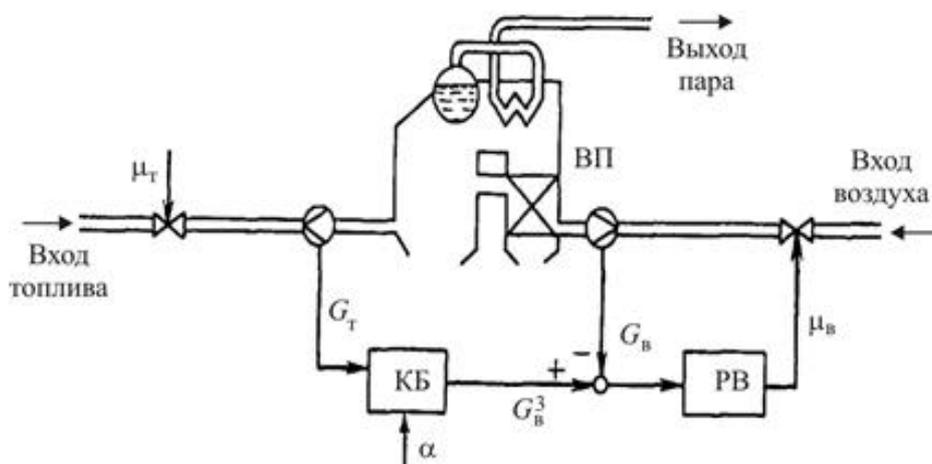


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации соотношения «топливо – воздух»

подсчитать теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания  $1 \text{ м}^3$  газа (для природного газа требуется 17,3 массовых доли воздуха на одну долю газа). Однако если в топку подавать только теоретически необходимое количество воздуха, то добиться полного сгорания топлива невозможно. Объясняется это тем, что трудно так перемешать топливо с воздухом, чтобы к каждой молекуле горючих было подведено необходимое количество молекул кислорода. Поэтому на практике приходится подавать воздуха больше, чем теоретически необходимо, т.е. работать с избытком воздуха. При этом часть воздуха проходит через топку, не реагируя с топливом.

Размер избытка или недостатка определяется коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ , который показывает отношение действительного количества воздуха, расходуемого на горение, к теоретически необходимому. Коэффициенту избытка воздуха  $\alpha$  соответствует определенное процентное соотношение углекислого газа и кислорода в дымовых газах. Таким образом, контроль качества процесса горения необходимо вести по содержанию  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в дымовых газах. Управление подачей воздуха должно вестись с довольно высокой точностью и обеспечивать отклонение значения  $\text{CO}_2$  не более чем на  $\pm 0,5\%$  (при колебаниях содержания  $\text{CO}_2$  в уходящих газах в среднем 8–12%).

Соотношение количества топлива и воздуха, поступающих в топку, и условия их перемешивания определяют полноту сгорания топлива, длину факела, равномерность распределения температур и тепловых потоков в топочном объеме. Для регулирования процесса горения необходимо воздействовать одновременно на топливные и воздушные регулирующие устройства. Наиболее прогрессивным способом поддержания оптимального соотношения топливо – воздух котельной установки является управление подачей воздуха на основе анализа состава дымовых газов [2], в данном случае по сигналу, пропорциональному содержанию кислорода и формируемому газоанализаторами. Регулирование подачи воздуха, основанное на данном способе, учитывает практически все флуктуации качества топлива, температуры подаваемого в топку воздуха, а также методические погрешности первичных преобразователей.

Возможная структурная схема системы управления процессом качества горения топлива показана на рис. 2. Данная схема регулирования качества горения топлива использует существующую закономерность между качеством горения топлива и содержанием кислорода в уходящих газах. Это каскадная схема, главным регулятором в которой является регулятор содержания кислорода  $\text{PO}_2$ , воз-

действующий на вспомогательный регулятор соотношения топливо – воздух РВ. Соотношение топливо – воздух имеет вид линейного уравнения:

$$P_B(t) = k_1 \cdot P_T(t) = \gamma(Q^{O_2}) \cdot P_T(t), \quad (1)$$

где  $k_1 = \gamma(Q^{O_2})$  коэффициент соотношения топливо – воздух в функции производительности содержания кислорода в выходных газах котла у основания вытяжной трубы.

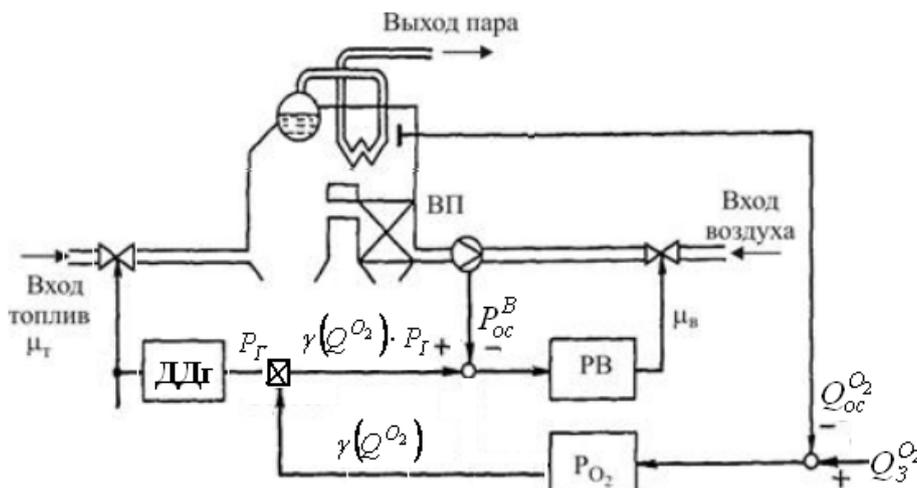


Рис. 2. Функциональная схема каскадной системы автоматизации качества процесса горения топлива

При розжиге котла и на начальном участке его производительности состав отходящих газов мало отличается от состава воздуха, поступающего в топку. Поэтому система управления, замкнутая по сигналу газоанализатора, неэффективна, и возникает необходимость во внутреннем контуре. Внутренний контур работает по заданному соотношению топливо – воздух. Задающим сигналом для работы системы управления электропривода вентилятора по внутреннему контуру является сигнал от датчика давления газа.

Если вычислять необходимое количество воздуха по (1), то при розжиге и для малой производительности система управления обеспечивает минимально необходимое количество воздуха. Выходной сигнал регулятора содержания кислорода  $\gamma(Q^{O_2})$  корректирует сигнал задания для системы регулирования давления воздуха, который сравнивается с сигналом обратной связи давления воздуха на выходе воздухоудовки  $P_{oc}^B$ . Результирующий сигнал рассогласования поступает на регулятор соотношения топливо – воздух, а затем – на исполнительный механизм регулирования давления воздуха.

Также предложенная система автоматизации предусматривает коррекцию по температуре воздуха, направляемого в топку котла. Сигнал корректирующего параметра  $\Delta k_t$  по температуре воздуха изменяет наклон вычисляемого уравнения (1), т.е.  $P_B(t) = k_1 \cdot P_T(t) = \gamma(Q^{O_2}) \cdot (1 \pm \Delta k_t) \cdot P_T(t)$ .

**Вывод.** Предложенная схема регулирования процессом качества горения топлива учитывает практически все флуктуации качества топлива, температуры подаваемого в топку воздуха. Это обеспечивается за счет каскадного регулирования и возможности работы системы автоматизации, как при нормальной производительности котла, так и в режиме розжига.

**Библиографический список**

1. *Бородин И.Ф.* Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – М., 2004. – 344 с.
2. *Овчаренко Н.И.* Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: учеб. пособие / Н.И. Овчаренко; под ред. А.Ф. Дьякова. – М., 2000. – 504 с.

УДК 629.735.33

**А. И. Бороденко**

магистрант кафедры управления в технических системах

**В. В. Дубаренко** – д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

### СИСТЕМА АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ РАДИОТЕЛЕСКОПОМ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

Основное назначение САУ наземных радиотелескопов заключается в наведении максимума ДНА на источник радиоизлучения и сопровождения его с заданной динамической точностью.

Системы автосопровождения АУ по радиосигналу широко применяются в радиоастрономии, для связи с ИСЗ, в радиолокации. По принципу действия системы автосопровождения по радиосигналу можно разделить на системы, работающие по равносигнальной зоне, суммарно-разностные и системы автосопровождения, осуществляющие настройку на максимум, – экстремальные системы.

Примером системы автосопровождения, работающей по равносигнальной зоне, является известный принцип механического сканирования ДНА. При реализации этого метода ось ДНА отклоняют на малый угол от ее оптической оси. Если цель находится на оси антенны, то принимаемый сигнал при вращении ДНА остается неизменным, хотя и не максимальным. Если же ось антенны отклонена от цели, то огибающая принимаемого сигнала оказывается промоделированной по амплитуде с частотой вращения ДНА. Выделяемый с помощью фазовых детекторов сигнал ошибки наведения антенны воздействует на электродвигатели, которые совмещают ось антенны с направлением на источник излучения.

Рассмотрим для примера схему двухзеркальной системы РТ-70 (рисунок).

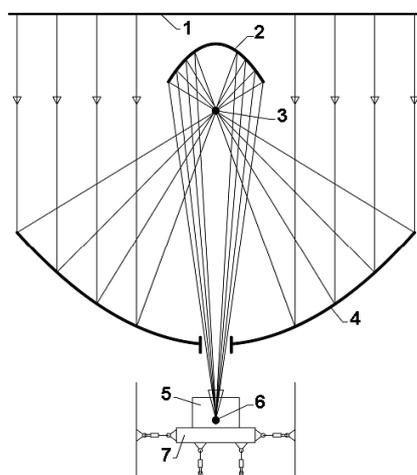


Рис. Схема двухзеркальной системы РТ-70

Условные обозначения: 1 – фронт падающей электромагнитной волны (ЭМИ), 2 – контррефлектор, 3 – первичный фокус, 4 – ГЗ, 5 – облучатель, 6 – вторичный фокус, 7 – перископическое зеркало.

Суммарная точность, которую может обеспечить САУ, в основном определяется:

- точностью и жесткостью зеркальной системы, конструкции ОПУ и механизмов наведения антенны в целом и ее отдельных частей;
- точностью управляющих сигналов (целеуказаний) наведения АУ в соответствии с требованиями сопровождения источников излучения;
- точностью датчиков обратных связей, определяющих положение осей в пространстве;
- динамической точностью, которую может обеспечить силовой следящий привод АУ в условиях возмущений и различного рода шумов, действующих на систему в процессе функционирования.

Суммарно-разностная система автосопровождения может быть построена по одному из следующих принципов: фазового сравнения сигналов, амплитудного и сравнения суммарного и разностного сигналов. Наиболее пригодной для радиоастрономии является система, основанная на сопоставлении суммы и разности принятых сигналов.

Более предпочтительной является система экстремального автосопровождения, осуществляющая настройку на максимум.

Очевидно, что мощность принимаемого антенной сигнала будет зависеть от того, насколько точно фактическая ориентация АУ в процессе слежения за КИР будет соответствовать траектории истинного движения КИР, за которым осуществляется слежение. Несмотря на то обстоятельство, что траектория слежения для многих КИР является детерминированной и известной с достаточной степенью точности для осуществления слежения в режиме программного управления, мощность принимаемого антенной сигнала будет всегда меньше максимально возможной, поскольку наведение АУ осуществляется с конечной динамической точностью. В связи с этим возникает задача настройки на максимум ДНА в процессе программного слежения за КИР, траектория которого является известной с точностью, необходимой для вхождения в связь с КИР.

Поисковые (пробные) движения позволяют определить направление рабочего шага в сторону экстремума. Стратегия поиска экстремума может состоять из двух этапов. Первый этап заключается в определении неизвестных параметров (идентификации) экстремальной характеристики, для чего необходимо сделать серию пробных шагов, подчиненных определенной стратегии, и измерении принимаемого сигнала. Второй этап сводится к определению маневра в сторону экстремума. Способ идентификации и алгоритмы обработки информации должны обеспечивать заданную точность нахождения экстремума при минимально возможном числе пробных шагов.

В силу детерминированности траектории КИР по текущей информации, полученной на основании результатов экстремального наведения на некотором участке траектории, можно уточнить расчетную траекторию слежения за КИР и осуществлять дальнейшее слежение по скорректированной программе. Текущая информация о фактических координатах КИР получается в процессе настройки на максимум ДНА на фоне программного управления. Устройство, с помощью которого по текущей информации уточняется и корректируется расчетная программная траектория, можно рассматривать как устройство адаптации и обучения.

Таким образом, способ формирования сигнала ошибки САУ наземными АУ в режиме автосопровождения непосредственно по отклонению электрической оси

ДНА от истинного направления на КИР позволяет исключить практически все систематические и медленно изменяющиеся ошибки, вводя их в контур управления. В режиме автосопровождения остаются следующие систематические ошибки, определяющие суммарную точность наведения оси ДНА на КИР:

- систематические динамические ошибки наведения, обусловленные динамическим запаздыванием из-за ограниченной полосы пропускания ССП;
- случайные динамические ошибки наведения, обусловленные флуктуациями ветровой нагрузки и сил трения в механизмах наведения АУ.

Однако появляются другие новые составляющие, свойственные только режиму автосопровождения:

- ошибки, обусловленные внутренними тепловыми шумами в приемных устройствах антенны;
- ошибки наведения, обусловленные особенностями используемого метода автосопровождения.

### Библиографический список

1. Абжирко Н.Н. «Влияние вибрации на характеристики радиолокационных антенн.» М. Сов. радио. 1974.
2. Арнольд В. И. «Математические методы классической механики.» М.: Наука, 1974. 431 с.

УДК 629.735.33

**Р.Н. Булыченко**

магистрант кафедры управления в технических системах

**В.С. Акопов** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. – научный руководитель

### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАЦИЙ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В статье приведен анализ вариаций точности модели электродвигателя во временной области. Рассчитаны функции чувствительности, произведена оценка области вариации частотных характеристик при 10% ошибке по каждому из следующих параметров электродвигателя: момента инерции ротора  $J$ , сопротивления цепи якоря  $R$ , конструктивной постоянной  $C\Phi$  и индуктивности цепи якоря двигателя  $L$  в отдельности, а также суммарные области вариации при одновременном отклонении каждого из этих параметров.

Степень влияния изменения каждого из параметров на характеристики системы оценивается с помощью функций чувствительности. Оценкой чувствительности в данной работе являются функции чувствительности от временных характеристик по каждому из перечисленных ранее параметров.

Передаточная функция двигателя постоянного тока, если не учитывать индуктивность цепи якоря двигателя [1]:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{G(s)} = \frac{K}{1 + Ts},$$

где  $T = \frac{JR_{я}}{(C\Phi)^2}$ ;  $K = \frac{1}{C\Phi}$ .

Сами функции чувствительности представляют собой соответствующие частные производные от переходной функции. Выражения для этих функций чувствительности, после преобразований [2, 3], имеют вид:

$$M_R^h(t) = -\frac{t \cdot CF}{R^2 \cdot J} \cdot e^{-\frac{t \cdot CF^2}{JR}}, M_J^h(t) = -\frac{t \cdot CF}{R \cdot J^2} \cdot e^{-\frac{t \cdot CF^2}{JR}},$$

$$M_{CF}^h(t) = \frac{1}{CF^2} \cdot (e^{-\frac{t \cdot CF^2}{JR}} - 1) - \frac{2 \cdot t}{J \cdot R} \cdot e^{-\frac{t \cdot CF^2}{JR}}.$$

Функции чувствительности и вариации без учета индуктивности цепи якоря электродвигателя приведены на рис. 1–3.

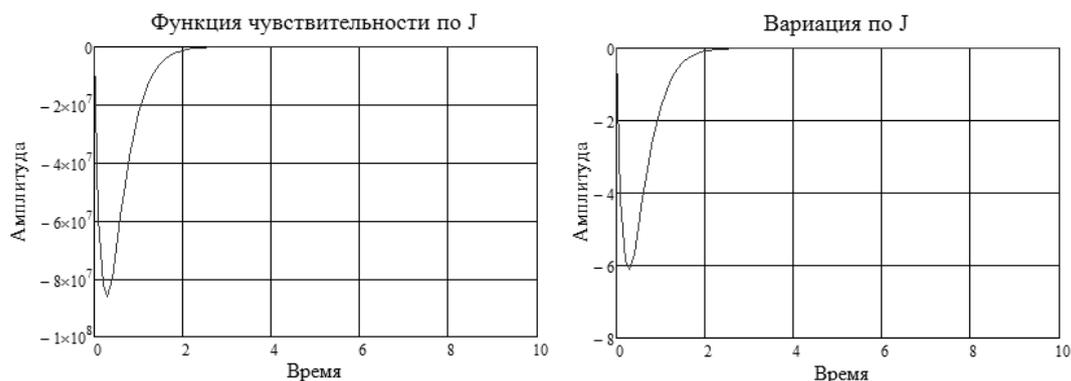


Рис. 1. Функция чувствительности по J(слева);  
вариация из-за вариации по J (10%) (справа)

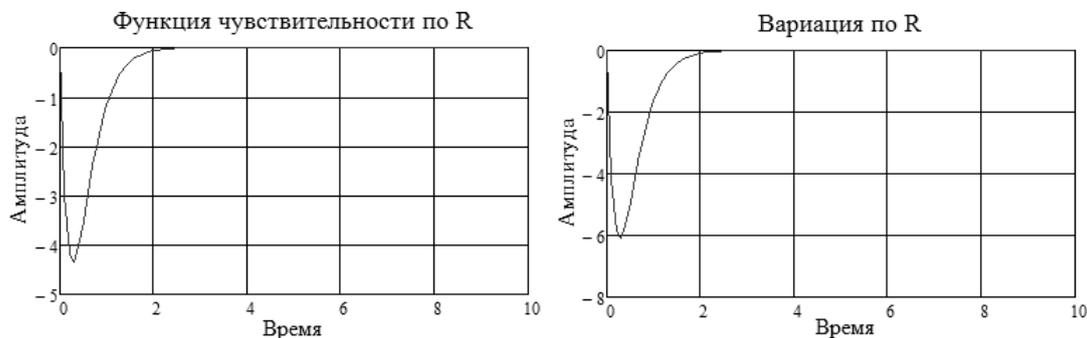


Рис. 2. Функция чувствительности по R (слева);  
вариация из-за вариации по R (10%) (справа)

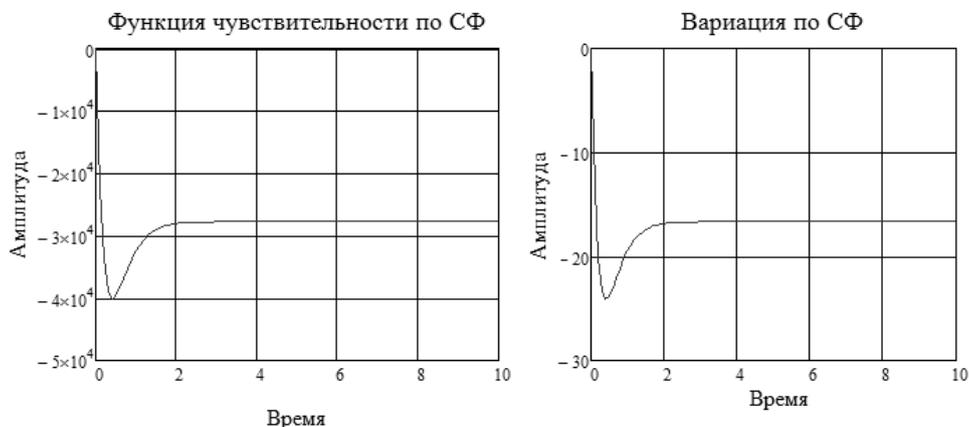


Рис. 3. Функция чувствительности по CF (слева);  
вариация из-за вариации по CF (10%) (справа)

С учетом индуктивности цепи якоря двигателя передаточная функция будет выглядеть следующим образом [2]:

$$W(p) = \frac{K}{T_M T_\vartheta p^2 + T_M p + 1},$$

где  $T_M = \frac{JR}{(C\Phi)^2}$ ,  $T_\vartheta = \frac{L}{R}$ .

Выражения для этих функций чувствительности, после преобразований [2, 3], имеют значительно более сложный вид

$$M_J^h(t) = \frac{R}{CF^3} \cdot \left( \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} - 0.5)}{2 \cdot K} + \frac{e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} + 0.5)}{2 \cdot K} + \frac{e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot T_2 \cdot A}{4 \cdot K^3} - \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot T_1 \cdot A}{4 \cdot K^3} + \frac{t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} + 0.5)}{2 \cdot T_2 \cdot K} + \frac{t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} - 0.5)}{2 \cdot T_1 \cdot K} \right),$$

$$M_{CF}^h(t) = \frac{-2 \cdot J \cdot R}{CF^4} \cdot \left( \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} - 0.5)}{2 \cdot K} + \frac{e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} + 0.5)}{2 \cdot K} + \frac{e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot T_2 \cdot A}{4 \cdot K^3} - \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot T_1 \cdot A}{4 \cdot K^3} + \frac{t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} + 0.5)}{2 \cdot T_2 \cdot K} + \frac{t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} - 0.5)}{2 \cdot T_1 \cdot K} \right),$$

$$M_L^h(t) = \frac{1}{CF \cdot R} \cdot \left( \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} - 0.5)}{2 \cdot K} + \frac{e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} + 0.5)}{2 \cdot K} + \frac{e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot T_2 \cdot A}{4 \cdot K^3} - \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot T_1 \cdot A}{4 \cdot K^3} + \frac{t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} + 0.5)}{2 \cdot T_2 \cdot K} + \frac{t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} - 0.5)}{2 \cdot T_1 \cdot K} \right),$$

$$M_R^h(t) = \frac{J}{CF^3} \cdot \left( \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} - 0.5)}{2 \cdot K} + \frac{e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} + 0.5)}{2 \cdot K} + \frac{e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot T_2 \cdot A}{4 \cdot K^3} - \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot T_1 \cdot A}{4 \cdot K^3} + \frac{t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} + 0.5)}{2 \cdot T_2 \cdot K} + \frac{t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot (\frac{A}{2 \cdot K} - 0.5)}{2 \cdot T_1 \cdot K} \right) + \frac{L}{CF \cdot R^2} \cdot$$

$$\left( \frac{T_m \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}}{4 \cdot (-K)} + \frac{T_m \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot T_2}{4 \cdot (-K)} - \frac{T_2}{4 \cdot K^3} + \frac{T_m \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot T_1}{4 \cdot K^3} + \frac{T_m \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}}{4 \cdot T_2 \cdot (-K)} + \frac{T_m \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}}{4 \cdot T_1 \cdot (-K)} \right),$$

где  $T_1 = \frac{T_m}{2} + \sqrt{\frac{T_m^2}{4} - T_m \cdot T_\vartheta}$ ,  $T_2 = \frac{T_m}{2} - \sqrt{\frac{T_m^2}{4} - T_m \cdot T_\vartheta}$ ,  $K = \sqrt{\frac{T_m^2}{4} - T_m \cdot T_\vartheta}$ ,  $A = T_\vartheta - 0.5 \cdot T_m$ .

Продемонстрируем на конкретном примере результаты использования приведенных функций чувствительности [4], для этого выберем двигатель ДПМ-25-НЗ-0.1. Технические (паспортные) данные по выбранному двигателю ДПМ-25-НЗ-0.1 таковы:  $U_N = 27$  В;  $P_N = 0.5$  Вт;  $I_N = 0.17$  А;  $M_N = 0.001$  н·м;  $\Omega_N = 600$  с<sup>-1</sup>;

$J = 7 \cdot 10^{-7}$  кг·м<sup>2</sup>;  $M_p = 0.012$  н·м.

Функции чувствительности и вариации с учетом индуктивности цепи якоря электродвигателя приведены на рис. 4–7.

Важно также проанализировать [4–6] вариацию функций чувствительности не только из-за вариации каждого из параметров в отдельности, но и суммарную вариацию при одновременной вариации всех параметров (рис. 8).

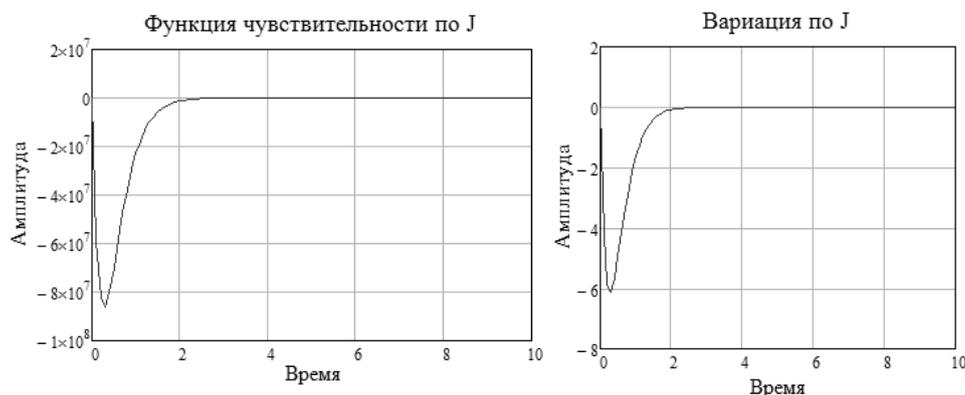


Рис. 4. Функция чувствительности по J(слева); вариация из-за вариации по J (10%) (справа)

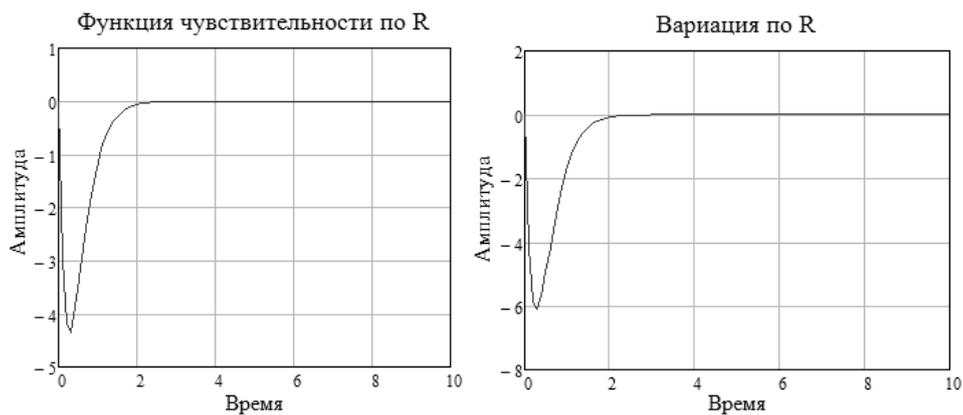


Рис. 5. Функция чувствительности по R (слева);  
 вариация из-за вариации по R (10%) (справа)

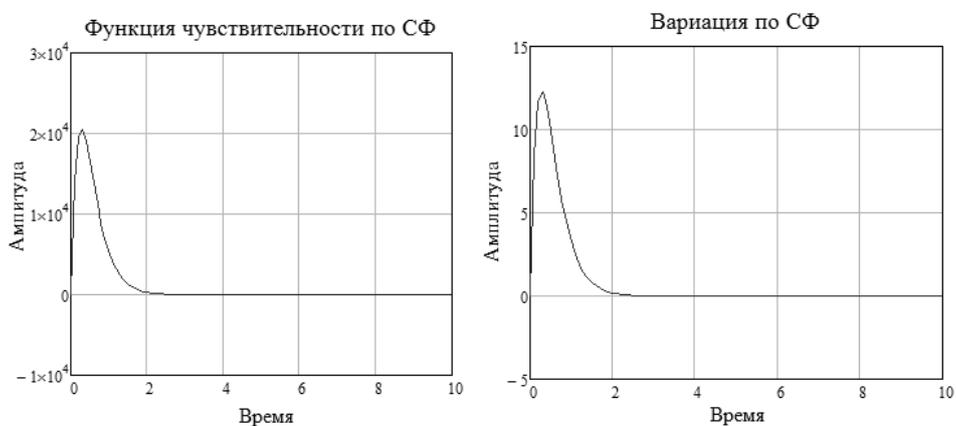


Рис. 6. Функция чувствительности по СФ (слева);  
 вариация из-за вариации по СФ (10%) (справа)

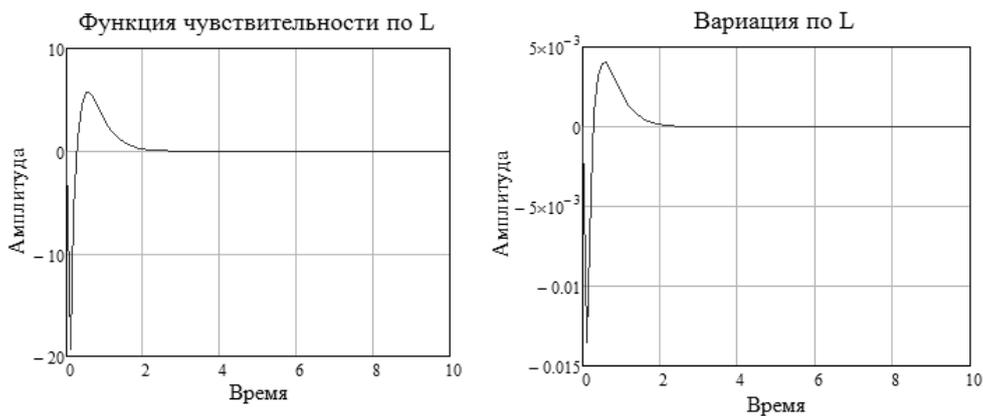


Рис. 7. Функция чувствительности по L (слева);  
 вариация из-за вариации по L (10%) (справа)

В ходе проведенного исследования, было показано, что вариация параметров оказывает существенное влияние на временные характеристики электродвигателя. Поэтому в процессе моделирования или систем управления, имеющих в

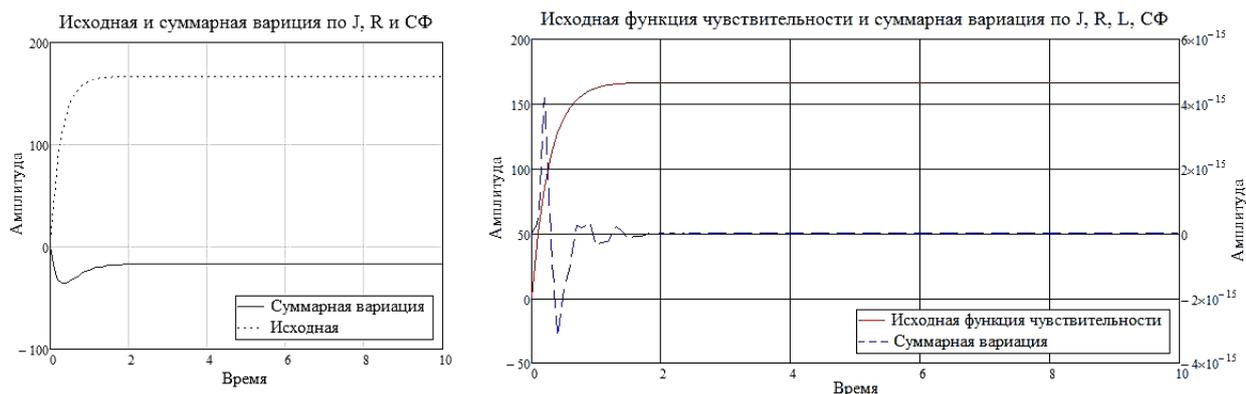


Рис. 8. Исходная функция чувствительности и ее суммарная область вариации из-за вариации параметров по R, J, СФ (слева); из-за вариации параметров по R, J, СФ и L (справа)

своем составе электродвигатель, необходимо учитывать возможные вариации его временных характеристик из-за вариации его параметров.

### Библиографический список

1. Автоматическое регулирование и управление / под ред. В.М.Пономарева, А.П.Литвинова.-М. :Высшая школа, 1974.-440с
2. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода:Учебник для вузов.-Спб.:Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ие, 1994.-496с.
3. В.А.Бесекерский, Е.П.Попов Теория систем автоматического регулирования. М.: Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1975. 768 с.
4. Р.Н.Булыченко, О.В.Острова Завалишинские чтения: молодежная секция. Сб. докл. «Анализ точности математической модели электродвигателя в частотной области» СПб.: ГУАП., 2015. С 14-17.:
5. Р.Дорф, Р.Бишоп Современные системы управления. Пер. с англ. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
6. Акопов В.С. Завалишинские чтения'14. Сб. докл. «Функции чувствительности для анализа динамической точности математической модели колеса многоколесного шасси» СПбГУАП, 2014. С.23 -27

УДК 621.7-52

**А. М. Быкова**

студентка кафедры автоматки и телекоммуникаций

**Н. В. Жукова** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

Донецкий национальный технический университет

### СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПОМ ЗАГРУЗКИ ДОМЕННОЙ ШИХТЫ

Для непрерывной работы доменной печи и постоянного состава чугуна требуется бесперебойная подача шихтовых материалов к загрузочному устройству на колошнике. Такое постоянство требует стабилизации параметров загрузки. Так

как доменный технологический процесс обладает большой инерционностью, временем запаздывания и нелинейностью, то это в значительной мере усложняет управление и требует использования всей возможной информации о ходе доменного процесса для прогнозирования изменения параметров загрузки.

Темп загрузки влияет на эффективность распределения газового потока по сечению печи, обеспечивая тем самым ровный сход материалов от колошника к горну. Следовательно, необходимо поддерживать постоянный уровень засыпи шихты тем самым обеспечивая стабилизацию шихтового режима [1].

Исходной информацией для подсистемы служит величина заданного уровня засыпи и текущие показания зондовых и радиоактивных уровнемеров, на основе которых определяются скорость схода шихты в печь и величина рассогласования действительного и заданного уровней засыпи. Управляющим воздействием является порция шихтовых материалов на горизонтальный конвейер в соответствии с изменением скорости схода шихты в доменную печь. Так как объект управления имеет большое транспортное запаздывание  $\tau$  и малую постоянную времени  $T$ , так что  $\frac{\tau}{T} \gg 1$ , то целесообразно использовать ПД-регулятор для систем с транспортной задержкой. На практике хорошо зарекомендовал себя предиктор Смита. Цель предиктора Смита – предсказать, какой сигнал должен появиться на выходе объекта до того, как он там появится на самом деле [2]. Структурная схема такой системы показана на рис. 1. Благодаря тому, что на основании прогнозируемой скорости схода шихты имеется возможность определить требуемую производительность транспортера со значительным предварением и тем самым скомпенсировать большое запаздывание в системе загрузки, появляется возможность предсказания поведения объекта до появления сигнала на его выходе [3].

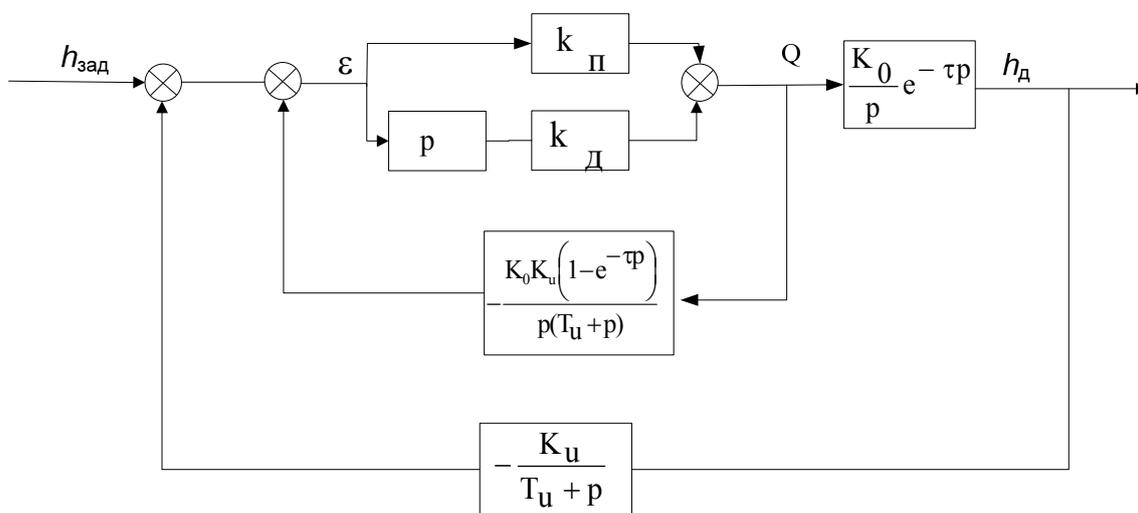


Рис. 1. Структурная схема САУ уровнем засыпи шихты на колошнике с предиктором Смита

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $\frac{K_0}{p} e^{-\tau p}$  – передаточная функция объекта по каналу управления «уровень засыпи шихты – порция шихты»;  $\frac{K_u}{p + T_u}$  – передаточная функция уровнемера;  $\frac{K_0 K_u (1 - e^{-\tau p})}{p(p + T_u)}$  – передаточная

функция звена компенсации запаздывания;  $k_{\Pi}$ ,  $k_{\text{Д}}$  – коэффициенты ПД-регулятора;  $p$  – производительность транспортера (порция шихты),  $h_{\text{зад}}$ ,  $h_{\text{Д}}$  – заданный и действующий уровни засыпи,  $\varepsilon$  – рассогласование между заданным  $h_{\text{зад}}$  и действительным  $h_{\text{Д}}$  уровнем засыпи равно  $\varepsilon = h_{\text{зад}} - h_{\text{Д}}$ ;  $\dot{\varepsilon} = v(t)$  – скорость схода шихты за подачу.

При исследовании и моделировании данной САР имеет смысл представить процесс изменения скорости схода шихты как полигармонический с наложением широкополосного случайного шума. Такой процесс может быть достаточно точно представлен рядом Фурье:

$$v(t) = A_0 + 2 \sum_{m=1}^n \left[ A_m \cos\left(2\pi \frac{m}{T} t\right) + B_m \sin\left(2\pi \frac{m}{T} t\right) \right], \quad (1)$$

где  $A_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} v_i$ ;  $A_m = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} v_i \cos 2\pi \frac{m}{N} i$ ;  $B_m = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} v_i \sin 2\pi \frac{m}{N} i$ .

Если обозначить  $R_m = 2(A_m^2 + B_m^2)$  и  $R_0 = A_0^2$ , то дисперсия процесса  $v(t)$ , учитываемая одной гармоникой, равна  $\sigma_m^2 = \frac{R_m}{2}$ , а дисперсии, учитываемые различными гармониками, складываясь, дают общую дисперсию процесса  $\sigma^2$ . Периодическая функция  $v(t)$  довольно точно аппроксимируется этими гармониками [3], так что (1) может быть использована для прогноза будущих значений скорости схода шихты.

**Выводы.** Технологический процесс загрузки доменной шихты рассмотрен в качестве объекта управления. Объект характеризуется большим транспортным запаздыванием. На основании прогнозируемой скорости схода шихты имеется возможность определить требуемую производительность транспортера со значительным предварением, тем самым скомпенсировать большое запаздывание в системе загрузки.

### Библиографический список

1. Глинков Г.М., Косырев А.И., Шевцов Е.К. Контроль и автоматизация металлургических процессов: учебник для вузов. М.: «Металлургия», 1989. 352 с.
2. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // СТА. 2007. № 1. с. 77-88
3. Глинков Г.М., Маковский В.А. АСУ Технологическими процессами в агломерационных и сталеплавильных цехах: учебник для вузов. М.: «Металлургия», 1981. 360 с.

УДК 621.182-5

**Д. О. Васильев**

магистрант кафедры управления в технических системах

**В. С. Акопов** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. – научный руководитель

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Для отопления частного жилого дома в основном используются котельные, состоящие из одного котла. Такая система зачастую нерационально использует ресурсы, ведь большую часть времени (около 80% отопительного сезона) произ-

водительность котла используется только на 50%, а в течение всего сезона – примерно на 30%. В итоге получается постоянное использование системы с неэффективной нагрузкой на оборудование, вследствие чего ускоряется износ элементов, а также увеличивается потребление топлива. Кроме того, в случае поломки одного котла, вся система перестанет функционировать. В этом заключаются главные недостатки стандартной системы. Наиболее удачным решением в таком случае является использование каскада котлов.

### Описание каскадной котельной

Каскадная котельная – это совместное гидравлическое и электрическое подключение нескольких котлов, объединенных единой системой управления. Существует два способа управления такой системой [1]:

- посредством плавной модуляции мощности – от минимальной одного из котлов до максимальной всей котельной;
- посредством каскадного выключателя, который в процессе работы отключает несколько котлов или же их включает, а возможность индивидуальной модуляции не используется.

В данной системе при правильной настройке будут отсутствовать основные недостатки системы с одним котлом. Износ уменьшается, ведь система включает в работу столько котлов, сколько необходимо в данный момент времени. При использовании такого алгоритма управления также уменьшается расход топлива. В случае поломки одного котла вся система продолжит функционирование в стандартном режиме (из алгоритма исключается котел, вышедший из строя). Мощность котлов рассчитывается так, чтобы при выходе из строя одного котла остальные обеспечивали достаточное отопление дома.

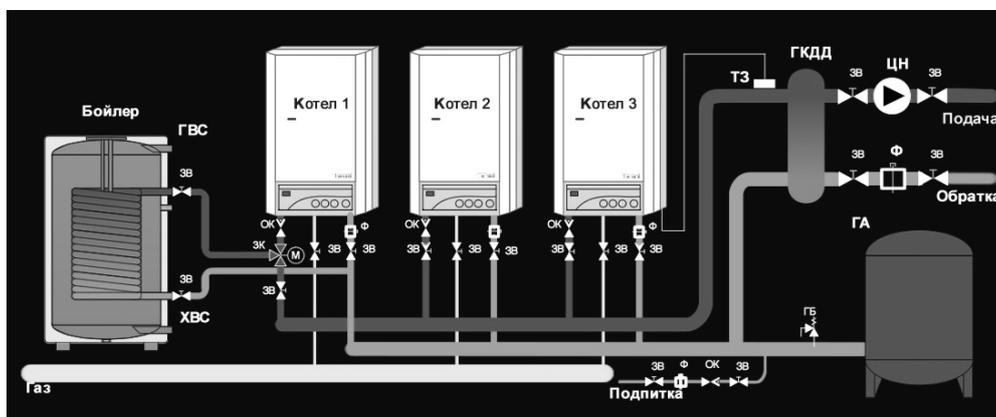


Рис. 1. Схема работы каскадной котельной

Условные обозначения на рис. 1: ЗВ – запорный вентиль; ГВС – подача горячего водоснабжения; ОК – обратный клапан; ГККД – гидравлический компенсатор динамических давлений (анулоид); Ф – фильтр; ЦН – насос отопительной системы; ЗК – трехходовой клапан; ГА – мембранный расширительный бак (гидроаккумулятор); ГБ – предохранительный клапан (группа безопасности); ТЗ – термозонд; ХВС – подача холодной воды.

### Система управления котельной

Управление котельной будет производиться в зависимости от установленной желаемой температуры в комнате, внешней температуры (с ее помощью рассчитываются теплопотери помещения). Исходя из этого, рассчитывается количе-

ство тепла, необходимое для изменения температуры комнаты с текущей до желаемой. Подача тепла в комнату осуществляется с помощью радиатора отопления, количество тепла регулируется напором и температурой теплоносителя (в качестве теплоносителя в данной системе используется вода). Нагрев воды производится каскадом котлов, использующих в качестве топлива газ.

### Предлагаемые возможности системы управления

Для расширения возможностей системы можно добавить некоторые особенности в ее работу:

- система автоматической регулировки температуры в каждой комнате дома;
- специальный алгоритм подключения котлов в работу для минимизации износа.

Регулировка температур достигается за счет изменения напора теплоносителя в контуре для конкретной комнаты за счет автоматического запорного вентиля [2, 3].

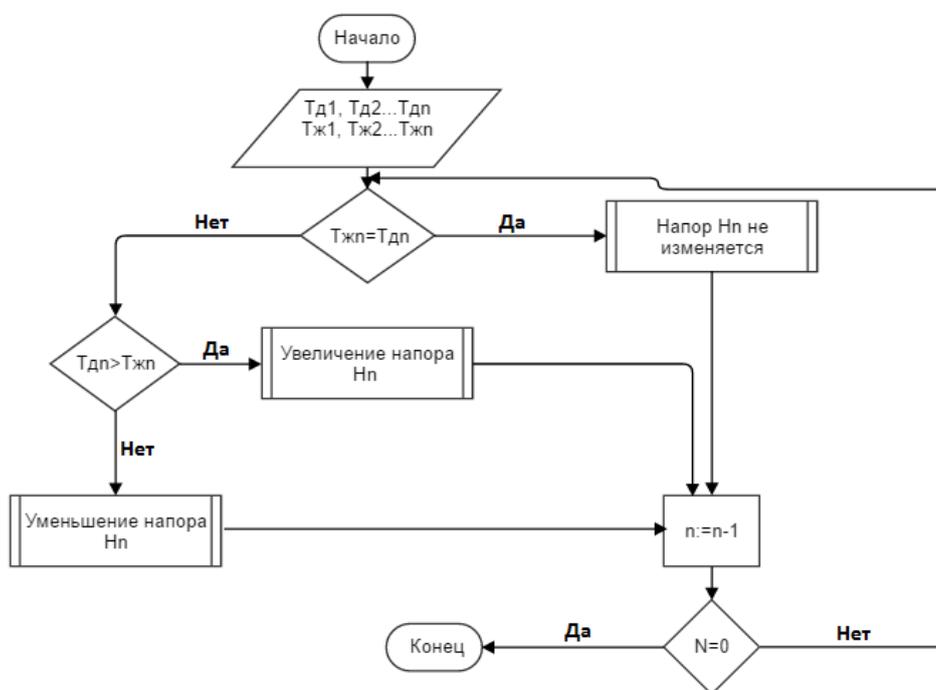


Рис. 2. Предложенный алгоритм управления температурами в комнатах

Условные обозначения на рис. 2:  $T_{дп}$  – действительная температура в комнате  $n$ ;  $T_{жп}$  – желаемая температура в комнате  $n$ ;  $H_{п}$  – напор теплоносителя в контуре комнаты  $n$

Для равномерного распределения нагрузки между котлами ежедневно происходит смена дежурного котла. При использовании каскада из трех котлов алгоритм будет выглядеть следующим образом: котел 1 начинает работу в качестве дежурного котла в первый день, котлы 2 и 3 подключаются по мере необходимости, во второй день котел 2 становится дежурным, по мере необходимости подключаются котлы 3 и 1 соответственно.

Условные обозначения на рис. 3:  $D$  – счетчик минут;  $K1, K2, K3$  – котлы;  $N$  – задержка таймера в минутах.

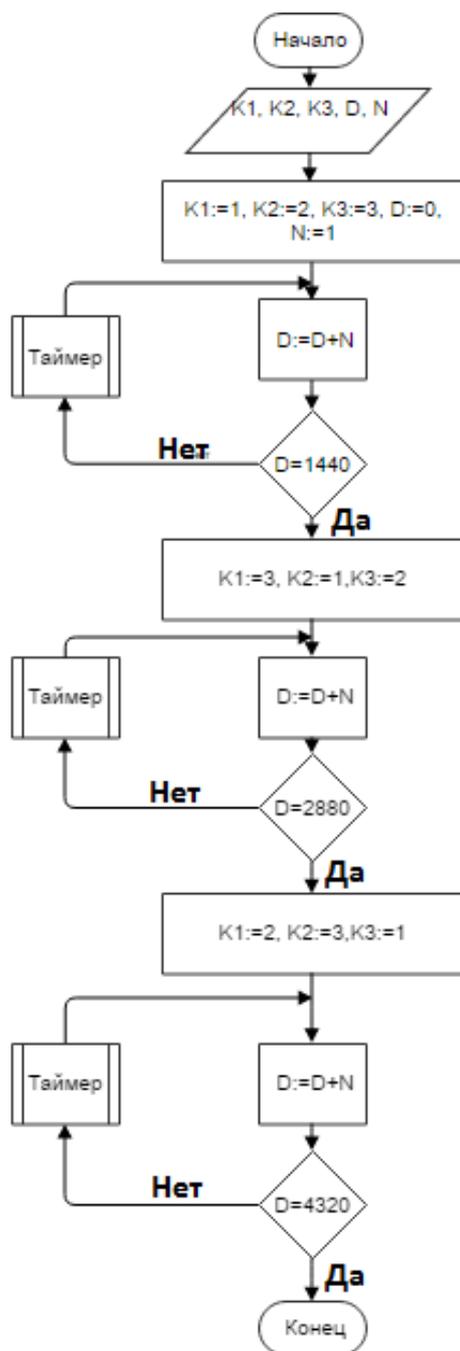


Рис. 3. Предложенный алгоритм переключения дежурного котла

### Вывод

В данной работе предлагается система управления каскадной котельной для отопления загородного дома, обладающая расширенными возможностями: специальным алгоритмом подключения котлов в работу для минимизации их износа, возможностью независимого регулирования температуры каждой комнаты для повышения комфорта пользователя.

### Библиографический список

1. Бойко, Е. А. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов) / Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. 228 с.

2. Роддатис К.Ф., Полторецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности / Под ред. К.Ф. Роддатиса. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Котельные установки и их эксплуатация: учеб. для нач. проф. образования / Б. А. Соколов. - 2-е изд., испр. - М. : Академия, 2007. - 432 с.

**УДК 661.66:620.5**

***Н. Л. Гречкин***

студент кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

***Ю. С. Николаев*** – канд. хим. наук, доц. – научный руководитель

### **НОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ 4 ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ И РОБОТОТЕХНИКЕ**

Наноструктурированные материалы являются перспективными по причине наличия физических свойств, не характерных для объемных модификаций. Большой интерес представляет кремний, нанокристаллы которого привлекли в последние годы большое внимание из-за превосходных электрических и механических свойств, позволяющих использовать их во многих областях.

Кремний (Si) в различных своих формах (кристаллический, поликристаллический, аморфный) является основой современной микроэлектроники и фоточувствительной оптоэлектроники (фотовольтаики). Кристаллическая решетка кремния кубическая гранецентрированная, параметр  $a=0,54307$  нм (при высоких давлениях получены и другие полиморфные модификации кремния). Кремний хрупок, только при нагревании выше  $800^{\circ}\text{C}$  он становится пластичным веществом.

Специально легированный кремний широко применяется как материал для изготовления полупроводниковых приборов (транзисторы, термисторы, силовые выпрямители тока, управляемые диоды – тиристоры; солнечные фотоэлементы, используемые в космических кораблях, и т. д.). Поскольку кремний прозрачен для лучей с длиной волны от 1 до 9 мкм, его применяют в инфракрасной оптике. Кремний имеет разнообразные и все расширяющиеся области применения. В металлургии кремний используется для удаления растворенного в расплавленных металлах кислорода (раскисления) [4].

Кремний является составной частью большого числа сплавов железа и цветных металлов. Обычно кремний придает сплавам повышенную устойчивость к коррозии, улучшает их литейные свойства и повышает механическую прочность; однако при большем его содержании кремний может вызвать хрупкость. Наибольшее значение имеют железные, медные и алюминиевые сплавы, содержащие кремний. Все большее количество кремния идет на синтез кремнийорганических соединений и силицидов. Кремнезем и многие силикаты (глины, полевые шпаты, слюды, тальки и т. д.) перерабатываются стекольной, цементной, керамической, электротехнической и др. отраслями промышленности [1].

Так как чешуйки такого трехмерного графена по размерам превышают размер углеродных нанотрубок (УНТ), их проще равномерно распределять по образцу, смешивать с различными реагентами. Это свойство использовали сотрудники Массачусетского технологического института (США). Они изготовили гибкую графеновую бумагу, способную в несколько раз увеличивать свою площадь. Для этого графен наносили на полимерную пленку, предварительно растянутую в двух направлениях. После сжатия по одному из измерений графен укладывается вол-

нами, образуя складки (рис. 1). Впоследствии его стало возможным сжать в комок, поочередно возвращая в исходное (до деформации) положение [3].

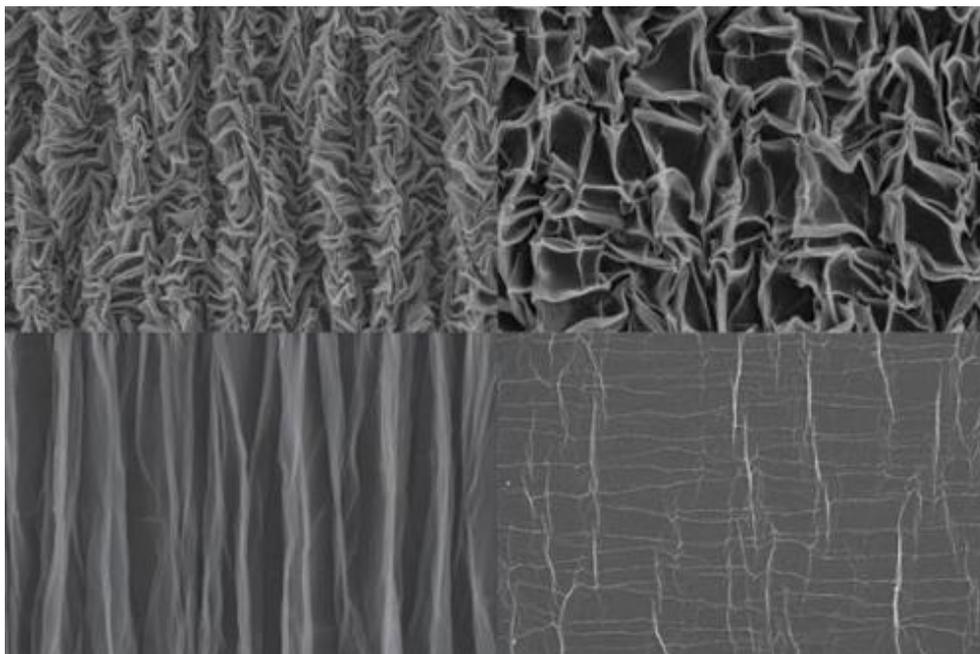


Рис. 1. Структура графена разной степени смятости [3]

Такие изделия из мягкого графена почти не слипаются из-за резкого уменьшения площади соприкосновения поверхностей. Прикрепив их к пленке из эластичного полимера и прикладывая к системе внешнее электрическое поле, удалось добиться их сокращения-удлинения. Вот вам и искусственный аналог мускулов, да и много еще чего. Проблема в том, что получать мятый графен не так просто: требовалось прибегать к ряду ухищрений, что требовало дополнительного времени и затрат.

Однако получить мятый графен из двумерного, сформированного на липкой ленте, можно более простым путем. Для этого надо отслоить двумерную графеновую пленку от липкого слоя скотча под углом 180 или 90 градусов. В последнем случае обратную сторону, основу липкой ленты, следует приклеить или закрепить на жесткой подложке (стеклянной, к примеру).

Проблема получения складок, гофров с четко выраженными минимумом и максимумом, хорошо знакома исследователям адгезионных (прилипаемость) свойств липких лент к тонким подложкам из фольги металлов. Процесс сопровождается снижением чистоты поверхности (увеличением шероховатости). Контролировать степень шероховатости приходилось с помощью механических устройств [2].

Так, мятый графен претендует на главную роль материала электродов суперконденсаторов. За счет «комкания» и последующего «растяжения» размер графеновой «бумаги» может увеличиться в восемь раз по отношению к первоначальному размеру, а без потерь любых характеристик скомканная графеновая бумага выдерживает 1000 циклов деформации.

В качестве изолирующего слоя суперконденсатора используется тончайший слой гидрогеля, гибкого и эластичного материала, зажатого между двумя слоями «скомканного» графена.

Создание суперконденсаторов, выдерживающих изгибание, растяжение или другие виды деформации, является достаточно сложной проблемой, над которой уже достаточно давно бьются различные группы ученых. Однако теперь момент появления гибких портативных устройств аккумулирования энергии на основе суперконденсаторов стал намного более близок.

Многообещающими являются и другие направления использования графена. Так, предполагается, что в смеси с пластмассами графен даст возможность создавать композитные проводящие материалы, устойчивые к действию высоких температур. Прочность графена позволяет конструировать новые механически устойчивые материалы, сверхтонкие, легкие и эластичные. В будущем из композитных материалов на основе графена возможно будет делать автомобили, самолеты и спутники.

### **Библиографический список**

1. Алфимов М.В. Российские нанотехнологии. Том 5, № 11-12.
2. Елецкий А.В., Искандарова И.М., Книжник А.А., Красиков Д.Н. Успехи физических наук. Том 181, №12.
3. Электронный ресурс: <http://www.ng.ru>
4. Электронный ресурс: <http://www.allmetals.ru/>

**УДК 621.311.4-52**

**В. Ю. Грущук**

студентка кафедры «Электрические системы и сети»

**С. А. Гришанов** – старший преподаватель, – научный руководитель  
Донецкий национальный технический университет

### **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПТК CLEARVIEWSCADA ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДСТАНЦИИ»**

Современные информационные технологии обеспечивают создание систем управления технологическими процессами на качественно новом уровне. Следует отметить, что на нынешнем этапе развития энергетики актуальным является создание интегрированных систем управления электроэнергетическими объектами, функционирующих на единой информационной основе.

Построение такой информационной системы должно обеспечивать:

- создание и функционирование единой системы хранения и идентификации объектов, оборудования, режимных параметров и технико-экономических показателей;
- возможность простого и эффективного обмена данными между объектами различных уровней управления;
- независимость структур хранения данных и методов их обработки;
- возможность хранения информации о текущем состоянии объектов;
- максимальную независимость структуры и методов обработки от конкретной базы данных (БД) и ее систему управления (СУБД), что обеспечивает их использование как в центрах сбора и обработки, так и на низших уровнях (подстанции, РЭС и т.п.), где вопрос об установке мощной СУБД не может быть решен.

Анализ автоматизированных систем управления электроэнергетическими объектами стран постсоветского пространства позволяет сделать вывод, что, в лучшем случае, на предприятиях электрических систем используются локальные информационные системы, обеспечивающие только информационную поддержку принятия решения одной или нескольких отдельных технологических задач управления [1].

Появление новых международных стандартов (к примеру IEC 61850) и развитие современных информационных технологий дает новые возможности в подходах решения задач автоматизации и управления объектами электроэнергетики. Поэтому создание базы данных энергетического предприятия при реализации технологии ведения информации является одним из этапов построения эффективной системы управления.

Целью данной работы является задача адаптации идеи построения информационной системы (БД) к современным системам сбора информации типа SCADA. В качестве примера программного обеспечения, реализующего задачи построения типовых для электроэнергетики SCADA систем, было выбрано ClearView-SCADA фирмы ReLab Software, а в качестве инструмента для реализации информационной системы (БД) система MS Access.

На рис. 1 приведена структура информационной системы (БД) для инженеров службы подстанции, которая была разработана на кафедре «Электрические системы» ДонНТУ. Предложенное решение позволяет автоматизировать процесс получения текущей (поступающей от систем сбора) и справочной информации с объектов (ПС и их присоединений), необходимой персоналу службы ПС для принятия решения и управления.

Графическое отображение элементов ПС будет реализовано в ClearView-SCADA [2]. Этот инструмент имеет удобный графический интерфейс, позволяющий, без особых проблем, даже неопытному специалисту реализовать оперативную схему ПС и увязать данные с систем сбора посредством встроенного OPC-клиента. Это стандартное и надежное решение по сбору данных позволяет подключать к ClearView SCADA устройства, передающие информацию по различным протоколам, таким как Modbus, IEC-60870-5-101/104, IEC-61850 MMS и т.д.

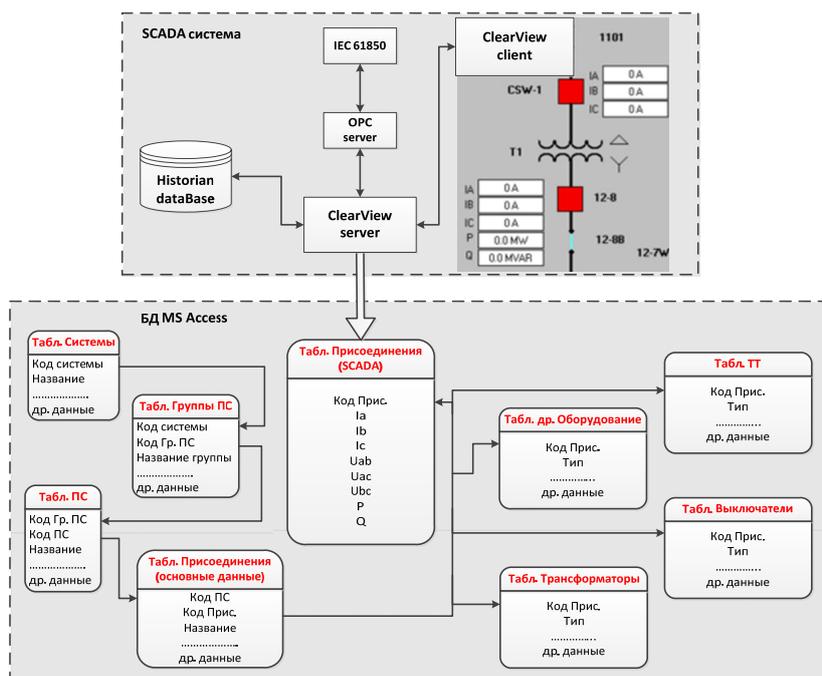


Рис. 1. Структура информационной системы

Подобная схема реализации в построении информационной системы интегрированной SCADA запланирована для разработки на кафедре «Электрические системы» ДонНТУ, как лабораторный практикум «Автоматизация ПС». Планируется переход от графической оболочки, реализованной на сегодняшний день в AutoCAD, к оболочке в ClearView SCADA. Также планируется подключение нескольких терминалов устройств микропроцессорных защит REF 541 фирмы ABB.

### Библиографический список

1. Заболотный И.П. Информационно-управляющие системы для локальных электроэнергетических объектов на основе современных информационных технологий: дис... д-ра техн. наук: 05.14.02 // Донецкий национальный технический ун-т. – Донецк, 2005. – 399 С.
2. Официальный сайт <http://www.relabssoft.com>

УДК 621.391

**Е. А. Денисова**

магистр кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### АЛГОРИТМ ТЕРМОКОРРЕКЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ДАТЧИКА ГОРИЗОНТА

В различных областях техники, например в строительстве, при погрузочных работах и др., очень часто возникает необходимость горизонтирования различных объектов. Для решения этой задачи используются системы автоматического горизонтирования [1], в состав которых входит датчик горизонта, определяющий положение объекта относительно горизонта. В данной статье рассматривается датчик горизонта, который состоит из двух основных частей: акселерометра и электронного блока. На практике на прибор действуют различные возмущения, вызванные тряской, вращением, изменением условий окружающей среды и т.д. В рассматриваемом электронном блоке датчика горизонта, как будет показано далее, выходные параметры одной из плат имеют зависимость от температуры. Для устранения этой зависимости применяется термокоррекция, которая осуществляется в другой плате электронного блока – адаптере обмена. Поэтому в данной статье речь пойдет о влиянии температуры на работу электронного блока прибора датчика горизонта и способе его устранения.

Данный датчик горизонта обеспечивает определение угла отклонения прибора от горизонта в угловом диапазоне от -5 угловых градусов до +5 угловых градусов и на интервале температур от -50°C до +50°C.

Устройство датчика горизонта уже рассматривалось в [2]. Напомним, что датчик горизонта состоит из двух основных блоков: двухкомпонентного маятникового акселерометра компенсационного типа, производящего измерения по двум независимым каналам и выдающего информацию об угле наклона блока относительно горизонта по каждому каналу и электронного блока, усиливающего сигнал от акселерометра и передающего информацию о величине отклонения прибора от горизонта. В состав электронного блока входят четыре платы:

– двухканальный усилитель обратной связи, предназначенный для усиления и преобразования сигналов от акселерометра;

- измеритель температуры, измеряющий температуру в месте установки прибора и выдающий информацию в цифровом коде;
- вторичный источник питания, обеспечивающий все составные части датчика горизонта необходимым для работы блока питанием;
- адаптер обмена (АО) предназначен для измерения тока обратной связи, преобразования его в цифровой код, последующей обработке и выдаче информации об угле отклонения прибора от горизонта в систему управления.

На практике на прибор действуют различные возмущения, вызванные тряской, вращением, изменением условий окружающей среды и т.д. Это может отрицательно сказываться на качестве работы прибора. Применяв предварительную обработку выходного сигнала акселерометра, можно свести влияние возмущений к минимуму, поэтому в состав прибора включают устройства обработки информации (адаптер обмена).

Так, при исследовании зависимости выходных параметров платы усилителя обратной связи от температуры данного датчика горизонта, были получены результаты, представленные на рис. 1.

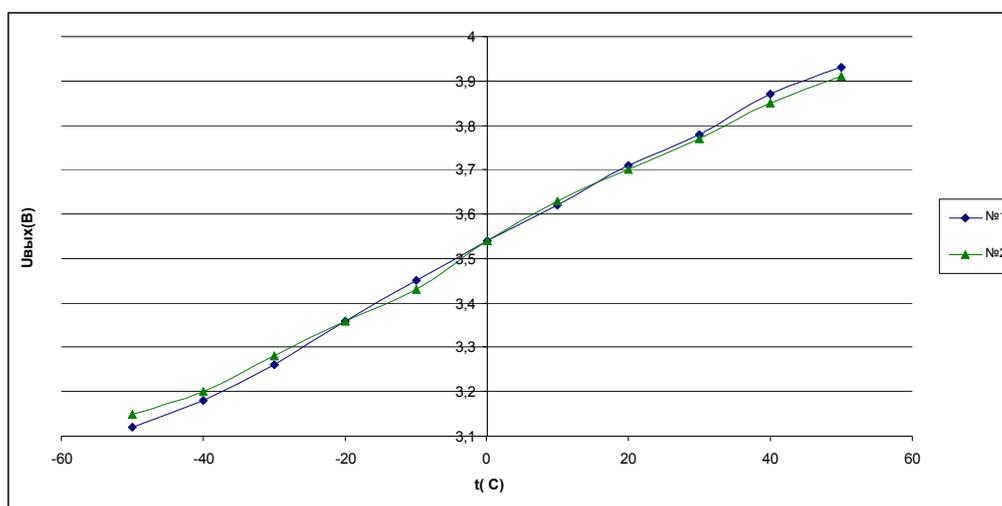


Рис. 1. Зависимость выходного напряжения платы усилителя обратной связи (В) от температуры (°C) при двух измерениях

Исследования показали, что плата усилителя обратной связи имеет зависимость выходного напряжения от температуры, а так же, что данная зависимость имеет постоянный характер. Такая зависимость определяет необходимость осуществления температурной коррекции, а так же масштабирования кода, соответствующего углу отклонения при конкретной температуре. Данная коррекция осуществляется в адаптере обмена, где напряжения на масштабном резисторе преобразуется в цифровой код с помощью АЦП, а затем на микроконтроллере этот код обрабатывается.

Для осуществления термкоррекции используется следующий алгоритм, основанный на методе кусочно-линейной аппроксимации [3]:

Весь рабочий диапазон разделяется на участки следующим образом: температурный диапазон (от -50°C до +50°C) разбивается на 10 участков по 10°C (от -50°C до -40°C, от -40°C до -30°C и т.д.), а так же на 4 участка в зависимости от угла отклонения (от -5 угл. град. до -30 угл. мин., от -30 угл. мин. до 0 угл. град., от 0 угл. град. до +30 угл. мин., от +30 угл. мин. до +5 угл. град.)

Таким образом, выделяется 55 характерных точек.

Разбиение рабочего диапазона температур и углов можно представить в виде массива KOD, изображенного в табл. 1:

Таблица 1.

Разбиение рабочего диапазона температур и углов

Температура, °C	Угол				
	-5 угл. град.	-30 угл. мин.	0 угл. град.	+30 угл. мин.	+5 угл. град.
-50	KOD [0][0]	KOD [0][1]	KOD [0][2]	KOD [0][3]	KOD [0][4]
-40	KOD [1][0]	KOD [1][1]	KOD [1][2]	KOD [1][3]	KOD [1][4]
.....					
+50	KOD [10][0]	KOD [10][1]	KOD [10][2]	KOD [10][3]	KOD [10][4]

Данный массив хранится в энергонезависимой памяти микроконтроллера. Его запись происходит на этапе регулировки прибора с помощью точного выставления положения прибора и помещения его в термокамеру для установления необходимого значения температуры.

Первым этапом алгоритма термокоррекции является определение температурного участка, в который входит текущая температура ( $T_{tek}$ ) блока, а так же одного из четырех угловых участков. Обозначим определенные участки как  $i\_T$  и  $i\_U$  соответственно.

Второй этап алгоритма – расчет переменных COD\_DT\_1 и COD\_DT\_2 – скорректированный код АЦП для текущей температуры в двух характерных угловых точках:

$$COD\_DT\_1 = KOD[i\_T][i\_U] + \frac{KOD[i\_T+1][i\_U] - KOD[i\_T][i\_U]}{T_{max} - T_{min}} (T_{tek} - T_{min})$$

$$COD\_DT\_2 = KOD[i\_T][i\_U+1] + \frac{KOD[i\_T+1][i\_U+1] - KOD[i\_T][i\_U+1]}{T_{max} - T_{min}} (T_{tek} - T_{min})$$

где  $T_{max}$  – ближайшая к текущей характерная температура в большую сторону,  $T_{min}$  – ближайшая к текущей характерная температура в меньшую сторону (например, если  $T_{tek}=26$ , то  $T_{min}=20^{\circ}C$  и  $T_{max}=30^{\circ}C$ ).

Данный расчет графически проиллюстрирует рис. 2.

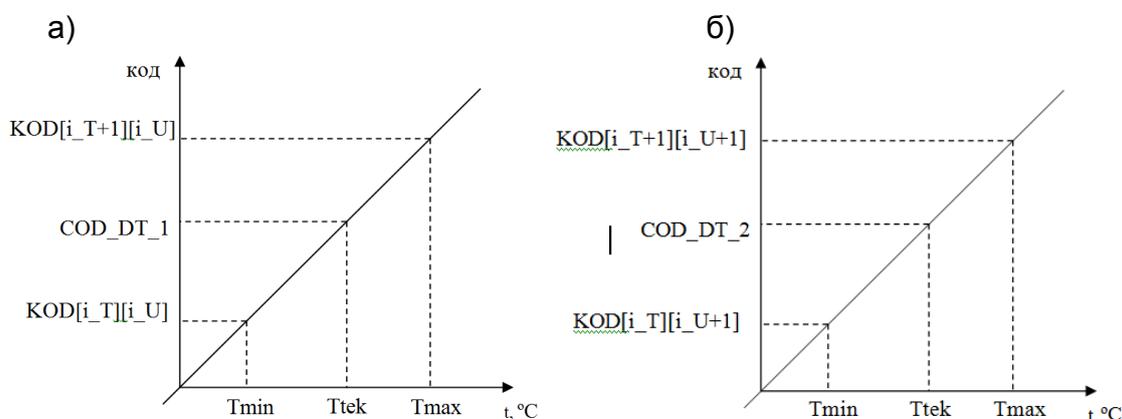


Рис. 2. Графическое представление расчета переменных а)COD\_DT\_1, б)COD\_DT\_2

Последним этапом алгоритма является масштабирование скорректированного кода для соответствия информации протоколу обмена. На данном этапе рассчитывается переменная COD\_OUT:

$$COD\_OUT = KOD\_mas[i\_U] + \frac{KOD\_mas[i\_U+1] - KOD\_mas[i\_U]}{COD\_DT\_2 - COD\_DT\_1} (COD - COD\_DT\_1)$$

где KOD\_mas[5] – массив масштабных коэффициентов, который так же хранится в энергонезависимой памяти микроконтроллера, COD – код АЦП в текущий момент времени.

Таким образом, алгоритм термокоррекции электронного блока датчика горизонта заключается в определении температурного и углового участков, к которым принадлежит состояние блока в текущий момент времени. Так же последующей коррекции кода АЦП с помощью стандартных кодов, записанных на этапе регулировки блока и хранящихся в энергонезависимой памяти микроконтроллера, и дальнейшем масштабировании скорректированного кода.

### Библиографический список

1. Семенов С. Е., Андреев М. А. Алгоритм горизонтирования транспортной платформы // Инженерный вестник. 2014. №10. С.12-18.
2. Денисова Е.А. Структура прибора горизонтирования на основе акселерометра [Текст] / Завалишинские чтения: молодежная секция. Сб. докладов / СПб.: ГУАП., 2015. 133 с.
3. <https://www.simple-devices.ru/articles/7/152>

УДК 629.12

**Д. М. Дудин, О. В. Кузнецов**

студенты кафедры управления в технических системах

**М. С. Брунов** – научный руководитель

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ ПРИ МОДАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ КУРСОМ КОРАБЛЯ

В данной работе рассматривается процесс модального управления курсом корабля. В современных системах процесс управления в режиме стабилизации судна на курсе полностью автоматизирован [1]. Автоматическое управление осуществляется с помощью современных авторулевых, которые реализуют пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон управления.

ПИД закон управления реализует управление по отклонению, и реагирует лишь на отклонения курса, а не на возмущающие воздействия. Это приводит к рысканию судна, а следовательно, к снижению качества удержания его на курсе.

Цель данного исследования состоит в анализе работы системы автоматического управления курсом судна (САУ КС) в условиях периодических возмущений.

При настройке систем приходится принимать компромиссные решения: выбирать изменяемые параметры так, чтобы обеспечить требуемую точность при необходимом запасе устойчивости.

В работе [2] в качестве основного возмущающего воздействия рассматривается нерегулярное волнение. При рассмотрении этого возмущения выделяются две основные составляющие: постоянная или медленно изменяющаяся, вызыва-

ющая снос и угол дрейфа, и периодическая, следствием которой является рыскание. Исследование [3] посвящено изучению действия волнового возмущающего воздействия в процессе управления судном в режиме стабилизации. В этой связи особый интерес представляет исследование действия возмущающих воздействий на судно (морского волнения) для дальнейшего использования этой информации при формировании компенсирующего сигнала в авторулевом.

Морское волнение – это колебания поверхности воды, вызванные ветром (а также приливами, отливами и другими причинами). Простейшая модель морского волнения – гармонические колебания поверхности, когда волновая ордината (вертикальная координата точек поверхности) изменяется по закону синуса. Такое волнение называют регулярным. Однако в самом деле волновая ордината меняется по более сложному закону, его можно (опять-таки приближенно) представить, как сумму большого количества гармоник (синусоид) с разными амплитудами и фазами (теоретически – это сумма бесконечного числа гармоник). Это так называемое нерегулярное волнение, которое чаще всего описывается как случайный процесс. Можно предположить, случайные волновые ординаты распределены по нормальному закону, и это действительно подтверждается экспериментами. При этом плотность распределения высот волн подчиняется закону Рэлея.

Рассмотрим систему автоматического управления кораблем при модальном управлении.

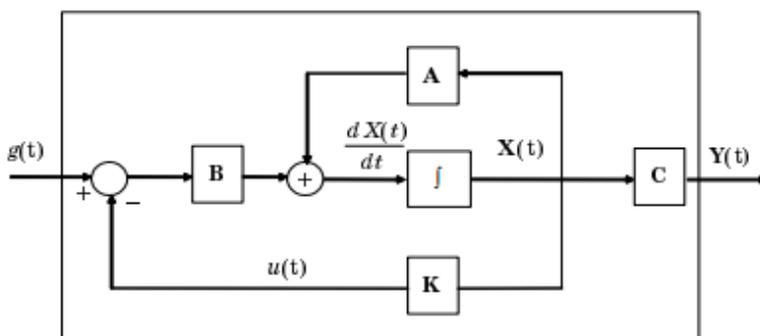


Рис. 1. Модальное управление курсом корабля

В пространстве состояний систему можно описать следующими уравнениями:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -0.05 & -6 & 0 & 0 \\ -10^{-3} & -0.15 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 13 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} -0.2 \\ 0.03 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta(t)$$

Здесь вектор состояния будет иметь вид  $x^T(t) = [\dot{U} \quad \dot{\omega} \quad y \quad \theta]$ , где  $\dot{U}$  – скорость в поперечном направлении,  $\dot{\omega}$  – угловая скорость корпуса корабля,  $y$  – отклонение корабля по оси, перпендикулярно курсу,  $\theta$  – угловое отклонение от курса.

В нашей стране для характеристики волнения используется высота волны 3%-й обеспеченности,  $h_{3\%}$  – это высота волны, вероятность превышения которой составляет 3%. Значения определяются по таблице в зависимости от интенсивности волнения (в баллах):

Таблица 1.

Соотношения высоты волны и бальной системы

Волнение, баллы	$h_{3\%}$ , м	Волнение, баллы	$h_{3\%}$ , м	Волнение, баллы	$h_{3\%}$ , м
1	0 - 0.25	4	1.25 - 2.0	7	6.0 - 8.5
2	0.25 - 0.75	5	2.0 - 3.5	8	8.5 - 11
3	0.75 - 1.25	6	3.5 - 6.0	9	Более 11

По значению  $h_{3\%}$  можно определить дисперсию волновой ординаты  $D_r$ . Известно, что высота волны  $h$  – это случайная величина, распределенная по закону Рэлея.

Строго говоря, волнение – это нестационарный процесс. Оно начинается с ряби, затем ветер за счет завихрений потоков воздуха разгоняет волны. Но если ветер с постоянными свойствами действует достаточно длительное время (несколько часов) на большой акватории (десятки километров), можно говорить о развитии (установившемся) волнении, которое считают стационарным эргодическим процессом. Такой подход позволяет использовать методы анализа случайных процессов на основе корреляционных функций и спектральных плотностей.

Под термином «спектр морского волнения» обычно понимают спектральную плотность волновой ординаты.

Если нет никакой информации о свойствах случайных возмущений, действующих на системы, часто считают, что они приближенно описываются моделью белого шума. Если мы докажем, что даже в этом (наихудшем) случае характеристики системы останутся удовлетворительными, то они будут не хуже и при любой другой случайной помехе.

Белый шум, как сигнал с бесконечной энергией, невозможно получить на практике. При моделировании его обычно заменяют на белый шум с ограниченной полосой, который имеет равномерный спектр в полосе частот от  $-\omega_0$  до  $\omega_0$ , и нулевой вне этой полосы.

Для моделирования морского волнения был использован формирующий фильтр, передаточная функция которого имеет следующий вид:

$$F(s) = \frac{K_w \omega^2}{s^2 + 2\lambda \omega_0 s + \omega_0^2},$$

где  $\omega_0$  – доминирующая частота волн,  $\lambda$  – коэффициент демпфирования ( $0 < \lambda < 1$ ),  $K_w = 2\lambda \omega_0 \sigma_w$ ,  $\sigma_w$  – коэффициент, определяющий интенсивность волнения.

Моделирование проводилось в программе Matlab Simulink

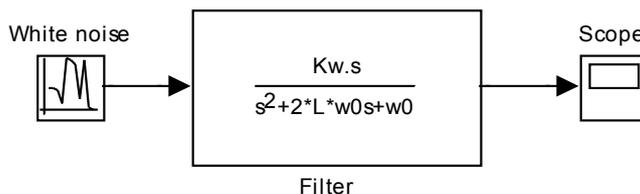


Рис. 1. Схема формирующего фильтра для моделирования морского волнения в Simulink

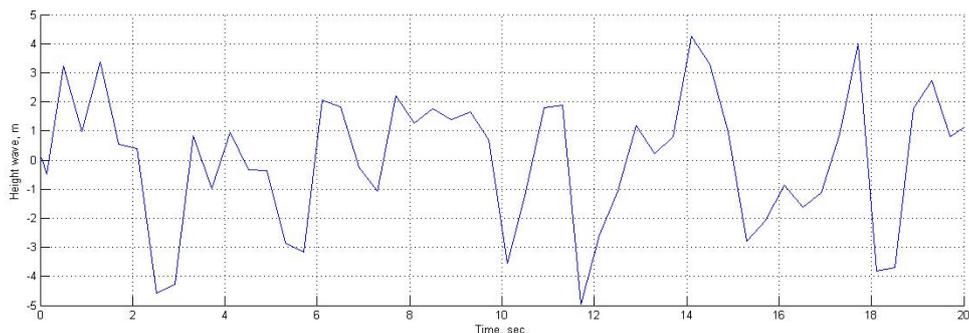


Рис. 2. Результат моделирования пятибального шторма

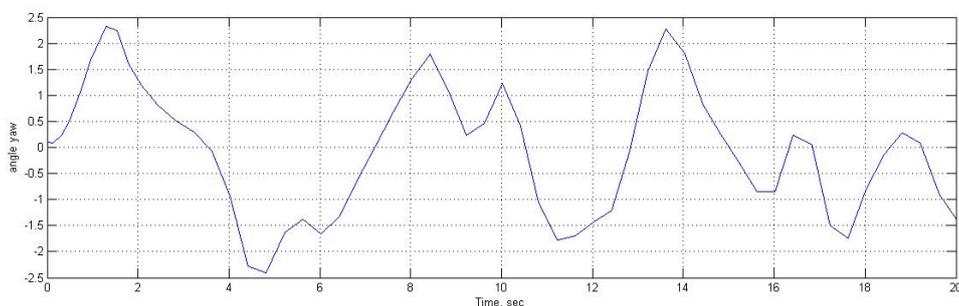


Рис. 3. Угловое отклонение корабля при воздействии пятибального шторма

Было проведено моделирование воздействия штормов в 1–5 баллов. В частности в результате экспериментов было установлено, что при воздействии штормов, не превышающих 5 баллов, угол отклонения от курса не превосходит следующих значений:

- при однобальном шторме – 0.5 градуса,
- при трехбальном шторме – 1.8 градуса,
- при пятибальном шторме – 2.4 градуса.

#### **Вывод.**

При штормах до пяти баллов, временные отклонения от курса не превышает 3 градусов. Моделирование морского волнения методом формирующих фильтров позволяет приблизить результаты экспериментов к реальным условиям.

#### **Библиографический список**

1. Fossen T.I. Marine Control Systems. Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles—Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, 2002.— 570p.
2. Подпорин С.А. Развитие методов интеллектуального управления движением судна на курсе. - Диссертация ... к.т.н.: 05.22.13. — Одесса: ОНМА, 2009. — 180 с.
3. Голиков В.А., Львов В.Е. Сравнительное имитационное моделирование движения судов по предписанному курсу с различными принципами управления // Судовождение. — Вып. 17. — Одесса: ОНМА, 2010.

УДК 692.7.016

**А. А. Зайцев**

студент кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОГО  
СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РУЛЕВОГО ПРИВОДА  
ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

В настоящей работе представлены результаты проектирования четырехканального следящего электромеханического рулевого привода (ЭРП) для беспилотного летательного аппарата (БЛА). Следящим называется привод, который обеспечивает с заданной точностью движение исполнительного органа рабочей машины в соответствии с произвольно изменяющимся входным сигналом управления [1]. Назначением данного ЭРП является контроль поворота рулей БЛА по сигналам управления, поступающим из бортовой аппаратуры системы управления.

По функциональному назначению электропривод представляет собой четырехканальный следящий исполнительный электропривод, обеспечивающий независимую, реверсивную обработку входных сигналов, определяемыми командами бортовой аппаратуры системы управления, выходными звеньями. Структурная схема ИЭП для четырех каналов БЛА представлена на рис. 1.

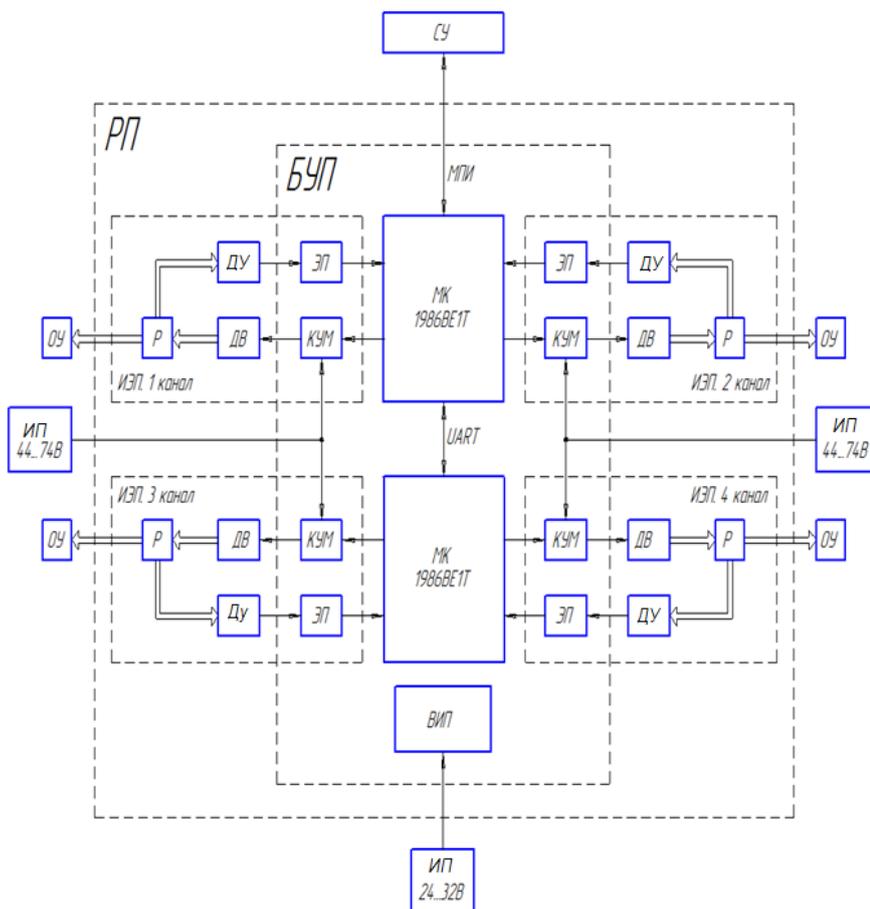


Рис. 1. Структурная схема ИЭП для четырех каналов БЛА

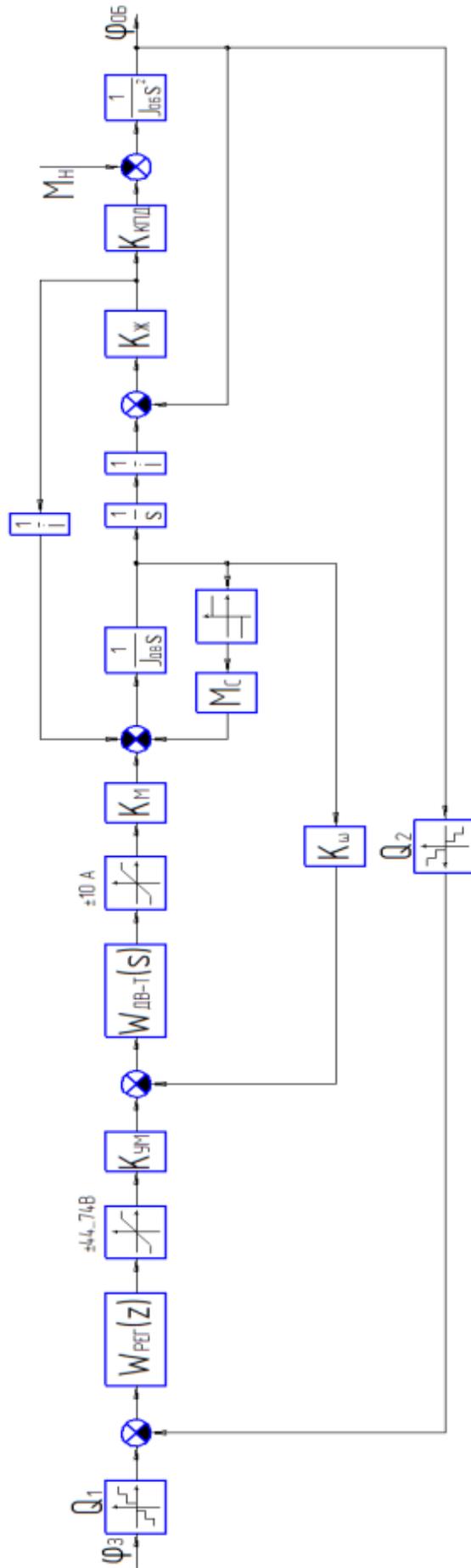


Рис. 2. Функциональная схема ИЭП одного канала БЛА

Перечень сокращений, принятых на рис. 1: СУ – система управления; ОУ – объект управления; ИП – источник питания; БУП – блок управления приводами; МПИ – магистральный последовательный интерфейс; МК – микроконтроллер; UART – универсальный асинхронный приемопередатчик; ВИП – вторичный источник питания; ИЭП – исполнительный электропривод; Р – редуктор; ДУ – датчик углового положения ОУ; ДВ – электродвигатель; ЭП – электронный преобразователь; КУМ – ключевой усилитель мощности.

Функциональная схема ИЭП одного канала БЛА приведена на рис. 2.

Перечень обозначений, принятых на рис. 2:  $\varphi_3$  – задаваемый сигнал управления; Q1 – преобразователь непрерывной величины в дискретную. Дискретность по уровню 20/29, дискретность по времени (определяет частоту входного сигнала) 0,001 с.

Рассмотрим передаточную функцию регулятора контура угла  $W_{PEГ}(z)$ :

$$W_{PEГ}(z) = 2400 + \frac{0.016}{1 - z^{-1}} + \frac{56250z^{-1}}{1 - 0.5z^{-1}}$$

где  $TS = 0.00008c$  – период дискретизации;  $K_{УМ} = 0.6928$  – коэффициент передачи усилителя мощности  $v$ .

Рассмотрим передаточную функцию двигателя по току  $W_{ДВ-Т}(s)$ :

$$W_{ДВ-Т}(s) = \frac{1}{\frac{R}{L}s + 1}$$

где  $R = 0.9 \text{ Ом}$  – эквивалентное сопротивление обмоток статора;  $L = 0.0018 \text{ Гн}$  – эквивалентная индуктивность обмоток статора;  $J_{ДВ} = 4.8 \cdot 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  – момент инерции ротора двигателя;  $i = 200$  – передаточное число редуктора;  $K_{КПД} = 0.8$  – КПД редуктора;  $MН$  – крутящий (нагружающий) момент;  $J_{ОБ} = 4.8 \cdot 10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  – момент инерции объекта управления;  $\varphi_{ОБ}$  – угол поворота объекта управления; Q2 – преобразователь непрерывной величины в дискретную. Дискретность по уровню 20", дискретность по времени  $T_s$ .

Моделирование проводилось в пакете MATLAB Simulink [2]. Модель была построена на основе математического описания ИЭП.

На рис. 3 представлены диаграммы отработки ИЭП заданных углов  $+20^\circ$  и  $-20^\circ$  при отсутствии крутящего момента.

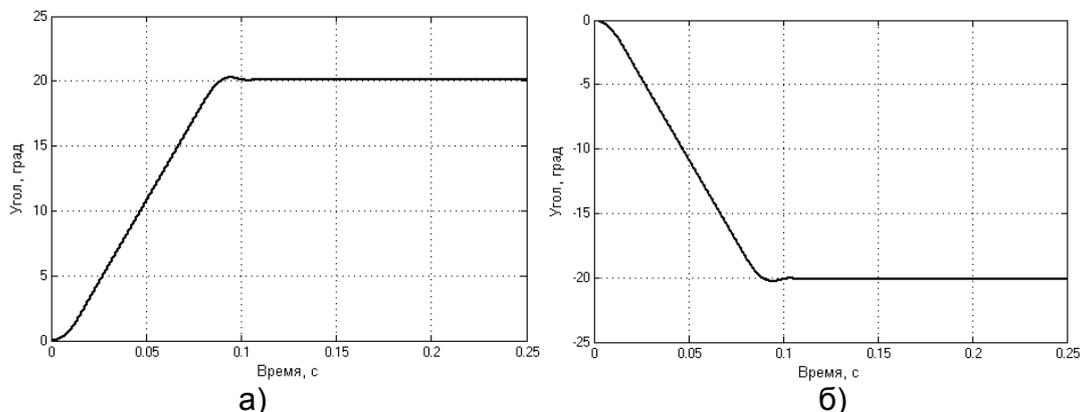


Рис. 3. Диаграмма отработки ИЭП заданного угла при отсутствии крутящего момента а) заданный угол  $+20^\circ$ ; б) заданный угол  $-20^\circ$

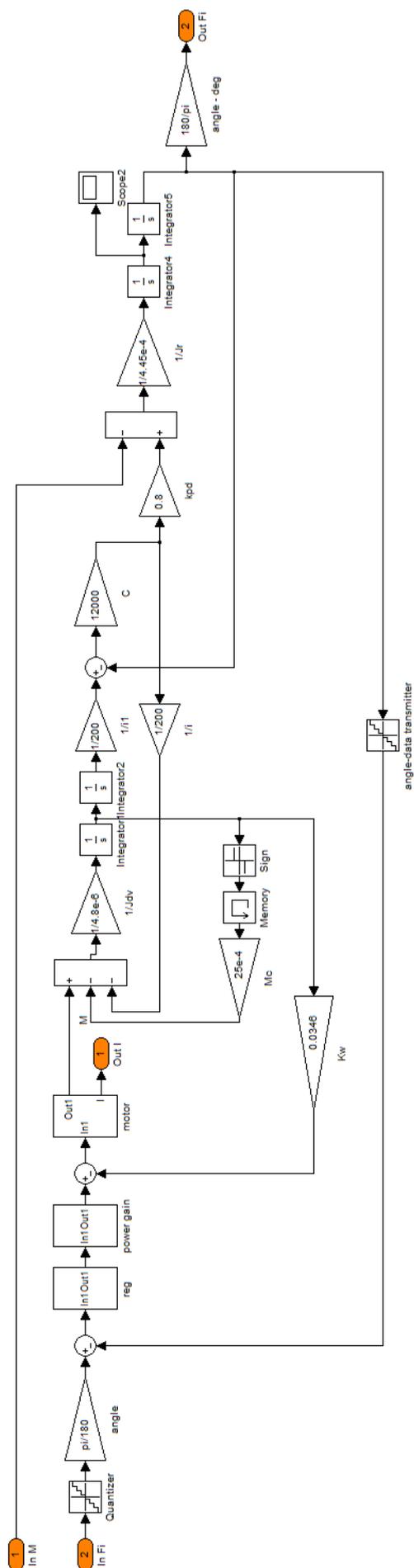


Рис. 4. Математическая модель ИЭП в MatLab Simulink

Анализируя рис. 3, видим, что при отсутствии крутящего момента на выходном звене ИЭП перерегулирование и статическая ошибка находятся в пределах  $\pm 2\%$  и  $\pm 0,1^\circ$  соответственно.

На рис. 5 представлены диаграммы отработки ИЭП заданных углов  $+20^\circ$  и  $-20^\circ$  с действующим на выходной вал ИЭП максимальным крутящим моментом.

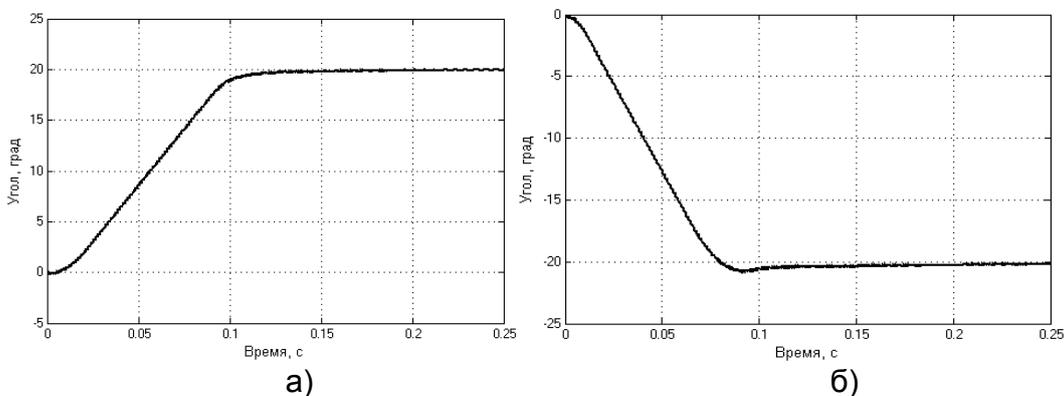


Рис. 5. Диаграмма отработки ИЭП заданного угла под действием максимального крутящего момента  
а) заданный угол  $+20^\circ$ ; б) заданный угол  $-20^\circ$

После анализа диаграмм, представленных на рис. 3 и 5, можно сделать следующий вывод: под действием максимального крутящего момента на выходном звене ИЭП перерегулирование и статическая ошибка находятся в пределах  $\pm 4.5\%$  и  $\pm 0.4^\circ$  соответственно. По итогам проведенных исследований в пакете MATLAB Simulink результат можно считать вполне удовлетворительным.

#### Библиографический список

1. В.И. Гониодский, Ф.И. Склянский, И.С. Шумилов Привод рулевых поверхностей самолетов, - М.: Машиностроение, 1974 г.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5/7.0 + Simulink 5/6. Основы применения. Библиотека профессионала. — Москва.: «СОЛОН-Пресс», 2005.

УДК 681.5

**Е. Э. Ильина**

студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого  
**А. Ю. Кучмин** – кандидат технических наук – научный руководитель  
Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого

### ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР АДАПТИВНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Для обеспечения высокой точности управления при большой подвижности и надежности возможно применение нетрадиционных манипуляторов (с разомкнутой кинематической цепью) – манипуляторов с параллельной кинетической схемой – платформа Стюарта.

В отличие от традиционных манипуляторов, платформа Стюарта имеет замкнутые кинематические цепи, обеспечивая повышенную жесткость и точность позиционирования всего механизма.

Вследствие того, что платформа относится к нелинейным системам с нестабильными параметрами, требуется оптимальный регулятор обеспечивающий точность, быстродействие и робастность системы.

Цель работы состоит в разработке оптимального регулятора адаптивной платформы с параллельной кинематической схемой.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выбрать модель объекта и методов управления объектом, исследовав различные литературные источники;

- составить математическую модель выбранной модели платформы и осуществить синтез регулятора движения;

- реализовать алгоритм расчета оптимального по критериям качества управления регулятора, используя выбранный метод оптимизации;

- разработать методику управления реализованной программой.

Объектом исследования являются адаптивная платформа с параллельной кинематической схемой и регулятор движения для данной платформы.

Платформа является параллельным манипулятором, состоящим из нижней и верхней платформы и шестью актуаторами, соединенными между ними двухстепенными шарнирами. Каждый актуатор состоит из активной штанги и электропривода изменяющего ее длину.

Предметом исследования являются кинематическая модель платформы и модель регулятора, а также метод многомерных оболочек.

Модель платформы можно рассматривать в виде системы ее динамических уравнений:

$$A(q)\ddot{q} + B(q, \dot{q})\dot{q} = S\Xi^1,$$

$$A(q) = S\Theta_1^1 S^T,$$

$$B(q, \dot{q}) = S\Theta_1^1 S^T + S\Phi_1^{0,1} \Theta_1^1 S^T,$$

где  $S$  – структурная матрица,  $q$  – вектор линейных и угловых перемещений,  $\Xi$  – вектор моментов и сил, действующих на тело,  $\Theta$  – матрица инерций.

Для управления данной моделью необходимо синтезировать регулятор группового движения, обеспечивающий адаптивное управление с компенсацией ошибок параметров и предотвращением избыточных нагрузок системы.

При синтезе регулятора актуальным является проблема выбора метода, при котором осуществлялось нахождение оптимальных значений времени переходного процесса и постоянных времени при заданной точности по каждой координате и ограничениях на максимальные длины, скорости и ускорения выдвижения штоков актуаторов по модулю.

В данной статье, для решения вышеописанной задачи, предлагается метод многомерных оболочек (ММО) [1–3]. Данный метод позволяет решать задачи условной многопараметрической оптимизации при большем числе ограничений, чем количество варьируемых переменных. Метод использует, как достаточные, так и необходимые условия оптимальности для целевых функций, имеющих вид метрик.

Задача решается при условии, что начальные и конечные скорости равны.

Критерий оптимального управления:

$$J = \min_x \{x_1 + \sum_{i=1}^6 (\frac{1}{x_{i+1}} + x_{i+1})\}$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{aligned}
 & x_1 > k_1 T_h; \\
 & x_{i+1} < \frac{k_2}{T_h}; \\
 & x_{i+7} > 0; \\
 & x_1 - x_{i+7} > 0; \\
 & -\lambda_i^{\max} < \frac{-a_i}{T_h} x_{i+7} < \lambda_i^{\max}; \\
 & -\nu_i^{\max} < \frac{-a_i}{T_h - \frac{1}{x_{i+1}}} \left( e^{\frac{-x_{i+7}}{T_h}} - e^{-x_{i+1}x_{i+7}} \right) < \nu_i^{\max}; \\
 & \frac{a_i}{T_h - \frac{1}{x_{i+1}}} \left( \frac{1}{T_h} e^{\frac{-x_{i+7}}{T_h}} - x_{i+1} e^{-x_{i+1}x_{i+7}} \right) = 0; \\
 & e^{-x_1 x_{i+1}} - \left( T_h e^{\frac{-x_1}{T_h}} - \frac{\text{sign}(a_i) \delta_i}{a_i} \times x_{i+1} \frac{\text{sign}(a_i) \delta_i}{a_i} \right) = 0;
 \end{aligned}$$

где  $x_1, x_{i+1}, x_{i+7}$  – моменты времени, в которые скорости изменения линейных и угловых ошибок наведения имеют максимальные по модулю значения;  $k_1, k_2$  – весовые коэффициенты;  $\lambda_i^{\max}$  – максимальное значение ускорений изменения линейных и угловых ошибок наведения;  $\nu_i^{\max}$  – максимальное значение скоростей изменения линейных и угловых ошибок наведения;  $i=1, \dots, 6$ .

При анализе методом многомерных оболочек ограничения можно свести к последующей системе от одной переменной:

$$\begin{aligned}
 & g_i(x_1) < \frac{k_2}{T_h}, \\
 & \mu_i(x_1) - \mu_i(x_1) \ln \mu_i(x_1) - \sigma_i < 0, \\
 & -\lambda_i^{\max} < \frac{-a_i}{T_h} g_i(x_1) < \lambda_i^{\max}, \\
 & -\nu_i^{\max} < \frac{-a_i}{T_h - \frac{1}{g_i(x_1)}} \left( e^{\frac{-h_i(x_1)}{T_h}} - e^{-h_i(x_1)g_i(x_1)} \right) < \nu_i^{\max}.
 \end{aligned}$$

Далее система может быть аппроксимирована с помощью кусочно-полиномиальной модели от одной переменной и проанализирована, как влияют ограничения с разрывами или полиномиальные ограничения.

Основной идеей ММО является составление области допустимых значений, при анализе различного вида ограничений и дальнейшей аппроксимации кусочно-полиномиальными ограничениями или рациональными дробями. Это позволяет свести исходную задачу к набору взаимосвязанных подзадач с линейными ограничениями.

Решение обозначенных задач основано на применении методов математического моделирования, теории автоматического управления.

Научная значимость и результаты состоят в том, что решена задача проектирования оптимального регулятора адаптивной платформы на основе метода многомерных оболочек. Практическая значимость в том, что написана программа реализующая алгоритм ММО для регулятора адаптивной платформы.

**Библиографический список**

1. Артеменко Ю. Н., Агапов В. А., Дубаренко В. В., Кучмин А. Ю. Групповое управление актуаторами контррефлектора радиотелескопа. Информационно-управляющие системы. 2012. № 4. С. 2–9.
2. А.Ю. Кучмин Об одном методе нелинейного программирования с произвольными ограничениями (принята в печать)
3. Волкоморов С. В., профессор, д.ф.-м.н. Карпенко А. П., Лелетко А. М. Оптимизация угловых и линейных размеров одно- и двухсекционного манипуляторов параллельной кинематики. Наука и Образование. 2010, №08.

**УДК 621****А. И. Казаков**

студент кафедры технической физики электромеханики и робототехники

**С. В. Соленый** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

**РАЗВИТИЕ ПОЛИМОРФНОЙ РОЕВОЙ РОБОТОТЕХНИКИ**

В последнее время интенсивно развивается новое направление робототехники – роевая робототехника [1–4]. Общую идею этого направления можно сформулировать следующим образом: некоторые задачи сможет лучше решить не один большой и сложный робот, а множество маленьких и простых роботов, способных действовать согласованно.

К проблематике роевой робототехники примыкает проблематика многомодульных полиморфных роботов. Основная идея в этом случае заключается в создании реконфигурируемого робота, который состоит из множества однотипных модулей, объединяющихся в зависимости от решаемой задачи в разнообразные формы. Предполагается, что когда размеры модулей удастся существенно уменьшить, такие роботы будут состоять из сотен тысяч и даже миллионов модулей. Примеры таких проектов будут рассмотрены в статье.

**Проект робота M-Block**

Роботы M-Block представляют собой кубики с маховиками внутри и цилиндрическими магнитами на ребрах [5]. Маховик развивает такой кинетический момент при скорости в 20 тыс. оборотов в минуту, что после его торможения кубики способны не то что перекатываться по полу навстречу друг другу, но даже вертеться на месте и запрыгивать на «третий этаж». То есть это первые в мире мобильные самосборные роботы без движущихся частей снаружи корпуса.

Роботы M-Block подходят для тестирования различных алгоритмов автоматической сборки. Каждый кубик способен как на индивидуальное, так и на групповое движение совместно с другими кубиками.

Как их можно применять в жизни? Теоретически, армии таких кубов могут ремонтировать мосты или здания в экстренных ситуациях. Они могут собираться в мебель или оборудование нужной формы. Если их уменьшить до наноразмеров, то мы получим в точности «жидкий металл», который многие видели в фильме «Терминатор-2». Маховик на 20 тыс. оборотов – ключевая деталь конструкции блока. Для компенсации кинетической нестабильности используются цилиндрические магниты на ребрах. Когда кубики приближаются друг к другу, магниты вращаются естественным образом и разворачиваются друг к другу противополо-

ложными полюсами. На каждой грани куба расположено еще по восемь точечных магнитов, которые используются для точного соединения блоков. На сегодняшний день в Массачусетском технологическом институте изготовили 100 таких кубов, а также разработали алгоритмы для управления их движением. МТИ хотят поэкспериментировать с системой из многих сотен кубов, которые хаотично перемещаются по комнате, способны идентифицировать каждого из «братьев» и быстро собираться в конструкции вроде кресла, лестницы или стола.

### **Проект робота Roombots**

Roombots – это совместная разработка швейцарских и французских ученых из Biorobotics Laboratory и Ecole Polytechnique Federale de Lausanne соответственно [6]. Она представляет собой набор роботов, состоящих из двух полусфер, которые могут вращаться вокруг общей оси, а также на каждом «шарике» есть по шесть граней, способных хвататься друг за друга и при этом также вращаться.

В итоге мы получаем конструктор, который может вполне самостоятельно собираться в различного рода композиции. В первую очередь создатели рассматривают возможность сборки из него мебели, которая сможет передвигаться по дому, а также адаптироваться под конкретные ситуации. Если пришли гости, роботы соберутся в большой диван, а для романтического ужина – в два стула и небольшой столик.

Модули делятся на две категории: активные (собственно, шарики, которые могут крутиться и хвататься) и пассивные (за которые будут хвататься шарики). В качестве пассивных модулей можно будет использовать стены или поверхности, чтобы роботы могли ими манипулировать.

Концепция очень интересная и многообещающая, но мало адаптирована в том виде, в котором существует сейчас, она мало адаптирована к жизни. Использовать Roombots в сегодняшнем виде можно разве что для облегчения жизни людям с дополнительными потребностями вроде инвалидов или стариков, которым тяжело двигать мебель.

### **Проект робота ATRON**

ATRON – самореконфигурируемая роботизированная система, представляет собой однородную модульную систему, что означает, что все модули идентичны как в аппаратных средствах, так и в программном обеспечении [7]. Изготовлено 100 модулей Atron размерами по 11 см. Они могут быть собраны в различных роботов: в змеиную цепь, колесный робот, ноги робота. Из них получают роботы для передвижения, роботы для манипулирования (например, малого робота-оружия) или роботы, которые используют некоторые функциональные возможности из их физической формы, такие как структурные опоры. Самореконфигурацией группа модулей может изменить свою форму, например, из колесного робота в змеиноного, а после в робота с ногами.

Модуль Atron имеет сферический внешний вид – две полусферы, которые могут активно вращаться относительно друг друга. В каждом полушарии модуль имеет два активных и два пассивных гнездовых разъема. Вращение вокруг центральной оси нужно для собственного изменения конфигурации и всегда делается с шагом 90°. Это приводит к перемещению модуля, соединенного с вращающимся модулем, с одной позиции на другую. Вращение в 360° занимает около 6 сек. Датчики чувствуют вращение относительно центральной оси. Активные разъемы представляются в форме трех крючков, которые схватываются за пассивные. Подключение или отключение занимает около двух секунд. Расположенные рядом с каждым разъемом инфракрасный пе-

редатчик и приемник позволяет модулям связываться с соседними для определения расстояния до объектов.

Невозможность гарантировать, что каждому из элементов хватит энергии – вот одна из ключевых проблем, с которой часто сталкиваются при создании коллективных роботов. В данном случае она успешно решена: модули могут подзаряжать собственные аккумуляторы, беря энергию у соседей «подобно живым клеткам».

Хенрик Хотоп Ланд – создатель робота – уверен, что модульные роботы получат широкое распространение в будущем, а впервые будут использованы как игрушки. Далее их можно будет использовать для изучения опасных для человека территорий. Другим перспективным направлением использования таких роботов могут быть космические исследования. Роберт Ричардсон, специалист по робототехнике из Манчестерского университета, считает, что в исследованиях космоса применение модульных роботов более оправдано, так как дешевле отправить в космос одного многозадачного робота, чем несколько обычных, умеющих только ходить или только передвигаться на колесах.

### Проект SUPERBOT

SuperBot состоит из Lego-подобных, но автономных роботизированных модулей [8]. У них есть как внутренние, так и внешние датчики для мониторинга состояния уверенности в себе и параметров окружающей среды. Они могут образовывать произвольные конфигурации и для контроля различных функций, таких как локомоции, манипуляции и самовосстановлению. Его модуль имеет три степенями свободы (тангаж, рыскание и профилирование). Соответственно, имеет три части: два конца, и центральную вращающуюся часть. Каждый модуль SuperBot имеет шесть разъемов для шести направлений в 3D (вперед, назад, влево, вправо, вверх и вниз). Эти разъемы обеспечивают сильную механическую выносливость, передачу энергии, связь и надежность в суровых условиях. Они являются однотипными, так что любой разъем модуля можно подключить к любому другому разъему других модулей.

Сейчас разработчики смогли создать несколько систем, в том числе в форме колеса, паука, многоножки, змеи, длинных конечностей, а также устройство, способное летать в условиях микрогравитации.

### Заключение

Роевая робототехника имеет огромный потенциал. Рассмотренные проекты модульных роботов могут найти применение в различных областях жизни. Одной из наиболее острых проблем, которая возникает при проектировании таких роботов и их роев, является проблема сокращения затрат энергии на функционирование роботов. Другими словами, необходимо кардинально повысить к.п.д. основных их механизмов. К этой проблеме примыкает проблема разработки компактных и мощных источников энергии для роботов. Несмотря на такие затруднения, эта область робототехники набирает обороты.

### Библиографический список

1. Christensen D. J., Schultz U. P., Stoy K., A distributed and morphology-independent strategy for adaptive, Robotics and Autonomous Systems vol. 61, 2013, pp. 1021–1035.
2. Yim, M., White, P.J., Park, M., Sastra, J., Modular Self-Reconfigurable Robots, in Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Springer, 2009, pp. 5618–5631.

3. Ahmadzadeh H., Masehian E., Modular robotic systems: Methods and algorithms for abstraction, planning, control, and synchronization, Artificial Intelligence vol. 223, 2015, pp. 27–64.
4. Ватаманюк И.В., Панина Г.Ю., Ронжин А.Л. Реконфигурация пространственного положения роя роботов // Управление большими системами. М.: ИПУ РАН, 2015. Вып. 58. С.285–305.
5. Romanishin, J.W., Gilpin, K., Rus, D., M-Blocks: Momentum-driven, Magnetic Modular Robots / IEEE, 2013. pp. 4288–4295.
6. Spröwitz A. et al. Roombots: A hardware perspective on 3D self-reconfiguration and locomotion with a homogeneous modular robot // Robotics and Autonomous Systems. 2014. vol. 62. no 7. pp. 1016—1033.
7. Ostergaard, E.H., Kassow, Beck, K.R., Lund, H.H., Design of the ATRON lattice-based self-reconfigurable robot, Autonomous Robots. 2006. vol. 21. no. 2. pp. 165–183.
8. Shen W.-M., Krivokon M., Chiu H., Everist J., Rubenstein M., Venkatesh J., Multi-mode Locomotion via SuperBot Robots, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida. 2006. pp. 2552—2557.

**УДК 338.4: 621.31**

***И. Р. Камольдинов***

студент факультета среднего профессионального образования (колледжа) специальности электрические машины и аппараты

***С. В. Соленый*** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### **МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МАШИНА**

В связи с ограниченностью мировых запасов углеводородов, все более актуальной становится проблема разработки альтернативных источников энергии. Однако в данном контексте необходимо также пересмотреть принципы построения классических электрических машин, т.к. зачастую они являются нагрузкой для энергосистем. Почти все современные электрические двигатели и генераторы конструируются с вращающимся ротором (якорем), что предполагает не только наличие механических потерь (трение в подшипниках), но и снижение надежности и срока службы при условии применения щеточных механизмов [1].

На сегодняшний день развитие электротехнических материалов (редкоземельные магниты, электротехническая сталь и электролиты) позволяет создавать электрические машины с достаточным коэффициентом полезного действия, которые входят в классификатор «специальные». Одной из таких конструкций является магнитогидродинамическая машина (МГД) [2].

В рамках вышеизложенного была поставлена цель разработать лабораторный образец магнитогидродинамической машины, для подтверждения теоретических расчетов параметров потока экспериментальными данными.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи: обосновать актуальность создания МГД машин; провести критический анализ существующих моделей МГД машин; рассчитать массогабаритные и энергетические показатели машины; изготовить лабораторный образец машины для подтверждения физических основ МГД эффекта.

Известно, что наиболее известным представителем класса МГД машин является МГД генератор – энергетическая установка, в которой энергия рабочего тела (жидкая или газообразная электропроводящая среда) движется в магнитном поле и преобразуется непосредственно в электрическую энергию [3]. Таким образом, в МГД генераторе происходит прямое преобразование механической энергии движущейся среды в электрическую энергию. Движение подобных сред описывается наукой «Магнитная гидродинамика» – отсюда и происходит наименование машины. Принцип работы МГД генератора, как и обычного машинного генератора, основан на явлении электромагнитной индукции, то есть на возникновении тока в проводнике, пересекающем силовые линии магнитного поля. В отличие от классических генераторов проводником в МГД генераторе является само рабочее тело. Рабочее тело движется поперек магнитного поля, под действием которого возникают противоположно направленные потоки носителей зарядов противоположных знаков. На заряженную частицу действует сила Лоренца, т.о. происходит разделение положительно ( $q > 0$ ) и отрицательно ( $q < 0$ ) заряженных частиц под действием магнитного поля  $B$ .

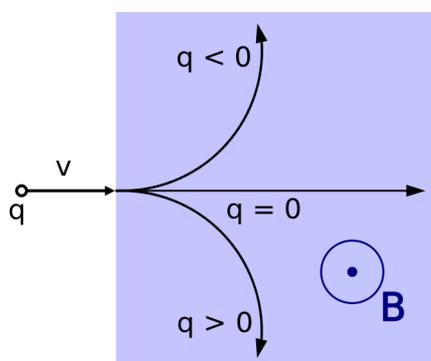


Рис. 1. Действие силы Лоренца на заряженную частицу

В качестве рабочих тел в МГД генераторах могут использоваться: продукты сгорания ископаемых топлив; инертные газы с присадками щелочных металлов (или их солей); пары щелочных металлов; двухфазные смеси паров и жидких щелочных металлов; жидкие металлы и электролиты. По способу отвода электроэнергии различают МГД генераторы: кондукционные – генерирующие постоянный или пульсирующий ток; индукционные – генерирующие переменный ток.

Для подтверждения физических основ МГД эффекта на базе Института инновационных технологий в электромеханике и энергетике ГУАП был построен лабораторный образец с рабочим телом в виде электролита – раствор поваренной соли NaCl с концентрацией 200 г/л (рис. 2).

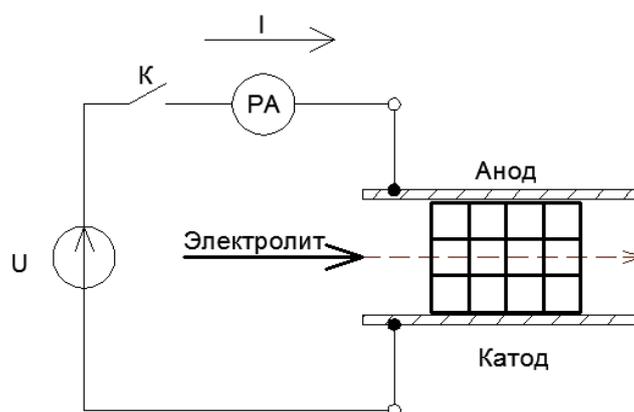


Рис. 2. Принципиальная схема лабораторного образца МГД машины

В лабораторном образце рис. 2 магнитное поле создается редкоземельными постоянными магнитами с габаритными размерами 15×15×5 мм, поэтому для заполнения всего пространства между электродами (рис. 3) и увеличения индукции был изготовлен составной магнит (соединение магнитов осуществлялось с помощью эпоксидного клея) с габаритными размерами 45×60×15 мм (рис. 4).

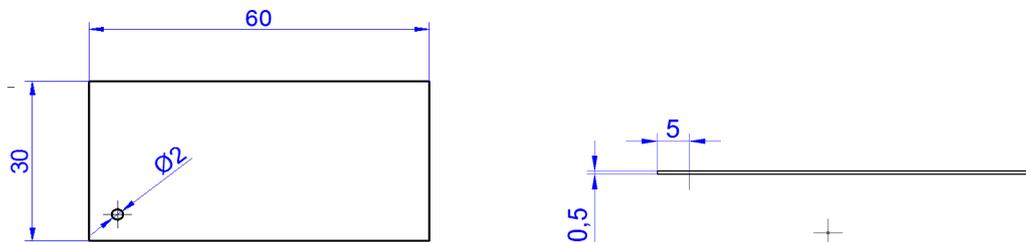


Рис. 3. Медные электроды

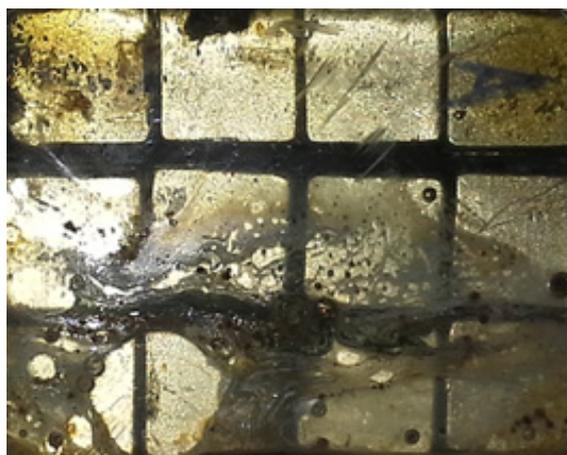
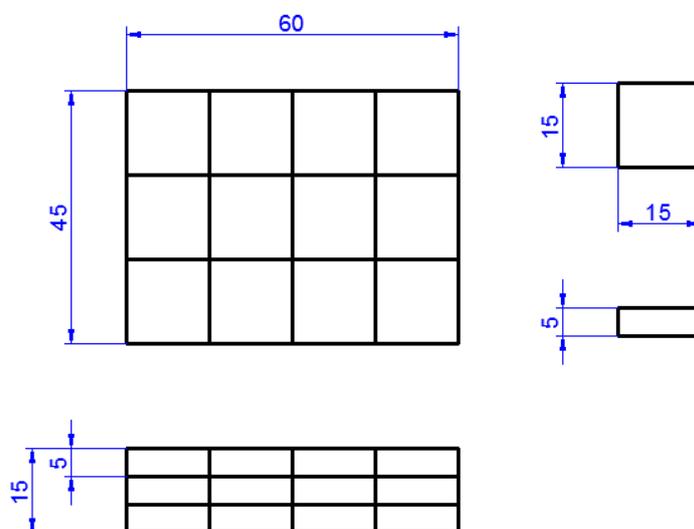


Рис. 4. Составной редкоземельный магнит

Измерения значения магнитной индукции составного магнита, выполненные с помощью датчика Холла модели LHGT-321 по схеме согласно рис. 5, показали, что среднее значение магнитной индукции для положительной стороны составляет 0,229 Тл, а для отрицательной – 0,178 Тл. При этом значение магнитной ин-

дукции «единичного» магнита – 0,302 Тл, что связано с наличием воздушного зазора между «единичными» магнитами. Для увеличения значения индукции свободное пространство между «единичными» магнитами заполнялось электротехнической сталью.

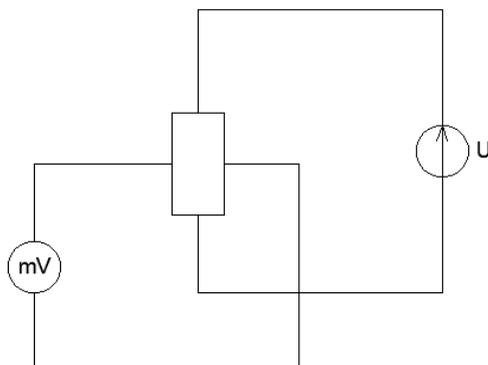


Рис. 5. Принципиальная схема подключения датчика Холла LHGT-321, опорный ток 100 мА

Зная индукцию постоянного магнита, расстояние между электродами и значение подаваемого на них напряжения, можно рассчитать скорость потока, проходящего через рабочий канал МГД машины:  $V=U \cdot (d \cdot B)^{-1}$ , где  $V$  – скорость движения электролита;  $d$  – расстояние между электродами;  $B$  – магнитная индукция,  $U$  – напряжение.

В результате расчетов было получено, что скорость потока составляет 2,512 мм/с. Данное значение подтверждается результатами экспериментов, проведенных на лабораторном образце рис. 2, с расхождением не более 15%.

#### Библиографический список

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Издательство «Энергия», 1978 г.
2. Вольдек А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. - Л.: Издательство «Энергия», 1970 г. – 271 с.
3. Специальные электрические машины / А.И. Бертинов, Д.А Бут, С.Р. Мизюрин и др. М., 1982 г.

#### УДК 681.5

##### **Сомар Кархеили**

магистрант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

**А. Ю. Кучмин** – кандидат технических наук – научный руководитель  
Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого

#### **СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ И 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА**

Распознавание фигуры человека – это постоянно расширяющаяся область исследований, востребованная в большинстве технических направлений, таких как анализ поведения, безопасность и человеко-машинные интерфейсы. Следует отметить, что это серьезная научная и техническая проблема, осложненная раз-

личными факторами, такими как большое число различных положений и поз тела, различия между индивидуумами и влияние качества освещения, цвета одежды и композиции фона и т.д. Эти факторы зачастую носят случайный характер.

Существуют методы решения данной задачи [1–3], но они не обладают достаточной надежностью и не дают требуемую точность в определении характеристик и деталей фигуры человека. Для преодоления этой проблемы предлагается использовать несколько параллельно работающих методов и сравнивать их результаты с целью определения наилучшего решения с использованием экспертной системы, содержащей знания о форме тела человека, его соотношениях и позах.

Центральной задачей в распознавании фигуры человека является детектирование контура тела, выделение его на фоне, декомпозиция на части и определение их геометрических и кинематических характеристик, что является исходной информацией для построения 3D модели тела [4–6]. В свою очередь данные модели используются для уточнения параметров контура на фото- или видеоизображении. На следующем этапе результаты каждого метода сравниваются с учетом адаптивного приоритета, и принимается окончательное решение о достоверности параметров выделенного контура. После этого выполняется пересчет приоритетов методов и реконфигурирование активных алгоритмов распознавания, что позволяет найти оптимальную их комбинацию для каждого случая.

В настоящее время наиболее широко используются методы: HOG (Histograms of Oriented Gradients), ART-сети, сети Байеса, PCA (CCA). Каждый из них имеет различную сложность и дает разную эффективность в зависимости от обучающей выборки, параметров фона, вариабельности объекта и т.д. Предложенная в статье система позволяет оценить эффективность каждого метода и найти их оптимальную комбинацию для конкретной задачи.

Система распознавания и 3D моделирования фигуры человека состоит из трех уровней принятия решения, каждому из которых соответствует слой.

*Слой 1.* Слой детектирования, в котором определяется область изображения, соответствующая фигуре человека. Здесь параллельно применяются стандартные методы распознавания (рис. 1).

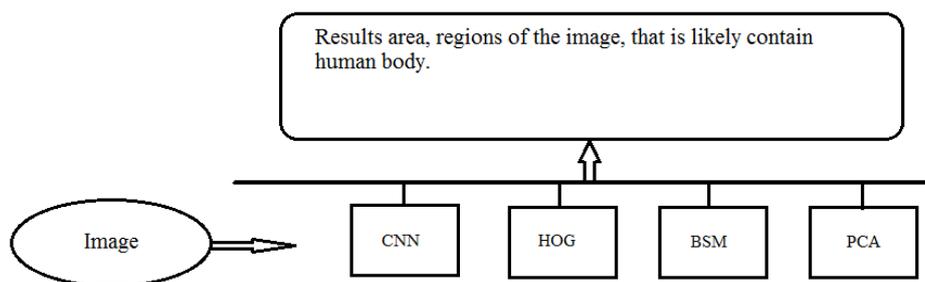


Рис. 1. Структура первого слоя

*Слой 2.* Слой декомпозиции. Производится разделение контура на части и решается задача распознавания позы человека и определение геометрических и кинематических характеристик (рис. 2).

*Слой 3.* Слой, где выполняется построение 3D модели фигуры человека, вычисляются приоритеты и параметры для методов 2 и 3 слоев.

Использование нескольких методов позволяет сконструировать более надежную и робастную систему для распознавания фигуры человека, определить оптимальную конфигурацию методов для каждого случая.

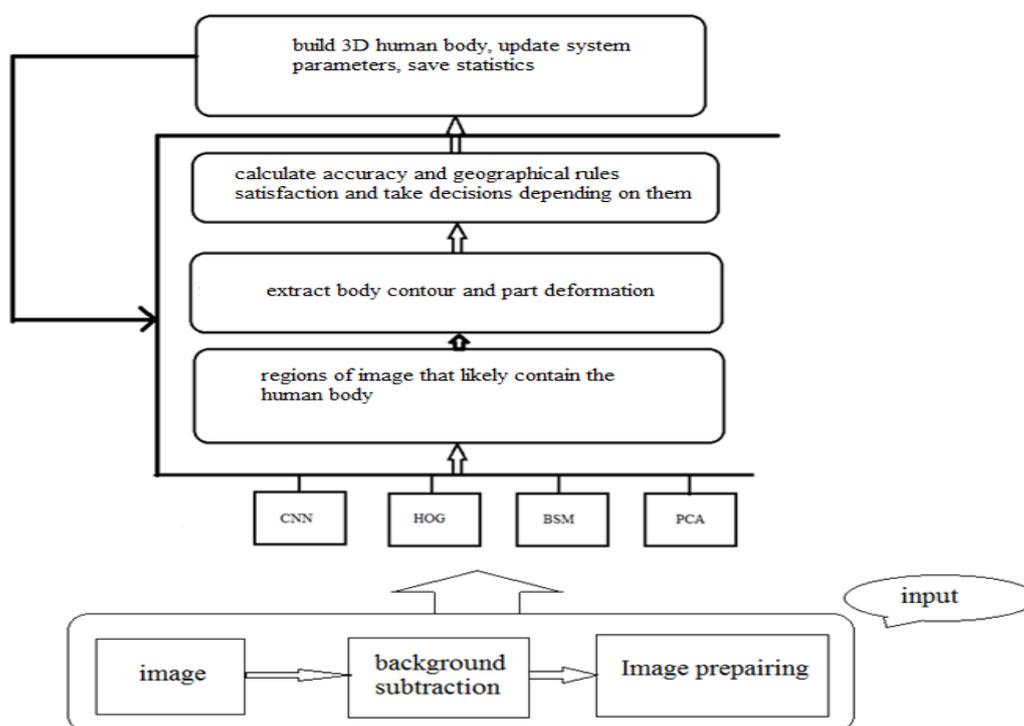


Рис. 2. Структура системы распознавания фигуры человека

### Библиографический список

1. Qiang Zhu, Shai Avidan, Mei-Chen Yeh, Kwang-Ting Cheng. (2006). Fast Human Detection Using a Cascade of Histograms of Oriented Gradients.
2. Bo Chen, Pietro Perona, Lubomir Bourdev. Hierarchical Cascade of Classifiers for Efficient Poselet Evaluation.
3. Yunsheng J iang and Jinwen Ma. (2015). Combination Features and Models for Human Detection.
4. Yutaro Takayanagi and Jiro Katto. Human Body Detection using HOG with Additional Color Features.
5. Navneet Dalal and Bill Triggs. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection.
6. Yiyang Xiong. (2011). Automatic 3D human modeling: an initial stage towards 2-way inside interaction in mixed reality.

УДК 621.039.7

**А. С. Кириллова, А. С. Пантелева**

студентки Института инноватики и базовой магистерской подготовки

**Ю. С. Николаев** – канд. хим. наук, доц. – научный руководитель

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЯДЕРНОЙ ИНДУСТРИИ НА ПРИМЕРЕ АТОМНОГО КОЛЬЦА

Энергия – это основа основ. Все блага цивилизации, все материальные сферы деятельности человека – от стирки белья до исследования Луны и Марса – требуют расхода энергии. И чем дальше, тем больше. На сегодняшний день энергия атома широко используется во многих отраслях экономики. Строятся мощные подводные лодки и надводные корабли с ядерными энергетическими

установками. С помощью мирного атома осуществляется поиск полезных ископаемых. Массовое применение в биологии, сельском хозяйстве, медицине, в освоении космоса нашли радиоактивные изотопы.

Ядерная энергия (*атомная энергия*) – энергия, содержащаяся в атомных ядрах и выделяемая при ядерных реакциях и радиоактивном распаде.

В природе ядерная энергия выделяется в звездах, а человеком применяется, в основном, в ядерном оружии и ядерной энергетике, в частности, на атомных электростанциях. Атомные электростанции в 2012 г. производили 13% мировой электроэнергии и 5,7% общего мирового производства энергии.

При этом не прекращаются дебаты об использовании ядерной энергии. Противники ядерной энергетике (в частности, такие организации, как «Гринпис») считают, что использование ядерной энергии угрожает человечеству и окружающей среде. Защитники ядерной энергетике (МАГАТЭ, Всемирная ядерная ассоциация и т. д.), в свою очередь, утверждают, что этот тип энергетике позволяет снизить выбросы парниковых газов в атмосферу и при нормальной эксплуатации несет значительно меньше рисков для окружающей среды, чем другие типы энергогенерации.

Несмотря на все плюсы от использования ядерной энергии, как было сказано ранее, это имеет серьезные недостатки. Во-первых, это высокая степень экологической угрозы.

Характерные антропогенные радиационные влияния на окружающую среду:

- загрязнение атмосферы и территорий продуктами ядерных взрывов при экзаменах ядерного оружия;

- отравление воздушного бассейна выбросами пыли, загрязнения территорий шлаками, которые содержат радиоактивные вещества при сжигании ископаемых топлив в казанах электростанций.

Более локальные, но не менее неприятные последствия – гибель озер и рек из-за неочищенных радиоактивных сбросов промышленных предприятий.

Техногенные воздействия на окружающую среду при строительстве и эксплуатации атомных электростанций многообразны.

Наиболее существенные из них следующие:

- локальное механическое воздействие на рельеф – при строительстве,
- повреждение особей в технологических системах – при эксплуатации,
- сток поверхностных и грунтовых вод, содержащих химические и радиоактивные компоненты,

- изменение характера землепользования и обменных процессов в непосредственной близости от АЭС,

- изменение микроклиматических характеристик прилегающих районов.

На современном этапе развития науки многие ученые пытаются создавать такие технологии, которые не только оставляют мало отходов, но и используют в своем процессе вторичное сырье. И сейчас современная техника шагнула далеко вперед в этом смысле, в особенности в ядерной индустрии.

Одним из новшеств в данной сфере является открытие «атомного кольца». *Ядерный топливный цикл* – это вся последовательность повторяющихся производственных процессов, начиная от добычи топлива (включая производство электроэнергии) и заканчивая удалением радиоактивных отходов. В зависимости от вида ядерного топлива и конкретных условий ядерные топливные циклы могут различаться в деталях, но их общая принципиальная схема сохраняется.

Ядерным топливом для реакторов является уран. Поэтому все стадии и процессы ядерного топливного цикла определяются физико-химическими свойствами этого элемента.

Отходы начального периода ядерного топливного цикла – обычно полученная в результате извлечения урана пустая порода, испускающая альфа-частицы.

Природный уран в основном состоит из двух изотопов. Основная масса – уран-238 и совсем немного, менее одного процента, – уран-235. Уран-235 хорошо делится в «тепловых» реакторах, и за счет этого обеспечивается работа энергетического ядерного реактора. Тепло, выделяющееся при распаде ядра, через оболочку ТВЭЛа (тепловыделяющий элемент) передается теплоносителю, от него – рабочему телу парогенератора, пар крутит турбину и вырабатывает электроэнергию. Прежде чем загрузить в реактор уран, его обогащают, то есть увеличивают долю изотопа U-235. Но в процессе работы реактора происходит еще реакция, известная как «радиационный захват». Атом урана-238 поглощает один нейтрон, и после ряда превращений рождается плутоний-239. Плутоний практически не существует в природе, но он так же хорошо делится, как уран-235. Получается, что при сжигании в тепловых реакторах урана-235 на выходе мы имеем не только электрическую энергию, но и наработанный плутоний-239.

Между тем, в России и за рубежом накопилось несколько миллионов тонн наработанного плутония-239, планов по дальнейшему использованию которого до недавнего времени не предвиделось.

Решение данной проблемы обнаружили ученые, которые живут и работают в Сибири на Горно-химическом комбинате. Они предложили использовать наработанный уран и плутоний в качестве высокотехнологического производства МОХ-топлива.

МОХ-топливо (англ. *Mixed-Oxide fuel*) – ядерное топливо, содержащее несколько видов оксидов делящихся материалов. В основном термин применяется для смеси оксидов плутония и природного урана, обогащенного урана или обедненного урана, которая ведет себя в смысле течения цепной реакции сходно (хотя и не идентично) с оксидом низкообогащенного урана. МОХ может применяться как дополнительное топливо для наиболее распространенного типа ядерных реакторов. Однако более эффективное использование этого топлива – сжигание в реакторах на быстрых нейтронах.

Преломляя данное определение к атомному кольцу, МОХ-топливо – это вовлечение плутония-239 в ядерный топливный цикл.

Берется в определенной пропорции смесь оксидов урана-238 и урана-235 и оксида плутония-239 – это и есть МОХ-топливо. То есть наработанный плутоний-239 возвращается обратно в ядерный топливный цикл уже как основной делящийся материал. При работе МОХ-топлива исходный плутоний «сгорает», но одновременно из урана-238 образуется новый плутоний. Таким образом одно и то же топливо используется многократно, практически до полного выгорания тяжелых металлов. Это сразу же дает гигантское преимущество ядерной энергетике перед другими видами генерации энергии. В первую очередь перед тепловой. Там топливо только сжигается и ничего, кроме отходов, вновь не образуется.

Действительно, вопрос замыкания ядерного топливного цикла, создания нового радиохимического производства принципиально важен. Сегодня это ахиллесова пята атомной отрасли. Существуют специалисты в различных отраслях ядерной энергетике. Но самое узкое место – обращение с отработавшим ядерным топливом.

Технология, разработанная русскими учеными, исключает образование жидких радиоактивных отходов. Это качественный скачок в атомной промышленности, если не сказать революционный.

К сожалению, атомное кольцо не решит все поставленные задачи в этой проблеме, но один аспект теперь «в разработке». И возможно, именно это и станет толчком для дальнейшего развития экологических перспектив в ядерной индустрии.

УДК 004.896

**А. С. Кодяков**

студент кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

**Н. А. Павлюк** – аспирант Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук – научный руководитель

### ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

Одним из главных направлений развития современного роботостроения является создание роботов, максимально приближенных по своим свойствам к возможностям живых существ. На сегодняшний день наибольшая часть исследований этой области направлена на разработку антропоморфных роботов и роботизированных экзоскелетов [4, 6]. В данной статье рассматривается создание пространственной модели, по своему строению напоминающей человеческое тело. Несомненным преимуществом антропоморфных робототехнических систем на платформе шагающих роботов [7], по сравнению с гусеничной или колесной платформой, является повышенная проходимость и эффективность в условиях пересеченной местности. Данный тип роботов находит свое применение в условиях, опасных для жизнедеятельности человека, таких как: ведение боевых действий, ликвидация техногенных катастроф, ведение разведывательной деятельности. Наиболее перспективным видом шагающих роботов являются антропоморфные роботы [10–12], которые отчасти повторяют биомеханику человека, что позволяет роботу оперировать средой подобно человеку.

Анализ факторов биомеханики человека [2] является предварительным этапом проектирования исполнительного механизма (ИМ) робота. Важной задачей разработки ИМ является синтез древовидной кинематической структуры (КС) [1], позволяющей роботу совершать типовые движения с минимальными ограничениями:

- приседания, махи ногами, ходьба по ровной поверхности, лестнице, пересеченной местности, прыжки;
- изменение положения корпуса по углам тангажа, крена;
- оперирование манипуляторами робота в пространстве, перенос предметов и т.п.

Для создания пространственной модели робота, воспользуемся методом синтеза древовидной кинематической структуры [1, 8] и материалами из статьи [2], где представлены результаты изменения положения обобщенных координат сочленений и частей тела человека. Взяв за основу робота и сопоставив результаты с человеком, можно решить задачу создания антропоморфной робототехнической системы.

Изменение положения руки робота в плечевом суставе осуществляется по нескольким принципам: 1) изменение обобщенной координаты руки робота вдоль сагиттальной плоскости, из нейтрального положения, когда рука расположена вдоль тела; 2) изменение обобщенной координаты руки робота вдоль фронтальной плоскости из нейтрального положения, когда рука расположена перпендикулярно телу. На рис. 1 представлены результаты работы в системе автоматизированного проектирования CAD Solid Works.

Первый случай – предельный угол отведения составляет  $-50^\circ$ , а предельный угол приведения руки в суставе составляет  $+180^\circ$ , где знак «минус» означает, что рука отводится назад, а знак «плюс» – что рука вытягивается вперед. Теоретически, сгиб и разгиб рук робота возможен и на больший угол, но на данном этапе

разработки решено было ввести подобное ограничение исходя из требований соответствия конструкции анатомии человека.

Второй случай – предельный угол приведения руки из нейтрального положения равен  $96^\circ$ . Предельный угол отведения в плечевом суставе ограничивается углом в  $+115^\circ$ . Знак «минус» означает, что рука опускается к телу, а знак «плюс» – что поднимается вверх. Приведение и отведение руки из нейтрального положения ограничивается конструкцией, но обеспечивает больший диапазон изменения углов, нежели у человека.

Изменение положения руки робота в локтевом суставе осуществляется из нейтрального положения, когда предплечье и плечо находятся на одной оси. Угол сгибания составляет  $120^\circ$ , что меньше, чем у человека ( $145^\circ$ ) [2]. Это связано с отличием строения костей человека от структуры узлов робота. Результаты работы программы представлены на (рис. 1).

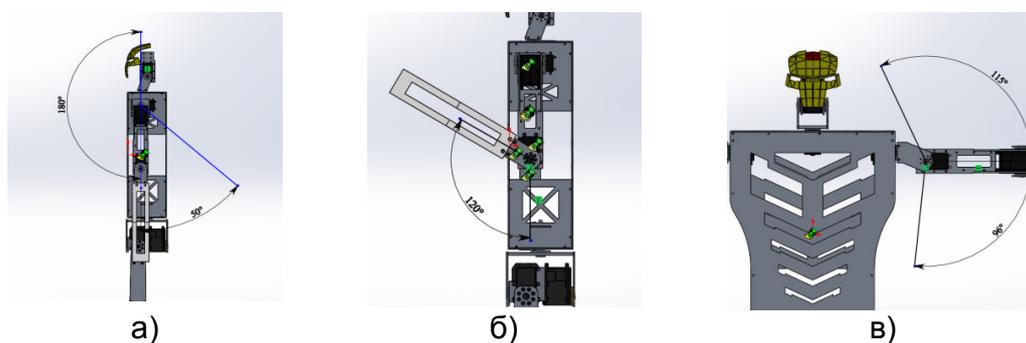


Рис. 1. Углы изменения обобщенной координаты руки:

- а) разгибание и сгибание в плечевом суставе;
- б) предельный угол разгибания и сгибания в локтевом суставе;
- в) приведение и отведение плечевого сустава

Тазовый механизм осуществляет осевое вращение нижних конечностей робота, что положительно сказывается на его мобильности и позволяет ему поворачивать на ходу с минимальным радиусом поворота, разворачиваться в нужную сторону на месте и выполнять большой спектр различных движений ногами, чем доступно человеку. Механика тазового механизма позволяет ему поворачивать каждую ногу на  $360^\circ$  вокруг своей оси, но на данном этапе было внесено ограничение до  $270^\circ$ , так как прямой необходимости в таком большом диапазоне вращения найдено не было.

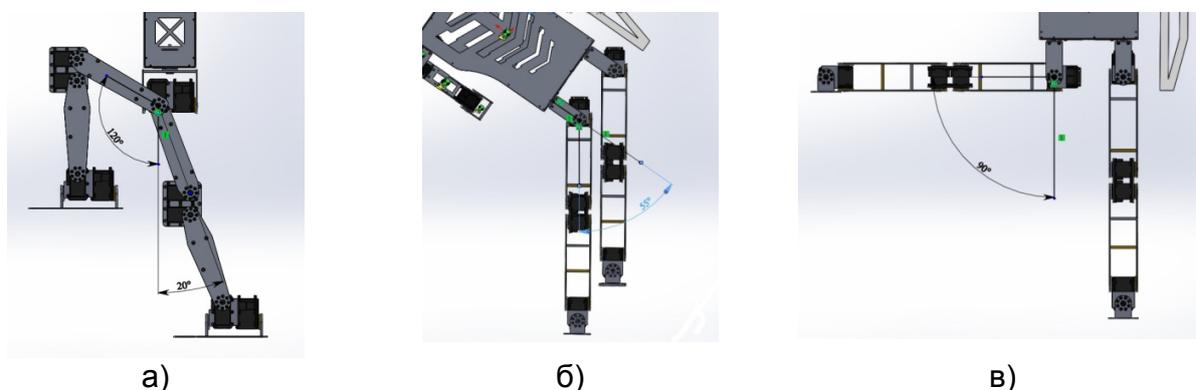


Рис. 2. Углы изменения обобщенной координаты тазобедренного сустава:

- а) активное сгибание и разгибание ноги в тазобедренном суставе;
- б) относительное приведение в тазобедренном суставе;
- в) отведение в тазобедренном суставе

Угол сгибания в тазобедренном суставе составляет  $120^\circ$ . Предельный угол разгибания составляет  $45^\circ$ . Отведение ноги в сторону составляет  $+90^\circ$ . Как и в случае с человеком, чистое приведение ноги невозможно, так как нижние конечности будут соприкасаться, поэтому возможно только относительное приведение, сочетающее приведение одной ноги и отведение другой ноги. Максимальное приведение составляет  $55^\circ$ . Как видно на рис. 2, относительное приведение ноги осуществляется до того момента, когда ноги почти соприкоснутся, это и ограничивает диапазон рабочего хода. Отведение ноги в сторону конструкцией ограничивается углом в  $135^\circ$ . Было решено ввести ограничение, составляющее  $90^\circ$ .

Это связано с тем, что робот должен быть похож на строение человека, и данный угол позволяет роботу садиться на шпагат. В таком случае нет необходимости иметь большой диапазон изменения положения ноги в тазобедренном суставе. В конструкции коленного сустава используется два сервопривода, объединенных в один узел. Данное конструкторское решение увеличивает подвижность и силовой момент коленного сустава. Это позволяет исполнительному механизму совершать сгибание в коленном суставе на угол, равный  $162^\circ$ . Использование двух сервоприводов в коленном суставе влечет за собой необходимость постоянной синхронизации двигателей относительно друг друга, так как один сервопривод не обеспечивает такого же большого угла перемещения в суставе без существенных потерь в мощности и мобильности конструкции. Вследствие чего расположение двигателей соответствует перпендикулярному расположению относительно фронтальной плоскости робота. В голеностопном суставе конструкцией предусмотрена эверсия – смещение стопы внутрь к сагиттальной плоскости. Так же, как и инверсия – смещение стопы наружу от сагиттальной плоскости. Изменение обобщенной координаты голеностопного сустава по крену представляет собой поворот стопы относительно голени из нейтрального положения. Угол положения стопы изменяется: Эверсия составляет  $88^\circ$  и инверсия составляет  $88^\circ$ . Перемещение мыска относительно нейтрального положения – вверх, принято за положительный угол, а вниз – за отрицательный. В таком случае угол тангажа стопы отклоняется от  $+88^\circ$  до  $-88^\circ$ . На (рис. 3) представлены результаты работы по изменению обобщенной координаты стопы робота. Перемещение осуществляется с полным соблюдением конструктивной особенности, которая и ограничивает углы крена и тангажа.

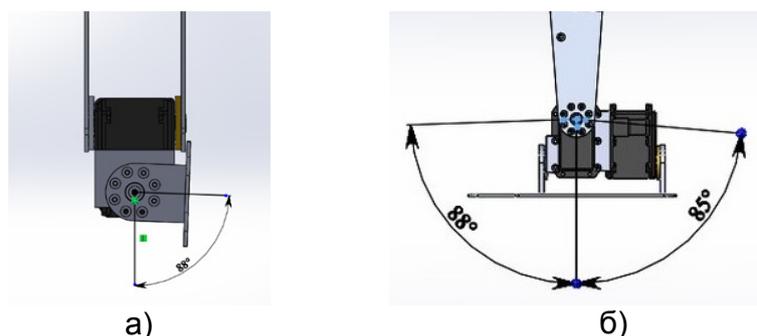


Рис. 3. Углы изменения обобщенной координаты голеностопного сустава:  
 а) эверсия и инверсия голеностопного сустава;  
 б) изменение обобщенной координаты голеностопного сустава по тангажу

В работе [1] проведен анализ и оптимизация кинематической структуры антропоморфного робота. Для данного робота были использованы сервоприводы Dupontixel, поскольку они обладают подходящими техническими характеристиками и подходящей массой. Проблемы, связанные с совмещением степеней свободы, рас-

стоянием и углом перемещения исполнительного механизма робота, были решены за счет моделирования в программном комплексе CAD Solid Works. На примере голеностопного сустава рассматривается структура, позволяющая сохранить степени свободы голеностопного сустава человека, и обеспечить функциональную возможность изменения положения стопы в необходимом диапазоне углов. Строение голеностопного сустава человека схоже со строением сферического шарнира с ограниченным углом поворота. Таким образом, для повторения строения сустава человека, было решено ввести два цилиндрических шарнира с взаимно перпендикулярными осями, представленные на (рис. 4). Данное решение позволяет упростить структуру голеностопа робота без ущерба возможностям голеностопного сустава.

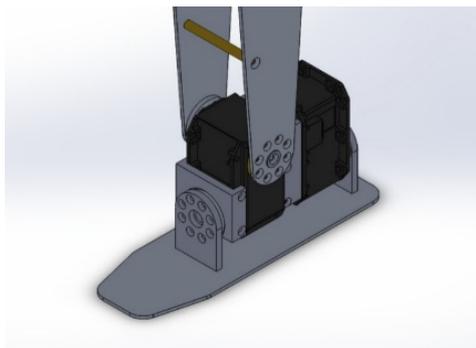


Рис. 4. Стопа «Antares» с двумя цилиндрическими шарнирами с взаимно перпендикулярными осями

Данное конструкторское решение находит свое применение в голеностопном суставе, тазобедренном суставе, плечевом суставе, шее. На основе выше указанных наработок был разработан прототип антропоморфного робота «Antares». Робот представляет собой робототехническую платформу, предназначенную для научных исследований и разработок в рамках образовательного процесса. Модульная природа робота может помочь исследователю изменять движения любой конечности путем изолирования желаемой конечности от остальной части тела, практически никак не влияя на производительность. Конструкция специально рассчитана на установку дополнительных датчиков и прокладку соединительных проводов. Так же подобный дизайн облегчает периодическое техническое обслуживание робота.

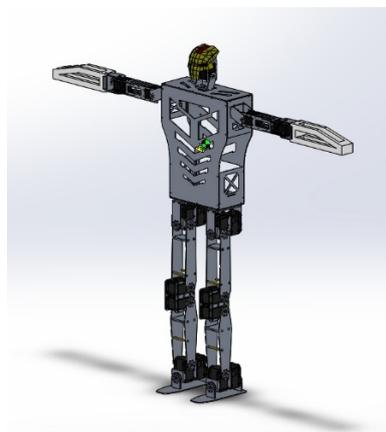


Рис. 5. Прототип антропоморфного робота «Antares».

Робот создан на основе вырезания деталей из пластин алюминия толщиной в 2, 4, 8, 12 мм. Это позволило сильно удешевить производство деталей для создания робота. Одним из преимуществ является то, что робот использует легко-

весные материалы, следовательно, ему требуются менее мощные сервоприводы. Высота робота приблизительно составляет 100 см при расчетном весе 8 кг. Имеет 22 сервопривода фирмы Dynamixel, которые обеспечивают беспрепятственное перемещение конечностей с заданной точностью и запасом по прочности. В табл. 1 приведено сравнение различных углов отклонения положений ног человека и разработанного прототипа антропоморфного робота «Antares».

Таблица 1  
Сравнение диапазонов изменения углов человека и углов робота «Antares»

Угол	Диапазонов изменения	
	Человек	«Antares»
По тангажу стопы	-50° – 40°	-88° – +88°
По крену стопы	-30° – 20°	-88° – +88°
Сгибания – разгибания, для бедра	+120° – 20°	+120° – 20°
Сгибания – разгибания для колена	0° – 120°	0° – 162°
Отведения ноги в тазобедренном суставе	0° – 45°	0° – 90°
Относительного приведения ноги в тазобедренном суставе	0° – 30°	0° – 55°
Поворота для бедра	-45° – 45°	-45° – 45°
Сгибания в локтевом суставе	0° – 145°	0° – 120°
Отведения-приведения руки в плечевом суставе	-100° – 90°	-96° – +115°
Сгибания-разгибания руки в локтевом суставе вдоль сагиттальной плоскости	-50° – 180°	-50° – +180°

На основании табл. 1 можно сделать выводы, что различные типичные действия человека и робота будут выполнимы вторым, так как диапазоны изменения углов положения человека лежат в пределах изменений углов робота. На рис. 6, приведен график суммарной мощности, которая развивается в сочленениях, как без учета, так и с учетом реакции опоры. Таким образом, можно сделать выводы по оценке конструкции, на основании затрачиваемой ею энергии и моментах, развиваемых сочленениями. Так, при учете реакции опоры, можно уменьшить значение моментов и мощностей в сочленениях, что объясняется разнонаправленностью сил тяжести и реакции опоры.

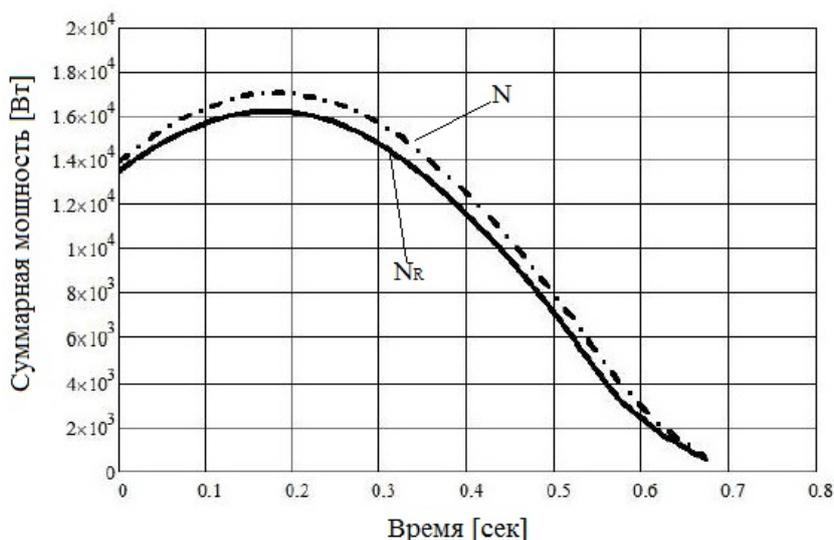


Рис. 6. График суммарной мощности в сочленениях робота [5]

Таким образом, в процессе разработки робототехнических комплексов, приходится сталкиваться со многими усложняющими процесс проектирования трудностями, такими как: разработка оптимизированных под человеческую среду обитания узлов антропоморфных роботов, которые должны повторять динамику и эргономичность, ограничения в сочленениях по скорости и диапазону изменения углов [3, 5]. Предложенный метод синтеза кинематической схемы исполнительного механизма антропоморфного робота [4, 8] позволяет на этапе начального проектирования качественно изменять конструкцию. На первоначальном этапе происходит анализ кинематической схемы робота, основанный на конструкции анатомии человека [2, 9]. На данный момент, на основе полученных заключений в этой статье, разрабатывается кинематическая схема и пространственная модель прототипа антропоморфного робота «Antares». На этапе проектирования возможно изменение конструкции, вследствие чего мы можем определить мощность используемых сервоприводов, прикладываемый момент кручения на вал и потребляемую мощность, так как от этого зависит время автономной работы.

### Библиографический список

1. Верейкин А. А., Ковальчук А. К., Кулаков Д. Б., Семенов С. Е. Анализ и выбор кинематической структуры исполнительного механизма экзоскелета // Наука и образование: электронное научно-техническое издание, Выпуск № 7 / 2014, С.72-93.
2. Верейкин А. А., Савченко А. Г., Зельцер А. Г., Жуков А. А., Демченко М. А. Анализ некоторых факторов биомеханики человека как предварительный этап проектирования исполнительного механизма экзоскелета // Наука и образование: электронное научно-техническое издание, Выпуск № 4 / 2015, С.1-11.
3. Воробьев Е. И., Дорофеев В. О., Михеев А. В. Антропоморфные биороботы и биопротезы // Инженерный вестник: электронный научно-технический журнал, Выпуск № 6 / 2015 С.15-28.
4. Зельцер А. Г., Верейкин А. А., Гойхман А. В., Савченко А. Г., Жуков А. А., Демченко М. А. Концепция экзоскелета капсульного типа для аварийно-спасательных операций // Инженерный вестник: электронный научно-технический журнал. Выпуск №3 / 2015 С.14-22.
5. Верейкин А. А., Ковальчук А. К., Каргинов Л. А. Исследование динамики исполнительного механизма экзоскелета нижних конечностей с учетом реакций опорной поверхности // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Электронный журнал. Выпуск № 12/ 2014, С.256-278.
6. Лавровский Э.К., Письменная Е.В., Комаров П.А. Проблемы построения системы управления ходьбой экзоскелетона нижних конечностей с помощью гидроцилиндров // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Электронный журнал. Выпуск № 7/ 2015, С.96-114.
7. Лапшин В.В. Об устойчивости движения шагающих машин // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Электронный журнал. Выпуск № 6/ 2014, С.319-335.
8. Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С. Е., Яроц В. В., Верейкин А. А., Кулаков Б. Б., Каргинов Л. А. Метод проектирования пространственных древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов // Инженерный вестник: электронный научно-технический журнал, Выпуск № 11 / 2014 С.6-10.
9. Карпенко А. П. Робототехника и системы автоматизированного проектирования: Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.

10. T. Foissotte, O. Stasse, P.-B. Wieber, A. Escande, A. Kheddar, Autonomous 3D object modeling by a humanoid using an optimization-driven next-best-view formulation // International Journal of Humanoid Robotics © World Scientific Publishing Company, 2010.
11. DARwin OP [Электронный ресурс] // [http://www.robotis.com/xe/darwin\\_en/](http://www.robotis.com/xe/darwin_en/) (Дата обращения 15.02.15).
12. Poppy [Электронный ресурс] // <https://www.poppy-project.org/> (Дата обращения 15.02.15).

**УДК 62-503.5**

**М. Д. Козлов**

магистрант кафедры управления в технических системах

**А. А. Ефимов** – д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ**

Замкнутые системы регулируемых электроприводов, как правило, используют двухзвенные преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока, включающие в себя неуправляемый выпрямитель, силовой фильтр (СФ) и инвертор с широтно-импульсной модуляцией. Замена диодного выпрямителя на активный преобразователь, выполненный на полностью управляемых ключах, работающий в импульсно-модуляционных алгоритмах управления, позволяет обеспечить двусторонний обмен энергией между первичным источником и двигателем, и таким образом, улучшить электромагнитную совместимость и экономичность использования электроэнергии путем повышения КПД всей системы в целом за счет рекуперации энергии движущихся частей машины. Такие активные преобразователи могут быть построены на основе автономного инвертора напряжения (АИН), если его обратить на сторону переменного тока [1, 2].

Активный преобразователь напряжения может работать в режиме выпрямителя, если передача энергии идет из питающей сети в двигатель и сетевым инвертором при рекуперации энергии в питающую сеть. В дальнейшем АИН, работающий в выпрямительном режиме, называется активным выпрямителем напряжения (АВН) (рис. 1). Работа АВН основана на импульсном повышающем напряжении регуляторе, поэтому он обязательно содержит в своем составе токоограничивающий дроссель, устанавливаемый на стороне переменного тока. На выходе АИН устанавливается конденсатор, обеспечивающий стабилизацию выпрямленного напряжения [4].

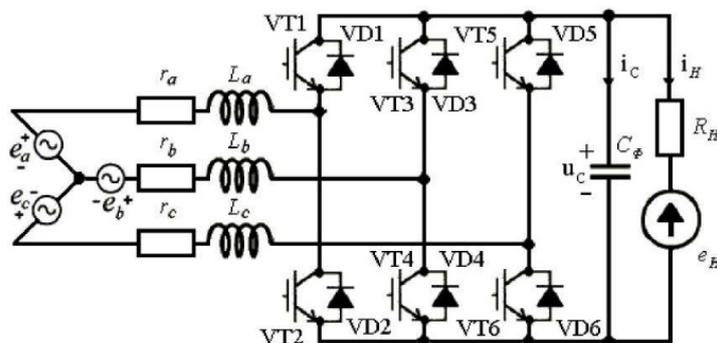


Рис. 1. Трехфазный АВН

В этих преобразователях улучшен гармонический состав тока, потребляемого из сети, а также имеется возможность получения желаемого значения коэффициента мощности, в том числе близкого к единице.

АВН могут применяться в трех случаях [5]:

- для получения стабильного постоянного напряжения от сети переменного с возможностью рекуперации энергии;
- в качестве преобразователя для питания двигателей постоянного тока с возможностью регулирования скорости и рекуперативного торможения;
- в качестве первого звена в двухзвенных преобразователях для питания асинхронных двигателей с возможностью регулирования скорости и рекуперативного торможения.

Существует несколько подходов к векторному управлению активными выпрямителями напряжения с преобразованием координат [1, 3].

В этой статье рассмотрен подход, основанный на раздельном управлении АВН по проекциям  $i_x$  и  $i_y$  обобщенного вектора сетевого тока.

Описание электромагнитных процессов проводится в ортогональной системе координат  $x, y$ , связанной с результирующим вектором питающей сети. Математическая основа преобразования координат от неподвижной ( $\alpha\beta$ ) к синхронно вращающейся системе показана на рис. 2.

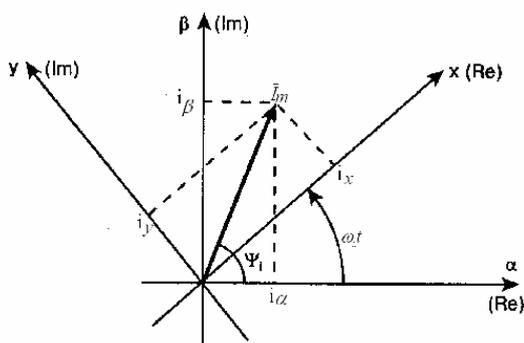


Рис. 2. Преобразование координат в векторной системе управления

Во вращающейся системе координат вектор тока представлен в виде:

$$\bar{I} = i_x + j i_y = I_m,$$

где  $I_m$  – модуль результирующего вектора.

Если принять, что  $i_x$  и  $i_y$  – соответственно активная и реактивная составляющие обобщенного вектора сетевого тока и система синхронизирована относительно сетевого напряжения, то получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} i_x = i_a \cos(\omega_k t) + i_\beta \cos(\omega_k t) \\ i_y = i_\beta \cos(\omega_k t) - i_a \sin(\omega_k t) \end{cases}$$

Коэффициент мощности, равный единице, в такой системе, при условии, что прямое и обратное преобразование синхронизированы по фазе и частоте с напряжением сети, может быть получен при задании  $i_y = 0$ . В этом случае справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} i_x = I_{1m} \\ i_y = 0 \end{cases}$$

На рис. 3 представлена модель MATLAB/Simulink системы управления, использующей этот принцип.

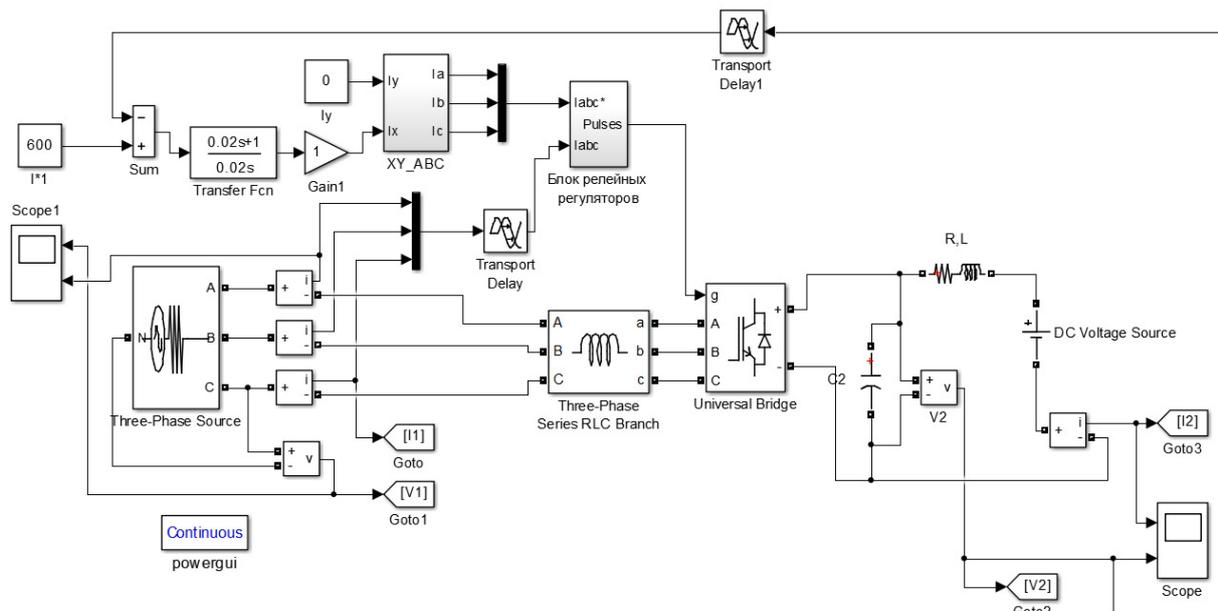


Рис. 3. Система управления АВН по проекциям обобщенного вектора тока

В этой системе управления блок преобразования координат «XY-ABC» (рис. 4) осуществляет преобразование проекций  $l_x$  и  $l_y$  обобщенного вектора сетевого тока из вращающейся системы координат к трехфазной системе токов  $i_A, i_B, i_C$ . Блок релейных регуляторов включает три канала, которые обеспечивают гармоническую форму сетевых токов [1]. Блок управления включением/выключением АВН обеспечивает включение АВН в заданный момент времени.

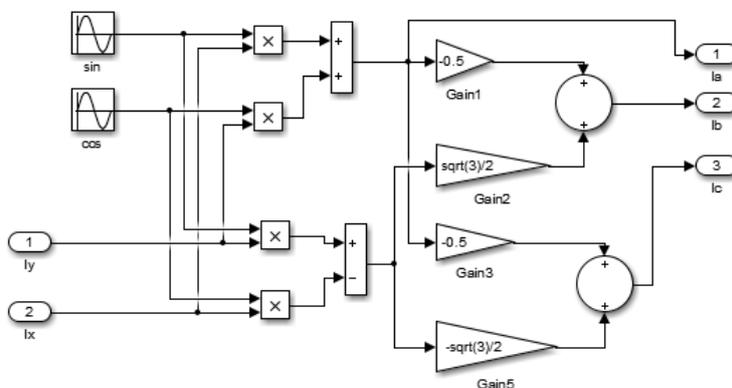


Рис. 4. Блок преобразования координат

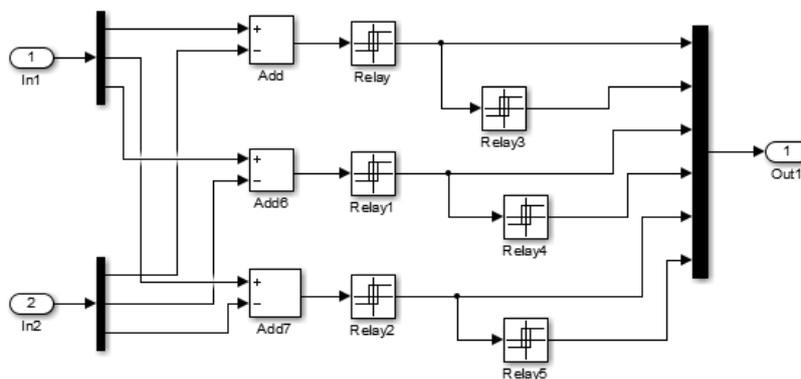


Рис. 6. Блок релейных регуляторов

В ходе моделирования была рассмотрена работа АПН в выпрямительном и инверторном режимах (рис. 7, 8).

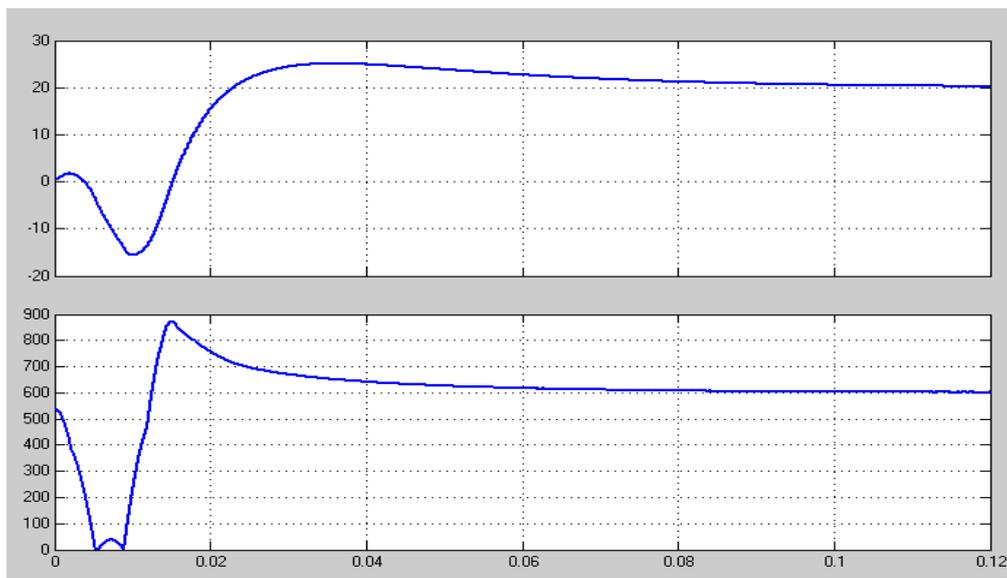


Рис. 7. Работа АПН в выпрямительном режиме

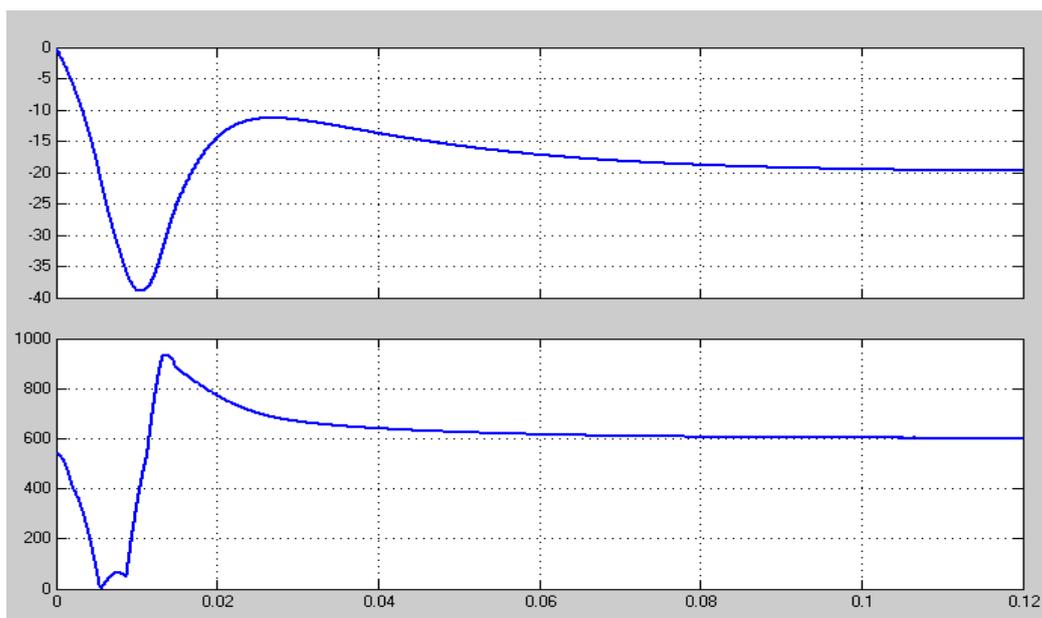


Рис. 8. Работа АПН в инверторном режиме

В дальнейшем, в рамках магистерской диссертации, будет проведено исследование работы активного выпрямителя напряжения в составе авиационной системы генерирования электрической энергии постоянного тока.

#### Библиографический список

1. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. - СПб.: Корона-ВЕК, 2008. -368 с.  
Герман-Галкин С.Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink. Учебник. -СПб.: Лань, 2013. -448 с.

2. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 653с.
3. Ефимов А.А. Активные преобразователи в регулируемых приводах переменного тока / А.А. Ефимов, Р.Т.Шрейнер. - Новоуральск: НГТИ, 2001. - 250 с.
4. Ефимов А.А Математическое моделирование и испытания опытного образца активного выпрямителя напряжения / Ефимов А.А, Базарнов А.А., Глухов В.А., Зиновьев Г.С. - Красноярск: Сиб. Федер. Университет. ИКИТ, 2013. – С. 128-134

**УДК 62-522.7**

**Ю. А. Консон**

студентка кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

**С. С. Тимофеев** – научный руководитель

### **МАНИПУЛЯТОР НА СБОРОЧНОМ АВТОМОБИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

В настоящее время сборочные автомобильные производства оснащены манипуляторами, которые позволяют не только собирать кузов автомобиля, соединяя различные части, но и облегчить человеческий труд в соответствии с существующими нормами поднятия и переноса человеком тяжестей. Манипулятор, рассматриваемый в данной статье, состоит из двух, работающих связно, узлов: перемещающего механизма и удерживающего манипулятора, где перемещающий механизм – электрический, а удерживающий манипулятор – пневматический.

Как известно, пневматика – это область, где используется энергия сжатого воздуха, которая впоследствии преобразуется в механическую энергию исполнительного механизма. В настоящее время отношение к пневматике очень неоднозначное: некоторые считают, что ее использование больше не актуально, тогда как другие наоборот полагают, что сферы ее применения только продолжают появляться [1].

Сферы применения пневматики:

– современная пищевая промышленность вся основана на использовании пневматики. В первую очередь потому, что пневматика позволяет не допустить попадания масла и прочих мелких частиц в пищевые продукты, то есть возможно обеспечение абсолютной чистоты производства;

– часто используется в угледобывающей промышленности для встряхивания рукавных фильтров. Пневматика не боится попадания искр, что позволяет ей быть взрывобезопасной;

– используется в покрасочных камерах. Станок оснащен автоматическим перевертывным устройством, что позволяет окрашивать, например, дверь за один рабочий цикл без вмешательства оператора;

– используется для закрытия/открытия запорной арматуры. Применяется в основном для смешения различных жидкостей (при наличии расходомера);

– для точечной сварки в автомобилестроении часто используются пневматические клещи.

– одно из наиболее распространенных применений – балансировочный механизм. Используется для компенсации веса, что позволяет человеку прилагать меньше усилий для поднятия большей массы.

Человек является также неотъемлемым элементом любого производства. Постоянный перенос тяжестей может явиться причиной профессиональных заболеваний (боли в пояснице, расширение вен, плоскостопие, грыжа, сердечно-сосудистые заболевания), если их масса превышает предельно допустимые нормы. В связи с этим установлены правила, какие веса человек может поднимать за одну смену. Санитарно-эпидемиологические правила СП 2.2.2.1327-03 устанавливают нормы подъема и перемещения тяжестей вручную, указанные в таблице [2].

Таблица.

	Подъем и перемещение (разовое) тяжести при чередовании с другой работой (до 2 раз в час), кг	Подъем и перемещение (разовое) тяжести постоянно в течение рабочей смены, кг	Суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены, кг
Для мужчин	До 30	До 15	С рабочей поверхности – до 870
			С пола – до 435
Для женщин	До 10	До 7кг	С рабочей поверхности – до 350
			С пола – до 175

Пневматика используется в большинстве подъемных манипуляторов, так как благодаря ей они становятся более надежны и долговечны. Более того, они не требуют устройств, ограничивающих крутящий момент, и более просты и менее трудоемки в обслуживании.

На рисунке изображено пневматическое удерживающее устройства, работа которого заключается в захвате крыши 4-мя вакуумными присосками, удержании ее в горизонтальном положении, включении страховки от падения крыши. Работа данного манипулятора основана на использовании энергии сжатого воздуха.

Для защиты здоровья оператора данное устройство оборудовано страховочными скобами, выкрашенными в желтый цвет. Данные скобы опускаются нажатием кнопки, расположенной на пульте управления, самим оператором только после того, как он убедился в полном сцеплении присосок с крышей. Установка скоб обязательна для избегания аварийных случаев неполного сцепления присосок с крышей. Чаще всего подобные случаи неполного сцепления происходят по двум причинам:

- механическое повреждение самой присоски, в следствие чего часть воздуха может выходить через поврежденные участки и схват с крышей осуществлен не будет;
- загрязнение воздуха в пневмосистеме вследствие неправильной эксплуатации.

Обеспечение чистоты воздуха является одним из важнейших пунктов использования пневматики. Известно, что 80% поломок пневмооборудования происходят из-за повышенной загрязненности воздуха. В 1м<sup>3</sup> воздуха содержится 140 млн твердых частиц [3]. Очистка и подготовка воздуха осуществляется с помощью пневмомагистрали, в которую входят:

- компрессор;
- ресивер;
- магистральный фильтр;
- осушитель.

Магистральный фильтр в обязательном порядке должен быть расположен после ресивера, так как поршневые компрессоры загрязняют воздух большим количеством масла, что очень вредно для всей пневмосистемы. Дополнительные фильтры с более глубокой системой очистки могут быть расположены непосредственно перед пневматическими присосками. Осушитель также необходим, так как он снижает содержание водяного пара в потоке воздуха.

Присоски, используемые для удержания крыши автомобиля, универсальны для разных моделей крыш – с помощью ключа их можно перенастроить под нужный угол. В настоящее время технология производства таких присосок практически одинакова, различия могут состоять в себестоимости, используемых материалах и долговечности.

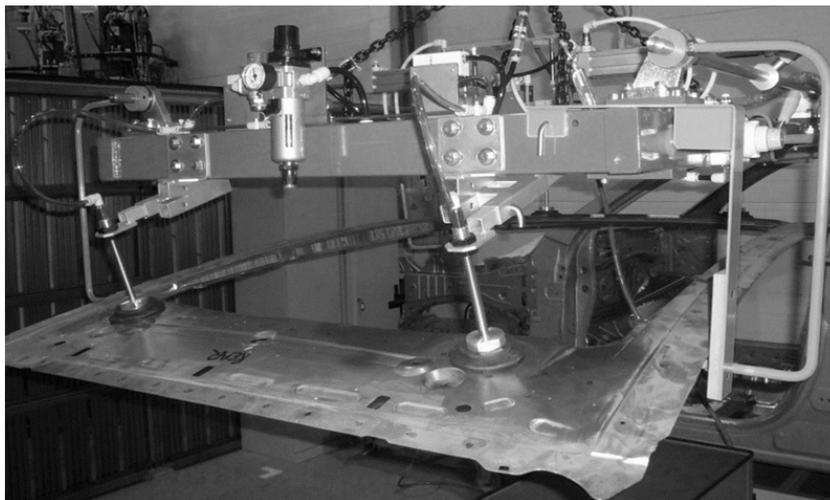


Рис. Манипулятор на производстве

Для упрощения человеческого труда и для соблюдения норм, указанных в таблице, на сборочном автомобильном производстве используются не только пневматические, но и электрические тали. Таль представляет собой подвесной грузоподъемный механизм, предназначенный для перемещения подвешенного на крюк тали груза. Чаще всего используются пневматические тали, так как они универсальны и могут использоваться как в среде с повышенной влажностью, так и на судах или в горнодобывающей промышленности.

Однако в автомобильном производстве электрические тали могут быть куда практичнее, так как их грузоподъемность значительно выше, возможно обеспечение стабильного крутящего момента, меньший шум, больший КПД. Кроме всего, электрические тали оборудованы для передвижения по монорельсу и не допускают значительных перегрузок.

В настоящее время электрические цепные тали пользуются большой популярностью, так как очень удобны в использовании. Электрические тали бывают как цепные, так и канатные. Цепная таль при той же грузоподъемности, что и канатная, будет иметь меньший собственный вес и меньшую стоимость. В качестве грузоподъемного органа электрической цепной тали используется круглозвенная, высокопрочная цепь. Температура эксплуатации тали от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$ , что позволяет использовать ее как в закрытых помещениях, так и на открытом воздухе под навесом.

Использование талей на сборочном автомобильном производстве позволяет удерживать на весу пневматический манипулятор, который в свою очередь подвешивает к кузову автомобиля такие детали, как крышу, крышку багажника или капот. Работа оператора с данным устройством минимальна – он контролирует весь процесс с помощью пульта управления.

Большинство автомобильных производств сегодня оснащено монорельсами. Как уже говорилось ранее, электрические тали лучше всего подходят для передвижения и перемещения по ним. Их конструкция от этого не усложняется, а стоимость практически не меняется.

В настоящее время оптимизация производства является одним из важнейших вопросов, так как это позволяет повысить его технический уровень, облегчить человеческий труд или уменьшить участие персонала в том или ином технологическом процессе, а также снизить затраты на ремонт оборудования [4]. Именно поэтому предлагается использовать электрические тали вместо пневматических, тем самым обеспечивая большую грузоподъемность и, за счет возможности передвижения по монорельсу, использовать данную таль в разных отделах производства.

### **Библиографический список**

1. Консон Ю. А. Пневматический привод// Завалишинские чтения, молодежная секция ГУАП: Сб. докл./ СПбГУАП. СПб., 2015. С. 62.
2. СП. 2.2.2.1327-03. «Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту. Санитарно-эпидемиологические правила.»
3. Пневмоавтоматика. Международные курсы: Учебное пособие. Эс Эм Си Пневматик. СПб., 2013.
4. Замятин В.К. Технология и оснащение сборочного производства машиностроения: Справочник. М.: Машиностроение, 1995.

**УДК 681.5.013**

***А.М. Корнюшин***

магистрант кафедры управления в технических системах

***М. В. Бураков*** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### **УПРАВЛЕНИЕ КОНИЧЕСКИМИ ЕМКОСТЯМИ ДЛЯ ФЕРМЕНТАЦИИ И ФИЛЬТРАЦИИ**

В настоящее время для большинства промышленных потребностей используются разноформенные емкости. В этих емкостях могут протекать разнообразные процессы, например: процесс ферментации (брожения) в химической, пищевой, нефтяной промышленности; процесс фильтрации в биологической, пищевой промышленности; процесс хранения в строительной промышленности (примером может служить силос для хранения цемента в виде, пригодном для использования длительное время).

Проблемами управления подобными емкостями являются: их геометрические особенности, необходимость наличия (и учета при управлении) большого количества измерительных устройств (датчиков), а также невозможность достаточно точного математического представления.

В данной работе предполагается рассмотреть синтез системы управления каскадом конических емкостей, использующихся в качестве очистительных элементов. Они представляют собой одно из центральных звеньев системы очистки сточных вод.

**Сведения об объекте управления**

Каскад емкостей является системой с несколькими входами и выходами [1], предназначенными для рассмотрения и анализа вариантов управления. Объект управления (рис. 1) состоит из четырех, связанных между собой емкостей, двух насосов и двух вентилялей. Двумя входами системы являются напряжения  $v_1$  и  $v_2$ , необходимые для обеспечения работы насосов. Емкость 1 и емкость 2 расположены под емкостями 3 и 4 для получения жидкости под действием силы тяжести.

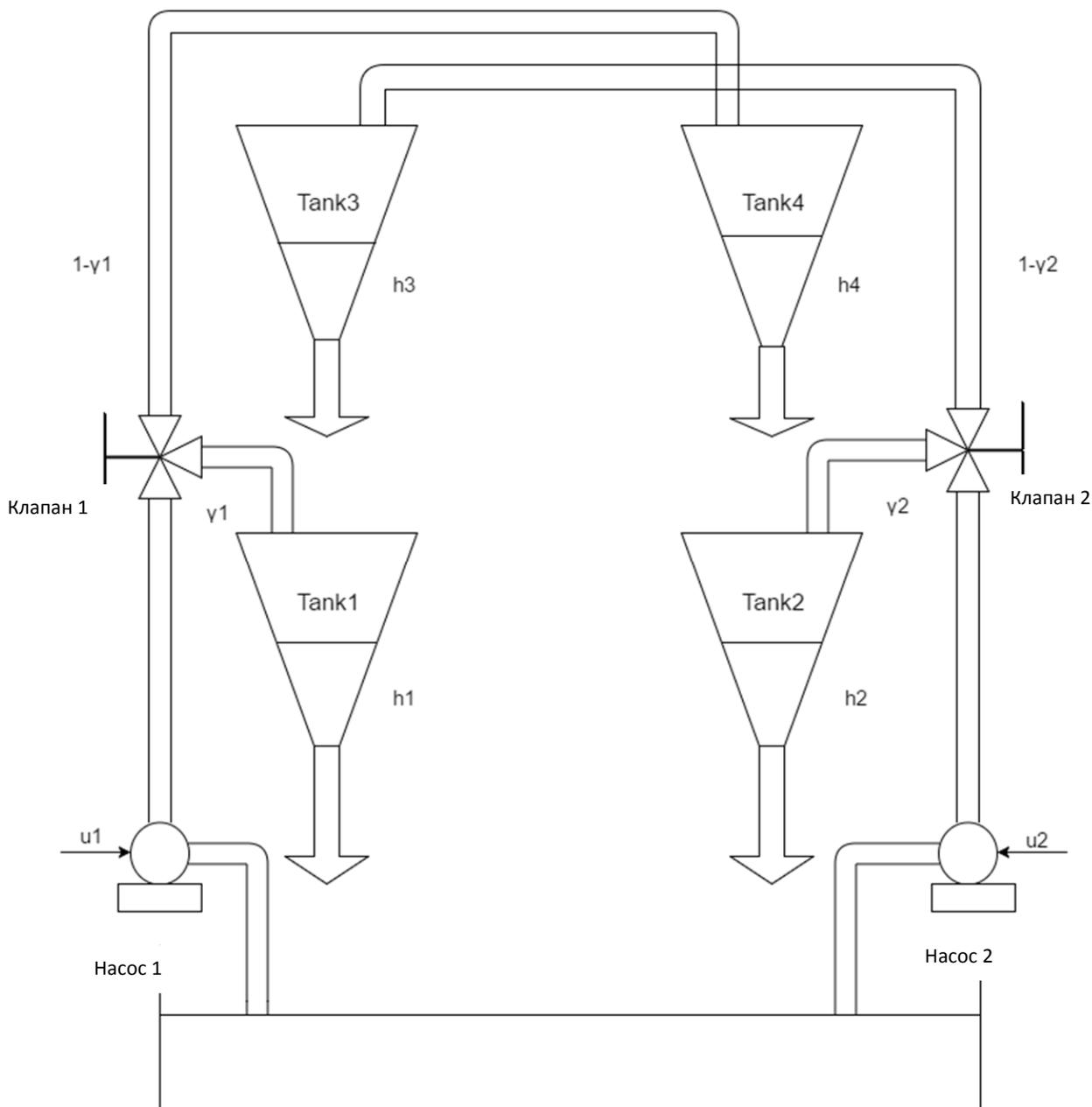


Рис. 1. Каскад емкостей

Для накопления жидкости, поступающей из резервуара 1 и 2, в самом низу предусмотрена еще одна емкость. У каждой емкости есть клапан, подключенный к выходу. Задачей насосов 1 и 2 является высасывание жидкости из скапливающей емкости, находящейся в основании системы и подача ее в соответствующие емкости на основании открытия клапана. Насос 1 доставляет

воду в емкость 2 и емкость 3. Аналогично насос 2 доставляет жидкость в емкость 1 и емкость 4. Под действием силы тяжести емкости, располагающиеся внизу, получают жидкость из емкостей, находящихся над ними. Задачей всей системы в целом является контроль уровня жидкости в нижних баках. Контролируемыми выходными переменными являются уровни жидкости в нижних баках  $h_1$  и  $h_2$ . Положения клапанов обозначены буквами  $y_1$  и  $y_2$ . Данные положения дают соотношение между выходом насоса и нижним и верхним баками. Интенсивность поступления жидкости в баки регулируется при помощи клапанов и может быть определена при помощи двух ротаметров. Положение клапанов постоянно в продолжение эксперимента и только скорость работы насоса изменяется посредством увеличения подающегося значения напряжения.

### Математическое описание объекта управления

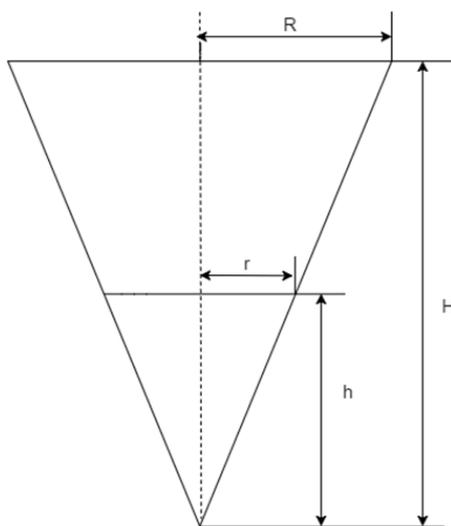


Рис. 2. Геометрическая модель конической емкости

На рисунке 1:  $u_1, u_2$  – входы системы;  $h_1, h_2$  – выходы системы.

Выход устройств измерения уровня  $Y_1 = K_c * h_1$ ,  $Y_2 = K_c * h_2$  где  $K_c$  – коэффициент усиления датчика уровня (принимается равным 1).

Для получения модели всей системы производится запись основных уравнений для таких элементов системы, как емкости и насосы, которые затем объединяются в общее уравнение [1].

Уравнение динамического баланса:

$$\frac{dv}{dt} = \pi \left( \frac{Rh}{H} \right)^2 \frac{dh}{dt} = F_{in} - F_{out},$$

где  $R$  – площадь поперечного сечения всего бака,  $H$  – высота всего бака,  $F_{in}$ ,  $F_{out}$  – входной и выходной потоки,  $V$  – объем емкости, который равен:

$$V = \frac{1}{3} (Ah),$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения бака,  $h$  – уровень жидкости в баке.

Уравнение выходного потока:

$$F_{out} = a v_w a \sqrt{2gh},$$

где  $a$  – площадь поперечного сечения выходного отверстия,  $v_w$  – скорость истечения,  $g$  – ускорение свободного падения.

Переменные и константы

Переменная	Описание	Единица измерения
H	Высота конической емкости	см
H <sub>i</sub>	Уровень жидкости	см
h1, h2	Установившиеся значения уровня жидкости в танках 1 и 2	см
h3, h4	Установившиеся значения уровня жидкости в танках 3 и 4	см
V <sub>i</sub>	Напряжение насосов (i=1&2)	В
γ <sub>1</sub>	Распределение жидкости в нижний и верхний бак при помощи клапана 1	
γ <sub>2</sub>	Распределение жидкости в нижний и верхний бак при помощи клапана 2	
A	Площадь поперечного сечения бака	см <sup>2</sup>
V	Объем бака	см <sup>3</sup>
a	Площадь поперечного сечения выпускного отверстия	см <sup>2</sup>
g	Ускорение свободного падения	981 см/с <sup>2</sup>
Q <sub>i</sub>	Подача насоса	см <sup>3</sup> /с
K1, K2	Постоянные потока, подаваемого насосом	

Поток, генерируемый насосом:

$$q_{pumpj} = K_p v_i,$$

где K<sub>p</sub> – постоянная потока, подаваемого насосом, v<sub>i</sub> – напряжение, подаваемое на насос.

**Система уравнений**

Нижеследующая система нелинейных уравнений описывает динамику системы емкостей

$$\begin{aligned} \frac{dh1}{dt} &= \frac{3}{A1} \left\{ a\sqrt{(2gh_3)} + \gamma_1 K_1 v_1 - a\sqrt{(2gh_1)} \right\}; \\ \frac{dh2}{dt} &= \frac{3}{A2} \left\{ a\sqrt{(2gh_4)} + \gamma_2 K_2 v_2 - a\sqrt{(2gh_2)} \right\}; \\ \frac{dh3}{dt} &= \frac{3}{A3} \left\{ (1-\gamma_2) K_2 v_2 - a\sqrt{(2gh_3)} \right\}; \\ \frac{dh4}{dt} &= \frac{3}{A4} \left\{ (1-\gamma_1) K_1 v_1 - a\sqrt{(2gh_4)} \right\}; \\ \frac{1}{T_1} &= \frac{3a\sqrt{(2g)}}{A_1(2\sqrt{h1})}, \frac{1}{T_1'} = \frac{3a\sqrt{(2g)}}{A_1(2\sqrt{h3})}, \frac{1}{T_2} = \frac{3a\sqrt{(2g)}}{A_2(2\sqrt{h4})}, \frac{1}{T_2'} = \frac{3a\sqrt{(2g)}}{A_2(2\sqrt{h2})}, \\ \frac{1}{T_3} &= \frac{3a\sqrt{(2g)}}{A_3(2\sqrt{h3})}, \frac{1}{T_4} = \frac{3a\sqrt{(2g)}}{A_4(2\sqrt{h4})}, \end{aligned}$$

### Уравнения в пространстве состояний

В данной системе состояниями являются уровни жидкости в емкостях

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (-1/T_1) & 0 & 1/T_1' & 0 \\ 0 & (-1/T_2) & 0 & 1/T_2' \\ 0 & 0 & 1/T_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/T_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3\gamma_1 K_1 / A_1 & 0 \\ 0 & 3\gamma_2 K_2 / A_2 \\ 0 & (1-\gamma_2) K_2 / A_2 \\ (1-\gamma_1) K_1 / A_2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_c & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}$$

$$G(s) = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}$$

### Структуры системы управления

Рис. 3 представляет собой схему системы управления с ПИ регулятором [2, 3], коэффициенты которого получены при помощи модифицированной методики Циглера–Никольса. Схема представляет работу системы в не минимальной фазе.

Рис. 4 представляет собой схему системы управления с ПИ регулятором, коэффициенты которого получены при помощи модифицированной методики Циглера–Никольса. Схема представляет работу системы в минимальной фазе.

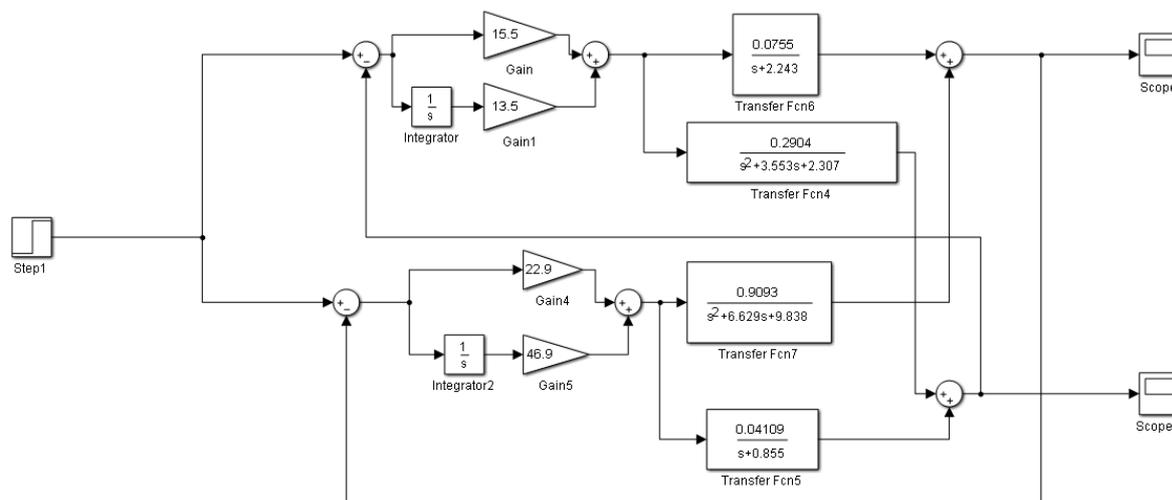


Рис. 3. Структурная схема системы, работающей в неминимальной фазе

### Результаты моделирования

Результаты отклика системы, представленной на рис. 3 на единичный скачок, приведены на рис. 5 и 6. Минимальная фаза – количество жидкости, поступающей в нижние баки, меньше количества жидкости, поступающей в верхние баки. Неминимальная фаза – количество жидкости, поступающей в верхние баки, меньше количества жидкости, поступающей в верхние.

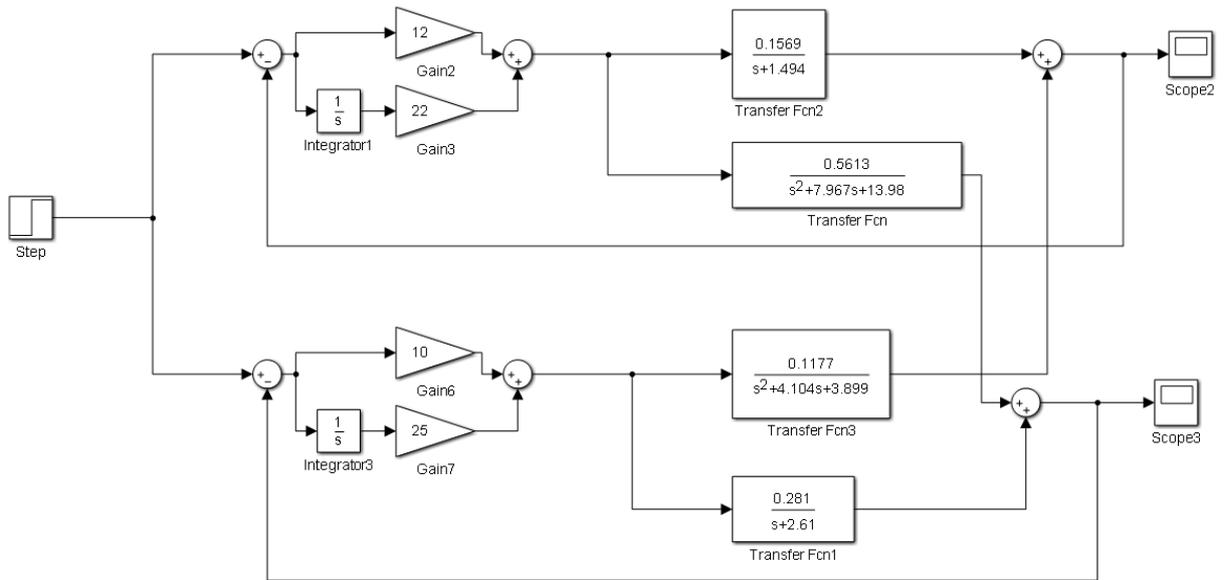


Рис. 4. Структурная схема системы в минимальной фазе

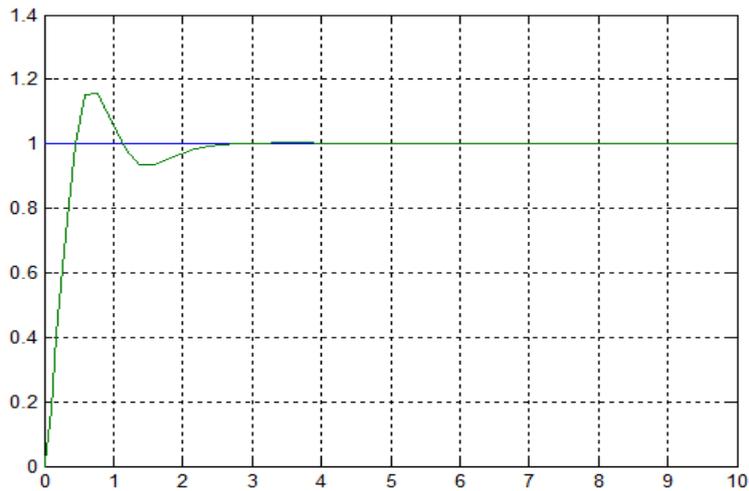


Рис. 5. Установившийся уровень h1

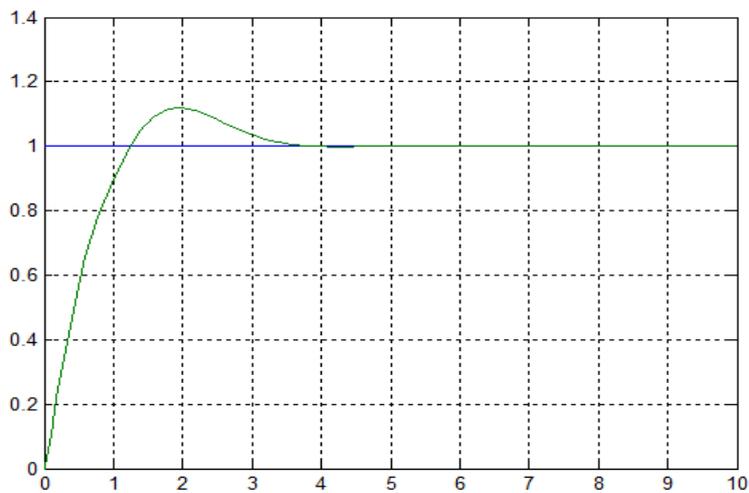


Рис. 6. Установившийся уровень h2

Результаты отклика системы, представленной на рис. 4 на единичный скачок, приведены на рис. 7 и 8.

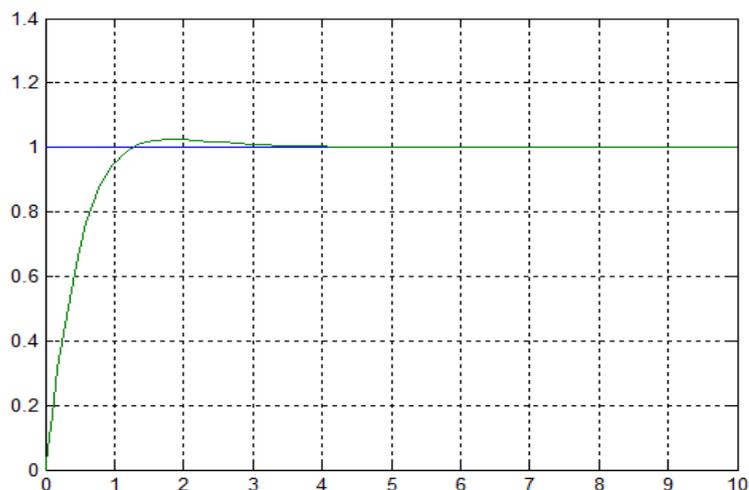


Рис.7. Установившийся уровень  $h_1$

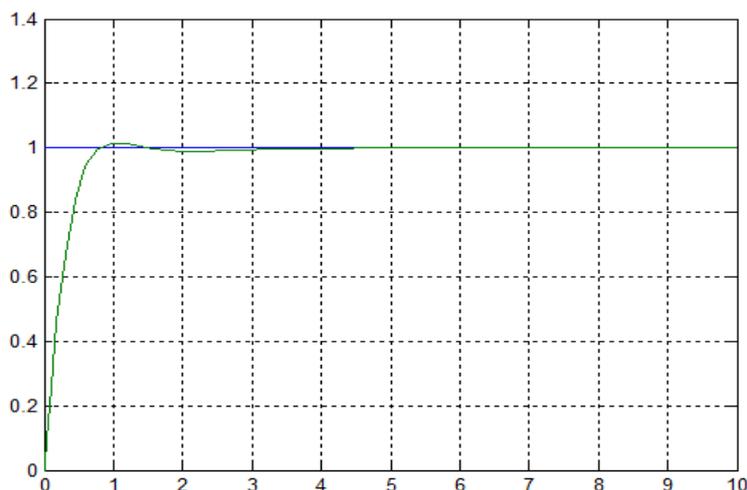


Рис.8. Установившийся уровень  $h_2$

На графиках представлены результаты работы ПИ регулятора для систем, работающих в минимальной и не минимальной фазах. Отсюда можно заключить, что наилучших показателей удалось достичь в системе, работающей в минимальной фазе, т.е тогда, когда количество жидкости, поступающей в нижние баки меньше чем количество жидкости, поступающее в верхние баки.

**Вывод:** для системы, работающей в не минимальной фазе следует модифицировать регулятор (добавить дифференцирующую составляющую) либо применить регулятор другого типа. Что касается системы, работающей в минимальной фазе, то для такой системы поиск коэффициентов достаточно легко осуществим посредством методик Циглера–Никольса и результат работы такой системы является удовлетворительным.

#### Библиографический список

1. Abdullah, M. Zribi Control schemes of quadruple tank process, International Journal of Computer and Communication, volume 7.

2. Applied nonlinear control system by Jean-Jacques E. Slotine, Weiping Li
3. Ge Lusheng Tao Yonghua, and Yin Yixin, 2000. New Type of PID Control and Its Application (M), pp.101 -142.

**УДК 629.735.33**

**И. А. Кравченко**

магистрант кафедры управления в технических системах

**В. А. Голубков** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ БАТАРЕЯМИ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

Одной из самых важных частей бортовых систем (рис. 1) космического аппарата является энергетическая установка, которая не только обеспечивает энергией для работоспособности весь аппарат, но и зачастую обеспечивает его конструкционное исполнение, массогабаритные показатели, а так же время, которое этот аппарат сможет находиться в состоянии эксплуатации. Система энергоснабжения является сердцем любого космического аппарата, так как отказ данной системы или вывод ее из строя ведут к полнейшему отключению всех остальных систем, управляющих космическим аппаратом (КА), а так же дальнейшей его непригодности. В данном случае объектом управления являются солнечные панели, которые снабжают энергией весь КА.

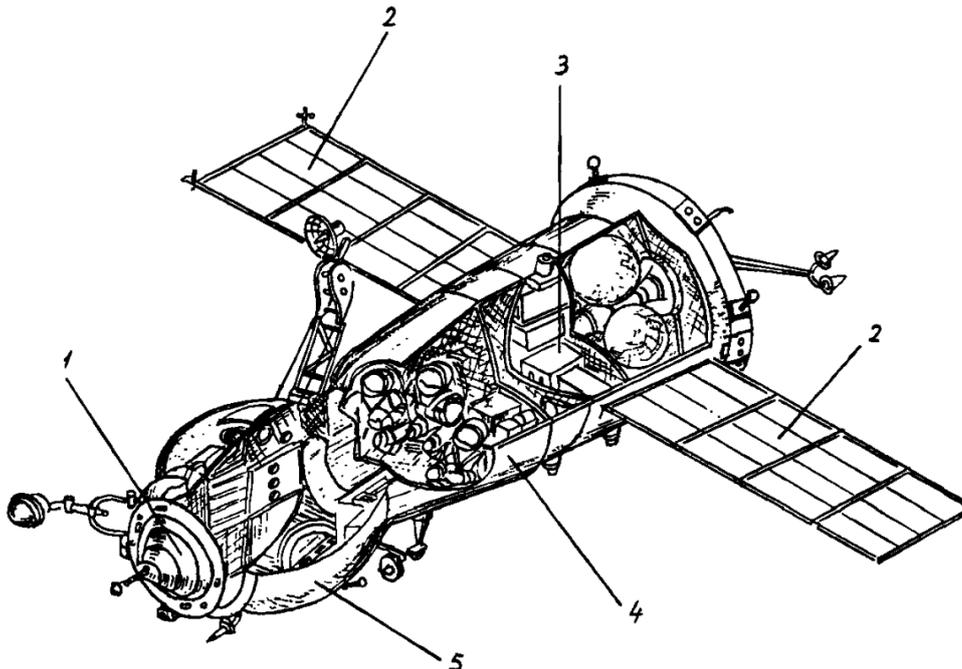


Рис. 1. Космический аппарат «Союз-ТМ»

- 1 – стыковочный агрегат; 2 – панели солнечных батарей;  
3 – приборно-агрегатный отсек; 4 – спускаемый аппарат;  
5 – орбитальный отсек [1]

Исполнительный электропривод (ИЭП), по сути, часть устройства поворотного солнечной батареи (УПСБ), необходимого для одноосного вращения солнечных

панелей на неограниченный угол в управляемых режимах работы со скоростью, заданной цифровым управляющим кодом скорости, генерируемым той или иной системой управления объекта. Полученный код передается в виде двенадцатиразрядного управляющего сигнала посылаемого из командного центра, который может находиться как на земле, так и в космосе.

На рис. 2 представлена функциональная схема одного канала ИЭП УПСБ, на которой отображены основные узлы, такие как сам исполнительный электропривод, блок управления устройством поворота, микроконтроллер и др., основные блоки такие как векторный широтно-импульсный модулятор, формирователь кода скорости с заданным ограничением по ускорению СБ и др. Подробнее элементы входящие в состав УПСБ описаны ниже.

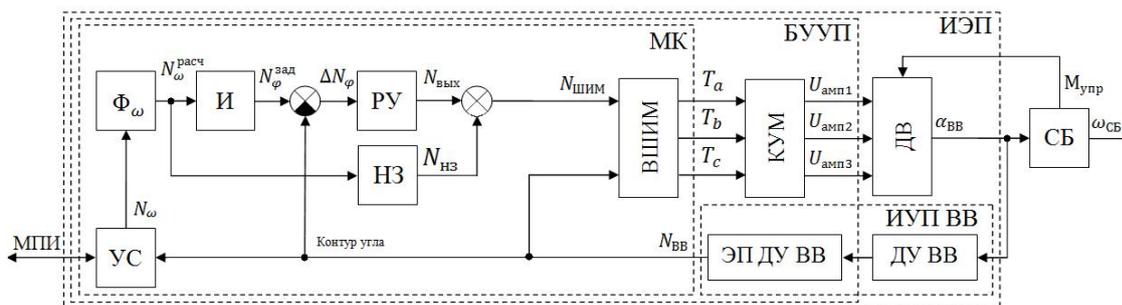


Рис. 2. Функциональная схема одного канала ИЭП УПСБ

На рисунке приняты следующие обозначения:  $\Phi_\omega$  – формирователь кода скорости с заданным ограничением по ускорению СБ; И – интегратор скорости; РУ – регулятор контура угла; НЗ – нелинейное звено; ВШИМ – векторный широтно-импульсный модулятор; КУМ – ключевой усилитель мощности; ДВ – двигатель; СБ – солнечная батарея; ДУ ВВ – датчик угла; ЭП ДУ ВВ – электронный преобразователь датчика угла выходного вала; УС – устройство сопряжения; МК – микроконтроллер; БУУП – блок управления устройством поворотным; ИЭП – исполнительный электропривод;  $N_\omega$  – код задаваемой угловой скорости ВВ;  $\Delta N_\omega$  – сигнал рассогласования контура угла;  $N_{\text{вых}}$  – выходное значение кода регулятора угла;  $N_{\text{ШИМ}}$  – входное значение кода ВШИМ;  $T_a$ ;  $T_b$ ;  $T_c$  – длительности сигналов ВШИМ, управляющие КУМ;  $U_{\text{амп1}}$ ;  $U_{\text{амп2}}$ ;  $U_{\text{амп3}}$  – амплитудные значения линейных напряжений подаваемых на двигатель;  $N_{\text{ВВ}}$  – код измеренного угла поворота ВВ; МПИ – магистральный последовательный интерфейс.

На рис. 3 представлена схема, собранная при использовании пакета MatLab Simulink, на которой математически описаны все основные блоки, включенные в состав исполнительного электропривода. Данная модель позволяет получить ЛАЧХ и ФЧХ системы (рис. 4, рис. 5), по которым можно судить о стабильности модели в целом, а так же оценить ее запасы устойчивости при различных параметрах момента инерции в составе модели.

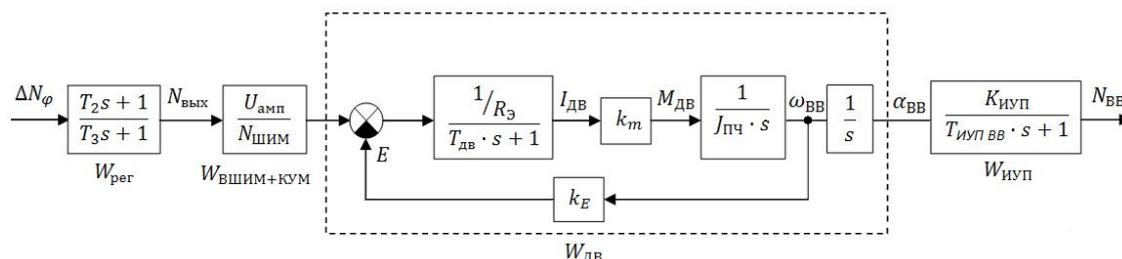


Рис. 3. Структурная схема

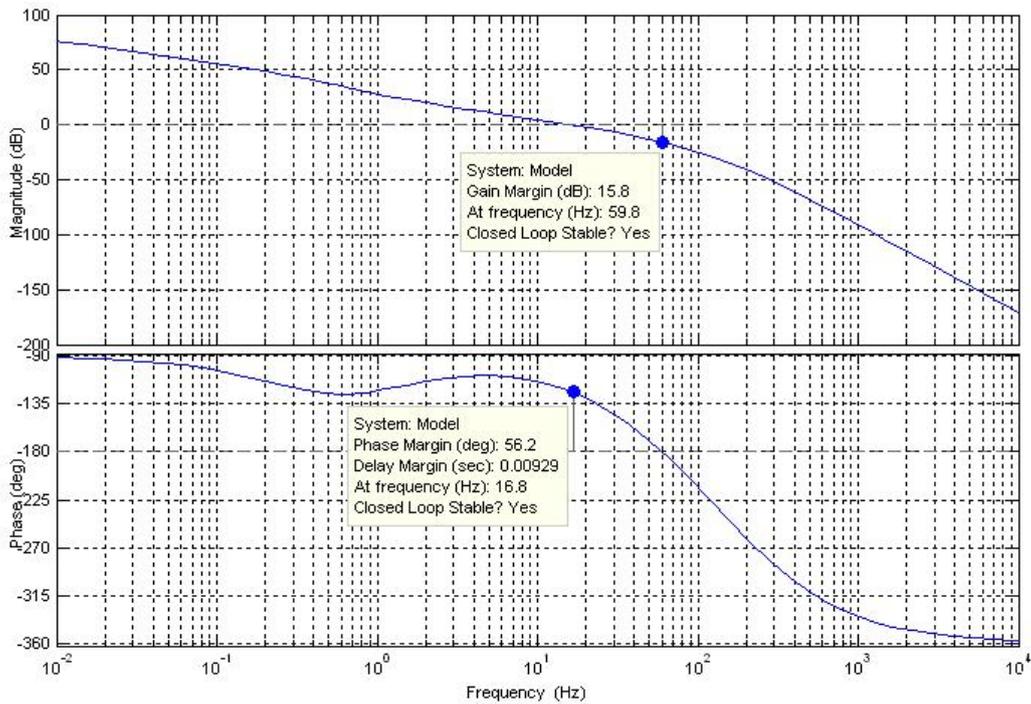


Рис. 4. ЛАЧХ и ФЧХ при отсутствии внешней нагрузки

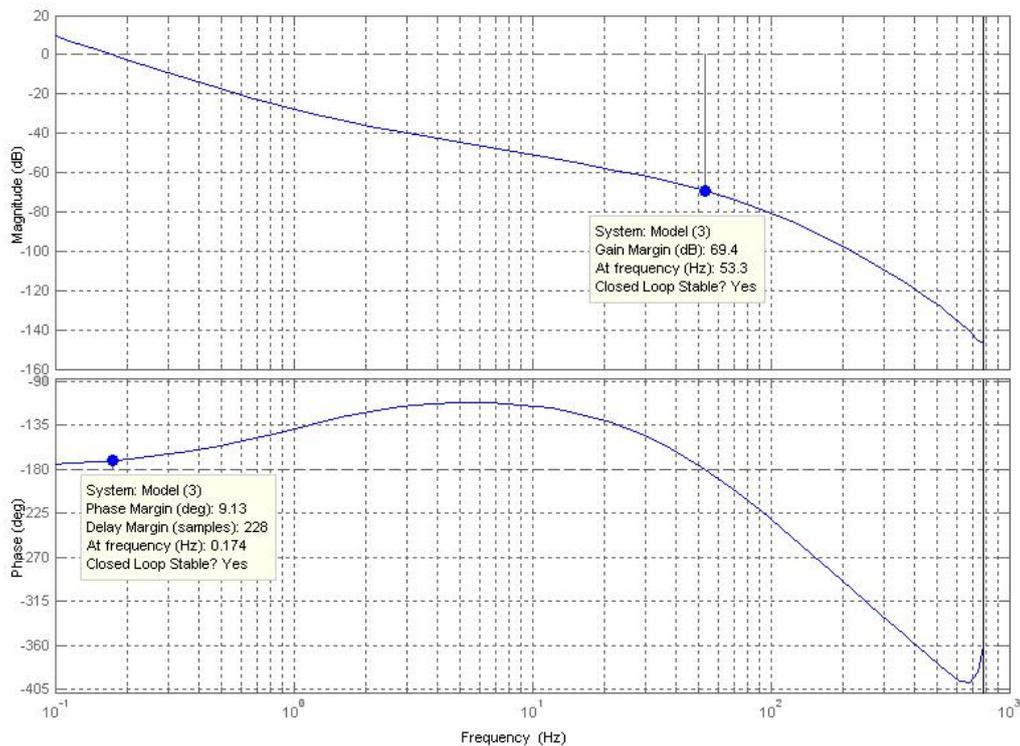


Рис. 5. ЛАЧХ и ФЧХ при учете внешней нагрузки.

### Библиографический список

1. Гушин В. Н., Основы устройства космических аппаратов, Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. 272 с.
2. Балковой А. П., В.К. Цаценкин, Прецизионный электропривод с вентильным двигателем, Учебное пособие, МЭИ, 2010. 326 с.

3. Ощепков А. Ю., Системы автоматического управления. Теория, применение, моделирование в MATLAB, Учебник для вузов, Лань, 2013 208 с.
4. Терехов В. М., О. И. Осипов, Системы управления электроприводов, Учебник для вузов. – М.: Академия, 2005. 304 с.

УДК 621.51

**Н. В. Кривенко**

студент кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков** – Канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

Статья посвящена разработке системы автоматизированного управления технологическим процессом газоперекачивающего агрегата (САУ ГПА) в газовом производстве на базе программируемого контроллера. САУ ГПА предназначена для выполнения функции автоматического управления, регулирования, контроля и защиты, обеспечивающих безаварийную длительную работу газоперекачивающего агрегата. САУ ГПА интегрируется с системой автоматизированного управления технологического процесса компрессорным цехом (АСУ ТП КЦ) транспортировки газа по магистральным газопроводам и подключается в промышленную сеть на базе Ethernet с помощью оптических или медных линий связи. Данный ГПА служит для транспортирования природного газа по магистральным газопроводам и подачи газа на станции подземного хранения газа (СПХГ), за счет турбинного авиационного двигателя (рис. 1).

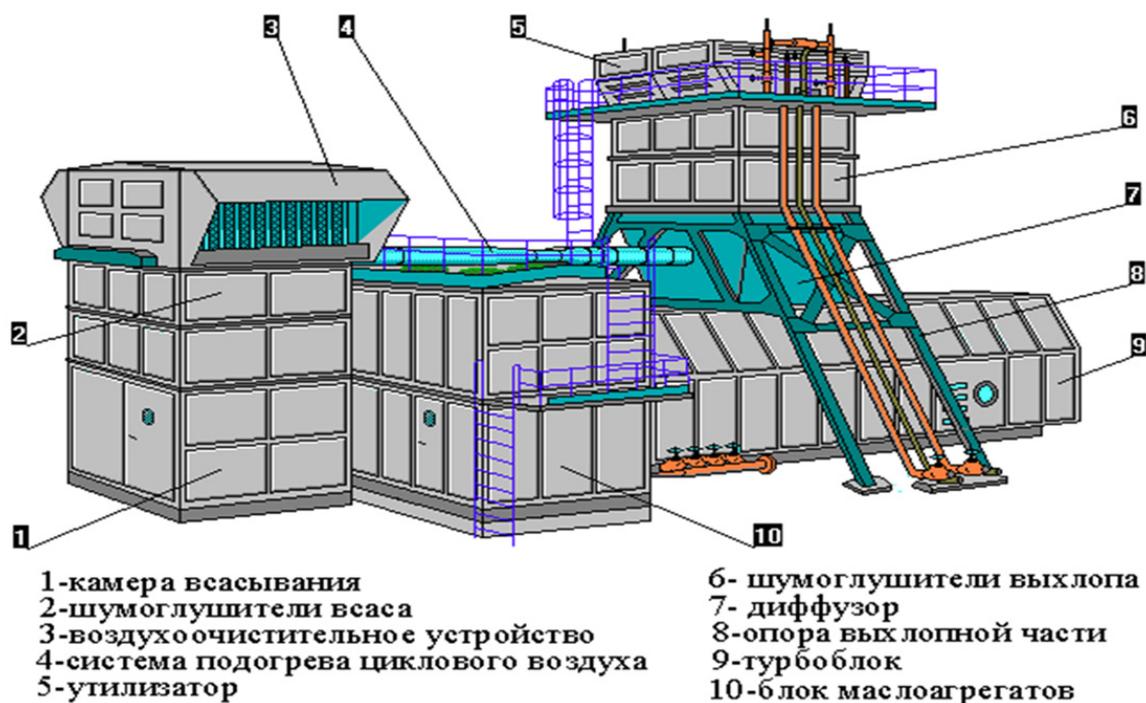


Рис. 1. Газоперекачивающий агрегат

Система автоматического управления газоперекачивающим агрегатом происходит на базе мультипроцессорной системы контроля и управления (САУ ГПА МСКУ).

Система САУ ГПА МСКУ представляет собой законченный аппаратно-программный автономно функционирующий комплекс (рис. 2), обеспечивающий выполнение всех необходимых функций по контролю, управлению и регулированию отдельного ГПА. Устройство осуществляет прием входных сигналов от технологического оборудования и выдачу управляющих воздействий на исполнительные механизмы. Объем входных/выходных параметров практически не ограничен. Обеспечивает обработку и преобразование информации, полученной от объекта, реализацию алгоритмов управления, формирование по заданным алгоритмам команд управления, формирование массивов информации для организации обмена с системой диспетчерского управления (СДУ), включая массив архивных данных «быстрых» параметров с дискретностью записи 20 мс. Выполнение задач антипомпажного и топливного регулирования. Время цикла функционирования подпрограмм регулирования – 10 мс.



Рис. 2. САУ ГПА МСКУ

САУ ГПА МСКУ выполняет:

- пуск, останов, управление газотурбинным (электрическим) двигателем на всех режимах работы;
- обеспечение защиты двигателя, компрессора и другого оборудования ГПА, автоматический аварийный останов при нарушении условий штатной работы;
- автоматическое топливное регулирование газотурбинным двигателем на всех режимах работы;
- автоматическое управление и контроль вспомогательным технологическим оборудованием ГПА (крановая обвязка, система запуска, вентиляция, отопление, маслосмазка, утилизация тепла и т.д.);
- дистанционное управление отдельными исполнительными механизмами по командам с пульта управления (если такое управление допустимо по текущему режиму работы ГПА);
- антипомпажное регулирование;

- диагностический самоконтроль САУ, контроль датчиковой аппаратуры, линий связи;
- взаимодействие с системой диспетчерского управления (СДУ).

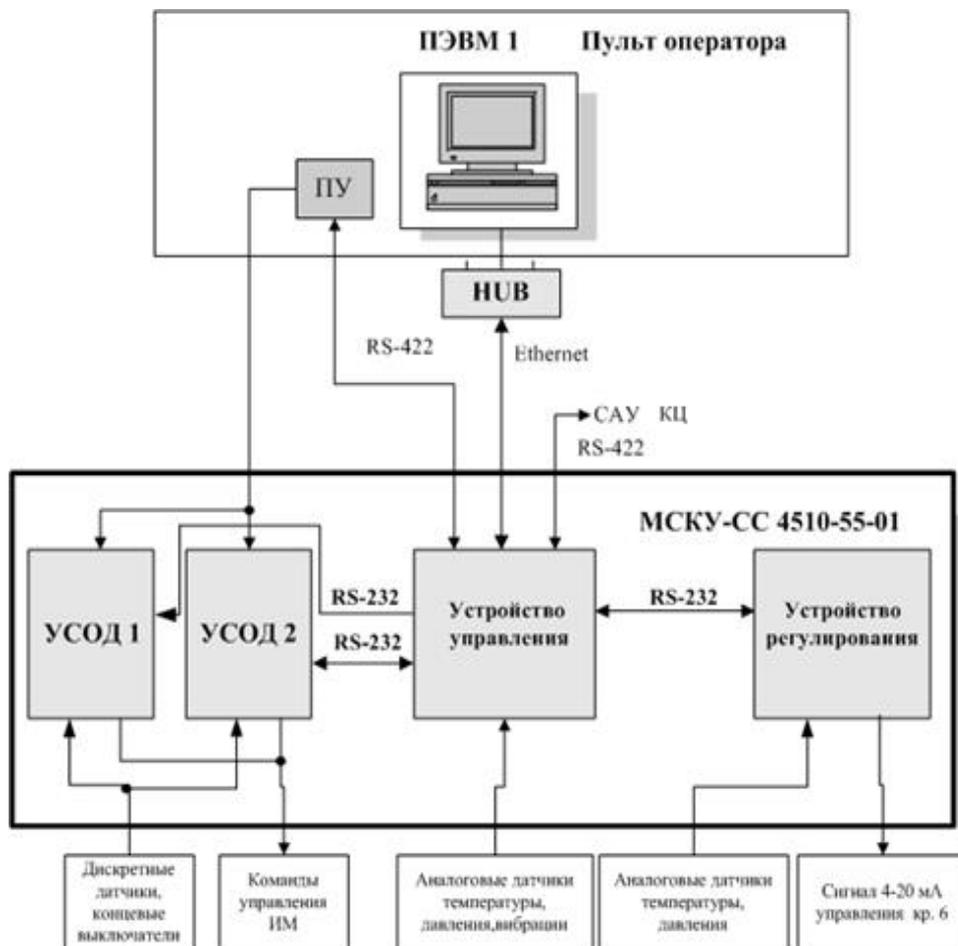


Рис. 3. Структурная схема на базе МСКУ 4510-55-01

Подводя итог, можно отметить, что САУ ГПА является центральным элементом комплекса и осуществляет функцию обработки сигналов состояния оборудования ГПА. Контроллер МСКУ (рис. 3) обеспечивает полную обработку входных аналоговых данных и автоматическое регулирование систем запуска, вентиляции, отопления, маслосмазки, антипомпажного регулирования, утилизации тепла и много другого, что позволяет существенно быстрее транспортировать газ по магистральям.

#### Библиографический список

1. АСУиТП программа и методика, приемочные испытания ОАО «ГАЗПРОМ» 2009 год подписано В.Н. Чикало
2. Технический регламент УКПГ-11В исправленный 19.09.08 ОАО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА УРЕНГОЙ»
3. Системы комплексной автоматизации «СИСТЕМА СЕРВИС СПБ» <http://www.systserv.spb.ru/>
4. Ананенков А.Г., Ставкин Г.П., Талыбов Э.Г. АСУ ТП промыслов газоконденсатного месторождения Крайнего Севера. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003.

5. Приборы и средства автоматизации: Каталог. Т.7. Приборы регулирующие. Сигнализаторы температуры, давления, уровня. Датчики-реле. Исполнительные механизмы. – М.: ООО Издательство «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ», 2005.

**УДК 621.395.669**

**П. А. Кузнецов**

магистрант

Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева

**С. В. Солёный** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

### БОРЬБА С ВЕЕРНЫМИ ОТКЛЮЧЕНИЯМИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Одной из основных проблем современной промышленности является наличие большого количества брака на предприятиях, занимающихся металлообработкой.

Согласно статистическим данным в 2015 г. на предприятиях авиационного машиностроения половина всей отбракованной продукции приходится на причину исчезновения напряжения питания, вызванного перегрузкой электрической сети или веерными отключениями. Суммарные потери из-за нарушения электроснабжения составляют пятую часть от объема всего годового брака.

Мировой тенденцией, которая поможет устранить проблему отключений и сбоев питания, является применение технологий Smart Grid. При этом конечная база элементов подобной системы не нормирована в настоящее время. Таким образом, работы, направленные на создание автономной системы мониторинга состояния электрической сети, позволяющей минимизировать убытки благодаря решению проблем с перебоями напряжения питания и минимизацией количества веерных отключений, являются весьма актуальными (рис. 1).

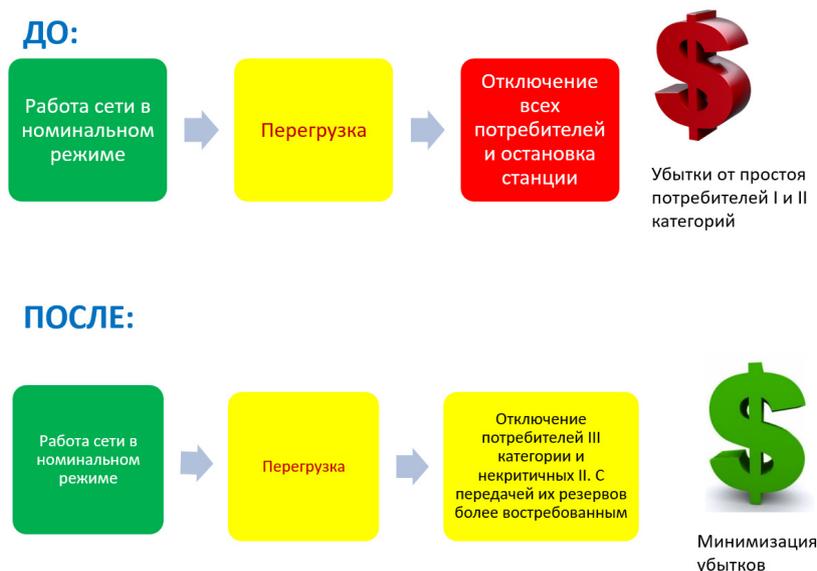


Рис. 1. Принцип действия системы мониторинга состояния электрической сети

В нормальном режиме предлагаемая система (рис. 2) производит мониторинг состояния сети, основываясь на данных автоматической системы коммерческого учета электроэнергии [1], которые хранятся на сервере. В процессе работы сети могут возникать аварийные ситуации: перегрузка сети, исчезновение питания одной из ветвей, которое вызовет перегрузку на другой и т.д. Контроллер проводит анализ текущей нагрузки и выявляет потребителя, который вызвал перегрузку. Далее проверяется его приоритет (категория надежности электроснабжения) на основе ранее запрограммированных данных. Если приоритет потребителя низкий, то система отключает его от сети питания и восстанавливает подачу напряжения после снижения общесетевой нагрузки [2]. Если же потребитель обладает высоким приоритетом или на запитанном в данный момент оборудовании производится важный технологический процесс, контроллер будет искать потребителей с более низким приоритетом и отключит их, сохраняя питание на важном объекте. В случае падения подводимой мощности от трансформатора система проводит анализ, поиск и отключение низкоприоритетных потребителей в достаточном количестве для компенсации просадки. После ее устранения подача питания возобновляется.

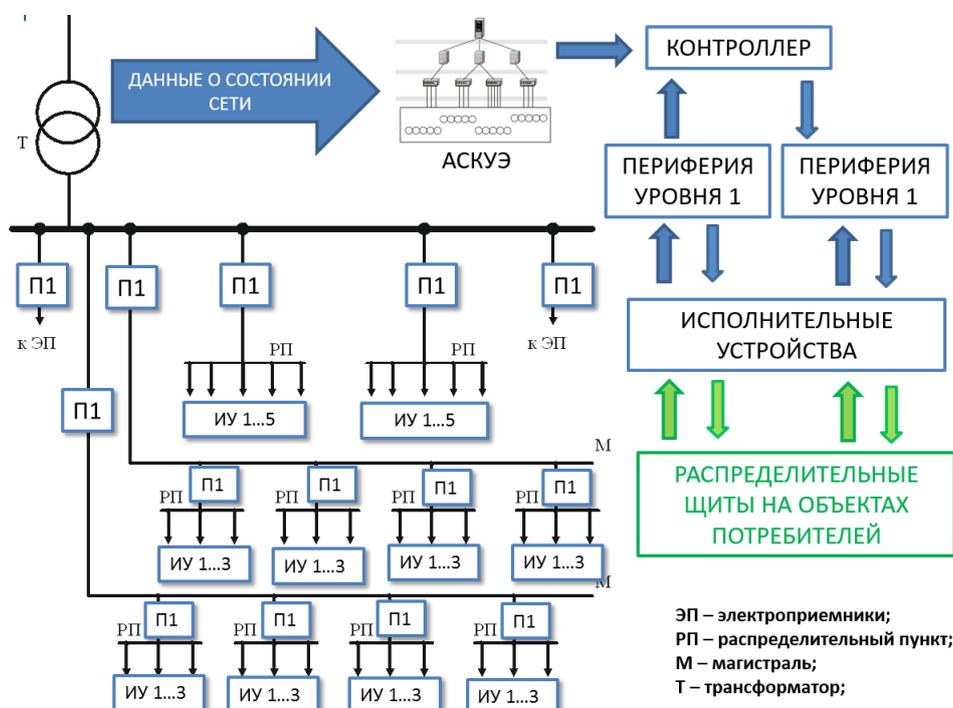


Рис. 2. Схема внедрения устройства в действующую сеть предприятия

Применение подобных систем даст возможность повысить качество технологических процессов на предприятиях авиационной промышленности, а также уменьшить влияние человеческого фактора на системы электроснабжения первой и второй категории надежности электроснабжения.

### Библиографический список

1. Соколов Ю.В., Солёный С.В. Особенности построения систем автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии. Завалишинские чтения: Молодежная секция. Сб. докл. / СПб.: ГУАП., 2015. – с. 112-113.
2. Кузнецов П.А., Пихно Э.В., Юдин А.В. Экономическое обоснование внедрения контроллера защиты от веерных отключений. Научные труды Международной научной молодежной конференции XLII «Гагаринские чтения». г. Москва. 2016 г.

УДК 621.8

**Д. В. Лавринович**

магистрант кафедры управления в технических системах

**И. А. Салова** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ МАГНИТНЫХ МУФТ

Задачей настоящей работы является разработка программного обеспечения и его применение для автоматизации расчетов магнитной муфты на постоянных высококоэрцитивных магнитах.

В системах автоматики, таких как скважные самоуправляемые насосы, системы жидкостного охлаждения радиоэлектронной аппаратуры, магнитные муфты нашли свое применение в виду их надежности и эксплуатационных качеств.

Муфта – устройство (деталь машины), предназначенное для соединения друг с другом концов валов и свободно сидящих на них деталей для передачи крутящего момента. Основной характеристикой муфт, в связи с их основным назначением, является вращающий момент. Другими важными показателями являются габариты, масса, момент инерции, относительно оси вращения [1].

Скважинные электронасосные агрегаты предназначены для поднятия из глубины земли воды или нефти через специально обустроенные скважины. В состав агрегатов, которые используются в настоящее время на нефтепромыслах и водозаборах, входят, в качестве основных устройств, трехфазный асинхронный электродвигатель и центробежный насос. Длительная эксплуатация электронасосов показала, что они имеют малый срок службы и высокую аварийность, вызванную проникновением скважинной жидкости внутрь электродвигателя. Слабым местом конструкции является узел сочленения валов электродвигателя и насоса, где полости насоса и электродвигателя могут сообщаться друг с другом. Попытки защитить место сочленения валов уплотнениями различного типа не принесли успеха, так же как безуспешными оказались попытки создать электродвигатели, стойкие к воздействию скважиной жидкости. Решить данную проблему удалось благодаря успехам в разработке и промышленном освоении постоянных магнитов с высокой магнитной энергией на основе редкоземельных материалов. В проектах агрегатов нового типа герметизация электродвигателя осуществляется сплошным неподвижным экраном, непроницаемым для жидкостей и газов, который расположен между электродвигателем и насосом. Крутящий момент электродвигателя передается насосу через герметизирующий экран бесконтактно синхронной магнитной муфтой на постоянных магнитах [2].

Разработка магнитных муфт – задача индивидуальная, оптимизированная под конкретное техническое задание, учитывающее множество параметров, поэтому тема автоматизации расчетов актуальна и востребована.

В свою очередь, муфты подразделяют на управляемые и самоуправляемые (самодействующие) [3]. Магнитные муфты относятся к классу самоуправляемых.

Управляемые муфты соединяют (разъединяют) агрегаты машин по некоторой команде. Самоуправляемые муфты срабатывают автоматически, соединяя или разъединяя валы в зависимости от специфики работы машины и принципа действия муфты. В частности, магнитная муфта в пределах номинальных параметров нагрузок передает момент в постоянном режиме, если же момент на валу превышает момент магнитосцепления, то происходит срыв передачи момента между валами.

Со времен изобретения и патентования магнитной муфты (1977 г.) прошло много времени [0]. Конечно, за это время муфта претерпела изменения, но принцип работы остался тем же (рис. 1). В насосах с приводом через магнитную муфту используется электродвигатель для управления ведущей полумуфтой с постоянными магнитами, которая располагается на узле привода, находящимся за пределами агрессивной среды, заключенной в герметичный экран (стакан). Герметичный экран, изготавливаемый из высоко коррозионно-стойкого материала, предотвращает утечку агрессивной жидкости и составляет, как правило, 1 мм в толщину для металла и более 1 мм для пластика (рис. 2). Ведомая полумуфта крепится на втором валу, находящемся в агрессивной среде. Вращающаяся ведущая полумуфта приводит в движение ведомую полумуфту. Соосный синхронный крутящий момент удерживает обе полумуфты (рис. 2).

Насос с магнитной муфтой не имеет связи между приводным валом насоса и приводом двигателя. Место, обычно занимаемое механическим уплотнением или сальником, занимает магнитная муфта. Центробежная крыльчатка устанавливается на подшипниках скольжения внутри герметичного экрана.

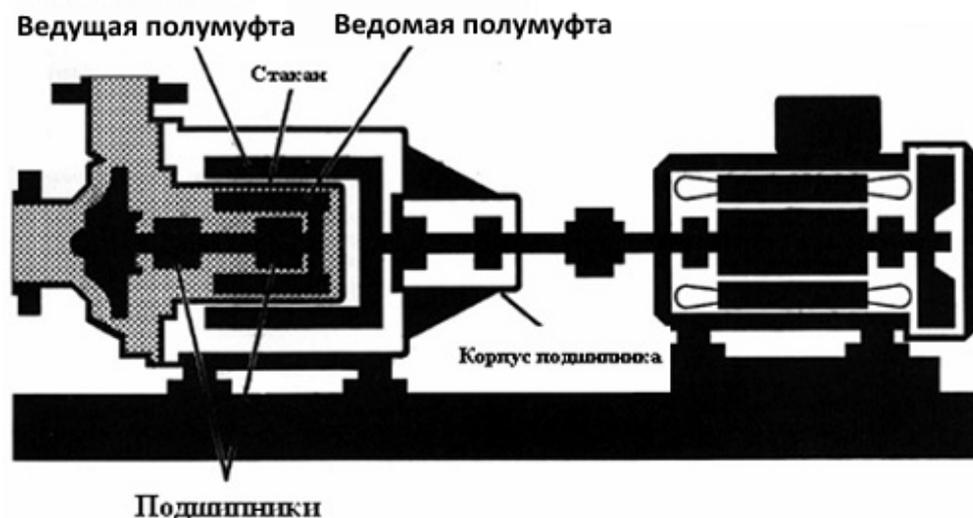


Рис. 1. Принцип работы герметичных насосов с магнитной муфтой [5]

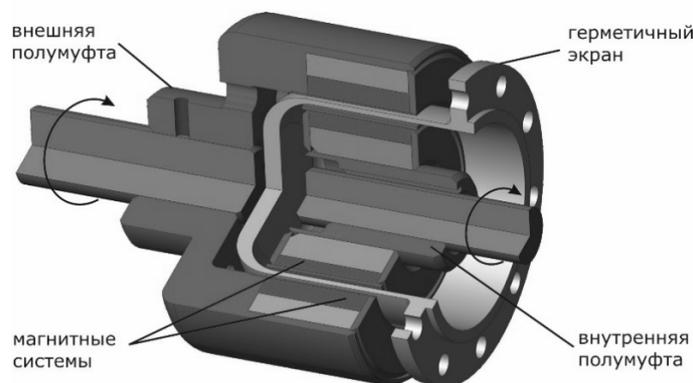


Рис. 2. Устройство магнитной муфты

Магнитные муфты также разделяются по конструкции размещения магнитов на два типа:

– радиальные – когда ведомая полумуфта находится внутри ведущей (рис. 3). Такая конструкция наиболее популярна в виду отсутствия избыточной осевой нагрузки на подшипники, что свойственно муфте с аксиальным расположением магнитов;

– аксиальные – когда магниты размещены на торцевой части полумуфт (рис. 4). В таком исполнении полумуфты находятся на одной оси, но их плоскости не пересекаются, как это реализовано в конструкции с радиальным размещением магнитов. Главным недостатком аксиального строения муфты является избыточная осевая нагрузка на подшипники.

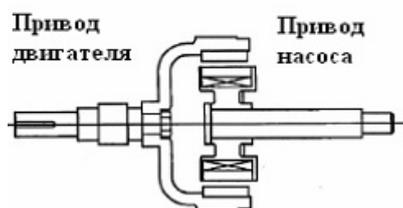


Рис. 3. Аксиальная муфта

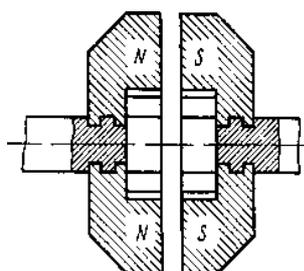


Рис. 4. Радиальная муфта

В рамках данной работы используется радиальная конструкция магнитной муфты.

Задачей разработчика конструкций с магнитными муфтами является поиск оптимальных геометрических параметров, обеспечивающих максимальный момент, при котором достигается необходимое сцепление. Кроме того, в процессе проектирования разработчик должен учитывать возможный технологический разброс параметров, который может возникнуть вследствие следующих обстоятельств:

- разброс коэрцитивной силы используемых магнитов;
- разброс их геометрических параметров.

Для получения необходимых значений моментов, а также для учета влияния возможных разбросов физических и геометрических параметров магнитов используется моделирование магнитной муфты методом конечных элементов [6]. Поскольку геометрия рассматриваемой магнитной муфты плоская, то можно проводить моделирование в программном комплексе ELCUT [7]. Моделирование в ELCUT предполагает задание геометрии, свойств материалов блоков и задание граничных условий, а также разбиение модели на сетку конечных элементов.

При поиске оптимальных геометрических параметров разработчику приходится производить рутинные однотипные расчеты, поэтому построение геометрической модели можно автоматизировать. В рамках данной работы задача построения геометрии уже решена с помощью программы, написанной на встроенный в AutoCad язык AutoLisp [8].

На разработку вручную инженеру необходимо много времени для построения однотипных, мало различимых геометрий муфт и куда больше времени необходимо для переноса геометрии в среду ELCUT с заданием меток всех блоков. На разработку геометрии муфты в среде AutoCad в среднем уходит 20–30 мин. При использовании автоматизированного построения этот процесс занимает всего пару минут. Интерфейс разработанной программы показан на рис. 5. Данная

программа строит геометрию муфты по заданным пользователем параметрам. Даже частичная автоматизация проектирования муфт уже значительно сокращает временные затраты разработчика и устраняет возможные ошибки, возникающие при монотонных типовых операциях построения геометрии. Эскиз с формальными параметрами изображен на рис. 6. Формальные параметры исследуемой муфты указаны в таблице 1.

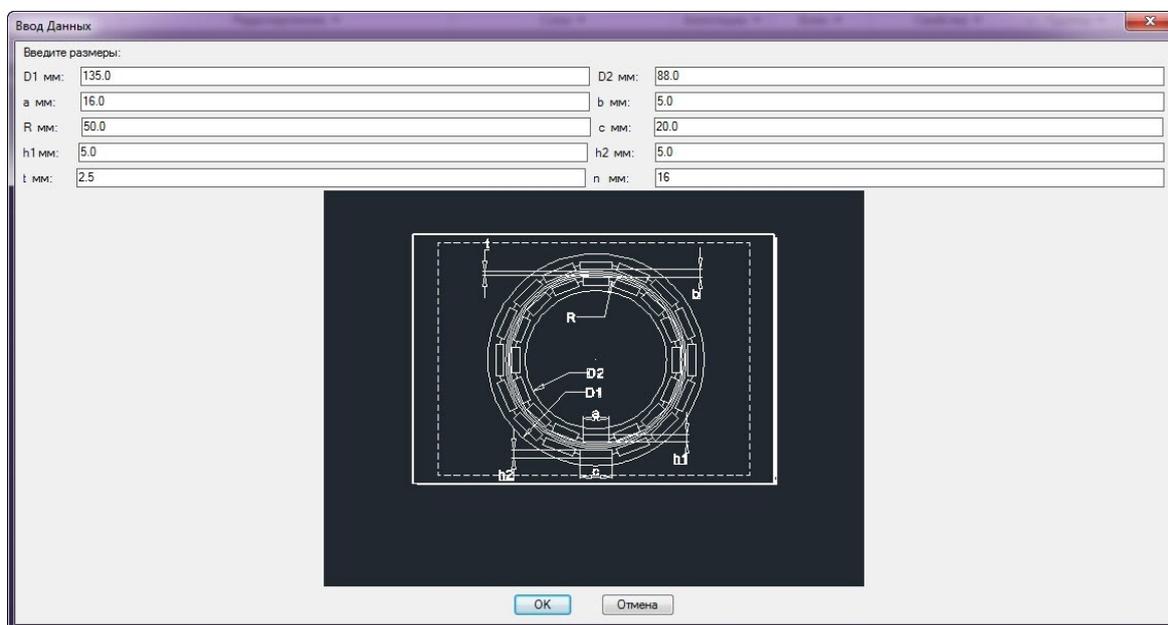


Рис. 5. Интерфейс программы

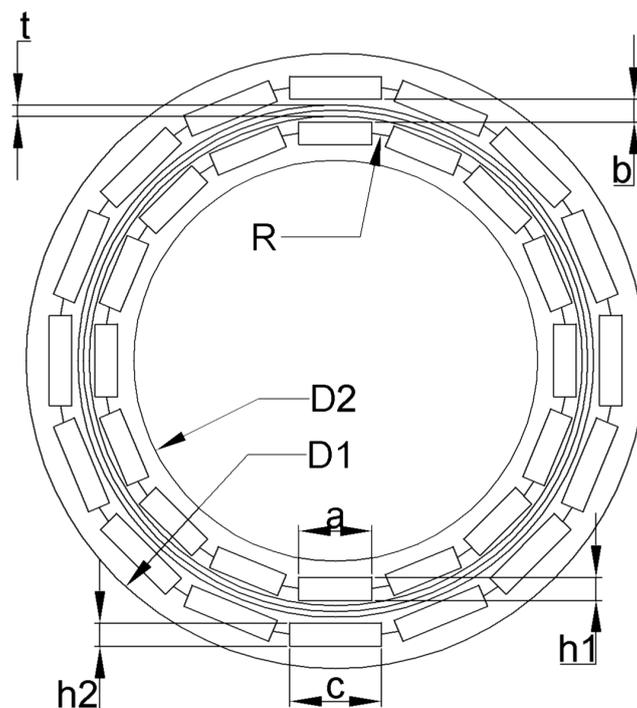


Рис. 6. Эскиз с формальными параметрами

Таблица 1

Название параметра	Формальный параметр	Значение по умолчанию
Внешний диаметр ведущей полумуфты	D1	135
Внутренний диаметр ведомой полумуфты	D2	88
Радиус окружности, на которой располагаются магниты	R	50
Ширина магнитов ведомой полумуфты	a	5
Ширина магнитов ведущей полумуфты	c	16
Высота магнитов ведущей/ведомой полумуфты	h1=h2	5
Величина полного немагнитного зазора	b	20
Толщина немагнитного экрана	t	2.5
Количество полюсов	n	16

Результатом работы разработанной программы является файл геометрии муфты с расширением .dxf, который импортируется в ELCUT. Дальнейшие вычисления производятся в среде ELCUT. На рис. 7, в качестве примера показано распределение вектора индукции магнитного поля для углов рассогласования валов  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 11.25^\circ$ .

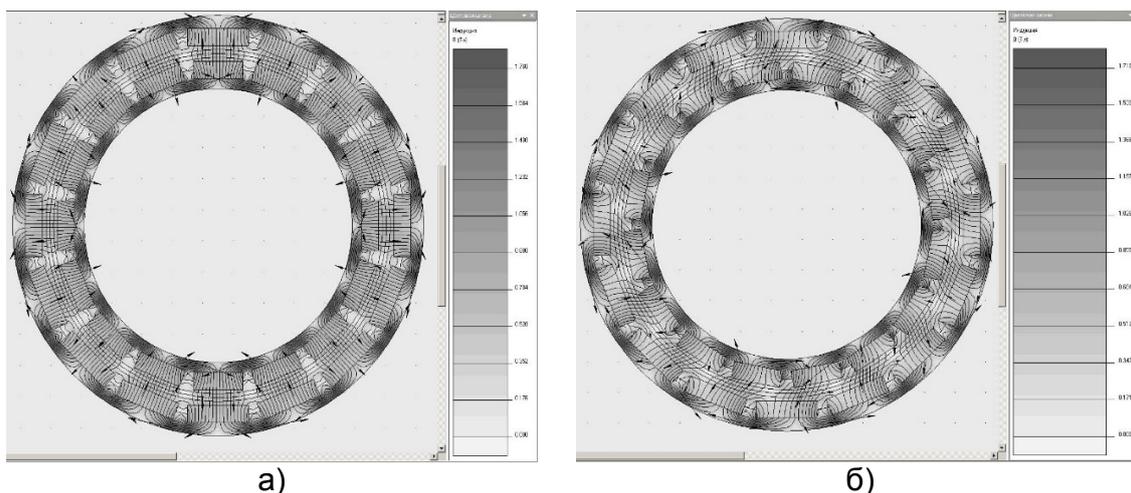


Рис. 7. Распределение вектора индукции магнитного поля

а)  $\alpha = 0^\circ$ ; б)  $\alpha = 11.25^\circ$ 

При изготовлении магнитов имеет место технический разброс параметров. Абсолютно точных значений не бывает, каким бы высокотехнологичным не было производство. Для обнаружения влияния разброса такого параметра, как коэрцитивная сила магнитов было проведено исследование, в котором каждому из магнитов задавалось индивидуальное значение коэрцитивной силы, находящемся в рамках заданного диапазона. В качестве примера рассмотрим магнит из самария кобальта SmCo (SM150/900) [0]. Коэрцитивная сила магнитов по индукции находится в пределах 690–710 кА/м.

Целью исследования является установление зависимостей значения удерживающего магнитного момента муфты от ее технологических параметров. В рамках данной работы проведено три исследования. В первом изучалась зависимость влияния технологического разброса коэрцитивной силы магнитов по методу Монте-Карло. Каждому из магнитов задается случайное значение коэрцитивной силы, находящееся в пределах допусков разброса параметра. Отклонение от

номинального значения составляет 2%. Второе исследование аналогично первому, но исследуется магнит другой марки. В третьем исследовании изучается влияние геометрических параметров магнитов, а именно их высота ( $h_1$ ,  $h_2$ ). Всем магнитам задается одно значение коэрцитивной силы.

В рамках первого исследования, проведено три испытания. Результаты испытаний представлены на рис. 8. Как следует из графика, расхождения максимального момента срыва для опытов не значительны. Причиной этого является выбор малого шага для случайного распределения. Теоретически, разброс может достигать как значения  $\max$ , так и значения  $\min$ , а это 24,923 Н/м и 26,424 Н/м, что является достаточно большой разницей (6 %).

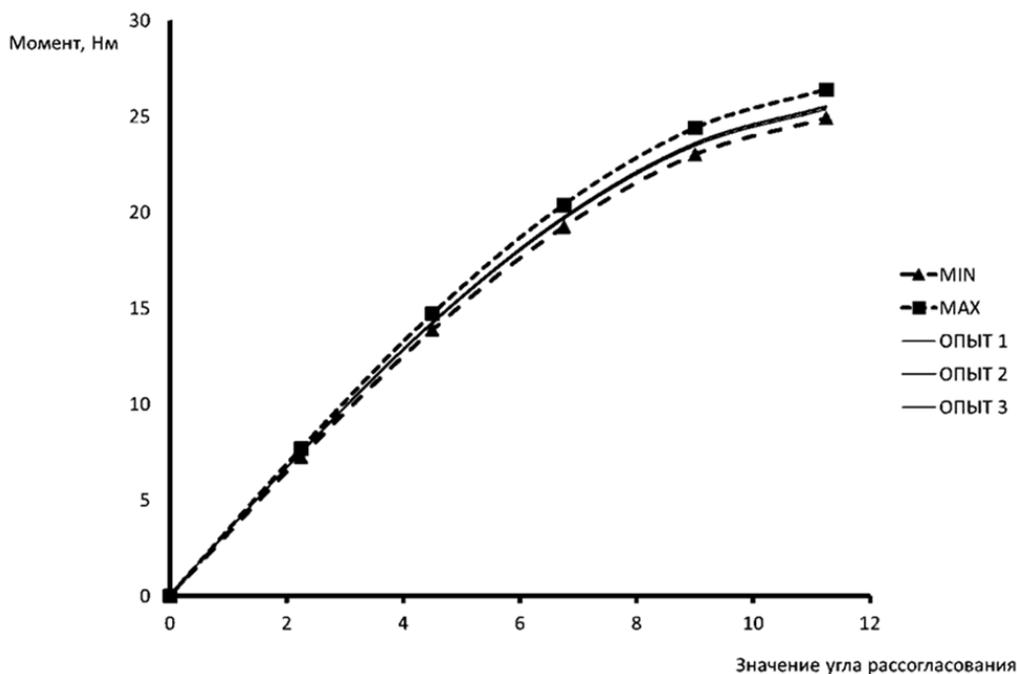


Рис. 8. График зависимости момента от угла рассогласования

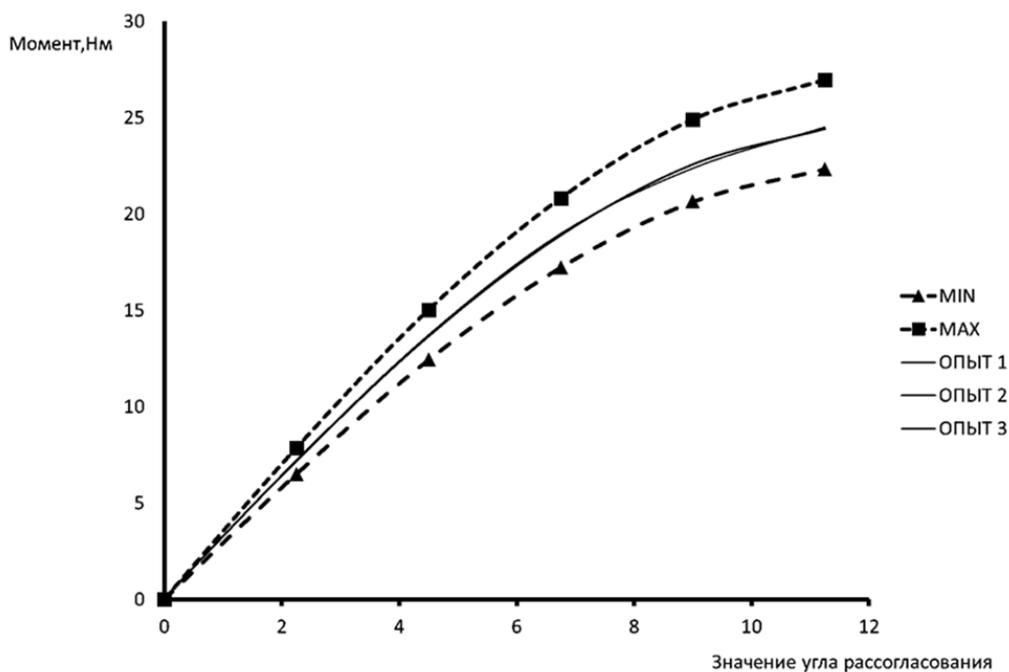


Рис. 9. График зависимости момента от угла рассогласования

Во втором исследовании, аналогично первому был протестирован другой образец магнита с худшим коридором разброса параметра коэрцитивной силы (653–717 кА/м). Результаты представлены на рис. 9.

В третьем исследовании было изучено влияние геометрических параметров магнитов. Марка магнитов та же, что и в предыдущем исследовании (653–717 кА/м). Проведено 5 испытаний при различных значениях  $h_1=h_2$  (4, 4.5, 5, 5.5, 6 мм). Результаты исследования изображены на рис. 10.

Как следует из третьего графика, геометрический параметр высоты магнита сильно сказывается на магнитном моменте муфты (табл. 2).

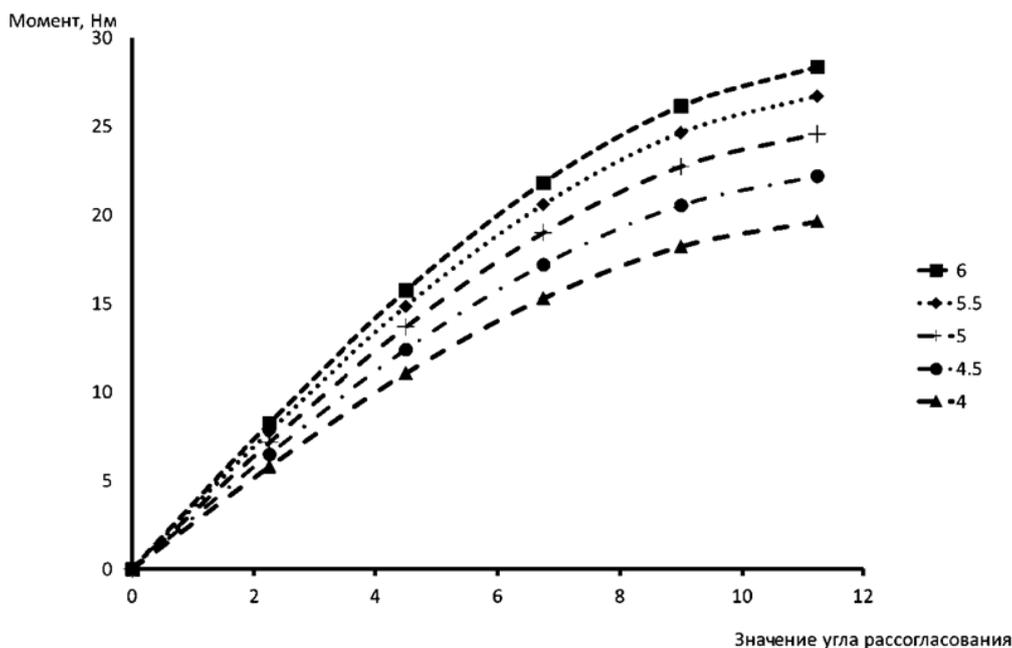


Рис. 10. График зависимости момента от угла рассогласования

Таблица 2

№ опыта	$h_1$ , мм	Момент, Нм
1	4,0	19,6
2	4,5	22,2
3	5,0	24,6
4	5,5	28,4
5	6,0	26,7

Разметка блоков и задание материалов в среде ELCUT для исследования со случайным разбросом параметров коэрцитивной силы занимает 50–60 мин для одного варианта исследования. В итоге, для того чтобы задать параметры в ELCUT и получить результаты для одного опыта требуется в среднем 15–20 мин. И таких опытов было проведено в наилучшем случае три, хотя для лучшей выборки необходимо гораздо больше опытов. Все вышесказанное приводит к необходимости разработки программного обеспечения, решающего в комплексе поставленную в теме статьи задачу, а именно построение геометрии, задание материалов, свойств, решение задачи магнитостатики, вывод результатов исследования. В итоге, время-затраты на проектирование и моделирования магнитной муфты будут сокращены на порядок.

**Библиографический список**

1. Официальный сайт Википедии: <https://ru.wikipedia.org>. Режим доступа к ссылке: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Муфта\\_\(механическое\\_устройство\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Муфта_(механическое_устройство)). (Дата обращения 10.04.2016)
2. Абдрахманова Т. Б. “Электромеханический блок скважинного электронасосного агрегата с магнитной муфтой”. Томск – 2002
3. Лекционный курс "Основы конструирования и детали машин" МГТУ им. Баумана
4. Официальный сайт компании "Флюид Бизнес Групп": <http://www.fluidbusiness.ru>  
Режим доступа к ссылке:  
[http://www.fluidbusiness.ru/usefull/articles/nasosy\\_s\\_magnitnym\\_privodom/](http://www.fluidbusiness.ru/usefull/articles/nasosy_s_magnitnym_privodom/) (дата обращения 10.04.2016)
5. Официальный сайт компании “База патентов СССР”: <http://patents.su/> Режим доступа к ссылке: <http://patents.su/4-1343145-torcovaya-magnitnaya-mufta.html>
6. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.:Мир, 1979. – 389с.
7. ELCUT v.6.0. Комплекс программ для моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач. Руководство пользователя. СПб.:Производственный кооператив TOP, 2014г.
8. Полещук Н.Н. Visual LISP и секреты адаптации AutoCad. СПб.:БХВ-Петербург, 2001.- 576с.
9. Официальный сайт компании “Группа компаний Северо-Западная лаборатория”: <http://ferrite.ru/> Режим доступа к ссылке:  
<http://ferrite.ru/products/magnets/smco/> (дата обращения 10.04.2016).

**УДК 681.5****А. А. Лапушкин**

студент кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ХОПФИЛДА В ЗАДАЧЕ О N ФЕРЗЯХ**

В настоящее время нейронные сети (НС) используются во многих областях автоматизации. Существует множество различных видов сетей: от простого персептрона до сложных специфичных сетей. Все НС можно разбить на два класса – статические и динамические. К динамическим НС, для которых характерны переходные процессы, относится НС Хопфилда.

Нейронная сеть Хопфилда [1] представляет собой однослойную сеть, в которой выход каждого нейрона соединен с входами других нейронов (рис. 1).

Динамика таких сетей сходится к одному из состояний равновесия. Эти состояния являются локальными минимумами функционала, который называется энергией сети. Сеть Хопфилда может быть использована как автоассоциативная память или как фильтр, то есть она способна восстановить поврежденную картинку на основе запомненного образа [2]. Сеть Хопфилда применяют не только для обработки визуальных образов, а также для решения комбинаторных задач оптимизации, если такие задачи можно сформулировать как задачи минимизации энергии. Примерами таких задач могут быть: задача коммивояжера, задача о назначениях, задача о восьми ферзях и т.д. Рассмотрим подробнее применение сети Хопфилда в последней задаче.

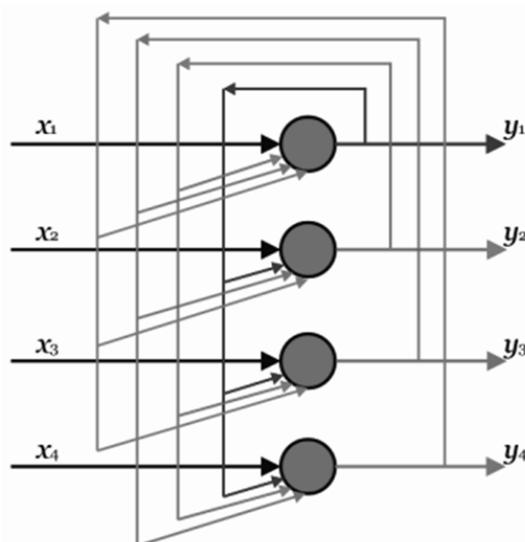


Рис. 1. Нейронная сеть Хопфилда

В математическом виде задача может быть сформулирована следующим образом: заполнить матрицу  $N \times N$  нулями и единицами таким образом, чтобы сумма в каждой строке, столбце и диагональном ряде матрицы не превышало единицу, и общее количество единиц равнялось  $N$ . Матрица выступает в роли шахматной доски, а единицы являются ферзями. В работе [3] показано полное и уникальное количество решений. Например, для задачи о восьми ферзях существует всего 92 решения, из них всего 12 являются уникальными, а вот для задачи о 25 ферзях существует более 2 квадриллионов ( $10^{15}$ ) решений и только около 0,3 квадриллионов уникальных решений. Поэтому, решение данной задачи полным перебором крайне нежелательно, так как время на решение задачи, с увеличением размерности, растет экспоненциально. Для данной задачи применяются различные стохастические алгоритмы поиска, например генетический алгоритм [4, 5].

Для того чтобы применить сеть Хопфилда к решению данной задачи, требуется описать энергетическую функцию, которую нейронная сеть будет минимизировать. Такая функция, которую еще называют функцией Ляпунова [6], для сетей с обратными связями может быть представлена следующим образом:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j W_{ij} Y_i Y_j - \sum_j W_{0j} Y_j + \sum_j T_j Y_j,$$

где  $E$  – функция энергии сети,  $W_{ij}$  – вес входа нейрона  $i$  к выходу нейрона  $j$ ,  $Y_i$  – выход нейрона  $i$ ,  $Y_j$  – выход нейрона  $j$ ,  $W_{0j}$  – вес смещения нейрона  $j$ ,  $T_j$  – порог нейрона  $j$ .

Решением задачи будем считать шахматную доску с расставленными на ней ферзями с учетом требований, описанных выше. Построим энергетическую функцию нейронной сети Хопфилда для задачи  $N$  ферзей. Функция должна быть минимальной только в тех случаях, когда в строке, столбце и на смежных диагоналях ничего не стоит, то есть значение клетки равно 0. Данным требованиям удовлетворяет следующая функция энергии:

$$E = A \sum_x \left( \sum_j V_{xj} - 1 \right) + B \sum_i \left( \sum_y V_{yi} - 1 \right) + C \left( \sum_{\substack{1 \leq x+j \leq N \\ 1 \leq i+j \leq N \\ j \neq 0}} V_{x+j, i+j} + \sum_{\substack{1 \leq x-j \leq N \\ 1 \leq i-j \leq N \\ j \neq 0}} V_{x-j, i-j} - 1 \right),$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – коэффициенты функции Ляпунова,  $N$  – размерность задачи,  $V_{xj}$  – значение матрицы  $V$  в строке  $x$  и столбце  $j$ .

Существуют и другие подходы для решения данной задачи сетью Хопфилда. В [7] авторы используют технику «*guided trial-and-error*». Они так же подсчитывают весовую функцию и ее динамику. Этот алгоритм минимизирует функцию Ляпунова и останавливается, когда будет достигнуто заданное время. Так же для решения такой задачи можно использовать оптимальную соревнующуюся сеть Хопфилда [8]. Такая модель гарантирует сходимость любой энергетической функции, после обновления группы нейронов. В данной работе применялась только минимизация энергетической функции, значения весов сети не задавались. Данный алгоритм был реализован в математическом пакете *Matlab*. Ниже представлена часть программного кода *M*-файла:

```
%Problem size
N = 20;
Amount = 0;
%count iterations
num = 0;
%main loop
while (amount ~= N)
    amount = 0;
    L1 = 0;L2 = 0;L3 = 0;L4 = 0;
    E = zeros(N);
    V = zeros(N);
%Sub Loop = Hopfield network
    for l = 1:N*N
%Random numbers from 1 to N
        i = randi(N);
        j = randi(N);
%Number of queens in rows
        L1 = sum(V(i,:));
%Number of queens in columns
        L2 = sum(V(:,j));
% Number of queens in diagonals
        L3 = sum(diag(V,j - i));
        L4 = sum(diag(fliplr(V),(N - j + 1)- i)); %N-j+1 - new j
%Count energy, coefficients A,B,C are equally 1
        E(i,j) = (L1 - 1) + (L2 - 1) + (L3 + L4 - 1);
%The reason for stopping the algorithm:
%there are N-Queens at the board(amount=N)
%none of them is under attack
        if E(i,j) == -3
            V(i,j) = 1;
            amount = amount + 1;
        end
    end
num = num + 1;
end
```

#### Описание работы алгоритма

В начале работы выбирается размерность  $N$  шахматной доски. Далее, у алгоритма есть два цикла: главный цикл и подцикл. Первый проверяет, совпадает ли количество ферзей с размерностью шахматной доски. В этом цикле обнуляются переменные, которые подсчитывают количество ферзей по строкам, столбцам

и диагоналям и формируются две нулевые матрицы: матрица нейронов  $V$  и матрица энергии  $E$ . В подцикле решается задача  $N$  ферзей. Так как координаты ферзей выбираются случайным образом, следует увеличить число попыток для установки ферзя на его место (вместо  $N$  проверок, проверять  $N \times N$ ). В этом цикле подсчитывается количество ферзей по строкам, столбцам и диагоналям. Переменные  $i$  и  $j$  являются координатами по строке и столбцу, соответственно. Затем рассчитывается энергия в данной координате (коэффициенты функции Ляпунова приняты равными единице) и если энергия минимальна, в данном случае минимальное значение равно 3, то на данной координате ставится ферзь и общее число ферзей увеличивается на единицу. Если в матрице  $V$  стоит единица, значит, на этом месте стоит ферзь, если ноль – значит, ничего не стоит. Далее с помощью средств создания изображений *Matlab*, создается шахматная доска с правильно расставленными ферзями (закрашенные ячейки). На рис. 2 показаны несколько результатов для задачи с 25-ю ферзями.

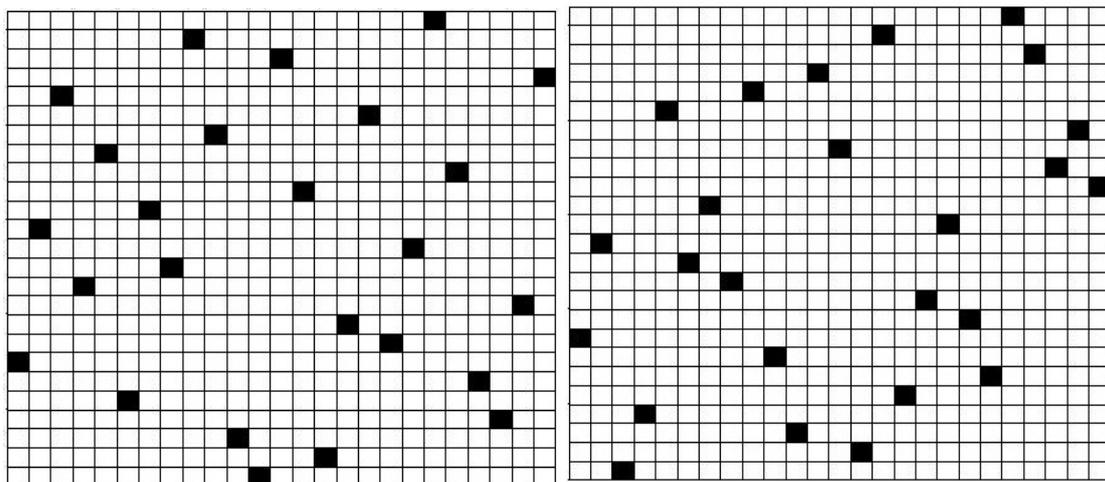


Рис. 2. Результаты задачи с 25-ю ферзями

В табл. 1 показано среднее количество итераций работы алгоритма при разных размерностях задачи.

Таблица 1

Среднее количество итераций работы алгоритма

Размерность N	5	8	10	15	20	25
Среднее количество итераций	17	125	273	1354	8570	17140

В [7] приведены результаты для задач размерностью больше 30 и, например, для задачи с 200-ми ферзями количество итераций равно 358. Но с другой стороны, значение слова итерация в наших работах разное. В данной работе одной итерацией считается тот случай, когда алгоритм не нашел правильного решения и он начинает сначала, а в работе [7] одна итерация – это изменение весовой функции.

### Библиографический список

1. Hopfield J.J.: Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons. Proc. National Academy of Sciences USA, vol.81, pp 3088-3092, 1984

2. Hopfield Network, [https://en.wikipedia.org/wiki/Hopfield\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Hopfield_network)
3. Durango Bill's "N-Queens Problem", <http://www.durangobill.com/N-Queens.html>
4. Melanie M. An Introduction to Genetic Algorithms. Massachusetts: MIT Press, 1999
5. Božikovic, M., Golub, M., Budin, L.: Solving N-Queen Problem using Global Parallel Genetic Algorithm. In: EUROCON, Ljubljana, Slovenia, 2003
6. Ляпунов. А.М.: Общая задача об устойчивости движения. М. –Л.: ГИТТЛ, 1950
7. Feng G. and Douligieris C. Using Hopfield networks to solve assignment problem and N-Queen problem: An application of guided trial and error technique. Proc. 2nd Hellenic Conf. AI SETN, pp 325-336, 2002
8. Galan-Marin G, Munoz-Perez J Design and Analysis of Maximum Hopfield Networks. IEEE Trans Neural Networks 12(2):329–339, 2001

УДК 004.021, 658.52.011.56

**М. В. Медведев**

магистрант кафедры управления в технических системах

**В. Ф. Шишляков** – д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО РАСКРОЯ МАТЕРИАЛА

В настоящее время производства уделяют большое внимание экономии, а лучший способ ее добиться – это использовать материал максимально безотходно. Компании по разработке станков и программного обеспечения (ПО) усердно работают над этой проблемой.

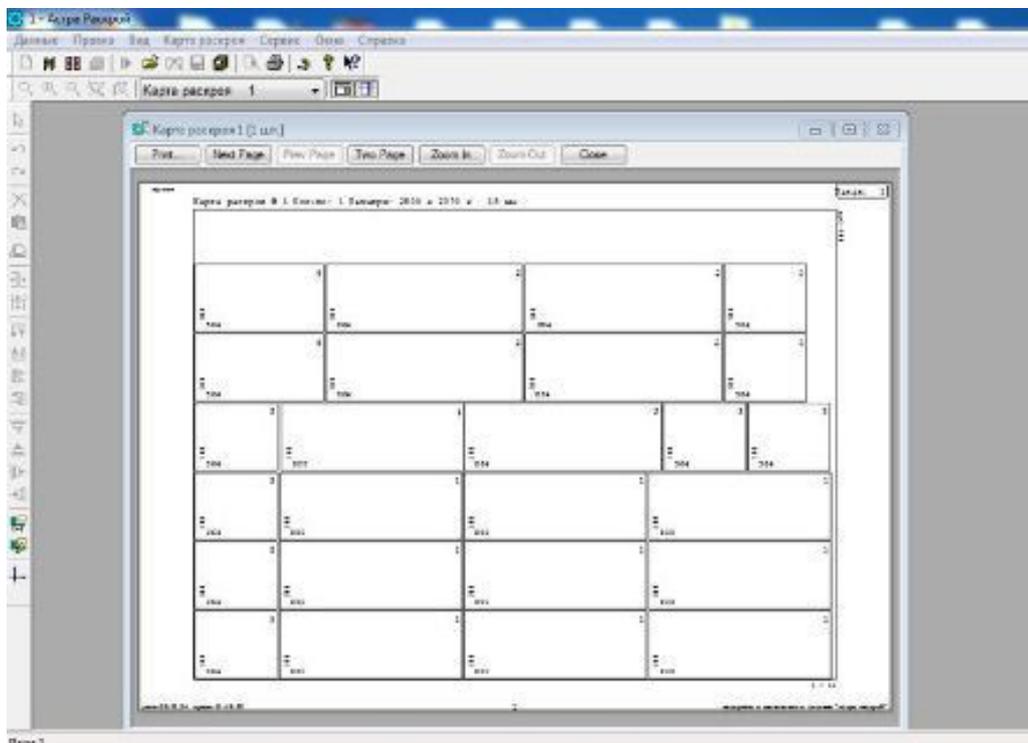


Рис. 1. Диалоговое окно программы Астра Раскрой

Сейчас существует большое разнообразие ПО для построения карт раскрой. Картой раскроя называются выходные данные программы, позволяющие макси-

мально компактно разместить детали на листе заданного размера. Ведущими разработчиками такого ПО, являются: Астра Раскрой, В-CUT, «Техтран». В свою очередь, «Техтран» и В-CAD самостоятельно выпускают ПО и станки, оснащенные собственным программным обеспечением. А Астра Раскрой занимается только программами. Диалоговые окна вышеуказанных программ представлены на рис. 1–4.

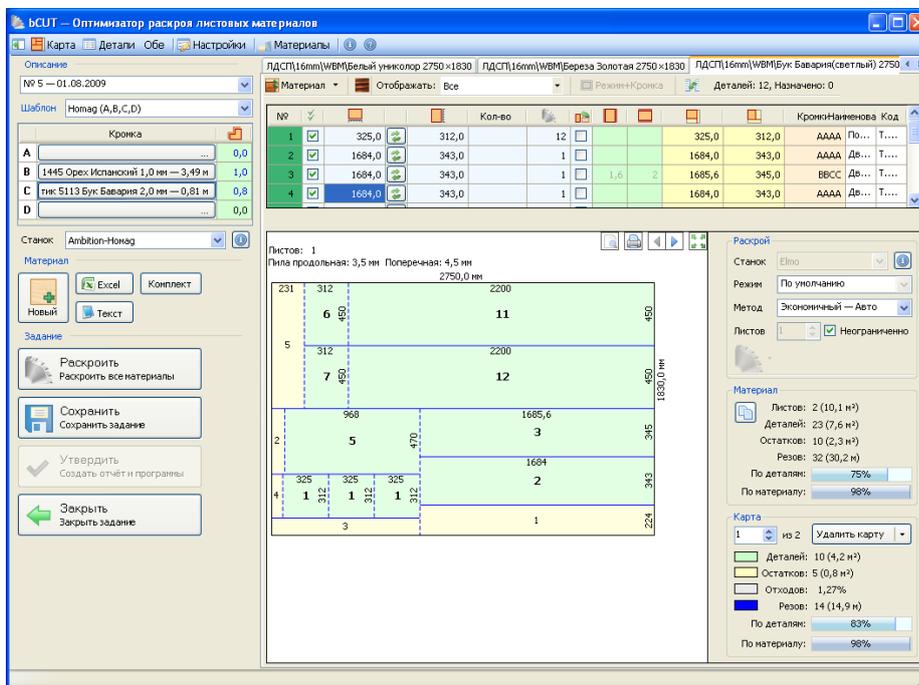


Рис. 2. Диалоговое окно программы В-CAD с картой раскроя

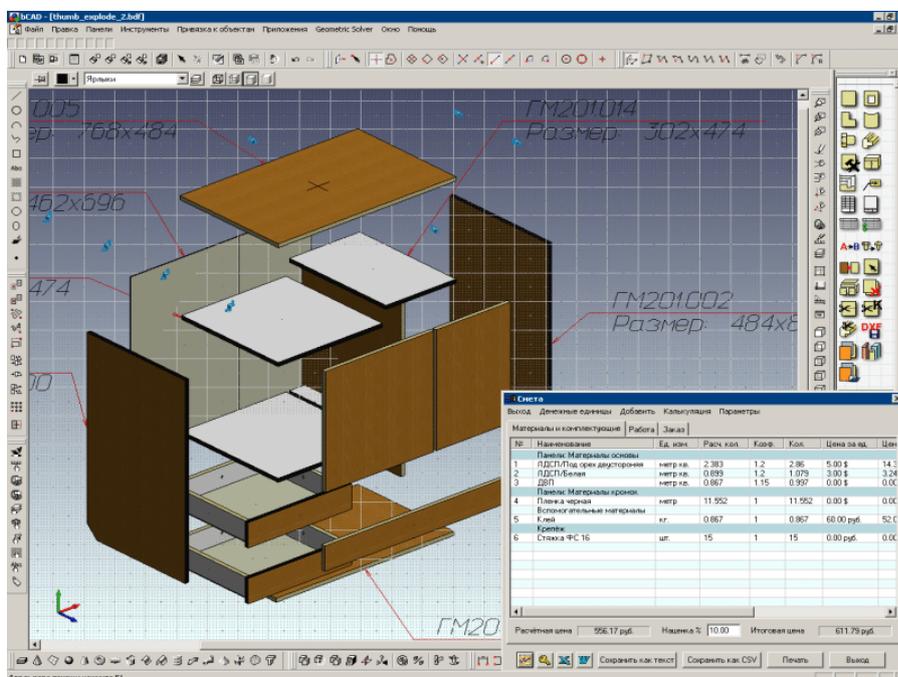


Рис. 3. Проектирование мебели в В-CAD

Самая доступная и простая, по функционалу программа (рис. 1) позволяет разместить на заданном материале максимальное количество прямоуголь-

ных деталей требуемого размера. Выходная информация выводится в файл с расширением .rtf, который можно загрузить в станок с ЧПУ для раскроя.

Программа В-CAD имеет схожий функционал, но более богатые настройки и возможности представления выходных данных (рис. 2).

Возможность подсвечивать отдельные разновидности деталей цветом добавляет наглядности, как и возможность увидеть площадь остатков и отходов или использование дополнительных программ производителя для моделирования мебели (рис. 3) из полученных деталей [1].

Программный продукт «Техтран» самый продвинутый и функционал этой программы очень велик. Детали можно помещать на лист как в реальном времени, так и задавать геометрию и их количество до построения карты раскроя. На рис. 4 и рис. 5 представлены диалоговые окна. Так же имеется возможность без труда создавать карту раскроя для фигурных деталей в плоскости. Вывод данных осуществляется в файл, поддерживаемый большинством станков с ЧПУ и программ для автоматического проектирования, таких как AutoCAD или Компас. Так же существуют гибкие настройки вариантов вывода данных.

Общность подхода в различных программах семейства «Техтран» открывает возможность для использования фрезерной обработки во взаимодействии с другими видами обработки. Например, в деревообрабатывающем производстве потребовалось комбинировать методику работы программы «Раскрой листового материала» с возможностями «Фрезерной обработки». Благодаря единой основе всего комплекса, было оперативно предложено приемлемое решение без разработки новых модулей. Для автоматического размещения деталей на листе использовалась одна программа «Раскрой листового материала», а для программирования обработки – другая «Фрезерная обработка» [2].

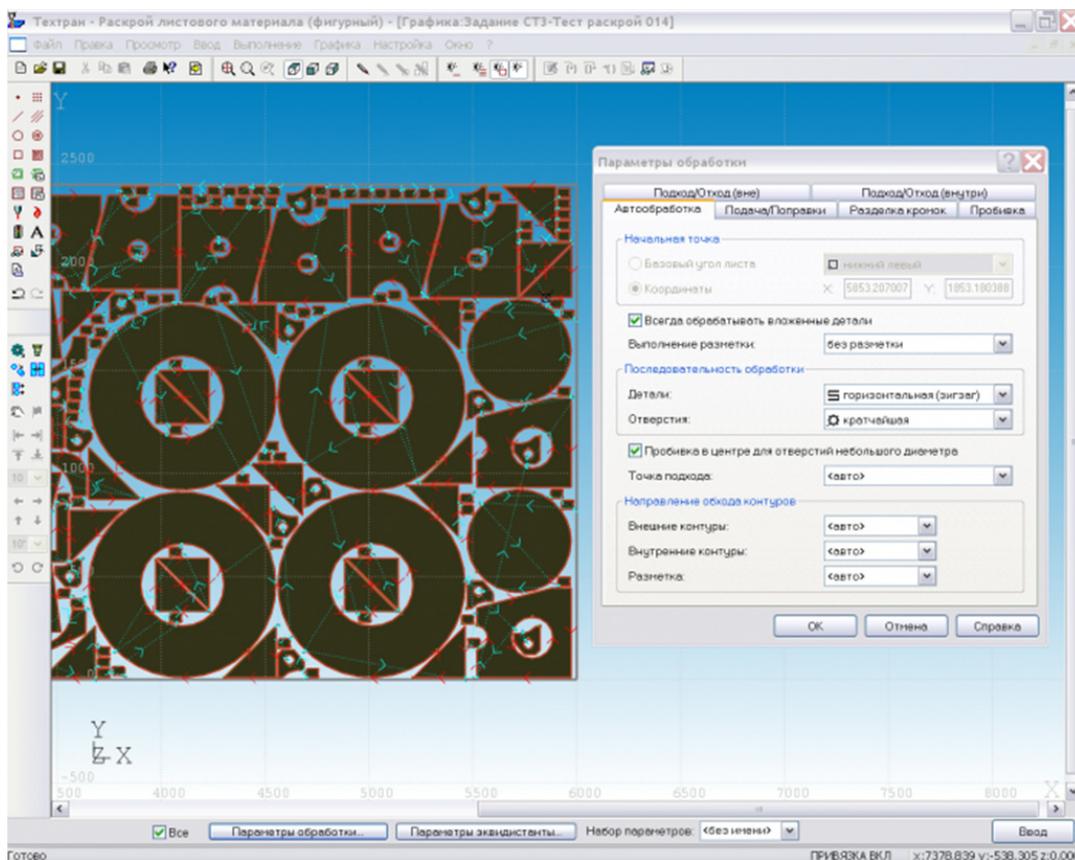


Рис. 4. Диалоговое окно программы «Техтран»

## МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Режим автоматической обработки дает возможность максимально упростить программирование обработки большого числа деталей. Программа сама назначает последовательность обхода деталей на листе и выполняет обработку. Различные стратегии обхода деталей обеспечивают соблюдение необходимых условий обработки.

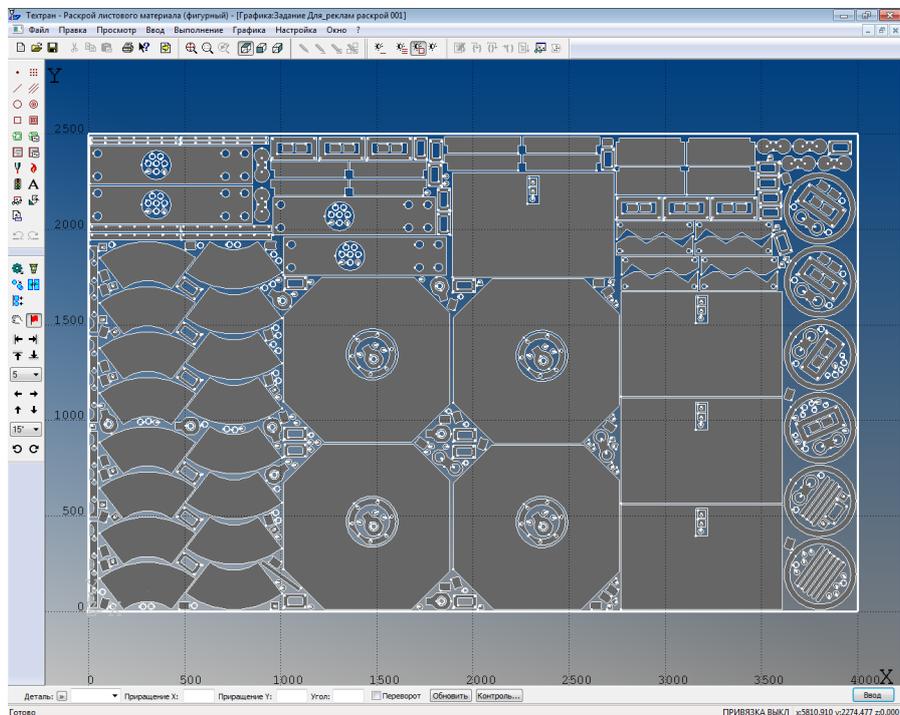


Рис. 5. Использование стандартного листа для построения карты раскрой

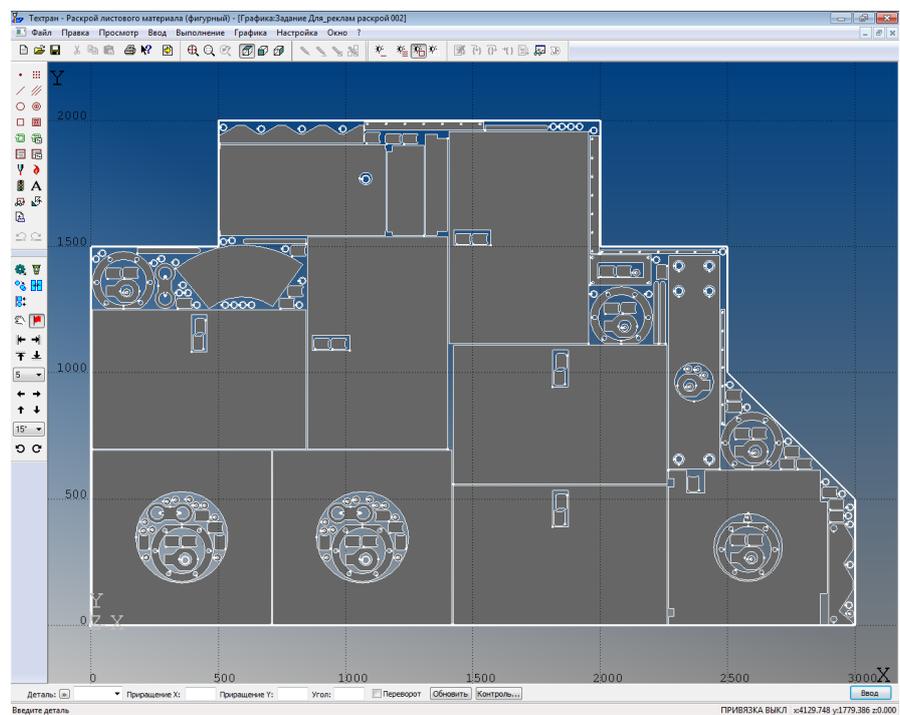


Рис. 6. ПО позволяет использовать неформатные листы произвольной формы для уменьшения отходов

Алгоритм работы программы «Техтран», схематично представлен на рис. 7. Программа объединяет традиционные средства программирования обработки «Техтран» с базой данных. На базу данных возлагается не только задача управления различными данными, но и управление работой системы в целом, поскольку объектами базы данных являются и программы раскрой листов. Прежде всего, в базу данных заносятся детали, которые могут быть импортированы из другой системы, построены средствами «Техтран» или созданы на основе макросов.

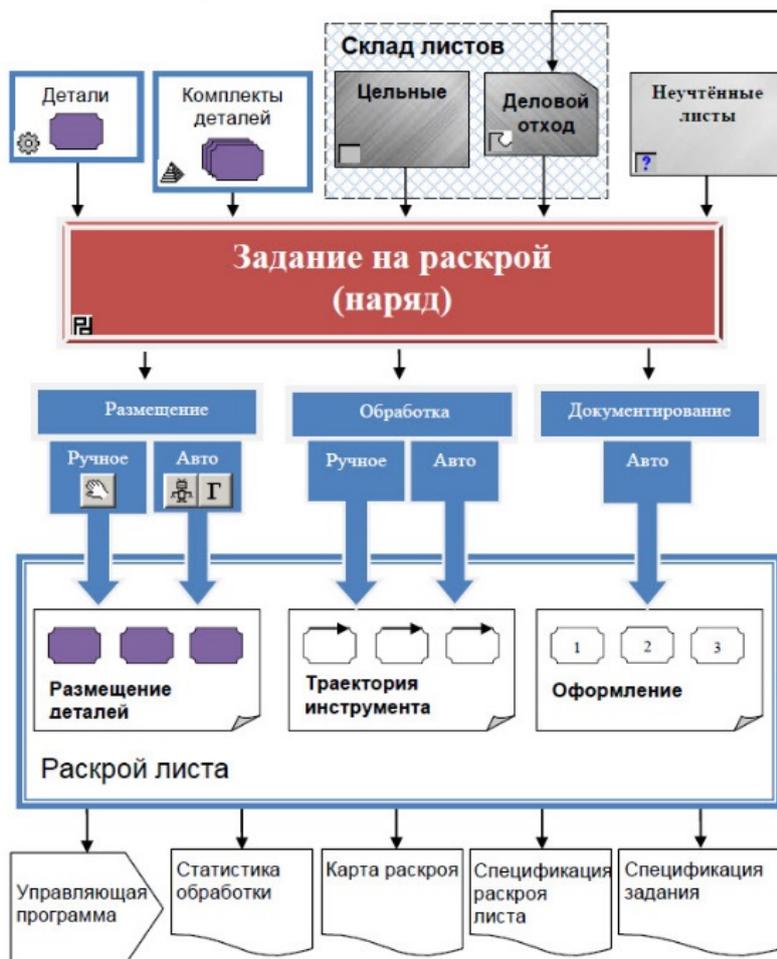


Рис. 7. Алгоритм работы программы оптимизации раскрой «Техтран»

Этот алгоритм учитывает большинство факторов, которые не должны остаться без внимания на стадии построения карты раскрой. Учитываются как цельные листы, так и деловой остаток, получившийся при операции раскрой ранее. Т.к. компания предоставляет программное обеспечение и оборудование для дальнейших манипуляций с материалом, то данные управляющему ПО для станка крайне полезны. Они автоматически создаются после завершения цикла оптимизации и хранятся в отдельном файле для более удобного доступа.

Оборудование, которое выполняет раскрой материала в автоматическом режиме – это фрезерные станки с ЧПУ. Разделяется на несколько видов: а) получающие готовую информацию из карты раскрой, загруженную оператором; б) производящие расчет раскрой самостоятельно [3]. На рис. 8 представлен полуавтоматический станок, выполняющий раскрой материала по карте раскрой (вариант б).



Рис. 8. Станок WNA 600, полуавтомат для раскроя

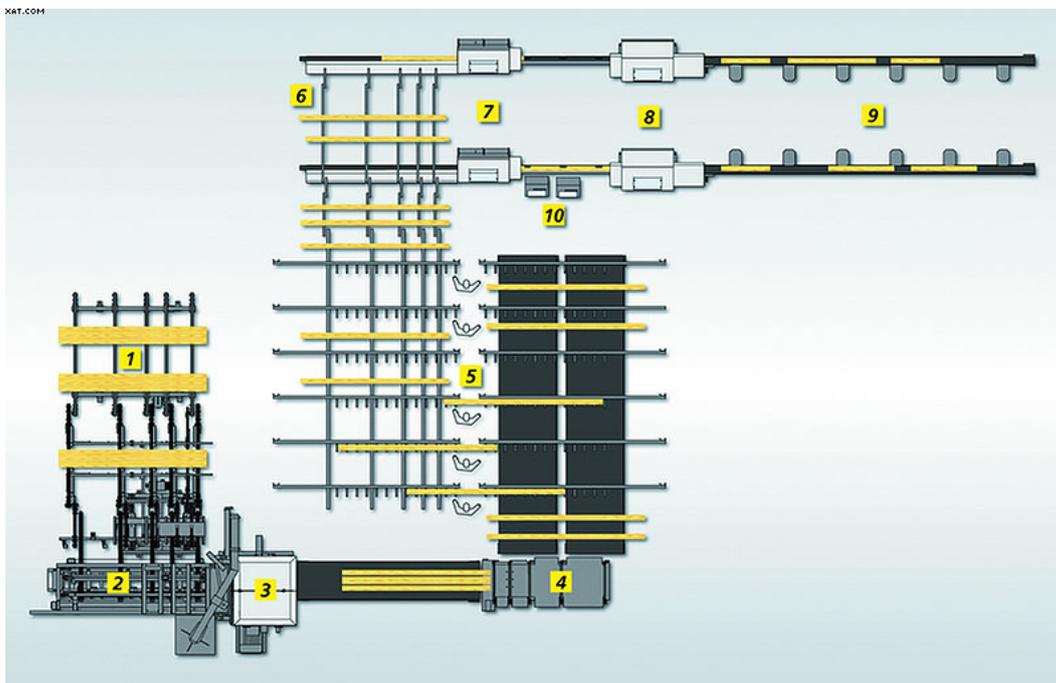


Рис. 9. Линия продольного и поперечного раскроя пиломатериалов:  
 1 – буферный поперечный конвейер, 2 – автоматическая система подачи,  
 3 – многопильный станок CGL, 4 – поперечный конвейер, 5 – разметочные столы,  
 6 – поперечный конвейер, 7 – измерительные устройства,  
 8 – станки для поперечного раскроя C11, 9 – сортировочные конвейеры,  
 10 – терминалы управления

Раскрой деталей производится фрезой (рис. 10) – режущим инструментом, используемым в промышленных фрезерных станках. Она отличается от сверла применением, геометрией и производством. В то время как сверло может работать только в осевом направлении, концевые фрезы в общем случае могут работать во всех направлениях.



Рис. 10. Фреза, зажатая в патрон станка

Если стоит цель максимально безотходно раскроить материал, то нужно разработать (под свои нужды) или использовать ныне существующие алгоритмы оптимизации, которые основываются на математических расчетах. Вычисляется вероятность удачного расположения деталей на листе или выбирается вариант расположения, при котором достигается максимальная площадь остатка. Когда мы говорим об алгоритмах, нужно понимать какая цель преследуется – задача «максимального количества деталей» или задача «минимизации отходов» [4]. Так же, учитывается конфигурация детали. Детали могут быть прямоугольные или иметь сложную геометрию. Сложная геометрия накладывает определенные условия на проверки в алгоритме. Для начала, необходимо высчитать площадь каждой детали и оценить, вмещается ли она на лист или нет. Для этого лучше использовать методы:

- вычисления замкнутого интеграла, для получения точной площади;
- «палетки», для получения усредненной площади детали.

Первый метод очень точный, но его описание крайне затруднительно и сильно усложняет работу программы и увеличивает время ожидания результатов. Второй же метод проще, он основан на наложении некоего лекала с клетками фиксированной площади – «палетки» на деталь.

Происходит подсчет полных клеток и клеток с частичным задействованием. Значения суммируются, полученная площадь используется для дальнейшего моделирования карты раскроя. Полученная площадь заготовки сравнивается с площадью всего листа и если  $S_{заготовки} < S_{листа}$ , программа размещает объект на лист. Далее происходит постепенное заполнение листа деталями одновременно с проверкой на их пересечение между собой. Суммируются все площади заготовок и вычисляется разность между этой площадью и площадью листа. Потом происходит перемещение заготовок на листе (с учетом правил описанных выше), вновь высчитывается эта разность. После, выбранного разработчиком количества перемещений, например,  $N=10$ , происходит выбор размещения деталей при котором, эта разность максимальная. Это размещение и является оптимальным [5].

Подведем итоги. В наше время существуют качественные программные решения для задачи оптимального раскроя материала. Доступно большое разнообразие таких программ, но алгоритмы, по которым они работают держатся в секрете. Дальнейшая работа будет заключена в глубоком изучении процессов оптимизации и написании собственного алгоритма оптимального раскроя фигурного материала.

### Библиографический список

1. Официальный сайт ПолиСофтКансалтинг <http://www.bcad.ru/>. Программный продукт bCUT. Режим доступа: <http://www.propro.ru/ru/Products/bCUT/bcut.aspx> (Дата обращения 17.03.2016 г.).

2. Официальный сайт компании Техтран <http://www.tehtran.com>. Сведения о программных продуктах в разделах: раскрой прямоугольного материала/раскрой фигурного материала. Режим доступа: <http://www.tehtran.com/nestf.html> (Дата обращения 10.03.2016 г.).
3. Официальный сайт журнала «ЛесПромИнфо» <http://lesprominform.ru/>. Раздел оптимизация раскроя древесины. Режим доступа: <http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/2766> (Дата обращения 17.03.2016 г.).
4. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. - 2-е изд., испр. и доп. - Новосибирск: Наука, 1971. - 300 с.
5. Мухачева Э.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. – М.: Машиностроение, 1984. – 176 с.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятности. - 4-е изд., стереотип. - М.: Наука, Физматгиз, 1969 - 576 с.

### УДК 62-503.55

#### **В. В. Меркушин**

магистрант кафедры управления в технических системах

**В. А. Голубков** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### **ДВИЖЕНИЕ РОБОТА ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ**

Под управлением роботом понимается решение комплекса задач, связанных с адаптацией робота к кругу решаемых им задач, программированием движений, синтезом системы управления и ее программного обеспечения.

Задача: движения вдоль линии.

Отслеживание линий или следование вдоль линии – популярная задача при любой робототехнической деятельности. Целью этой статьи является изучение взаимодействия с аналоговым датчиком. В робототехническом наборе робота это проще всего сделать, используя для пары инфракрасных отражательных датчиков. Добавив органы чувств к роботу так, что он сможет обнаруживать линии и двигаться вдоль них, используя инфракрасный отражательный датчик. С передней стороны два инфракрасных датчика будут установлены так, что они смогут обнаруживать как белые, так и черные цвета.

После установки инфракрасных рефлекторов ZX-03 НА робот можно наблюдать четыре сценария его поведения при отслеживании линий, как показано на рисунках ниже:

На рис. 1 показано, как робот движется вдоль черной линии.

Сердцем инфракрасного отражателя ZX-03 (датчика) является оптопара с открытым оптическим каналом TCRT5000. Он создан для обнаружения с помощью инфракрасного (ИК) излучения объектов, находящихся в непосредственной близости. Он состоит из инфракрасного светодиода, закрытого синим, прозрачным для ИК-лучей, колпаком, и инфракрасного фототранзистора, закрытого черным колпаком. Когда инфракрасное излучение, испускаемое светодиодом, отражается от поверхности и возвращается на черное окно фототранзистора, попадая на его базу, то возникает ток проводимости. Чем больше излучения попадает на базу фототранзистора, тем больше его ток проводимости.

При использовании в качестве аналогового датчика, ZX-03 (рис. 5) может обнаруживать тени или листы серой бумаги и, если освещенность в комнате постоянна, измерять расстояния в небольшом диапазоне.

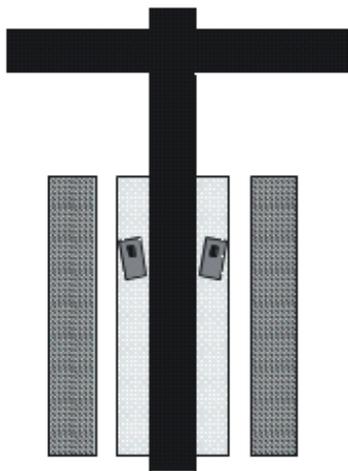


Рис. 1. Оба датчика над белой поверхностью

На рис. 2 робот продолжит движение прямо в течение какого-то времени.

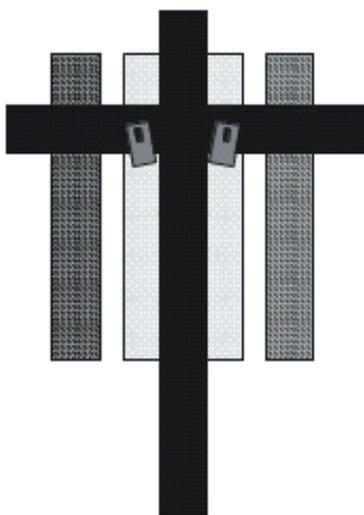


Рис. 2. Оба датчика над черной поверхностью

На рис. 3 робот должен повернуть налево, чтобы вернуться в рабочее положение.

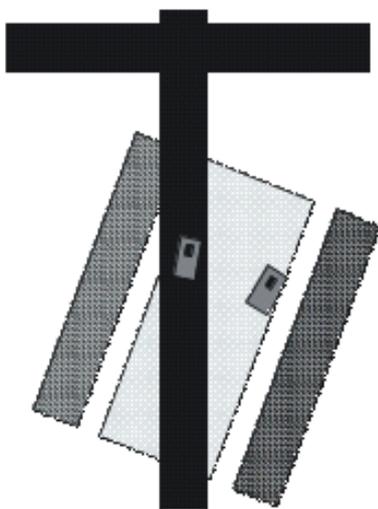


Рис. 3. Левый датчик над черной поверхностью

На рис. 4 робот должен повернуть направо, чтобы вернуться в рабочее положение.

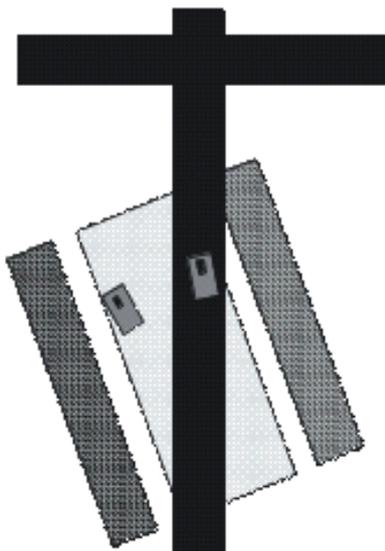


Рис. 4. Правый датчик над черной поверхностью

Рабочий диапазон измерения расстояния до линии или пола составляет от 3 до 8 мм. Выходное напряжение датчика изменяется от 0,1 до 4,8 В, что соответствует диапазону значений на выходе 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя от 20 до 1000. Таким образом, ZX-03 будет подходящим для использования его в качестве датчика отслеживания линий.



Рис. 5. Инфракрасный отражательный датчик ZX-03

При должной оптимизации характеристик и значений датчика, таких как его напряжение и диапазон измерения расстояния до линии или пола, можно добиться наиболее качественного управления движением робота, что и является конечной целью.

### Библиографический список

1. Робототехнический эксперимент с PIC-микроконтроллером, основанный на демонстрационном наборе Robo-PICA 3-е Издание (C) Innovative Experiment Co.,Ltd.
2. Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ «Разработка и исследование возможностей программируемого самоходного мехатронного оаппарата», 08, август 2009

УДК 621.316:061.5

**П. С. Никулин**

студент кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

**О. Я. Соленая** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### **АНАЛИЗ РЕЖИМА ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В НИЗКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Для понимания процесса быстрого увеличения сетевого напряжения в различных научно-практических работах применяются следующие трактовки: перенапряжение, временное перенапряжение, импульс напряжения, импульсная электромагнитная помеха, микросекундная импульсная помеха [1].

Зачастую применяется следующая формулировка. Импульсное перенапряжение (ИП) – это быстрое изменение напряжения с дальнейшим восстановлением его до первичного значения или ближайшего к нему за интервал времени несколько миллисекунд. Данный процесс в основном провоцируется коммутационными процессами как во внутренней, так и во внешней системе электроснабжения помещения, а также молниевыми разрядами.

ИП появляются в системах электроснабжения из-за воздействия внешних и внутренних источников помех. Внешние источники проявляются в виде атмосферных явлений, а именно разрядов молнии. Внутренние источники генерируются из-за коротких замыканий и коммутаций как на высокой, так и низкой стороне системы электроснабжения.

Влияние разрядов молнии делят на две группы: первичную – прямое попадание молнии в объект и его систему электроснабжения, и вторичную – не прямое попадание молнии в объект с последующим наведением помех в его системе электроснабжения.

В реальных эксплуатационных условиях амплитуда ИП ограничивается импульсной прочностью изоляции электропроводки. На напряжении 0,22–0,4 кВ она может составлять 6 кВ. При воздействии ИП на электропроводку помещения возможна частичная или полная потеря изоляцией своих диэлектрических свойств, представляющая собой необратимый процесс, ведущий к выходу из строя электрооборудования.

Таким образом, в истощенной от ИП изоляции проводки электрифицированного помещения могут проявляться утечки тока на землю и короткие замыкания.

Для защиты низковольтной электрической сети (НЭС) помещений от последствий ИП применяются молниеотводы (металлическая конструкция, отводящая энергию молнии в землю), разрядники, варисторы и ограничительные диоды. Однако все эти устройства защиты обладают рядом как достоинств, так и недостатков. Поэтому на практике зачастую используются комбинированные устройства или ограничители перенапряжений разной конструкции.

Кроме ИП в НЭС помещений могут наблюдаться режимы временного (до нескольких часов) понижения или повышения напряжения, не связанные с атмосферными и коммутационными источниками помех. Данное явление наблюдается при обрыве нулевого провода НЭС или наличии переходного сопротивления в месте его подключения. В этом случае напряжение может как понижаться ниже 0,22 кВ, так и подниматься до 0,38 кВ.

Проблема ИП стала весьма актуальной с повсеместным распространением компьютерной и весьма чувствительной к перепадам питающего напряжения бытовой техники (музыкальные центры, плазменные телевизоры и др.). В результа-

те научно-практических изысканий в данном направлении были разработаны кривые Computer and Business Equipment Manufacturers Association (CBEMA), при последующей корректировке преобразованные в используемые проектировщиками по сей день кривые Information Technology Industry Council (ITIC) [2].

Кривые ITIC (CBEMA), представленные на рис. 1, описывают способность электрооборудования выдерживать колебания напряжения питания относительно номинального (0,22 кВ) в зависимости от их амплитуды и длительности. В центральной области при соответствующих колебаниях от номинального напряжения в течение определенного интервала времени электрооборудование должно функционировать непрерывно и без сбоев. Также есть границы, которые показывают максимальное и минимальное напряжение, не приводящее к сбою в работе электрооборудования по отношению к времени колебания. При пониженном напряжении полная потеря электроснабжения допускается на протяжении промежутка времени до 20 мс, но для 100 мс минимальное напряжение должно составлять не менее 70% от номинального значения.

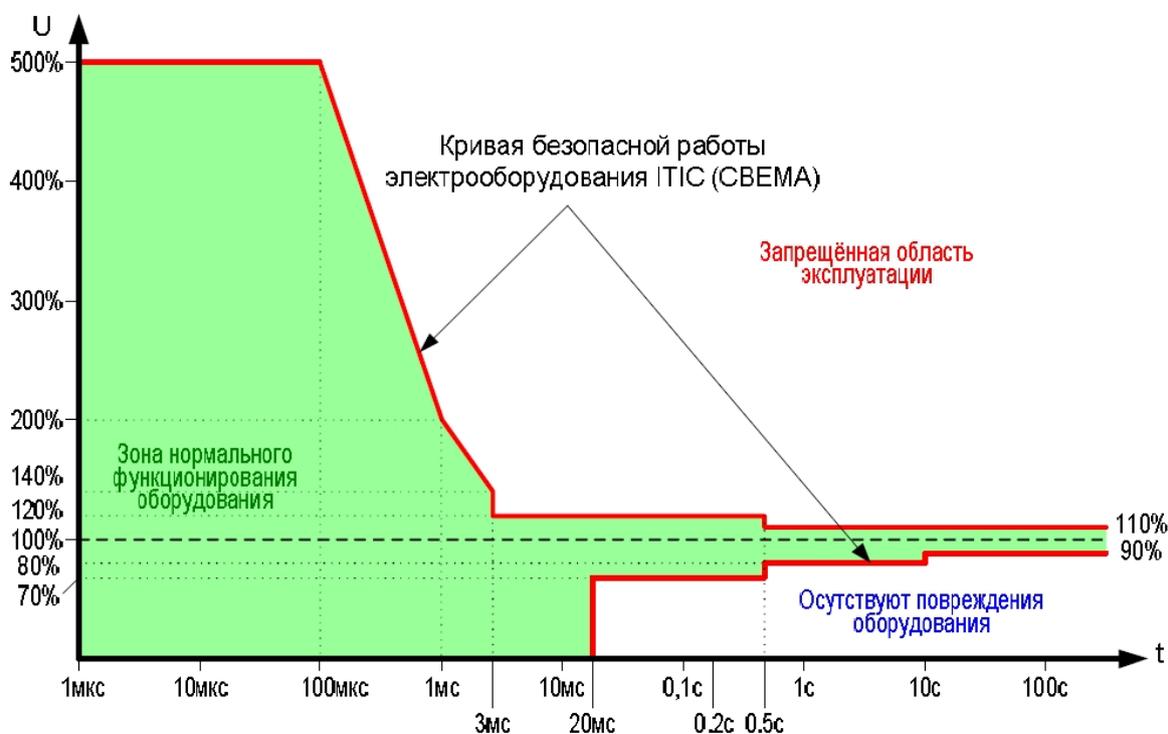


Рис. 1. Кривая терпимости электрооборудования к отклонениям сетевого напряжения в зависимости от времени воздействия

Опираясь на эксплуатационные характеристики защищаемого электрооборудования и кривые, представленные на рис. 1, можно подобрать соответствующую защиту. В основном это устройства защиты многофункциональные или цифровые реле напряжения. Данные устройства содержат микропроцессор, который постоянно сравнивает реальное напряжение НЭС помещения с заданным параметром и в случае отклонений от заданной величины отключает нагрузку, тем самым снижает уровень пожарной опасности.

Подводя итоги проведенного анализа причин появления возгораний в электрифицированных помещениях от электротехнических изделий и защит от них, а также оценивая результаты выполненных экспериментов, можно отметить нали-

чие существенных недостатков некоторых классических защитно-коммутационных аппаратов при проявлении действия источников зажигания на изоляционные материалы НЭС помещения. Кроме того, необходимо отметить низкое качество выпускаемых кабельных изделий и защитно-коммутационных аппаратов НЭС, зачастую несоответствующих требованиям стандартов. Все это свидетельствует о необходимости развития и внедрения более перспективных, многофункциональных с точки зрения восприятия источников зажигания технологий повышения пожарной безопасности НЭС помещений.

### **Библиографический список**

1. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 319 с.
2. ANSI/IEEE 446. Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications / Note: reaffirmation of ANSI/IEEE 446-1995\*. Approved 2001-04-20, 1996-08-01.

### **УДК 629.4**

***И. С. Носоченко***

студентка кафедры управления в технических системах

***И. Г. Криволапчук*** – научный руководитель

### **АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГРЕБНЕСМАЗЫВАТЕЛЬ КОЛЕС ТЕПЛОВОЗА**

В процессе передвижения железнодорожного состава по путям возникают силы, направленные на истирание рабочих плоскостей колес. В частности, особо сильно подвергаются износу гребни колес в момент прохождения кривых участков железнодорожных путей. Ускоренное истирание гребней особенно ярко проявляется на железнодорожных путях промышленных предприятий, имеющих большое количество кривых малого и среднего радиуса. При истирании гребня выше допустимых значений колесо нуждается в проведении дорогостоящей операции по обточке, более того, после проведения нескольких обточек колесо нуждается в еще более дорогостоящей замене на новое. Все вышеперечисленные расходы сказываются на повышении себестоимости продукции предприятия, а так же могут привести к перерывам в его работе из-за невозможности использовать тяговый подвижной состав по назначению на период проведения работ по обточке или замене колес.

Одним из решений, приводящих к повышению межремонтных интервалов являются автоматические системы, обеспечивающие дозированную подачу смазки на гребни колес. Схема системы автоматического гребнесмазывателя представлена на рис. 1.

Как показано на рис. 1, система гребнесмазывателя состоит из следующих элементов: 1 – кнопка включения системы, 2 – сигнал «Тормоз», 3 – сигнал «Песок», 4 – сигнал датчика оборотов, 5 – сигнал датчика угла поворота, 6 – сигнал направления движения тепловоза «вперед», 7 – сигнал направления движения тепловоза «назад», 8 – воздушная магистраль тепловоза, 9 – электронный блок управления (ЭБУ), 10 – воздушный фильтр, 11 – электропневматический вентиль, 12 – бак для смазочного материала, 13 – форсунка, 14 – масляный фильтр, 15 – электрогидравлический вентиль.

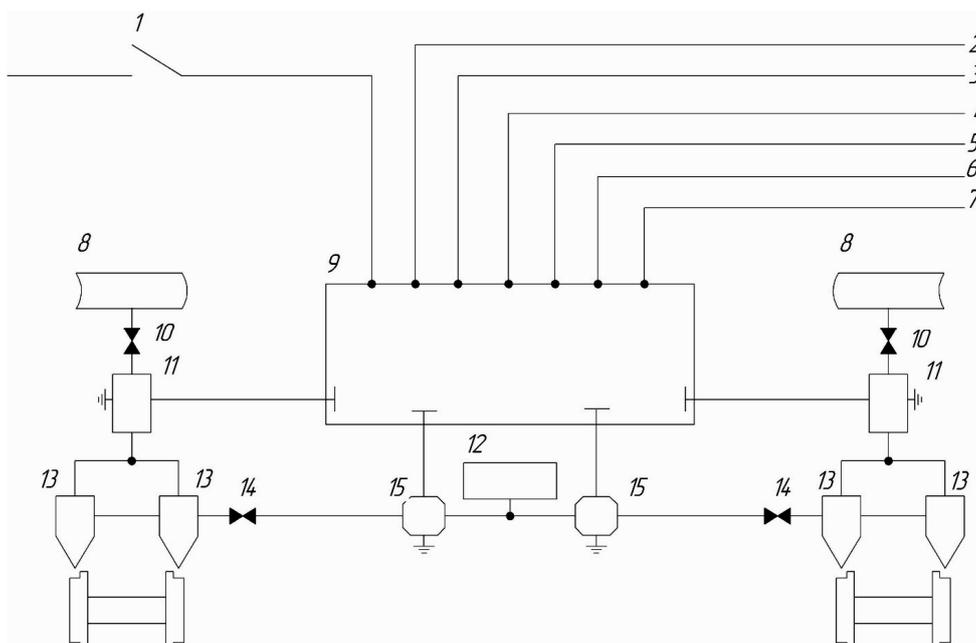


Рис. 1. Схема системы автоматического гребнесмазывателя

При работе системы смазывается ведущая пара колес каждой тележки, в зависимости от направления движения тепловоза, последующие пары колес смазываются непосредственно от рельсов.

Система имеет 3 режима работы, выбор режима работы осуществляет машинист, режимы работы можно менять в процессе движения тепловоза.

Режим 1. При движении тепловоза датчик считывает путь, который проходят его колеса, по пройденному пути высчитывается момент, в который необходимо начать и закончить подачу смазки. Интервалы между циклами смазки можно выбрать в настройках ЭБУ. Каждый цикл смазки включает в себя покрытие гребней колес одним слоем смазочного материала. Для подачи смазочного материала используются электропневматические и электрогидравлические вентили, которые работают под управлением ЭБУ, а так же специально спроектированные форсунки и емкость со смазочным материалом.

В момент подачи смазки ЭБУ дает команду на открытие пневматического вентиля, который подает сжатый воздух в пневматические каналы форсунки, для продувки ее от возможных загрязнений и подготовки к циклу смазки. После чего, не прекращая подачу воздуха ЭБУ дает сигнал на открытие электрогидравлических вентилях, электрогидравлические вентили открывают магистраль соединяющую между собой гидравлические полости форсунок и бак со смазочным материалом, находящийся выше уровня форсунок, при этом масло самотеком подается в форсунку, после чего при вытекании из гидравлического сопла подхватывается потоком сжатого воздуха и переносится на смазываемую поверхность до тех пор, пока не завершится цикл смазки. После завершения цикла смазки ЭБУ закрывает электрогидравлические вентили, для прекращения подачи смазки, а через некоторое время и электропневматические, продувая форсунку от остатков смазки.

Режим 2. При движении тепловоза датчик считывает положение его тележки относительно кузова. При прохождении кривых тележка смещается, что вызывает замыкание цепи датчика, что в свою очередь служит сигналом для ЭБУ к проведению цикла смазки. Вне кривых смазка не подается.

Режим 3. Режим смазки производится аналогично режиму 1 и дополнительно производится смазка согласно работы режима 2.

Во всех режимах работы ЭБУ подача смазки экстренно прекращается в случае, если машинист использует торможение или подачу песка для лучшего сцепления с рельсами, а так же, если скорость тепловоза ниже определенного порогового значения.

Для решения данной задачи был выбран блок управления микро-ПЛК серии MC, MC-12D6R производства НИЛ АП (рис. 2).



Рис. 2. Блок управления MC-12D6R

Основные характеристики: микроконтроллер ATmega128; 12 униполярных дискретных входов; 6 релейных дискретных выходов; гальваническая развязка дискретных входов-выходов и порта RS485; память программ FLASH 128Кб; память данных EEPROM 4 Кб; память данных SRAM 4 Кб; 2-строчный 16-символьный LED дисплей высокой контрастности; 4 программируемых кнопки управления; защита от перенапряжения и токовой перегрузки по входам-выходам, интерфейсу RS485, от перегрева, статического электричества и др.; широкий диапазон рабочих температур (от -40 до +80°C); широкий диапазон напряжений питания (от +10 до +32 В).

Каждый релейный выход блока управления позволяет подключить электропневматический или электрогидравлический вентиль, рабочее напряжение которого до 75 В и ток до 2 А.

Датчик угла поворота представляет собой нормально-замкнутое герконовое реле, при движении по прямой за счет магнита находится в разомкнутом состоянии. При прохождении поворота, тележка, на которой установлено реле, смещается относительно кузова тепловоза, на котором установлен магнит, реле замыкается и сигнал поступает на контроллер.

Датчик оборотов считывает импульсы с вала механического скоростемера. По количеству импульсов ЭБУ вычисляет пройденный путь.

Данная система может устанавливаться на различные виды подвижных составов.

### Библиографический список

1. [Электронный ресурс] // Программируемые логические контроллеры - ПЛК серии MC URL: [http://www.reallab.ru/ MC\\_series.htm](http://www.reallab.ru/ MC_series.htm) (Дата обращения: 27.03.2016)
2. [Электронный ресурс] // Тепловозы ТГМ4 и ТГМ4А. Руководство по эксплуатации и обслуживанию. М. Транспорт 1985 URL: <http://www.lokomotivspb.ru/> (Дата обращения: 27.03.2016)

3. [Электронный ресурс] // Тепловозы URL: <http://tgm4.org/> (Дата обращения: 27.03.2016)

**УДК 629.735.33**

**А. А. Онойко**

студент кафедры инновационных технологий в электромеханике и энергетике

**В. В. Дубаренко** – д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

### **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ НАВЕДЕНИЯ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА РАДИОТЕЛЕСКОПА**

В настоящее время в странах Европы и США идут работы над созданием полноповоротных радиотелескопов с диаметром главного зеркала более 60 м для слежения за удаленными космическими объектами, излучающими в миллиметровом диапазоне радиоволн. На данный момент ни один из радиотелескопов подобного класса в миллиметровом диапазоне не имеет коэффициент используемой поверхности больше 5–10% (необходимо более 70%).

В нашей стране таким проектом является строительство 70-метрового радиотелескопа РТ-70 на плато Суффа в Узбекистане. Радиотелескоп РТ-70 был спроектирован для работы в дециметровом и сантиметровом диапазоне радиоволн с рекордными радиотехническими характеристиками. При длине волны 3 см коэффициент использования поверхности составил  $KIP=0.6$ , а эффективная поверхность  $S=2300 \text{ м}^2$ . Для использования РТ-70 в миллиметровом диапазоне, требуется решение ряда проблем, связанных с модернизацией зеркальной антенной системы (ЗС), системы наведения и ее математической модели.

В РТ-70 реализована длиннофокусная ЗС по схеме Грегори, которая представляет собой зеркальную систему, состоящую из зеркала основного, контррефлектора и адаптивного приемника. Отражающая поверхность основного зеркала имеет форму квазипарабоида. Такой профиль отражающей поверхности дает более эффективное распределение уровня радиосигнала по плоскости раскрыва зеркала. Отражающая поверхность контррефлектора имеет форму квазиэллипсоида. Адаптивный приемник размещен на карданном подвесе.

#### **Система управления РТ-70**

В состав системы входят следующие подсистемы:

- инерциальная система ориентации (ИСО) в мировом пространстве зеркальной антенной системы (ЗАС) РТ;
- системы управления адаптивной отражающей поверхностью (АОП) главного зеркала;
- системы управления главным зеркалом (ГЗ);
- системы управления контррефлектором (КР);
- адаптивный приемник (АП);
- измерительная система вектора состояния пространственной металлоконструкции (ПМК) РТ относительно инерциальной системы ориентации.

Инерциальная система ориентации предназначена для измерения углового положения базовой опорной площадки ГЗ в инерциальной системе координат посредством гиростабилизированной платформы (ГСП), установленной на эту площадку. Ошибка измерения угловых координат базовой площадки (в дальнейшем будем называть опорного кольца – ОК) при любых поворотах не должна превышать 0.5 угл. с.

Система управления адаптивной поверхностью ГЗ предназначена для перемещения щитов (фацет) отражающей поверхности ГЗ относительно опорного ферменного каркаса. Путем перемещения щитов относительно ферменного каркаса в системе координат ОК должна выстраиваться адаптивная отражающая поверхность (АОП), удовлетворяющая определенным условиям.

Система управления ГЗ предназначена для наведения ФО на КИР посредством приводов азимута и угла места. Рассогласование между направлением на КО и ФО определяется в СК ГСП и преобразованием координат пересчитывается в наземную СК РТ.

Система управления КР предназначена для его перемещения по линейным и угловым координатам относительно ГЗ посредством пяти электроприводов, тремя линейными и двумя угловыми. Целью линейных перемещений КР является совмещение фокуса его отражающей поверхности с фокусом АП ГЗ, а целью угловых перемещений – обеспечение параллельности фокальных осей. Положение фокуса и вершины КР определяется посредством СЛД в СК-ОК.

Система управления АП предназначена для перенаправления потока электромагнитной энергии принимаемого радиосигнала от КИР, прошедшего отражение от ГЗ и КР, в раскрыв облучателя радиоприемного устройства. АП расположено в области второго фокуса КР и управляется посредством трех приводов наведения. Приводом линейного перемещения АП вдоль фокальной оси КР, и двумя приводами угловых перемещений – вокруг ФО и оси ей перпендикулярной. Углы поворота АП указывают на величину смещения потока электромагнитной энергии от центра облучателя, и после их обработки приводами, перемещают этот поток в центр. Для расчета углов поворота АП разработана электродинамическая модель ЗАС, которая реализована в виде функционального преобразователя, определяющего векторы углов поворота АП и ГЗ как функции величин деформаций ЗС и отклонения ФО ГЗ от направления на КО.

Измерительная система вектора состояния ПМК РТ относительно СК ГСП предназначена для оценки текущих значений координат отражающих поверхностей ЗС, а также координат и скоростей основных инерционных масс РТ для учета их в качестве обратных связей в системе управления приводами наведения. Измерительная система включает в себя:

- систему лазерных дальномеров (СЛД) измерения координат АОП ГЗ в СК-ОК;
- СЛД измерения координат КР в СК-ОК;
- СЛД измерения деформаций центральной трубы ГЗ относительно основания в СК-ОК;
- СЛД измерения деформаций стоек цапф ГЗ относительно платформы в СК основания;
- СЛД измерения координат начального положения платформы и основания в СК Земли.

### **Алгоритм функционирования системы управления**

1. На подготовительном этапе производится выбор КИР, на который будет наводиться радиотелескоп.

КИР обладает следующими основными характеристиками:

1.1. Программное движение КИР (ПД КИР) – вектор функция  $f^*(t)$  от времени  $t=t_0+n\cdot\Delta T$  углового положения КИР  $(\alpha^*,\beta^*)$  в наземной полярной системе координат, привязанной к географическому месту РТ в дискретные моменты времени, отсчитываемые от времени начала наблюдения  $t_0$  и определяемые периодом интерполяции  $\Delta T$ .

Табличное задание траектории КИР

Время	$t_0$	$t_0 + \Delta T$	$t_0 + 2\Delta T$	...	$t_0 + n \cdot \Delta T$
Азимут	$\alpha^*(t_0)$	$\alpha^*(t_0 + \Delta T)$	$\alpha^*(t_0 + 2\Delta T)$	...	$\alpha^*(t_0 + n \cdot \Delta T)$
Угол места	$\beta^*(t_0)$	$\beta^*(t_0 + \Delta T)$	$\beta^*(t_0 + 2\Delta T)$	...	$\beta^*(t_0 + n \cdot \Delta T)$

1.2. Длина волны  $\lambda$  в мм.

1.3. Яркостная температура КИР в град. Кельвина.

1.4. Угловые размеры КИР из точки наблюдения встерадиан.

2. Интерполяция ПД КИР для вычисления текущего значения  $f^*(t) = (\alpha^*(t), \beta^*(t))$  выполняется в вычислительном управляемом комплексе (ВУК) по специальной программе.

3. Измерение состояния ПМК посредством датчиков в соответствии с табл. 2.

Структура измерительной системы ПМК представлена на рис. 1, размещение датчиков на ОПУ и ЗС – на рис. 2

Таблица 2

Измеряемые координаты

Идентификатор	Измеряемый параметр	Система координат	Измеритель	Точность измерения
$y_1$	Угол поворота платформы вокруг ВО	Земля	ЦДОС азимута 22 разряда	1 угл. с.
$y_2$	Угол поворота основания вокруг ГО	Платформа	ЦДОС УМ 22 разряда	1 угл. с.
$y_3$	Угловое положение ОК	Гиropлатформа	Индукционные датчики гироскопической системы ориентации	1 угл. с.
$y_4$	Угловые скорости инерционных масс ПМК	СК инерционных масс	Блок ДУС	1 угл. с/с
$y_5$	Вектор координат реперных точек АОП ГЗ	ОК	Система лазерных дальномеров	0.02 мм
$y_6$	Вектор координат реперных точек ОП КР	ОК	Система лазерных дальномеров	0.02 мм
$y_7$	Угловое положение ОК	Основание	Система лазерных дальномеров	0.5 угл. с.
$y_8$	Угловое положение ГО	Платформа	ФОС	0.5 угл. с.
$y_9$	Вектор перемещений приводов КР	КР	ЦДОС приводов КР 16 разрядов	0.01мм 1 угл. с.
$y_{10}$	Вектор перемещений приводов ПЗ	ОК	ЦДОС приводов ПЗ 16 разрядов	0.01мм 1 угл. с.
$y_{11}$	Линейный ход штоков актуаторов	СК штоков	Цифровые линейные датчики 10 разрядов	0.01 мм
$y_{12}$	Начальное положение основания	Земля	Система лазерных дальномеров	0.5 угл. с.



Рис. 1. Структура измерительной системы

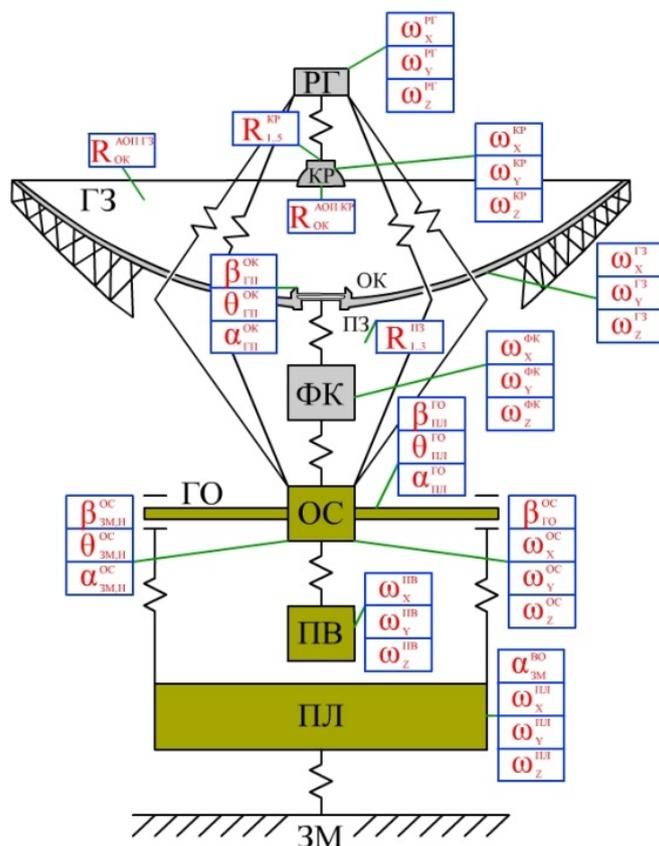


Рис. 2. Размещение датчиков на ОПУ и ЗС

4. Вычисление матрицы  $M_{15}$  преобразования системы координат ОК к системе координат Земля с использованием ЦДОС азимута и угла места в соответствии с рис. 1

$$M_{15} = f(y_1, y_2, y_7, y_8, y_{13}, y_{14})$$

5. Вычисление матрицы  $M_{16}$  преобразования системы координат ОК к системе координат Земля с использованием инерциальной гироскопической системы ориентации ОК в мировой экваториальной СК.

$$M_{16} = f(y_3, y_{12})$$

6. Расчет аппроксимирующего параболоида (АП) главного зеркала в СК-ОК.

6.1. Расчет вектора невязок координат реперных точек относительно теоретически рассчитанной поверхности АП ГЗ:

$$y_{17} = f(y_5)$$

6.2. Расчет координат вершины АП ГЗ:

$$y_{18} = f(y_5)$$

6.3. Расчет координат фокуса АП ГЗ:

$$y_{19} = f(y_5)$$

7. Расчет аппроксимирующего эллипсоида (АЭ) контррефлектора (КР) в СК-ОК.

7.1. Расчет координат вершины АЭ КР:

$$y_{20} = f(y_6)$$

7.2. Расчет координат фокуса АЭ КР:

$$y_{21} = f(y_6)$$

8. Вычисление угловых координат фокальной оси АП ГЗ в СК-ОК:

$$y_{25} = f(y_{18}, y_{19})$$

9. Вычисление угловых координат фокальной оси АП КР в СК-ОК:

$$y_{40} = f(y_{20}, y_{21})$$

10. Вычисление угловых координат фокальной оси АП ГЗ в СК Земли.

Угловые координаты могут быть вычислены либо с использованием гироскопической системы ориентации, либо, когда она отсутствует, с использованием ЦДОС:

$$y_{26} = f(y_{25}, M_{16}), \text{ или } y_{26} = f(y_{25}, M_{15})$$

11. Вычисление ошибки наведения фокальной оси АП ГЗ относительно целеуказания «Программа» в СК Земли.

$$y_{24} = f^*(t) - y_{26}$$

12.  $y_{27}$  – вектор невязок АОП и АП, рассчитанных по программе гомологии.

13.  $y_{28}$  – угловое рассогласование ФО АП ГЗ и ФО АЭ КР в СК-ОК, рассчитанное по программе гомологии.

14.  $y_{29}$  – рассогласование фокусов АП ГЗ и АЭ КР в СК-ОК, рассчитанное по программе гомологии.

15. Вектор отработки невязок координат реперных точек АОП ГЗ относительно расчетной поверхности АП:

$$y_{30} = y_{17} - y_{11}, \text{ либо } y_{30} = y_{27} - y_{11}.$$

16. Вектор ошибок отработки углового рассогласования ФО АП ГЗ и ФО АЭ КР в СК-ОК:

$$y_{31} = y_{25} - y_{40} - y_{22}, \text{ либо } y_{31} = y_{28} - y_{22}.$$

17. Вектор ошибок обработки линейного рассогласования фокусов АП ГЗ и ФО АЭ КР в СК-ОК:

$$y_{32} = y_{29} - y_{23}, \text{ либо } y_{31} = y_{19} - y_{21} - y_{23}.$$

18. Координаты максимума потока энергии эталонного источника радиоизлучения в раскрыве облучателя определяются расчетным путем заранее, как функция вектора деформаций ЗАС, помещаются в таблицу, и выбираются из нее в соответствии с текущим значением вектора деформаций. Угловые координаты  $y_{33}$ ,  $y_{34}$ ,  $y_{35}$  желаемого перемещения АП также рассчитываются заранее, помещаются в таблицу и извлекаются из нее в соответствии с текущим значением вектора деформаций.

19. Векторы ошибок обработки приводами текущих рассогласований  $y_{30} - y_{32}$  используются для расчета управляющих воздействий на эти приводы в соответствии с линейным методом управления через матрицу коэффициентов.

### Библиографический список

1. Артеменко Ю.Н., Гиммельман В.Г., Парщиков А.А - «Задачи и проблемы создания адаптивного радиотелескопа мм диапазона на плато Суффа и пути их решения».
2. Дубаренко В.В. Нелинейная динамика сложных электромеханических систем как объектов управления./Докторская диссертация. ИПМаш РАН, СПб., 2000.

УДК 629.735.33

**О. В. Острова**

магистрант кафедры управления в технических системах

**В.С. Акопов** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. – научный руководитель

### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАЦИЙ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В статье приведен анализ вариаций точности модели электродвигателя в частотной области. Рассчитаны функции чувствительности, произведена оценка области вариации частотных характеристик при 10% ошибке по каждому из следующих параметров электродвигателя: момента инерции ротора  $J$ , сопротивления цепи якоря  $R$ , конструктивной постоянной СФ и индуктивности обмотки якоря  $L$  в отдельности, а также суммарные области вариации при одновременном отклонении каждого из параметров  $J$ ,  $R$ , СФ,  $L$ .

Степень влияния изменения каждого из параметров на характеристики системы оценивается с помощью функций чувствительности. Оценкой чувствительности в данной работе являются функции чувствительности от амплитудной (АЧХ) и фазовой (ФЧХ) частотных характеристик по каждому из параметров математической модели.

Передаточная функция двигателя постоянного тока, как известно [1, 2]:

$$W(p) = \frac{K}{T_M T_\Omega p^2 + T_M p + 1},$$

где  $T_M = \frac{JR}{(C\Phi)^2}$ ,  $T_\Omega = \frac{L}{R}$ ,  $K = \frac{1}{C\Phi}$ .

Сами функции чувствительности представляют собой соответствующие частные производные от АЧХ и ФЧХ. Выражения для этих функций чувствительности, после преобразований [2, 3], имеют вид:

$$\mu_J^A(w) = \frac{w^2 \left( \frac{2L}{C\Phi^2} - \frac{2JR^2}{C\Phi^4} \right) - \frac{2JL^2w^4}{C\Phi^4}}{2CF \left( w^2 \left( \frac{J^2R^2}{C\Phi^4} - \frac{2JL}{C\Phi^2} \right) + \frac{J^2L^2w^4}{C\Phi^4} + 1 \right)}$$

$$\mu_R^A(w) = - \frac{J^2Rw^2}{C\Phi^5 \left( 1 + \left( \frac{J^2R^2}{C\Phi^4} - \frac{2JL}{C\Phi^2} \right) w^2 + \frac{J^2L^2w^4}{C\Phi^4} \right)^{3/2}}$$

$$\mu_{C\Phi}^A(w) = \frac{\left( \frac{4J^2R^2}{C\Phi^5} - \frac{4JL}{C\Phi^3} \right) w^2 + \frac{4J^2L^2}{C\Phi^5} w^4}{2C\Phi \left( 1 + \left( \frac{J^2R^2}{C\Phi^4} - \frac{2JL}{C\Phi^2} \right) w^2 + \frac{J^2L^2}{C\Phi^4} w^4 \right)^{1.5}} - \frac{1}{C\Phi^2 \sqrt{1 + \left( \frac{J^2R^2}{C\Phi^4} - \frac{2JL}{C\Phi^2} \right) w^2 + \frac{J^2L^2}{C\Phi^4} w^4}}$$

$$\mu_L^A(w) = \frac{\frac{2Jw^2}{C\Phi^2} - \frac{2J^2Lw^4}{C\Phi^4}}{2C\Phi \left( 1 + \left( \frac{J^2R^2}{C\Phi^4} - \frac{2JL}{C\Phi^2} \right) w^2 + \frac{J^2L^2w^4}{C\Phi^4} \right)^{3/2}}$$

$$\mu_J^\Theta(w) = \frac{w \left( \frac{\frac{L}{C\Phi^2} - \frac{JR^2}{2C\Phi^4}}{2\sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}} - \frac{R}{2C\Phi^2} \right)}{1 + w^2 \left( \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}} + \frac{JR}{2C\Phi^2} \right)^2} - \frac{w \left( \frac{\frac{L}{C\Phi^2} - \frac{JR^2}{2C\Phi^4}}{2\sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}} + \frac{R}{2C\Phi^2} \right)}{1 + w^2 \left( \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}} - \frac{JR}{2C\Phi^2} \right)^2}$$

$$\mu_R^\Theta(w) = \frac{w \left( \frac{J}{2C\Phi^2} - \frac{J^2R}{4C\Phi^4 \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}} \right)}{1 + w^2 \left( \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}} - \frac{JR}{2C\Phi^2} \right)^2} - \frac{w \left( \frac{J}{2C\Phi^2} + \frac{J^2R}{4C\Phi^4 \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}} \right)}{1 + w^2 \left( \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}} + \frac{JR}{2C\Phi^2} \right)^2}$$

$$\mu_{C\Phi}^\Theta(w) = \frac{w \left( \frac{\frac{J^2R^2}{C\Phi^5} + \frac{2JL}{C\Phi^3}}{2\sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}} + \frac{JR}{C\Phi^3} \right)}{1 + w \left( \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}} + \frac{JR}{2C\Phi^2} \right)^2} - \frac{w \left( \frac{\frac{J^2R^2}{C\Phi^5} + \frac{2JL}{C\Phi^3}}{2\sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}} - \frac{JR}{C\Phi^3} \right)}{1 + w \left( \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}} - \frac{JR}{2C\Phi^2} \right)^2}$$

$$\mu_L^\Theta(w) = \frac{\frac{wJ}{2C\Phi^2 \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}} (w^2 \left( \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}} + \frac{JR}{2C\Phi^2} \right) + 1)}{2C\Phi^2 \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}} - \frac{\frac{wJ}{2C\Phi^2 \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}} (w^2 \left( \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}} - \frac{JR}{2C\Phi^2} \right) + 1)}{2C\Phi^2 \sqrt{\frac{J^2R^2}{4C\Phi^4} - \frac{JL}{C\Phi^2}}}$$

Продемонстрируем на конкретном примере результаты использования приведенных функций чувствительности [4], для этого выберем двигатель ДПМ-25-Н3-0.1. Технические (паспортные) данные по выбранному двигателю ДПМ-25-Н3-0.1

таковы:  $U_N = 27$  В;  $P_N = 0.5$  Вт;  $I_N = 0.17$  А;  $M_N = 0.001$  н·м;  $\Omega_N = 600$  с<sup>-1</sup>;  
 $J = 7 \cdot 10^{-7}$  кг·м<sup>2</sup>;  $M_p = 0.012$  н·м.

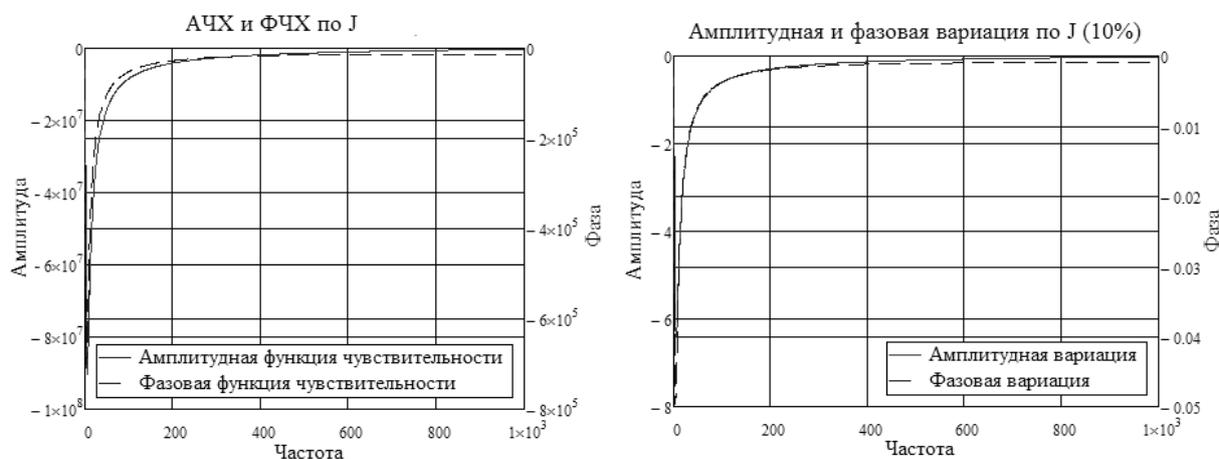


Рис. 1. Функции чувствительности АЧХ и ФЧХ по J (слева); вариации АЧХ и ФЧХ из-за вариации по J (10%) (справа)

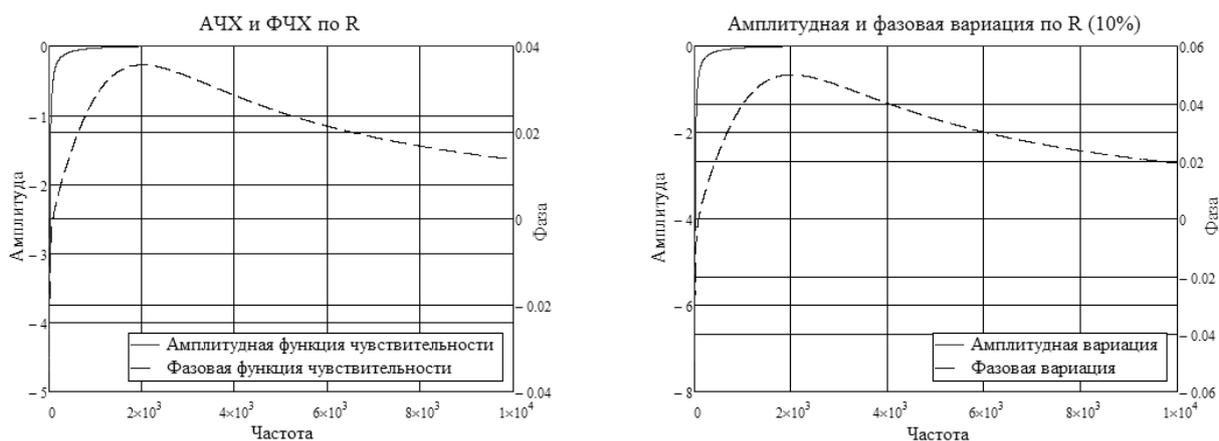


Рис. 2. Функции чувствительности АЧХ и ФЧХ по R (слева); вариации АЧХ и ФЧХ из-за вариации по R (10%) (справа)

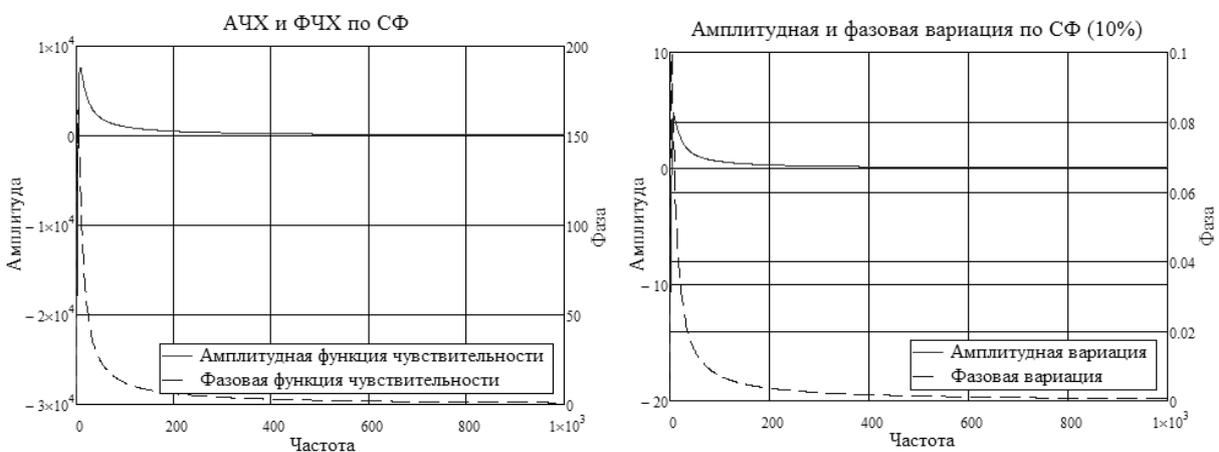


Рис. 3. Функции чувствительности АЧХ и ФЧХ по CФ (слева); вариации АЧХ и ФЧХ из-за вариации по CФ (10%) (справа)

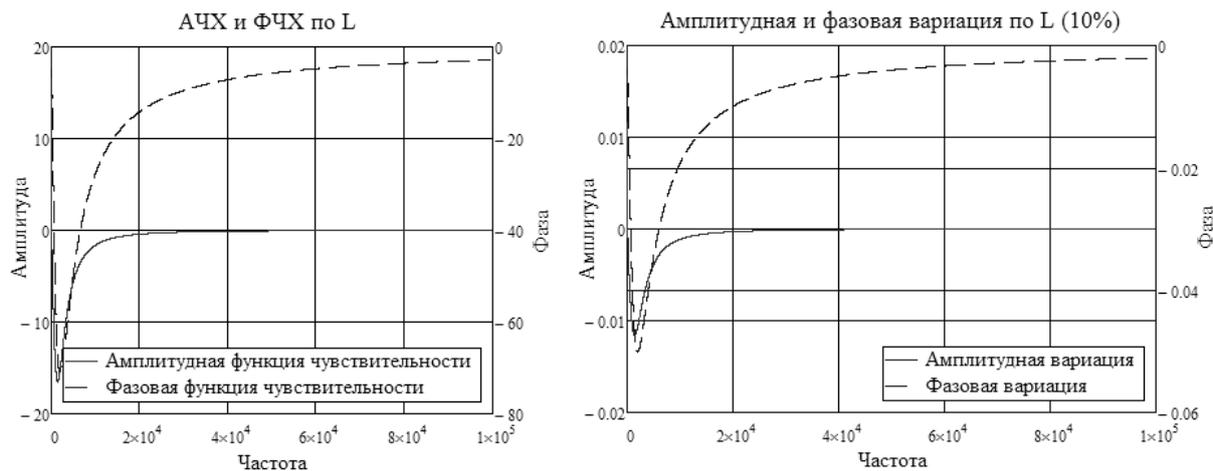


Рис. 4. Функции чувствительности АЧХ и ФЧХ по L (слева); вариации АЧХ и ФЧХ из-за вариации по L (10%) (справа)

Важным представляется проанализировать [4–6] вариацию АЧХ и ФЧХ не только из-за вариации каждого из параметров в отдельности, но и суммарную вариацию при одновременной вариации всех параметров (рис. 5).

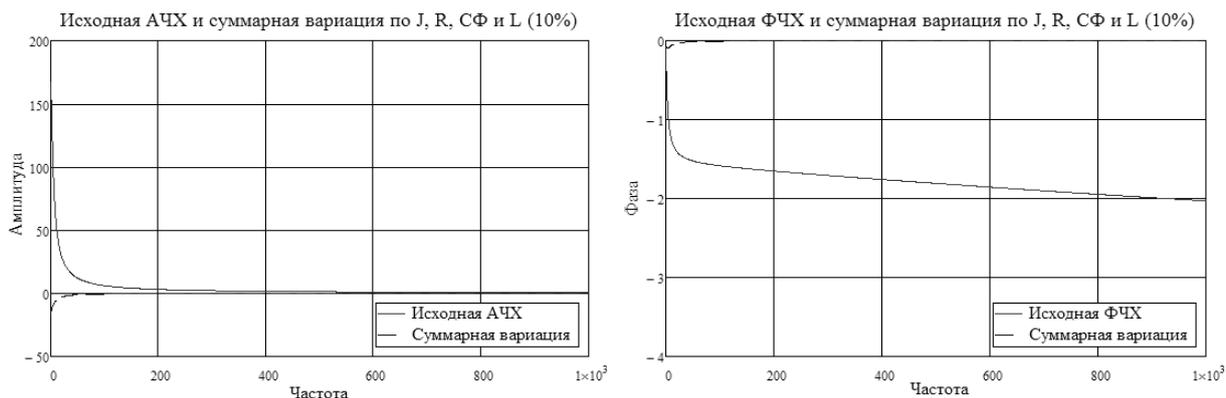


Рис. 5. Исходная АЧХ и ее суммарная область вариации из-за вариации параметров по R, J, СФ и L (слева); исходная ФЧХ и ее суммарная область ее вариации из-за вариации параметров по R, J, СФ и L (справа)

В заключение нужно отметить, что вариация параметров оказывает существенное влияние на АЧХ и ФЧХ, поэтому в процессе моделирования электропривода или систем управления, имеющих в своем составе электропривод, необходимо учитывать возможные вариации АЧХ и ФЧХ. Таким образом, можно оценить влияние малых отклонений параметров системы от расчетных значений уже на этапе проектирования, что позволяет сделать модель и исследования более точной.

### Библиографический список

1. Автоматическое регулирование и управление / под ред. В.М.Пономарева, А.П.Литвинова.-М.:Высшая школа, 1974.-440с

2. Ковчин с.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода: Учебник для вузов.- Спб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ие, 1994.-496с.
3. В.А.Бесекерский, Е.П.Попов Теория систем автоматического регулирования. М.: Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1975. 768 с.
4. Р.Н.Булыченко, О.В.Острова Завалишинские чтения'15: молодежная секция. Сб. докл. «Анализ точности математической модели электродвигателя в частотной области» СПб.: ГУАП., 2015. С.14-17
5. Р.Дорф, Р.Бишоп Современные системы управления. Пер. с англ. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
6. Акопов В.С. Завалишинские чтения'14. Сб. докл. «Функции чувствительности для анализа динамической точности математической модели колеса многоколесного шасси» СПбГУАП, 2014. С.23 -27

**УДК 621.316.37**

**В. А. Пархоменко**

студентка кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

**О. Я. Соленая** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### **ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ УТЕЧЕК ТОКА НА ЗЕМЛЮ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Возникновение токов утечки проявляется в электропроводках по причине уменьшения диэлектрической прочности изоляции и является опасным фактором, который может привести к аварийному режиму работы системы электроснабжения. Чаще всего это связано с намоканием электропроводки и механическими повреждениями, а также агрессивностью окружающей среды (ускоренное старение изоляции). В основном токи утечки, особенно в первоначальный период их проявления, малы по величине и составляют десятки миллиампер. Согласно Правилам устройства электроустановок [1], в некоторых видах электрических сетей допускается их присутствие до нескольких часов, но поскольку с течением времени они могут нарастать до значений токов коротких замыканий в низковольтных электрических сетях помещений, их необходимо отключать при достижении значения в 10 мА.

Физический смысл процесса нарастания тока утечки с течением времени можно описать следующим образом. Во время эксплуатации электропроводок их температурный режим постоянно изменяется, что приводит к появлению конденсата на изоляции и токоведущих жилах. Через эту влагу начинает протекать небольшой по величине первоначальный ток утечки (его величина зависит от сопротивления влажного участка). При этом в месте утечки тока выделяется дополнительная энергия или мощность в виде нагрева, приводящего к испарению влаги. После испарения в месте утечки тока на изоляции электропроводки остаются соль и другие токопроводящие элементы. При повторении такого режима несколько раз количество соли увеличивается, тем самым растет ток утечки вплоть до обугливания изоляции. Потеря ее диэлектрических свойств и появление маленьких частичных искровых электрических разрядов приводит к коротким замыканиям проводки в системе электроснабжения. Зачастую в электрифицированных помещениях (квартирах) такие режимы характерны для кухонь, ванн и туалетов, т.е. мест, где концентрируется больше всего влаги и наиболее агрессивная окружающая среда.

Очень сильно на срок службы изоляции влияют сложные и необратимые химические процессы (изменение молекулярной структуры изоляции – деполяризация, образование свободных радикалов, ненасыщенных связей, появление новых структур и полимеризация), связанные с тепловым воздействием на изоляцию перегрузок, а также способы прокладки электропроводки (например, при прокладке нескольких проводов в одной гофре, поливинилхлоридной трубе не учитывают поправочные коэффициенты), что, в свою очередь, увеличивает токи утечки. В работе [2] предложено практическое выражение относительного теплового износа изоляции:

$$Z = cte^{\gamma t},$$

где  $c$ ,  $\gamma$  – константы для заданного типа изоляции;  $t$  – промежуток времени теплового воздействия;  $t$  – величина температуры.

Существует правило для быстрого подсчета уменьшения срока службы изоляции, которое гласит, что превышение температуры на каждые  $8^{\circ}\text{C}$  в два раза снижает длительность эксплуатации изоляции.

Также существует понятие «ползучий ток» – это ток утечки, обусловленный наличием пыли и других загрязняющих изоляцию веществ. Его предельное значение мощности, которая способна вызвать воспламенение изоляционных материалов проводки электрифицированных помещений, составляет около 60 Вт. На рис. 1 раскрыт процесс изменения состояния изоляции электропроводки в период ее старения, а также выделена область целесообразного срабатывания устройства защитного отключения (УЗО).

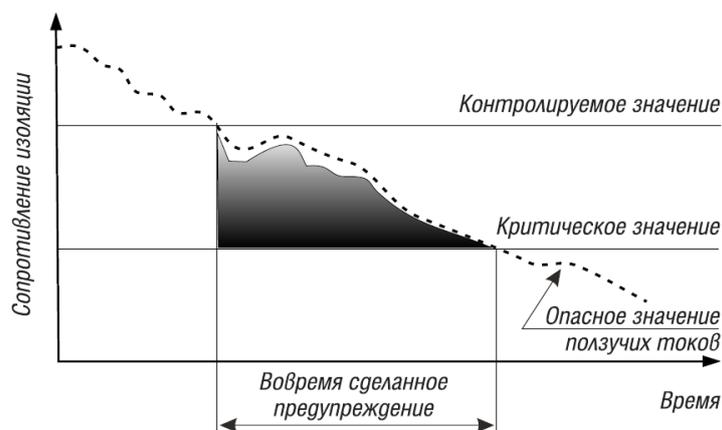


Рис. 1. Изменение состояния изоляции электропроводки в результате старения

Понятие целесообразного срабатывания УЗО зависит от конкретной задачи его применения. Для защиты человека от поражения электрическим током применяют УЗО на дифференциальный ток 10–40 мА, а для обеспечения пожарной безопасности электрифицированного помещения дифференциальный ток составляет 300 мА.

В [1] прописано использование УЗО для защиты электрифицированных помещений. При проектировании низковольтной электрической сети помещения чаще всего выбираются классические УЗО либо дифференциальные автоматы. Принцип их действия схож – они оснащены дифференциальным трансформатором и в некоторых случаях платой управления и исполнительным механизмом (катушка с соленоидом). Однако в их конструкции присутствует вторая силовая катушка, предназначенная для отключения токов короткого замыкания.

В инженерной среде ходят споры об использовании вместо УЗО с дифференциальным током на 30 мА УЗО на 10 мА. Однако анализ работ в этом направлении показывает, что у всех серийно выпускаемых на сегодняшний день УЗО сам исполнительный механизм (катушка с соленоидом, пружины, защелки) имеет время срабатывания в среднем около 40 мс. Таким образом, опираясь на время-токовые характеристики срабатывания УЗО, можно сказать о том, что за этот промежуток времени ток утечки успеваает вырасти с относительно малых значений в 10–20 мА до больших – в 30–40 мА. Т.е. зачастую нет необходимости устанавливать более дорогое УЗО с током 10 мА, а можно вполне обойтись УЗО с током 30 мА, не потеряв при этом в селективности и избирательности.

### Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок. – М.: Изд-во «Кнорус», Москва, 2014. – 488 с.
2. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Устройства защитного отключения, реагирующие на разностный (дифференциальный) ток. Справочное пособие. – СПб.: НТЦ «Аксиома Электро», 2016. – 160 с.

### УДК 620.9

#### **Д. Е. Петрушин**

старший оператор научной роты

#### **Р. К. Савельев**

старший оператор научной роты

**Д. Д. Корякин** – младший научный сотрудник, командир взвода (научного) Военной академии связи им. С. М. Будённого – научный руководитель

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВОГО АВТОТРАНСФОРМАТОРА

Энергосбережение – одна из самых серьезных задач XXI в. Цели энергосбережения совпадают и с другими глобальными целями, такими как улучшение экологической ситуации, обеспечение энергетической безопасности, повышение экономичности систем энергоснабжения.

Вопросы энергоэффективности на сегодняшний день, когда существует большой резерв малозатратных мероприятий по ее повышению, представляют особый практический интерес.

Преобразование энергии происходит в трансформаторе с известными потерями. Подавляющая часть потерь выделяется в виде тепла в активных частях трансформатора, его магнитопроводе и обмотках. Старение изоляции происходит тем интенсивнее, чем выше температура материала [1].

Для недопущения перегрева элементов трансформатора (табл. 1), а особенно изоляционных материалов, установлены ограничения по допустимому превышению температуры обмоток, для чего применяются различные системы охлаждения: естественное воздушное охлаждение трансформаторов, естественное масляное охлаждение (М), масляное охлаждение с дутьем и естественной циркуляцией масла (Д), масляное охлаждение с дутьем и принудительной циркуляцией масла через воздушные охладители (ДЦ), масляно-водяное охлаждение трансформаторов с принудительной циркуляцией масла (Ц) [2].

Таблица 1  
Допустимые превышения температуры окружающей среды [3]

Элемент	Превышение температуры, °С
Обмотки	65
Наружные поверхности магнитопровода и конструктивных частей	75
Масло в верхних слоях:	
при герметизированном исполнении	60
в остальных случаях	55

Известно, что повышение температуры обмоток ведет к увеличению их сопротивления, а соответственно и потерь (1). Значит, применение систем охлаждения оказывается еще более целесообразным, однако в случае увеличения их производительности, они требуют дополнительную энергию, которая тратится на работу вентиляторов и циркуляционного насоса.

$$R' = R^{20}(1 + \alpha(t - 20)) \quad (1)$$

где  $R'$  – сопротивление проводника при температуре  $t$ , Ом;  $R^{20}$  – сопротивление проводника при температуре 20 °С, Ом;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления, 1/К (для меди равен 0,0038) [4];  $t$  – температура, °С.

Потери мощности на нагрев рассчитываются по выражению:

$$P_{heat} = \Delta P_{sc}(1 + \alpha(t - 20)) + \Delta P_{is} \quad (2)$$

где  $P_{heat}$  – суммарные потери на нагрев;  $\Delta P_{sc}$  – потери короткого замыкания;  $\Delta P_{is}$  – потери холостого хода.

Потери короткого замыкания автотрансформатора:

$$\Delta P_{sc} = \Delta P'_h \left( \frac{S_h}{S_{nom}} \right)^2 + \Delta P'_m \left( \frac{S_m}{S_{nom}} \right)^2 + \Delta P'_l \left( \frac{S_l}{S_{nom}} \right)^2 \quad (3)$$

где  $\Delta P'_h$  – потери в обмотке высшего напряжения;  $S_h$  – мощность на обмотке высшего напряжения;  $S_{nom}$  – номинальная мощность автотрансформатора;  $\Delta P'_m$  – потери в обмотке среднего напряжения;  $S_m$  – мощность на обмотке среднего напряжения;  $\Delta P'_l$  – потери в обмотке низшего напряжения;  $S_l$  – мощность на обмотке низшего напряжения.

Расчеты мощности потерь в меди, проведенные по (2) представлены на рис. 1,а. Мощность, необходимая для охлаждения обмоток до соответствующей температуры, при температуре окружающей среды 20 °С (рис. 1,б). Хорошо видно, что при температуре ниже 50 °С наблюдается резкое возрастание мощности, необходимой для охлаждения. Для нахождения температуры обмоток, при которых потери минимальны, необходимо сложить эти функции.

Суммарные потери мощности трансформатора можно представить выражением (4), минимум функции находится в точке с температурой обмоток 46 °С (рис. 2).

$$\Delta P_{tr} = \Delta P_{is} + \Delta P_{sc} + P_{cool} \quad (4)$$

где  $\Delta P_{tr}$  – суммарные потери мощности в трансформаторе;  $P_{cool}$  – мощность, потребляемая системой охлаждения.

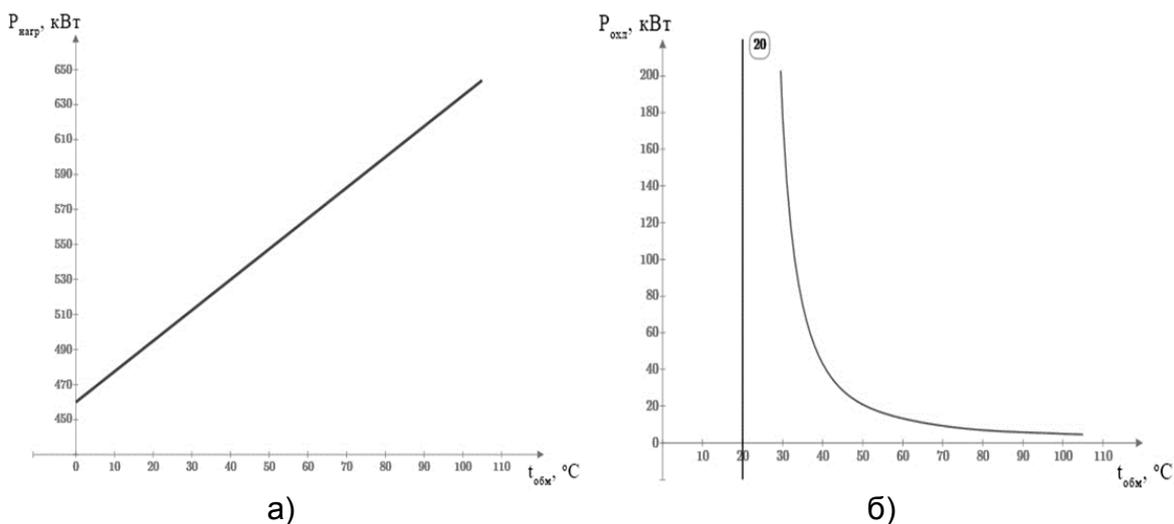


Рис. 1. Зависимость потерь мощности в автотрансформаторе от температуры обмоток (а) и зависимость необходимой мощности системы охлаждения от температуры обмоток (б)

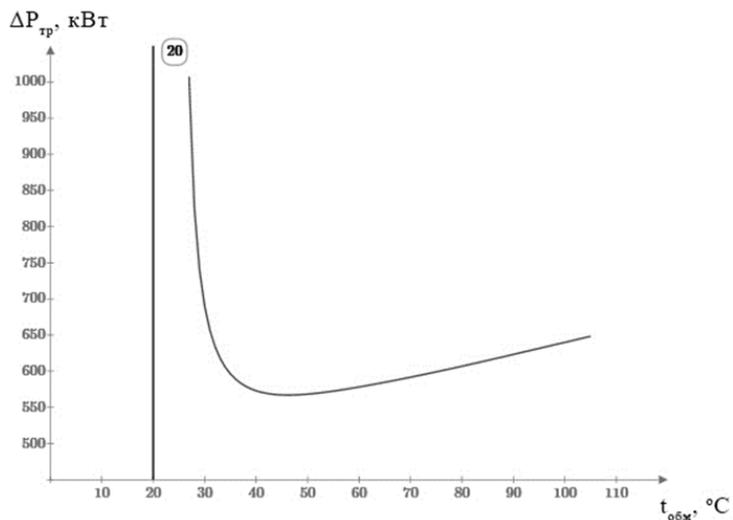


Рис. 2. График суммарных потерь мощности автотрансформатора АДЦТН-125000/220/110-У1

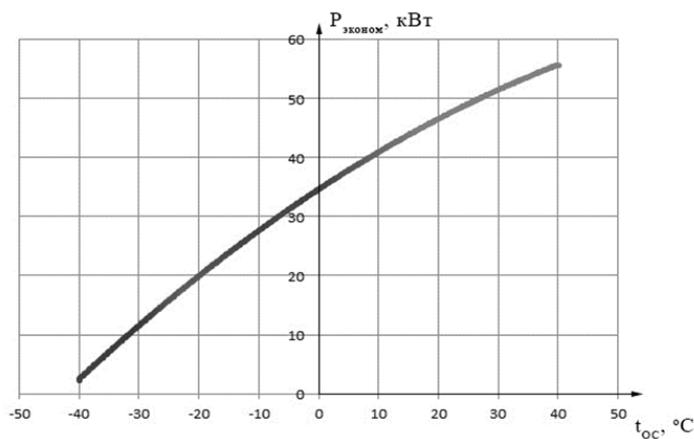


Рис. 3. Снижение мощности потерь при оптимальной настройке системы охлаждения

Настроив систему охлаждения на данную температуру, мы можем каждый час экономить до 48 кВт ч электроэнергии (рис. 3), в сравнении с максимально допустимым режимом работы при  $t_w = t_o + 65 = 85^\circ\text{C}$ , где  $t_w$  – температура обмоток;  $t_o$  – температура окружающей среды (табл. 2).

Таблица 2

Оптимальные температуры обмоток и снижение потерь мощности

Температура окружающей среды	Температура обмоток	Снижение мощности потерь
$t_o, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$	$P_{save}$ кВт
-40	17,3	3,9
-30	19,9	10,7
-20	23,7	18,4
-10	28,6	26,8
0	34,2	34,9
10	40,0	42,0
20	46,2	47,9
30	53,6	52,0
40	62,5	54,6

Для более удобной оценки экономической выгоды использования метода регулировки температуры обмоток трансформатора разработана программа для ЭВМ с помощью инструмента GUI в пакете прикладных программ для решения задач технических вычислений Matlab (рис. 4).

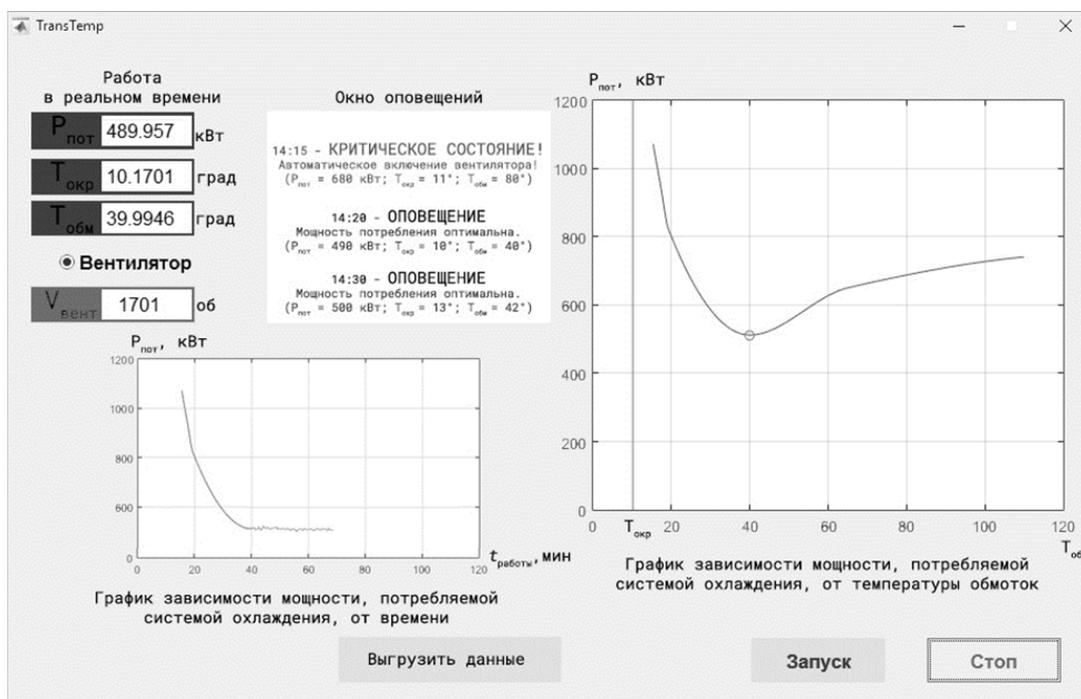


Рис. 4. Пример работы программы «Имитационная модель системы охлаждения трансформатора»

Программа представляет собой имитационную модель оценки зависимости мощности, потребляемой системой охлаждения, от температуры обмоток и окружающей среды. Имитационная модель позволяет выполнять следующие функции: подгружать данные потребляемой мощности разных трансформаторов и

температуру окружающей среды; проводить расчеты в реальном времени (потребляемая мощность; температура окружающей среды; температура обмотки и обороты вентилятора); выводить в «Окно оповещений» сообщения (предупреждения) о состоянии системы; принудительно отключать вентилятор; получать графики зависимостей мощности, потребляемой системой охлаждения от температуры обмоток и от времени с последующей выгрузкой их в MS Excel.

Оптимальная потребляемая мощность рассчитывается по двум крайним точкам. Как только суммарные потери в автотрансформаторе становятся минимальными – программа принимает данную температуру за оптимальную. При изменении  $t_o$  программа ведет пересчет потерь и мощности системы охлаждения, после чего устанавливает новую оптимальную температуру.

Разработанная программа позволяет оценить целесообразность поддержания оптимальной температуры в зависимости от номинальной мощности и загрузки автотрансформатора.

Оптимальный режим работы системы охлаждения трансформатора АТДЦТН-125000/220/110-У1 позволяет сократить потери мощности на величину до 54 кВт. Таким образом охлаждение рассмотренного автотрансформатора при условном тарифе на электроэнергию 2128,75 руб./МВт\*ч [5] позволяет сэкономить до 115 руб./ч.

#### Библиографический список

1. ООО «ЭлектроСпецМонтаж» – проектирование и монтаж электроэнергетических объектов. [Электронный ресурс] URL: <http://forca.ru/> (дата обращения: 20.04.2016)
2. ЗАО «Вэлта-центр». [Электронный ресурс] URL: <http://velta-c.ru/> (дата обращения: 20.04.2016)
3. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – М.: Стандартинформ, 2009. – 38 с.
4. Формулы и расчеты онлайн – Интерактивный справочник формул. [Электронный ресурс] URL: <http://fxyz.ru/> (дата обращения: 20.04.2016)
5. ПАО «МРСК Северо-Запада». [Электронный ресурс] URL: <http://www.mrsksevzap.ru/> (дата обращения: 20.04.2016)

УДК 621.039

**Х. Е. Пржевальский, М. В. Медведев**

студенты кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

**О. Я. Соленая** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Ядерный реактор – устройство, предназначенное для организации управляемой самоподдерживающейся цепной реакции деления, которая всегда сопровождается выделением энергии. На рис. 1 приведена принципиальная схема атомной электрической станции (АЭС). В ядерном реакторе внутриядерная энергия преобразуется в тепловую, которая отводится теплоносителем по трубопроводам в парогенератор, где тепло через поверхность нагрева передается рабочему телу.

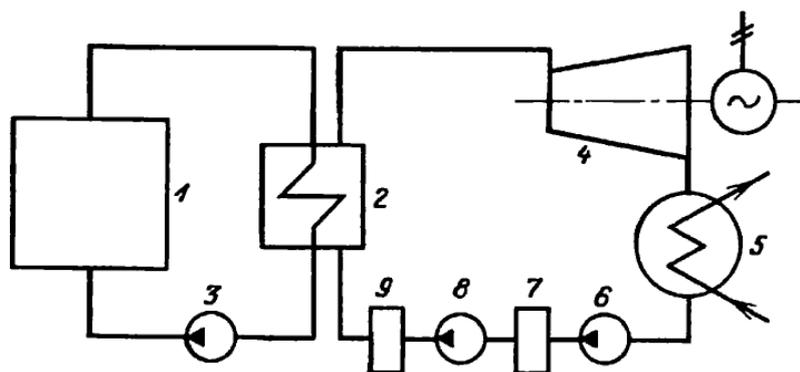


Рис. 1. Принципиальная схема АЭС:

- 1 – реактор, 2 – парогенератор, 3 – главный циркуляционный насос (ГЦН);  
 4 – турбогенератор, 5 – конденсатор, 6 – конденсатный насос,  
 7 – система регенерации низкого давления, 8 – штатный насос,  
 9 – система высокого давления

Охлажденный теплоноситель с помощью главного циркуляционного насоса вновь направляется в турбогенератор, в котором последовательно тепловая энергия превращается в механическую, а механическая – в электрическую [1]. Отработанный пар конденсируется и прокачивается конденсатными насосами через регенеративную систему низкого давления. Далее с помощью питательных насосов вода через регенеративную систему высокого давления возвращается в парогенератор.

Любой ядерный реактор включает в себя пять основных элементов: а) делящееся вещество; б) замедлитель быстрых нейтронов; в) отражатель нейтронов; г) система охлаждения; д) системы безопасности и регулирования.

По устройству активной зоны реакторы разделяются на два класса: гомогенные и гетерогенные. В гетерогенном реакторе замедлитель и топливо (уран) разделены геометрически, а в гомогенных реакторах они находятся в одной физической фазе, как в случае раствора урановой соли в воде [2].

Основной элемент ядерного реактора – активная зона, где размещается ядерное топливо, оформленное в виде тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). ТВЭЛы представляют собой блоки из делящегося материала, заключенные в герметичную оболочку и слабо поглощающие нейтроны. К ним предъявляются высокие технические требования: простота конструкции, механическая устойчивость и прочность в потоке теплоносителя; малое поглощение нейтронов конструкционным материалом; отсутствие взаимодействия ядерного топлива и продуктов деления с оболочкой ТВЭЛов. Геометрическая форма должна обеспечивать требуемое соотношение площади поверхности объема и максимальную интенсивность отвода теплоты теплоносителем от всей поверхности, а также гарантировать большую глубину выгорания ядерного топлива и высокую степень удержания продуктов деления.

Отвод тепла из реакторов большой мощности принудительный, поэтому вдоль стенок ТВЭЛов направляется поток теплоносителя (жидкости или газа). Следует также учитывать, что в процессе эксплуатации реактора уран многократно заменяется с целью восстановления необходимого для цепной реакции количества делящегося материала. Поэтому из соображений удобства отвода тепла и обращения с ураном ТВЭЛы по одному или в виде сборок стержней размещают в специальных сквозных каналах, располагаемых в определенном порядке по активной зоне и называемых технологическими каналами. Технологический канал с прилегающим к нему замедлителем составляет элементарную ячейку активной зоны реактора [3].

### Реакторы на тепловых нейтронах

Реактор на тепловых нейтронах – ядерный реактор, использующий реакцию взаимодействия ядер урана-235 с нейтронами, которые участвуют в цепной реакции.

Активная зона ядерного ректора на тепловых нейтронах состоит из замедлителя быстрых нейтронов, образовавшихся в результате цепной реакции деления атомных ядер, ядерного топлива, теплоносителя и конструкционных материалов. В качестве замедлителя применяют графит, органические жидкости и воду, которые также могут служить теплоносителем. Конструкционные материалы применяют с расчетом на малую вероятность радиационного захвата материалом нейтронов для уменьшения загрузки ядерного топлива. К таким материалам относят алюминий, магний, цирконий и др. Небольшие потери нейтронов в замедлителе и конструкционных материалов позволяют использовать природный и слабообогащенный уран в качестве ядерного топлива.

Ядерные реакторы на тепловых нейтронах различаются между собой по двум признакам: в зависимости от используемых веществ в качестве замедлителя нейтронов и в качестве теплоносителя. По данной классификации реакторы можно разделить на 4 группы:

- водо-водяные – с обычной водой в качестве замедлителя и теплоносителя;
- графито-водные – с водяным теплоносителем и графитовым замедлителем;
- тяжеловодные – с водяным теплоносителем и тяжелой водой в качестве замедлителя;
- графито-газовые – с газовым теплоносителем и графитовым замедлителем.

### Атомные реакторы на быстрых нейтронах

В реакторах без замедлителя нейтронов процесс деления ядерного топлива происходит при взаимодействии с быстрыми нейтронами, скорость которых настолько велика, что их длина волны де Бройля намного меньше радиуса ядра:

$$\lambda_{\text{Б}} = \frac{\hbar}{mV}, \quad (1)$$

где  $\hbar$  – постоянная Дирака;  $m$  – масса нейтрона;  $V$  – скорость нейтрона.

Горение ядерного топлива начинается при большей критической массе ядерного горючего, чем в тепловых реакторах. Преимущество реакторов на быстрых нейтронах заключается в том, что у них есть уникальная возможность обеспечивать себя топливом и, более того, обеспечивать топливом другие ядерные установки.

Существуют всего три вида атомов, которые могут осуществлять цепную ядерную реакцию: плутоний –  $Pu^{239}$  и два изотопа урана –  $U^{235}$  и  $U^{233}$ . Все они в природе практически не встречаются и образуются в результате бомбардировки нейтронами изотопов урана  $U^{238}$  и тория  $Th^{232}$ , которые имеются в природе в относительно большом количестве.

Используя реакторы на быстрых нейтронах, можно гораздо эффективнее использовать природное ядерное топливо. Применительно к этим реакторам можно рассматривать  $Pu^{239}$  и  $U^{233}$  как исходное ядерное топливо, а  $U^{238}$  и  $Th^{232}$  – как своего рода сырье, из которого в реакторе получается вторичное ядерное топливо, то есть новые порции  $Pu^{239}$  и  $U^{233}$ . Таким образом, в реактор-размножитель загружается исходное ядерное топливо ( $Pu^{239}$  или  $U^{233}$ ) и атомное сырье ( $U^{238}$  или  $Th^{232}$ ), затем реактор производит тепловую энергию, преобразуемую на АЭС в электрическую, и дает вторичное ядерное топливо.

Обычные реакторы на тепловых нейтронах производят два «избыточных» материала: плутоний (появляется при поглощении ураном  $U^{238}$  нейтронов и отделяется затем в процессе переработки) и обедненный уран (получается при обогащении

природного урана). Плутоний используется в реакторах на быстрых нейтронах как основное топливо и образуется из  $U^{238}$  обедненного урана, которым окружают активную зону реактора в виде специальных бланкетов, служащих для утилизации энергии термоядерных нейтронов. Реактор одновременно и «сжигает», и «производит» плутоний. В зависимости от конструкции реактора, произведенный в процессе реакции плутоний может использоваться в этом же реакторе, в будущих реакторах-размножителях либо в обычных легководных реакторах [4].

Таким образом, реакторы на быстрых нейтронах имеют высокую тепловую эффективность, обусловленную высокотемпературным режимом их эксплуатации. Охлаждение активной зоны осуществляется в них с помощью жидкого натрия. Ядерные реакторы, охлаждаемые легкой водой под большим давлением (до 22,13 МПа), из-за невысокой (не более 374°C) температуры воды на входе в парогенератор имеют КПД энергетической установки 30–33%. Реакторы с жидкометаллическим охлаждением при давлении, необходимом для перекачки теплоносителя, могут иметь высокую (ограниченную стойкостью конструкционных материалов) температуру на входе в парогенератор, что повышает КПД до 40–43%. Следовательно, для выработки одного и того же количества электроэнергии в ядерных реакторах с высокой температурой теплоносителя тратится меньше ядерного топлива, чем в легководных реакторах.

#### **Перспективы развития ядерных энергоустановок**

Топливный цикл быстрых реакторов-размножителей позволяет извлечь больше энергии из первоначально добытого урана. В связи с этим реакторы-размножители привлекательны для производства энергии. Именно реакторы на быстрых нейтронах смогут решить важнейшую проблему энергетики – проблему надежного и долговременного обеспечения ее топливом, а также сокращения расходов на природные ресурсы и изготовление топлива. Для этого доля таких реакторов в атомной энергетике должна быть немалой – около 30% от общего числа ядерных реакторов.

#### **Библиографический список**

1. Дементьев Б. А. Ядерные энергетические реакторы. М.: Энергоатомиздат, 1990. 351 с.
2. Климов А. Н. Ядерная физика и ядерные реакторы. М.: Энергоатомиздат, 2002. 456 с.
3. Вейнберг А., Вигнер Е. Физическая теория ядерных реакторов. М.: Издательство иностранной литературы, 1961. 724 с.
4. Балашин Ю. А., Заричняк Ю. П., Успенская М. В. Физические основы ядерной энергетики: Учебное пособие. Часть II. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 88 с.

**УДК 004.3 (4)**

***Д. Э. Пыхов, Э. К. Зимульдинов, А. А. Сапрыкин***

студенты кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

***С. В. Солёный*** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

#### **ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОМ ПО ИНФРАКРАСНОМУ КАНАЛУ**

В статье представлен способ управления роботом на платформе Arduino UNO с помощью инфракрасного (ИК) канала.

ИК спектр не виден человеческому глазу, но отлично воспринимается цифровыми камерами и ИК приемниками. ИК канал связи удобен для управления техникой в прямой видимости (телевизор, кондиционер, аудио- и видео аппаратура, системы «Умный дом» и др.). В отличие от радиоканала, ИК канал нечувствителен к электромагнитным помехам, что позволяет использовать его в производственных условиях.

Для реализации режима управления роботом по ИК каналу была построена модель, которая включает в себя: контроллер Arduino UNO, драйвер моторов L298N, мобильную платформу с двумя двигателями постоянного тока и ИК датчик TSOP22 (рис. 1) [1].



Рис. 1. Блок-схема робота

Для работы с ИК-модулем в среде ArduinoIDE необходимо установить стандартную библиотеку IRremote, предназначенную для упрощения обработки ИК сигналов. Для определения кодов кнопок используемого пульта дистанционного управления (ДУ) применяется алгоритм, представленный на рис. 2.

```
include <IRremote.h>
int RECV_PIN = 2;
IRrecv irrecv(RECV_PIN);
decode_results results;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  irrecv.enableIRIn();
}

void loop() {
  if (irrecv.decode(&results))
  {
    Serial.println(results.value);
    irrecv.resume();
  }
}
```

Рис. 2. Программа для определения кодов кнопок пульта ДУ

Далее производятся нажатия кнопок на пульте ДУ, при этом на мониторе компьютера в ArduinoIDE в выкладке «Монитор порта» будут выводиться коды, соответствующие этим кнопкам (рис. 3).

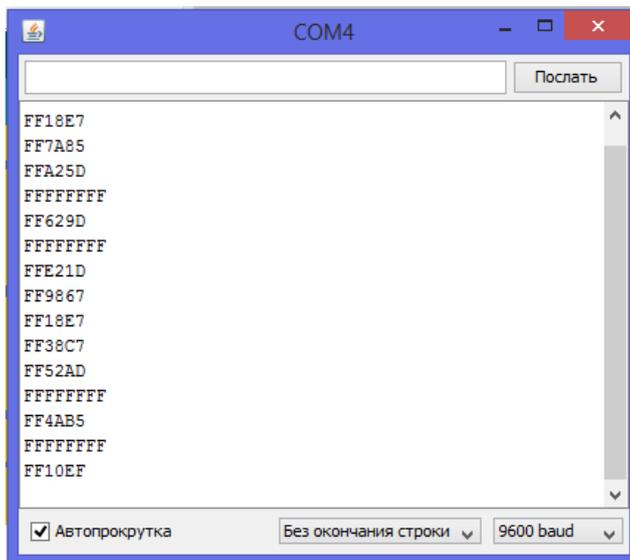


Рис. 3. Коды кнопок пульта ДУ

Зная кодировку кнопок пульта ДУ, можно выполнить программирование микроконтроллера по следующему алгоритму (рис. 4).

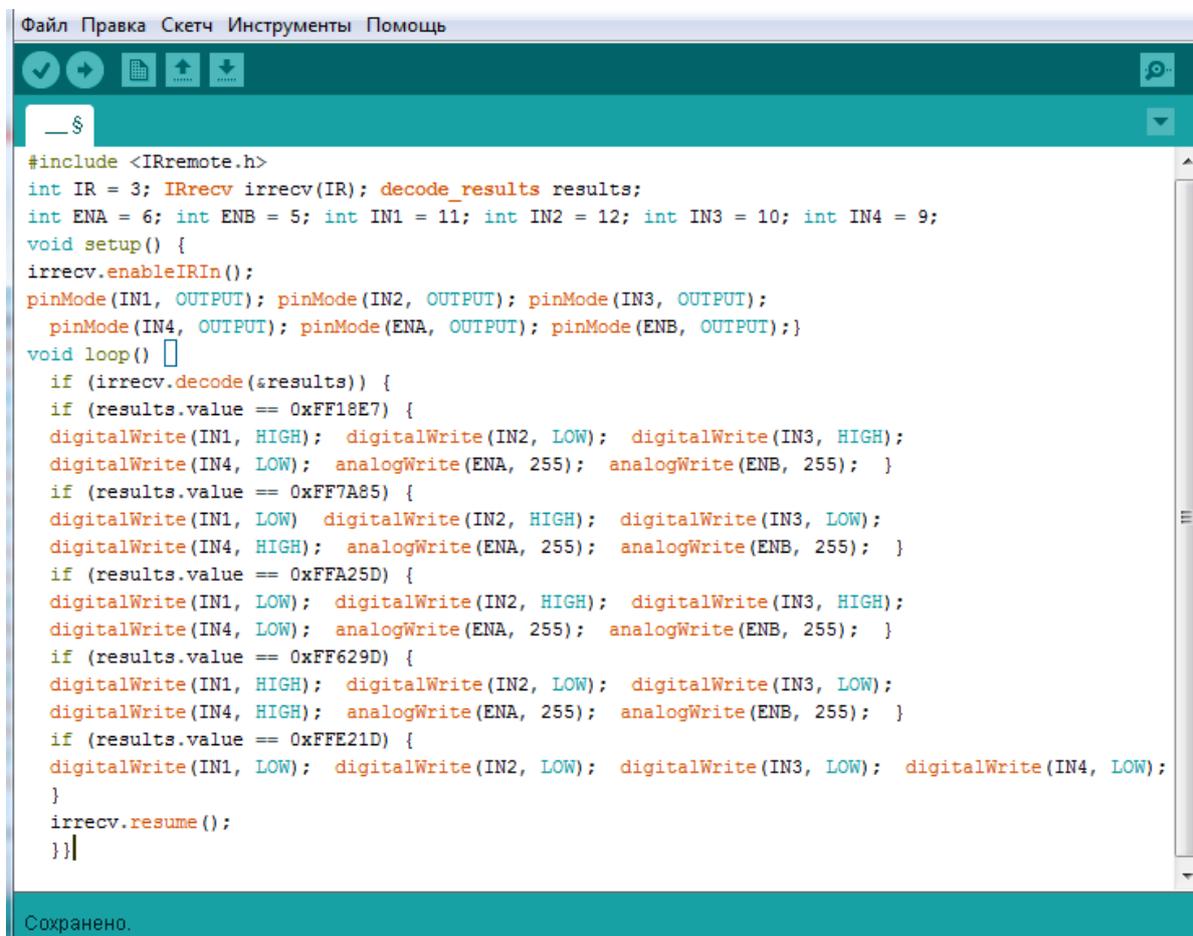


Рис. 4. Программа для управления роботом при помощи пульта ДУ

Испытания разработанного алгоритма (рис. 4) показали его работоспособность: кнопка «1» – движение робота; кнопка «2» – движение назад; кнопка «3» – поворот влево; кнопка «4» – поворот вправо; кнопка «5» – стоп. В процессе эксперимента была выявлена необходимость доработки алгоритма движения в контексте нажатия двух и более кнопок одновременно, т.к. это приводит к зависанию робота в неопределенном состоянии. Дальнейшая работа будет направлена на совершенствование алгоритма.

### Библиографический список

1. Официальный сайт компании Амперка <http://amperka.ru/>. Раздел Сенсоры / ИК-приемник. Режим доступа к ссылке: <http://amperka.ru/product/ir-receiver>. (Дата обращения 30.03.2016 г.).

УДК 681.527.2

**Г. С. Резванов**

магистрант кафедры управления в технических системах

**А. А. Ефимов** – д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ГИРОПЛАТФОРМЫ

В работе рассматривается задача разработки математической модели системы стабилизации гиросtabilизированной платформы (ГСП) для проверки работоспособности устройства управления – усилителя системы (УСС) двигателями ГСП.

Для управления движущимися объектами необходима некоторая опорная система координат. Для этого необходима ГСП, направление осей которой в пространстве относительно направлений осей некоторой абсолютной системы координат остается при движении неизменным.

Структура системы с ГСП представлена на рис. 1.

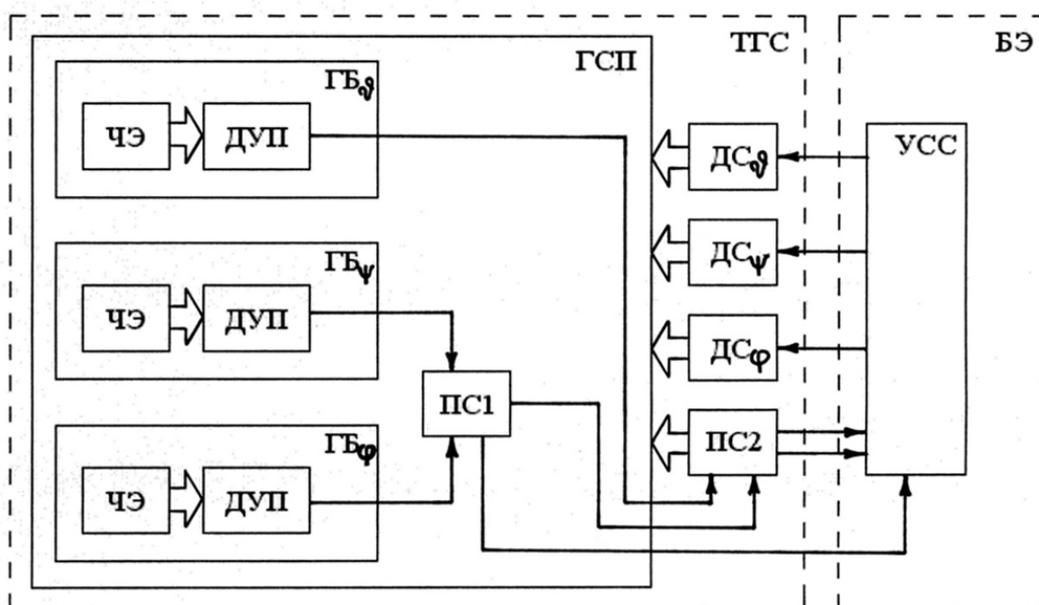


Рис. 1. Структура системы стабилизации

На рис. 1 обозначены: ЧЭ – чувствительный элемент – гироскоп; ДУП – датчик угла прецессии; ГБ – гироблок; ПС1, ПС2 – преобразователи координат; ДС – двигатель стабилизации; ТГС – твердотельная гироскопическая система; БЭ – блок электронный.

Устройство управления по полученным значениям углов прецессии и углов поворота роторов двигателей по трем осям регулирует значение токов в фазах двигателей.

Каждый двигатель системы стабилизации представляет собой трехфазный бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ) обращенной конструкции. Двигатели неявнополюсные. В данной работе рассматривается один тип двигателя, имеющий 16 полюсов. Двигатель имеет следующие параметры: максимальный момент двигателя в заторможенном режиме 0.784 НМ; номинальный рабочий ток 0.6 А; сопротивление фазы постоянному току  $R=25$  Ом; индуктивность фазы  $L=25$  мГн.

Двигатели получают питание от ШИМ-инвертора на выходе УСС (частота ШИМ  $f=25$  кГц) с напряжением в звене постоянного тока +27 В.

При разработке модели использовались следующие допущения. При описании ТГС не учитывалась упругость элементов. Для двигателя были приняты те же допущения, что и в [3].

Поведение ТГС описывается линеаризованной системой, состоящей из уравнения Эйлера-Лагранжа и уравнения Лагранжа второго рода в векторном виде [1].

За основу модели двигателя была взята модель из [3]. Она была адаптирована для данного двигателя.

Рассмотрим поперечное сечение двигателя с одной парой полюсов, изображенное на рис. 2.

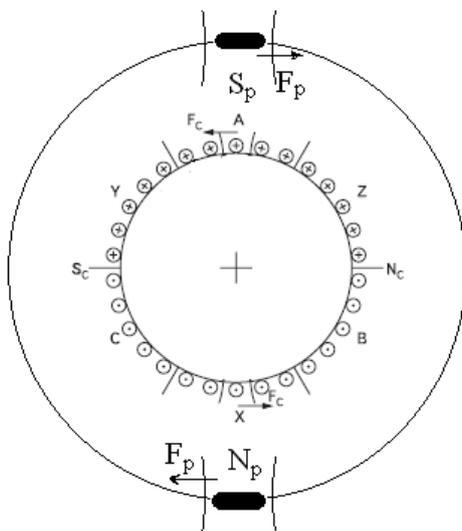


Рис. 2. Поперечное сечение двигателя обращенной конструкции

Направления токов указаны для момента  $t=0$ . Ось магнитного поля статора совпадает с осью обмотки фазы А. Причем, направление силовых линий поля соответствует указанным на рисунке магнитным полюсам статора. Предполагаем, что поле статора вращается по часовой стрелке.

Полагаем, что ток статорной обмотки не сосредоточен в ее проводниках, а распределен вдоль окружности статора. Вращающий момент:

$$M_{em} = \int dM_{em}.$$

Так же как и для двигателя обычной конструкции, для обращенного двигателя элементарный момент находится по формуле:

$$dM_{em} = B(\alpha) \left( \frac{di}{d\alpha} \right) R l d\alpha,$$

где  $B(\alpha)$  – магнитная индукция;  $\alpha$  – относительная длина дуги окружности в радианах, отчитывается от плоскости обмотки фазы А по часовой стрелке;  $R$  – расстояние от оси машины до проводников статора;  $W$  – число витков фазовой обмотки;  $l$  – длина активной части ротора.

При питании от источника напряжения обмотки статора получается следующее выражение для момента двигателя:

$$M_{em} = C_e \left[ -i_b \cos \left( \xi_{el} + \frac{\pi}{3} \right) + i_a \cos \xi_{el} - i_c \cos \left( \xi_{el} - \frac{\pi}{3} \right) \right],$$

$$\xi_{el} = p\xi,$$

где  $\xi$  – угол поворота ротора, он отсчитывается от оси обмотки фазы А до полюса S ротора,  $p$  – число пар полюсов;  $i_a$  – ток в фазе А;  $i_b$  – ток в фазе В;  $i_c$  – ток в фазе С.

Далее рассмотрим электрическую схему статора, изображенную на рис. 3.

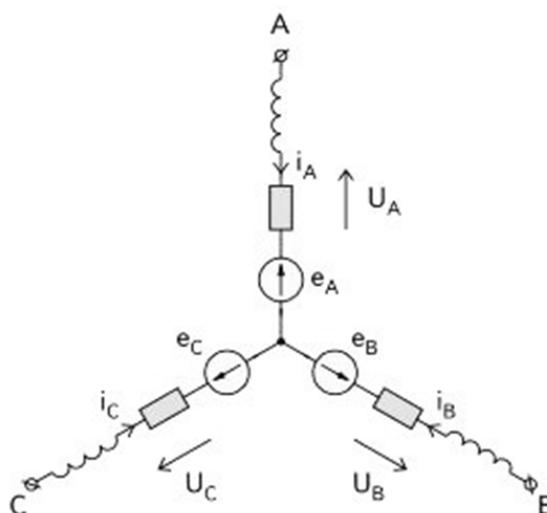


Рис. 3. Схема статора

Учитывая симметрию фазовых обмоток и угол сдвига между их осями в  $2\pi/3$ , можно считать, взаимоиндуктивности одинаковыми и равными  $M$ , тогда уравнения электрического равновесия по закону Кирхгофа:

$$L \frac{di_a}{dt} + r_i i_a - M \frac{di_b}{dt} - \frac{di_c}{dt} = u_a - e_a,$$

$$L \frac{di_b}{dt} + r_i i_b - M \frac{di_a}{dt} - \frac{di_c}{dt} = u_b - e_b,$$

$$L \frac{di_c}{dt} + r_i i_c - M \frac{di_b}{dt} - \frac{di_a}{dt} = u_c - e_c,$$

где  $L$  и  $r$  – индуктивность и активное сопротивление фазы статора;  $e_a, e_b, e_c$  – ЭДС, наводимая постоянными магнитами ротора в обмотке статора;  $u_a, u_b, u_c$  – фазные напряжения;  $M$  – взаимоиндуктивность.

ЭДС описываются [3]:

$$e_a = \frac{C_e}{p} \frac{d\xi_{el}}{dt} \cos\xi_{el},$$

$$e_b = \frac{C_e}{p} \frac{d\xi_{el}}{dt} \cos\left(\xi_{el} - \frac{2\pi}{3}\right),$$

$$e_c = \frac{C_e}{p} \frac{d\xi_{el}}{dt} \cos\left(\xi_{el} - \frac{4\pi}{3}\right).$$

Кроме того:

$$\frac{J}{p} \frac{d^2\xi_{el}}{dt^2} = M_{em} - M_n,$$

где  $J$  – приведенный к ротору синхронного двигателя суммарный момент инерции двигателя и его нагрузки;  $M_n$  – момент нагрузки.

Параметры двигателя можно определить при работе в режиме генератора:  $C_e$  при разомкнутых цепях статора;  $L$  и  $M$  при коротком замыкании. Установлено, что для рассматриваемых двигателей величина  $M$  мала, и ее можно не учитывать.

УСС можно проверить при помощи нагрузки – трех электрических цепей, соединенных звездой как на рис. 3, состоящих из резистора и дросселя.

С помощью рассмотренных выражений для ТГС можно по углам прецессии и углам поворота роторов ДС найти моменты стабилизации. С другой стороны, по измеренным токам в фазах двигателя можно найти момент стабилизации, выдаваемый реальным ДС: поскольку токи в фазах подлежат измерению в любом случае, то напряжения с выхода инвертора можно не измерять, а находить из уравнений; вычислив значения ЭДС и учтя их, можно получить значения токов, которые будут в реальном ДС. Полученные значения моментов следует сравнить.

Таким образом, было получено математическое описание ГСП, которое позволит с помощью описанной выше методики проверить УСС.

Следующий этап работы – перенос моделей в Matlab и обработка входных воздействий на модели.

### Библиографический список

1. Северов Л. А. Гиросtabilизаторы инерциальных систем управления/Издательство Ленинградского университета. Л., 1979. 152 с.
2. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2010. 350 с.
3. Коршунов А. И. Упрощенная математическая модель синхронного двигателя с возбуждением постоянными магнитами //Силовая электроника. 2008. № 2. С. 48-52.
4. Котиков В. И. Математические модели сигналов: пособие к выполнению лабораторных работ/МГТУ ГА. М., 2007. 44 с.
5. Панкратов В. В. Вентильный электропривод: от стиральной машины до металлорежущего станка и электровоза // Электронные компоненты. 2007. № 2. С. 68-77.
6. Герман-Галкин С. Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных устройств на ПК. СПб.: КОРОНА-Век, 2008. 368 с.

УДК 681.5

**Е. М. Семикозова**

магистрант кафедры управления в технических системах

**В. В. Дубаренко** – д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

### СИСТЕМА АВТОФОКУСИРОВКИ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА РАДИОТЕЛЕСКОПА

Радиоизлучения являются удивительными моделями для описания явлений природы и неисчерпаемыми источниками для познания мира. В этой статье сделана попытка приблизиться к пониманию физики процессов, связанных с радиоизлучениями, чтобы упростить их интерпретацию. Противоречие, лежащее в основе идеи корпускулярно-волнового дуализма, связанное с отсутствием предельного перехода от физики поля к физике частиц, ставит нас перед выбором: либо поле, либо поток частиц. Поле проявляется в локальных областях пространства, привязанного к веществу с его плотностью, зарядом, гравитацией сильным и слабым взаимодействиями, зависящими от расстояния. Поток нейтральных частиц не имеет границ распространения и проявляется только при взаимодействии с веществом. Обе модели имеют право на жизнь, выбор определяется тем, какая модель проще.

Отсутствие ясных и простых моделей, описывающих влияние деформаций элементов конструкции зеркальных систем больших радиотелескопов (РТ) на временные и частотные характеристики принимаемых радиосигналов, послужили причиной для разработки новых более адекватных моделей, основанных на несколько иных физических принципах, чем применяемые ранее. Прежде всего, это касается физической природы радиоизлучений (РИ). Наибольшую простоту и ясный физический смысл РИ принимают при представлении их в форме потока частиц [1].

Радиотелескопы предназначены для приема РИ от космических источников радиоизлучений (КИР) с целью извлечения из этих излучений информации о самих объектах и условиях ее передачи (рис. 1).

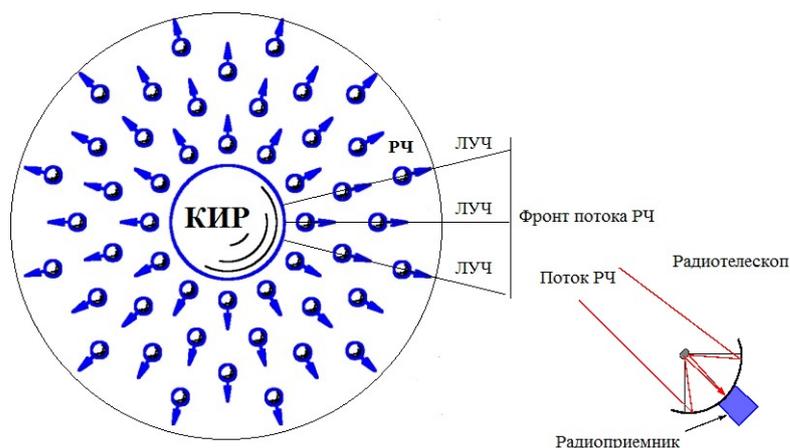


Рис. 1. Прием радиоизлучений космического источника

РИ представляют собой потоки радиочастиц (РЧ), распространяющиеся во Вселенной со скоростью света и проявляющие себя в результате взаимодействия

с материальными объектами, вызывая процессы, которые могут быть зарегистрированы и интерпретированы известными способами (например, электрический ток в проводнике) [2].

Теоретическую основу взаимодействия РЧ с веществом составляет формула  $E = h\nu$ , связывающая кинетическую энергию  $E$ ,  $N$  РЧ с суммарной массой  $m = m_0 N$ , с энергией  $h\nu$ , передаваемой элементу (пикселю) вещества, пропорционально частоте облучения этого пикселя  $\nu = \frac{N}{T}$ , где:  $m_0$  – масса одной РЧ;  $h$  – коэффициент пропорциональности (постоянная Планка);  $T$  – время, за которое на пиксель падает  $n$  РЧ.

Для механической системы, состоящей из одной РЧ, запишем второй закон Ньютона:  $m_0 \mathbf{a} = \mathbf{F}$ ,  $\mathbf{F}$  – есть сила, действующая на РЧ;  $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$ . Перемещение частицы обозначим  $ds = v dt$ , тогда  $\mathbf{F} ds = m_0 \mathbf{a} ds = m_0 \frac{dv}{dt} v dt = d(\frac{m_0 v^2}{2})$ . Если внешние по отношению к системе силы отсутствуют, или равнодействующая всех сил равна нулю, то  $d(\frac{m_0 v^2}{2}) = 0$ , а величина  $\frac{m_0 v^2}{2} = h\nu$  остается постоянной. Эта величина называется кинетической энергией частицы. Кинетическая энергия РЧ, после замены  $v$  на  $c$ , равна  $E_0 = \frac{m_0 c^2}{2}$ , тогда  $m_0 = \frac{2h}{c^2}$ , где  $c$  – скорость света.

Одной из основных аксиом корпускулярной концепции радиосвязи является допущение, что частота  $\nu$  характеризует число РЧ в единицу времени:  $\nu = N/T$ , где:  $N$  – число РЧ,  $T$  – заданное время излучения  $N$  РЧ, тогда  $\lambda = c/\nu = cT/N$ ,  $\lambda$  – совпадает с длиной волны излучения. Обозначим  $m = m_0 N$  как суммарную массу  $N$  РЧ.

$$E = mc^2/2 = h\nu = NE_0 = Nm_0 c^2/2 = hN/T.$$

Значение массы РЧ при  $N = 1 \text{ РЧ}$ ,  $T = 1 \text{ с}$ ,  $\nu = 1 \text{ РЧ} / \text{с}$ ,  $m_0 = 2h/c^2$ :  
 $h = 6.62606896(33) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ .

Скорость света в вакууме  $c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ .

Масса РЧ:  $m_0 = 2 \cdot (6.6260689633 \cdot 10^{-34}) / (2.99792458 \cdot 10^8)^2 \text{ Дж} \cdot \text{с} / (\text{м}^2 / \text{с}^2)$ ;

$m_0 = 14.745061072833764 \cdot 10^{-51} \text{ кг}$ .

Кинетическая энергия РЧ при частоте излучения 1 РЧ в секунду:

$$E_0 = m_0 c^2 = 13.2521379266 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} = 8.27133466 \cdot 10^{-15} \text{ эВ}.$$

Основной задачей системы приема радиоизлучений является определение оценок их характеристик и параметров. Получение таких оценок зависит от выбранных моделей, методов и средств процесса наблюдения РИ. Главными элементами, участвующими в наблюдении, и для которых требуется физическое и математическое описание в явном виде являются:

- принимаемый поток РИ (ППР),
- зеркальная система (ЗС) антенного устройства (радиотелескопа) РТ,
- система наведения ЗС РТ,
- чувствительный твердотельный многопиксельный элемент (ЧЭ) приемного устройства, преобразующий ППР в сигнал, по которому определяются требуемые оценки посредством радиоприемника (РП).

Зеркальная система радиотелескопа предназначена для фокусировки пучка лучей на плоскость ЧЭ для увеличения их плотности. В идеальной схеме ЗС лучи сходятся в одной точке. Деформации конструкции РТ приводят к расфокусировке, т.е. к отклонению длин оптических путей лучей от идеальных. В результате точка фокуса на плоскости ЧЭ смещается и «размывается» (рис. 4).

Множество точек пересечения лучей с плоскостью ЧЭ образуют область (пятно), положение и диаметр которого служат оценками эффективности фокусирующих свойств ЗС [2].

Известны различные схемы ЗС РТ, называемые оптическими, среди которых наибольшее распространение получили двух- (рис. 2) и трехзеркальные схемы (рис. 4).

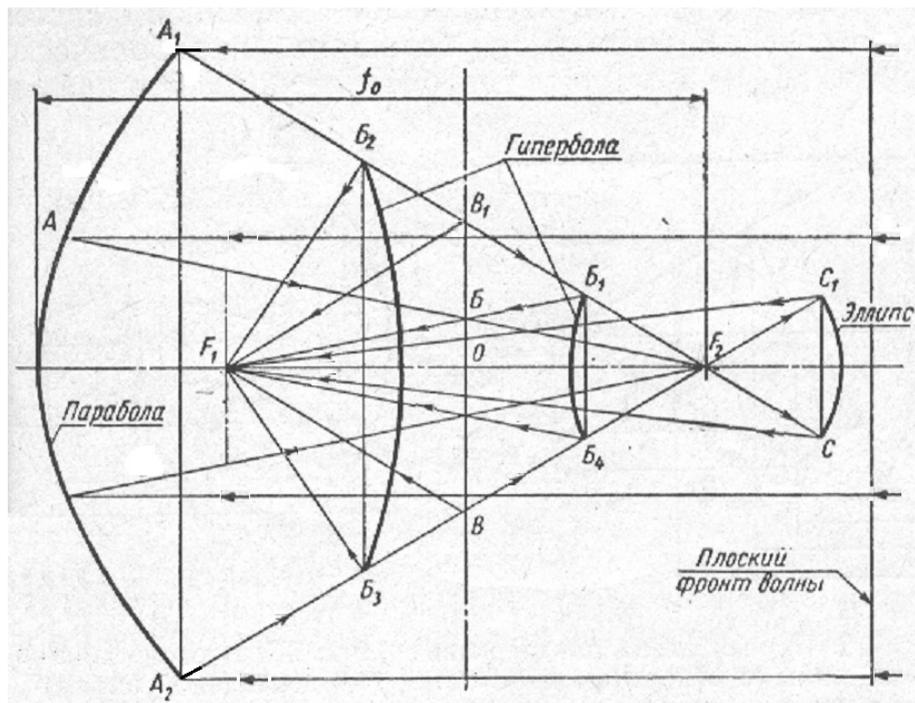


Рис. 2. Ход лучей РИ в 2-зеркальной системе РТ

Система автоматического управления РТ (рис. 3) обеспечивает наведение ЗС на космические источники РИ в мм диапазоне с заданным качеством. Основное ее назначение – перемещение элементов ЗС и радиоприемного устройства в положение, обеспечивающее наилучшие условия приема РИ [2].

Наилучшими условиями приема РИ являются условия, при которых в процессе наведения:

- реальная геометрическая схема конструкции ЗС РТ совпадает с теоретической оптической схемой ЗС,
- направление фокальной оси совпадает с направлением на космический источник РИ,
- отражающие поверхности зеркал конструкции ЗС РТ совпадают с теоретическими расчетными поверхностями этих зеркал.

Несовпадение указанных факторов ведет к ошибкам наведения РТ. Это приводит к несовпадению (расфокусировке) координат фазовых центров ЗС и облучателя радиоприемника, ухудшению условий приема, вплоть до его срыва. Это происходит вследствие деформаций из-за действия гравитационных сил и ветровых нагрузок, неравномерного нагрева и охлаждения [3]. Предлагаемый ниже подход к расчету оценок влияния деформаций конструкции РТ на параметры и

характеристики ППР дает возможность путем измерения этих деформаций исключить или уменьшить их вредное влияние.

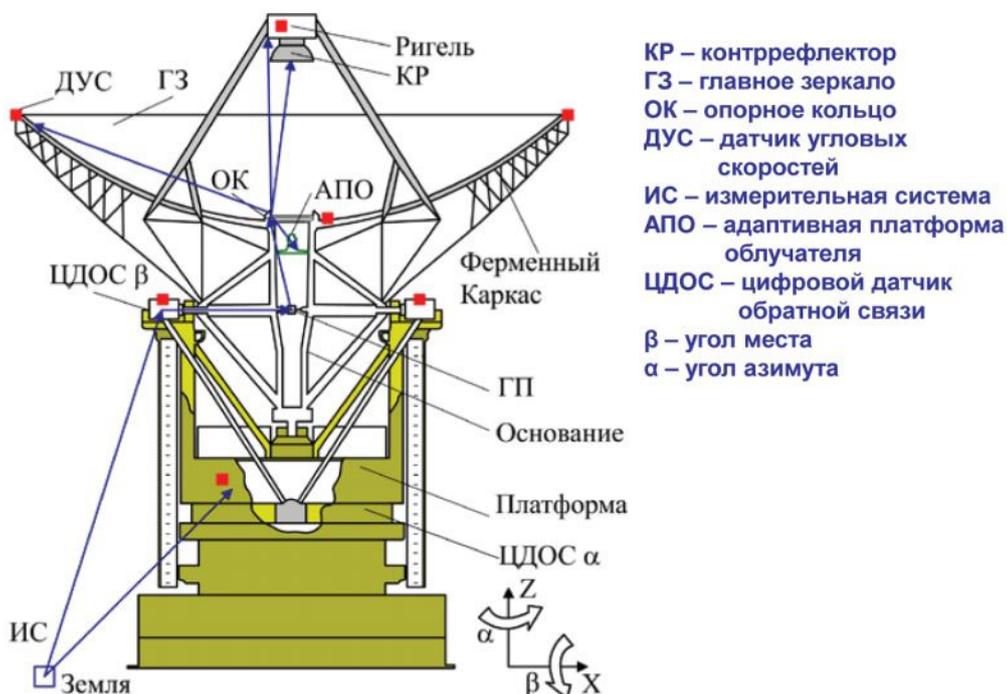


Рис. 3. Система автоматического управления РТ

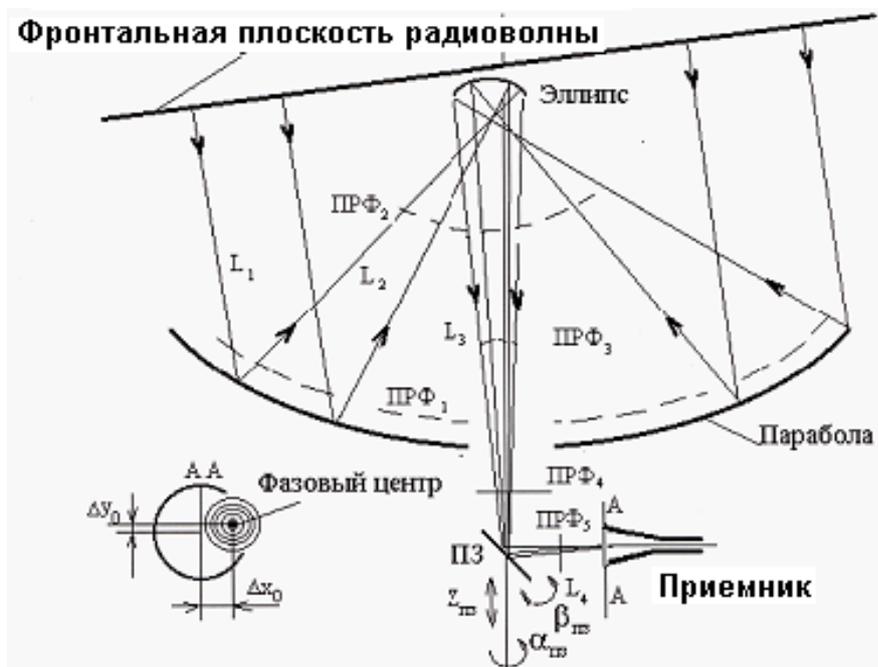


Рис. 4. Трехзеркальная система РТ

Основная задача приемника состоит в преобразовании РИ в иные формы (например, в механическую, электрическую или тепловую), измеряя которые лабораторными физическими методами, можно делать выводы о характеристиках принимаемого РТ сигнала.

Приемники излучения (ПИ) – это устройства для преобразования сигналов РИ (в диапазоне от рентгеновских лучей с длиной волны  $l=10^{-9}$  см до радиоволн с  $l=10^{-1}$  см) в сигналы другой физической природы с целью их обнаружения и изучения информации, которую они несут. Преобразование сигналов в приемниках излучения осуществляется в процессе взаимодействия потока РИ с тем или иным веществом: поток РИ, попадающий на чувствительный элемент приемника, изменяет энергетические состояния электронов, атомов или молекул вещества, и эти изменения регистрируются.

Существуют различные типы ПИ, в которых используются вещества в разных агрегатных состояниях. Так, например, излучение может ионизовать газ, вызывая в нем электрический разряд; в этом случае регистрируется импульс тока или напряжения, а ПИ называется счетчиком фотонов. Возможна регистрация увеличения объема газа, нагреваемого поглощенным излучением; таков принцип действия оптико-акустических (пневматических) ПИ. Самую обширную группу составляют приемники излучения чувствительного к излучению твердого вещества. К ним относятся болометры, у которых при поглощении излучения меняется сопротивление электрическому току; термоэлементы, которые реагируют на нагрев излучением появлением термо-ЭДС; сегнетоэлектрики – при взаимодействии с излучением образуют на поверхности статический электрический заряд. В фотоэлектрических ПИ излучение непосредственно воздействует на электроны вещества (главным образом в явлениях внешнего и внутреннего фотоэффекта).

Важный параметр любого ПИ – отношение полезного сигнала к уровню помех; в процессе преобразования ПИ не должен существенно ухудшать эту величину. Способность ПИ регистрировать сигналы минимальной длительности характеризуется его постоянной времени. Для практических целей важны такие характеристики ПИ, как коэффициент преобразования и пороговая чувствительность – величина минимального сигнала, обнаруживаемого ПИ.

Чувствительность лучших счетчиков и фотоумножителей такова, что позволяет регистрировать отдельные фотоны падающего излучения. ПИ инфракрасного диапазона менее чувствительны. Величина  $D^*$ , обратная пороговой чувствительности ПИ, отнесенной к единице полосы рабочих частот и к единице площади приемной поверхности, для тепловых ПИ достигает  $10^9$ , для фотоэлектрических –  $10^{12}$  (для  $l \sim 3$  мкм) и  $10^{10}-10^{11}$  (для  $l \sim 1000$  мкм), постоянная времени электроннооптических преобразователей – до  $10^{-12}$  сек, специальных фотоэлементов – до  $10^{-9}$  сек, фотоэлектрических ПИ с внутренним фотоэффектом –  $10^{-7}$  сек, в некоторых случаях (например, у примесных фотосопроводителей) – до  $10^{-10}$  сек, тепловых ПИ – до  $10^{-9}$  сек, но чаще (при высоких  $D^*$ )  $10^{-2} - 10^{-3}$  сек.

Применение матричных приемников, представляющих собой пакет облучателей, упакованных в матрицу, позволяет снизить требования к точности наведения РТ на космический источник РИ и одновременно увеличить разрешающую способность за счет одновременного приема сигнала на несколько облучателей.

На рис 5. Показана матрица болометров, предназначенная для приема РИ от точечного источника. Изображение точечного источника фокусируется ЗС РТ на матрицу условно в виде пятна желтого цвета. Наибольшая эффективность приема достигается, если пятно сместить в центр матрицы. Для этого нужно развернуть главное зеркало РТ в направлении зеленой стрелки. Один из методов определения направления перемещения в системах автосопровождения РТ – суммарно-разностный метод обработки сигналов, снимаемых с болометров ее участков, обозначенных S1-S4. Если выполняется условие  $\frac{(S1+S2)-(S3+S4)}{S1+S2+S3+S4} < 0$ , то происходит

перемещение вправо; если  $\frac{(S1+S4)-(S2+S3)}{S1+S2+S3+S4} > 0$ , происходит перемещение вверх.

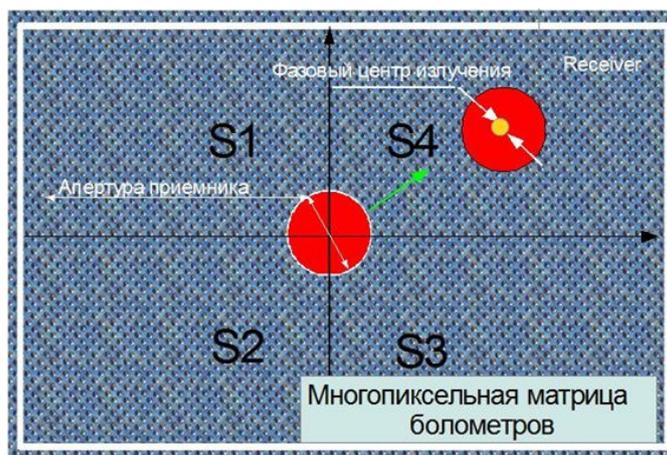


Рис. 5. Суммарно-разностный метод обработки сигналов на матрице болометров

Главной характеристикой выходного сигнала приемника является диаграмма направленности (рис. 6), которая показывает зависимость мощности принимаемого сигнала от отклонения антенны от направления на КИР [2].

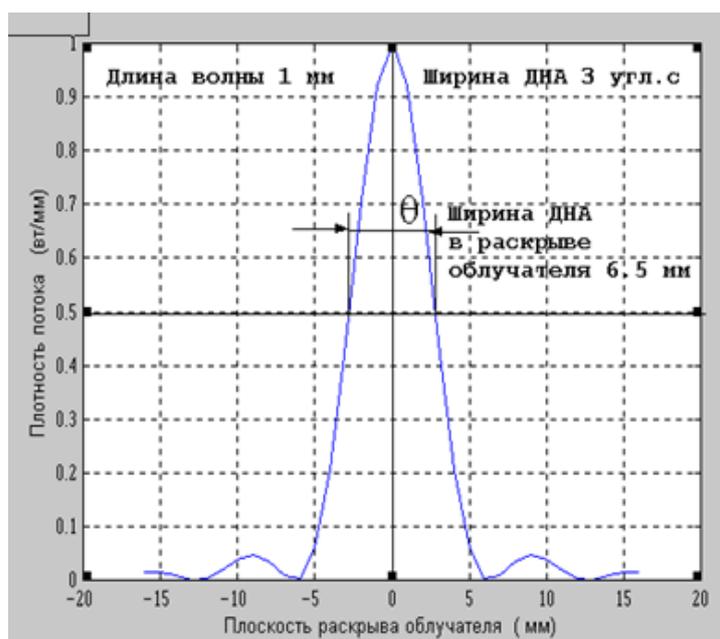


Рис. 6. Диаграмма направленности облучателя

При наведении ЗС удовлетворительным считается наведение, при котором угловое рассогласование (ошибка) между координатами источника РИ и фокальной оси главного зеркала не превышает 10% от диаграммы направленности. Например, для радиотелескопа РТ-70, работающего в мм диапазоне, ширина диаграммы направленности не превышает 3 угл. с, таким образом, требуемая точность составляет 0,3 угл. с [2].

Для РТ-70 точность в основных режимах работы его системы управления такова:

- позиционирование фокальной оси ЗС в заданное угловое положение:
- с наземной измерительной системой – 5 угл. с,

- с инерциальной гироскопической системой ориентации – 3 угл. с,
- с фотогидом – 2.5 угл. с,
- с панорамным матричным многопиксельным приемником – 0.25 угл. с;
- слежение за источником РИ по программе:
  - без применения в приводах наведения гироскопических датчиков угловых скоростей (ДУС) – 7 угл. с,
  - с применением ДУС – 3 угл.с;
- слежение за источником РИ по его радиосигналам в режиме «автосопровождение» с применением матричного приемника – 0.5 угл. с;
- слежение за источником РИ в комбинированном режиме «программа» + «автосопровождение» с применением матричного приемника, с коррекцией статической ошибки наведения – 0.25 угл. с.

Основной режим работы РТ – это программное наведение, слежение за заданной траекторией космического источника РИ. Угловые координаты КИР обычно задаются в системе координат, связанной с географическим местом Земли, в котором установлен РТ (Система координат Земли). Эта система координат является базовой, все остальные должны быть к ней привязаны. Относительно базовой системы координат рассчитывается программа целеуказания КИР, в которой для дискретных моментов времени с высокой точностью учитываются все астрономические и астрофизические поправки, связанные с нутацией, прецессией, параллаксом и др. отклонениями Земли как динамического объекта, движущегося в мировом пространстве. Положение элементов ЗС определяется по результатам измерений в системе координат опорного кольца, и для преобразования полученных координат элементов к базовой системе необходимо решить задачу измерения положения системы координат опорного кольца в системе координат Земли. Для этого вокруг РТ устанавливается высокоточная следящая система, непрерывно измеряющая координаты цапфенных узлов, которые перемещаются в процессе наведения. Их значения определяют положение горизонтальной оси, через положение которой осуществляется привязка системы координат опорного кольца к системе координат Земли.

В системе координат опорного кольца проводится расчет координат аппроксимирующих отражающих поверхностей ГЗ и КР, а также координат фазовых центров, принимаемого РИ, определяющих желаемое положение облучателя (рис. 7). Координаты фазового центра, с помощью электродинамической или корпускулярной модели ЗС, рассчитываются как функции отклонений элементов ЗС, вызванных жесткостью ее конструкции, от теоретических значений, которые имели бы место, если бы конструкция была бы абсолютно жесткой [2].

В точках пересечения лучей с плоскостью ЧЭ вещество, из которого он состоит, подвергается импульсному воздействию РЧ с частотой следования импульсов, определяющей расстояниями между РЧ вдоль луча.

Физическая модель взаимодействия излучения с веществом соответствует представлению, что поток РЧ, взаимодействуя с веществом, вызывает в нем колебательные процессы, подобные серийному ударному воздействию множества твердых тел малой массы на тело большой массы. В результате такого воздействия, в веществе, на которое падает поток излучения, происходят колебательные динамические процессы изменения во времени: температуры, поглощения РЧ, вторичная эмиссия РЧ, выбивание электронов (рассеяние на электроны) и др. эффекты, подтвержденные экспериментом.

Простейшей математической интерпретацией процесса взаимодействия РИ с веществом является модель осциллятора (колебательного звена), на который воздействует сигнал в виде последовательности импульсов. На выходе осцилля-

тора, в зависимости от физических свойств вещества чувствительного элемента, образуется сигнал в виде напряжения, тока и других физических величин и процессов, которые можно измерить и получить оценки параметров принимаемого излучения.



Рис. 7. Основная расчетная схема системы наведения РТ

Интервал времени, разделяющий импульсы, определяется разностью длин оптических путей РЧ от фронта потока излучения до чувствительного элемента радиоприемника.

Математическая модель чувствительного элемента радиоприемника соответствует модели нелинейного осциллятора. Так как разность длин оптических путей РЧ зависит от деформаций элементов фокусирующей системы антенны, то по сигналу на выходе осциллятора вычисляются оценки эффективности радиоприема. К таким оценкам относятся характеристики направленности антенны, качества ее отражающих поверхностей, а также характеристики мощности и спектра излучения. Указанные оценки послужили основой для разработки метода управления адаптивными элементами приемной антенны [2].

На рис. 8 показана трехзеркальная схема РТ. Из схемы видно, что оптические пути лучей РИ от его фронтальной плоскости, после трехкратного отражения от элементов ЗС, могут иметь не одинаковую длину по сравнению с идеальным случаем отражения, когда РЧ всех лучей от фронта радиоволны приходят в фокусы Грегори, либо в фокус Несмита одновременно. Физически это означает – приходят в одной фазе.

На рис. 9 показана схема двухзеркальной ЗС, в которой направление фокальной оси не совпадает с направлением на КИР на угол  $\Delta\alpha$ . Это приводит к смещению вторичного фокуса на расстояние  $\Delta x$ , а это, в свою очередь – к уменьшению энергии РИ, попадающей в РП.

При отклонении элементов ЗС от своего теоретического положения и при отклонении фокальной оси главного зеркала от направления на КИР, РЧ придут в фокусы в разное время, или, применительно к импульсным характеристикам чув-

ствительного элемента приемника – в разной фазе. Сложение гармонических сигналов одной частоты с разными фазами равносильно сложению фаз. Это обстоятельство определяет простой алгоритм численного расчета влияния смещений элементов ЗС на характеристики суммарного выходного сигнала приемника, несущего полезную информацию о КИР. Для этого фронтальная плоскость потока излучения в апертуре главного зеркала разбивается на заданное число лучей и для каждого луча методами геометрической оптики рассчитывается оптический путь РЧ. Путь пересчитывается в фазу, фазы складываются и в конечном итоге, определяется величина изменения амплитуды суммарного радиосигнала от факторов отклонения элементов ЗС от их теоретического положения.

Точность наведения ЗС РТ обеспечивается системой управления, которая включает в себя систему измерения вектора состояния элементов конструкции РТ относительно выбранной системы координат и приводы наведения.

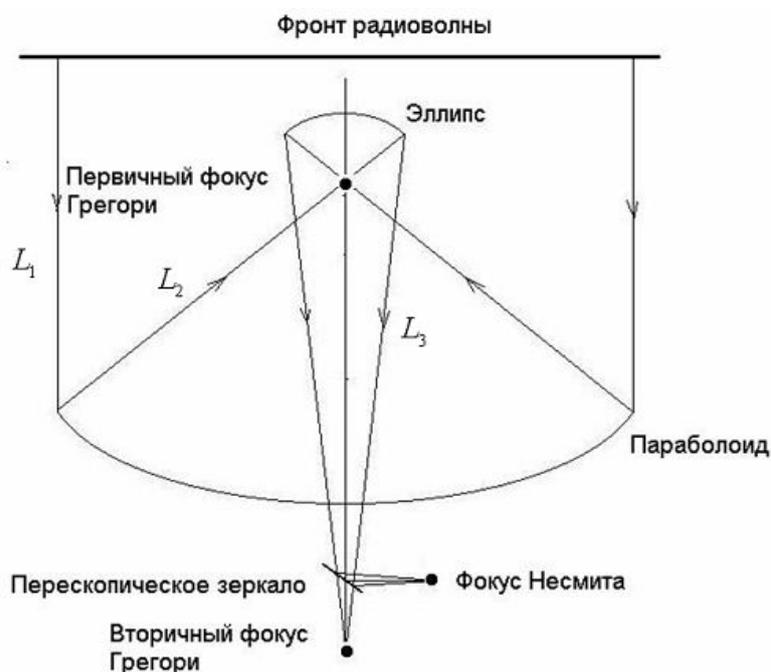


Рис. 8. Ход лучей в трехзеркальной системе РТ

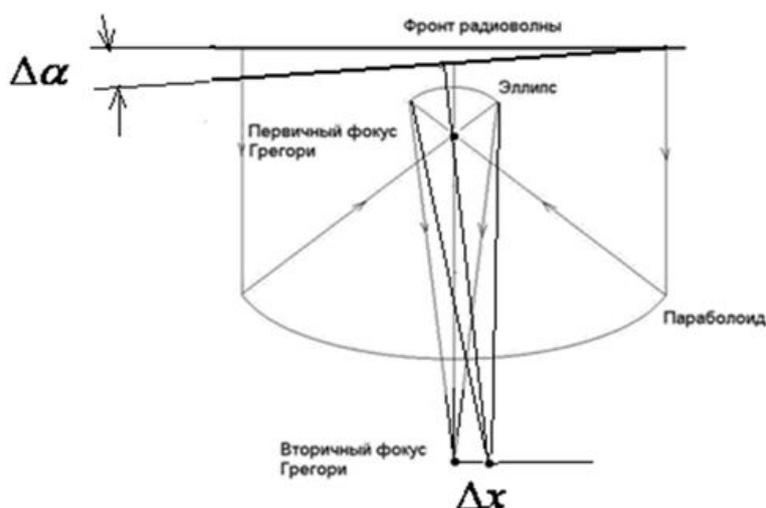


Рис. 9. Смещение вторичного фокуса в двухзеркальной системе РТ

Система управления большим РТ состоит из четырех основных контуров (рис. 10).

Контур управления ГЗ. Наведение ГЗ осуществляется по углу азимута и углу места так, чтобы фокальная ось аппроксимирующего параболоида, построенного по методу наименьших квадратов по измерениям реперных точек поверхности ГЗ, совместилась с линией визирования космического источника РИ.

Контур управления КР. Положение КР изменяется так, чтобы фокус и фокальная ось АП ГЗ и фокус и фокальная ось АЭ КР совместились с минимальными ошибками.

Контур управления адаптивной поверхностью ГЗ. Положение щитов ГЗ меняется при помощи электромеханических актуаторов так, чтобы обеспечить минимальное среднеквадратическое отклонение профиля поверхности от рассчитанного АП ГЗ.

Контур автофокусировки приемника. По данным о координатах космического источника РИ и взаимном положении элементов ЗС с измерительной системы и наблюдателя пространственной металлоконструкции с помощью электродинамической модели ЗС рассчитываются координаты фазового центра. Затем определяется управление, выдаваемое на привод адаптивной платформы облучателя, чтобы система координат (СК) приемника совместилась с СК фазового центра [2].

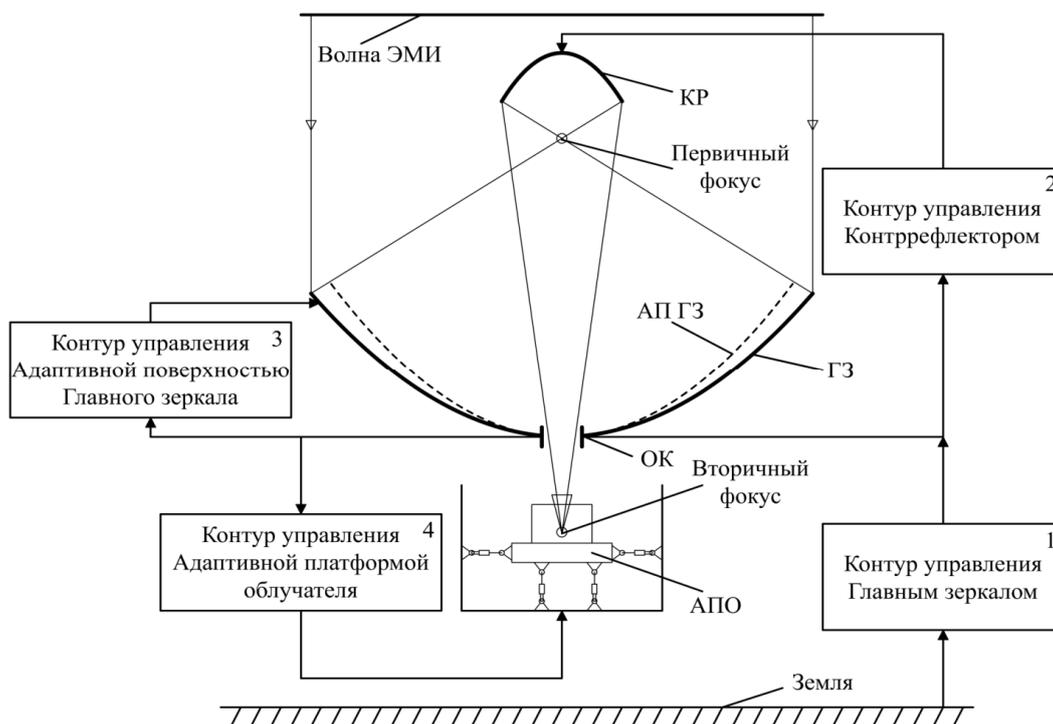


Рис. 10. Контур управления зеркальной системой РТ

Выводы.

1. Радиоприем целесообразно вести на матричный приемник, расположенный во вторичном фокусе. Так как положение фокуса изменяется во времени, положение приемника должно изменяться в пространстве за счет установки его на

специальную управляемую адаптивную платформу и перемещению по управляющим воздействиям, вычисляемым посредством электродинамической или корпускулярной моделей ЗС.

2. Корпускулярная модель радиоизлучения, основой которой является поток РЧ, не взаимодействующих между собой, принципиально отличается от ее полевой модели невозможностью интерпретации физических эффектов, таких как интерференция, дифракция и поляризация, без взаимодействия РИ с веществом.

3. Корпускулярно-волновой дуализм не устраняет противоречий, связанных с проявлением радиоизлучением волновых свойств, которые приписываются ему без его воздействия с веществом.

4. Выражение «фотон на заданной частоте» теряет смысл, а в формуле  $E = mc^2 = h\nu$  под  $m$  следует понимать суммарную массу числа РЧ, излучаемых или принимаемых в единицу времени.

5. Изложенная интерпретация процессов приема-передачи радиоизлучений не нарушает законов сохранения энергии при взаимодействии РЧ с веществом, но упрощает расчеты частотных и временных характеристик радиосигналов.

6. Существенно упрощаются расчеты оценок влияния отклонений (или деформаций) элементов конструкций зеркальных систем антенн на характеристики полезных сигналов, в том числе на диаграммы направленности, спектры, коэффициенты использования поверхности и др.

### Библиографический список

1. Фейнман Ричард. Richard Feynman. КЭД — странная теория света и вещества. Пер. с английского О.Л.Тиходеевой, С.Г.Тиходеева.(выпуск 66 серии "библиотека квант")М., Наука, 1988 — 144 с.
2. Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю., Артеменко Ю.Н. Радиотелескопы СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. — 546 с.
3. Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю., Метод повышения качества наведения большого радиотелескопа миллиметрового диапазона с адаптивной зеркальной системой / Информационно-управляющие системы - 2007. -№5.

УДК 621

**Е. Ю. Симагин**

студент кафедры инновационных технологий в электромеханике и энергетике

**А. И. Савельев** — научный сотрудник лаборатории речевых и многомодальных интерфейсов Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук — научный руководитель

### РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТРЕХМЕРНЫХ ДАННЫХ

Компьютерная графика является неотъемлемой частью современной жизни, ее можно использовать в различных отраслях, от простейшего отображения картинок, до визуализации сложнейших архитектурных конструкций. Существует множество подходов для реализации трехмерной графики в виде про-

граммного обеспечения, например трехмерные движки, спецификации программных интерфейсов и библиотеки. Кроме различных средств реализации трехмерной графики существуют алгоритмы, которые позволяют обрабатывать, преобразовывать и модифицировать трехмерные объекты. Такие алгоритмы позволяют легко моделировать сложные графические решения, используемые в конечных программных продуктах [1]. Описанный в статье алгоритм можно применять в сферах 3D-проектирования, 3D-сканирования, технического зрения.

### Описание алгоритма

Целью данной работы является разработка алгоритма, преобразующего точки трехмерного пространства в объекты. Необходимость разработки данного алгоритма вызвана тем, что данные, полученные в результате 3D-сканирования, представляют собой бессвязный набор точек. Алгоритм должен определять принадлежность набора точек к объекту исходя из положения точек в пространстве. Для решения проблемы разбиения набора точек на объекты был изучен алгоритм наращивания областей (Region Growing) [2]. Наращивание областей позволяет разбивать (сегментировать) изображения на области или сектора, отличающиеся друг от друга по определенным параметрам, например, по цвету или яркости. Алгоритм является пороговым, т.е. он сравнивает значения параметров по определенному порогу значений [3, 4]. Опишем вкратце работу алгоритма наращивания областей для двумерных изображений:

- 1) выбирается произвольная точка (ядро), не входящая ни в один регион, и берется за основу для выращивания региона;
- 2) соседние точки ядра сравниваются с ядром по выбранным характеристикам. Если точки удовлетворяют условиям, они добавляются в регион. Таким образом, регион растет (выращивается);
- 3) область растет до тех пор, пока есть удовлетворяющие условиям соседние точки;
- 4) когда выращивание области заканчивается, работа алгоритма возвращается к пункту 1.

Алгоритм используется для обработки двумерных изображений, но при незначительной модификации входных и выходных параметров его можно приспособить для обработки любых массивов данных. Рассмотрим массив, содержащий точки трехмерного пространства. В качестве характеристик, используемых в модифицированном алгоритме наращивания областей, будем использовать расстояния между точками. Модифицируем данный алгоритм исходя из условий поставленной выше задачи, в частности, этап определения соседних точек. После того, как наборы точек были преобразованы в области (рис. 1,а), появляется необходимость нахождения ключевых точек, с помощью которых можно построить объект в трехмерном пространстве. Для этого необходимо в наборе точек определенной области вычислить плоскости путем построения векторов. После нахождения плоскостей можно найти ключевые точки, принадлежащие плоскостям. Функция определения, к какому объекту относится плоскость, осуществляется с помощью формул пересекающихся плоскостей. После выполнения операций над плоскостями происходит построение объектов по ключевым точкам (рис. 1,б).

Алгоритм объединения точек в регион начинает свою работу с инициализации массива точек  $A$ . Массив точек  $A$  – это данные, полученные, например, в результате 3D-сканирования. Создается цикл с предусловием, который будет выполняться до тех пор, пока будут точки в массиве  $A$ . Выбирается произвольная

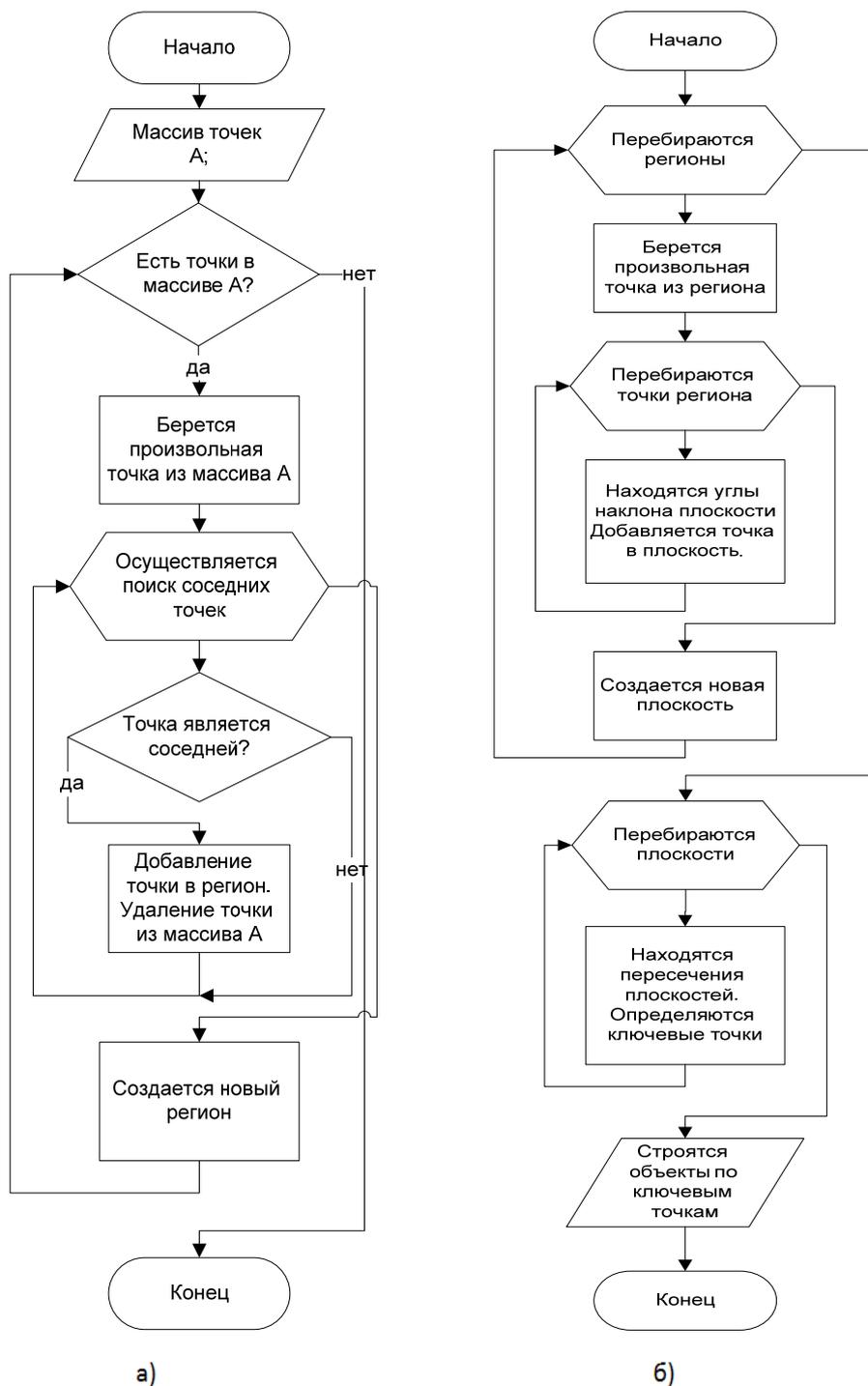


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

а) объединение точек в регионы; б) определение ключевых точек и плоскостей

точка (например, точка  $C$ ) из массива  $A$ . Создается вложенный цикл для выборки и сравнения других точек (например, точка  $M$ ) из массива  $A$ . Соседство точек определяется путем построения вектора из точки  $C$  в точку  $M$ ; если длина вектора удовлетворяет условиям, то точки считаются соседними. Найденные соседние точки записываются в массив областей, при этом удаляются из массива  $A$ . Когда выращивание области заканчивается, программа выходит из вложенного цикла и возвращается в начало цикла с предусловием. Выходные данные алгоритма представляют собой области, состоящие из точек, относя-

щихся к определенным объектам. После получения массива областей определяется, к каким плоскостям принадлежат точки. Это обеспечивает упрощение дальнейшего нахождения ключевых точек. После нахождения плоскостей необходимо найти ключевые точки, которые требуются для построения объекта в трехмерном пространстве. Далее определяются ключевые точки при помощи уравнений пересекающихся плоскостей. Вывод объектов производится путем моделирования плоскостей по ключевым точкам. Для нахождения ключевых точек и построения трехмерных объектов на основе регионов был разработан алгоритм, изображенный на рис 1,б.

Алгоритм определения плоскостей и ключевых точек начинает свою работу с создания цикла по перебору регионов. Берется произвольная точка региона (например, точка *B*). Создается вложенный цикл, перебирающий точки региона. Строится вектор из точки *B* в ближайшие точки в регионе. Вычисляются углы направлений векторов, позволяющие определить уравнение плоскости. Точки сохраняются в массив плоскостей. Вложенный цикл заканчивает свою работу. Создается новая плоскость. После того как были перебраны все точки регионов, цикл завершает свою работу. Создается цикл, перебирающий массив плоскостей, в котором находятся ключевые точки при помощи уравнений пересекающихся плоскостей. После завершения цикла идет построение объектов по полученным ключевым точкам.

В качестве критериев выбора средств реализации были выделены следующие характеристики языка программирования:

- поддержка объектно-ориентированного программирования (ООП);
- отсутствие статической типизации данных;
- кроссплатформенность;
- высокая скорость разработки и низкий порог вхождения;
- простота разработки компонентов визуализации.

Рассматривались следующие языки программирования: C++, Python, JavaScript, а также следующие графические движки: Panda3D, OpenGL, Blend4Web. Для реализации поставленных задач был выбран прототипно-ориентированный сценарный язык программирования JavaScript (далее JS) и графический движок Blend4web. В JS поддерживается динамическая типизация – прием, при котором переменная связывается с типом в момент присваивания значения, а не в момент объявления переменной [5], что облегчает процесс разработки. Критерий кроссплатформенности обеспечивает удобство использования разработанного программного обеспечения: его можно запустить на любом устройстве, имеющем интернет-браузер. JS обладает технологией автоматического управления памятью, что избавляет разработчика от манипуляций с памятью, тем самым упрощая и увеличивая скорость разработки. Результаты работы алгоритма представлены на рис. 2.

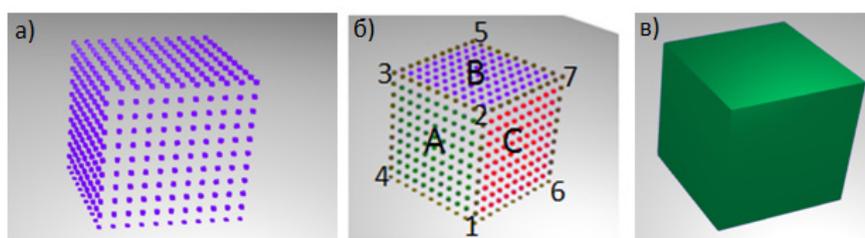


Рис. 2. Результаты работы алгоритма: а) исходный массив точек; б) результат выполнения модифицированного алгоритма наращивания областей; в) результат алгоритма построения объекта по ключевым точкам

Рис. 2,а демонстрирует исходный набор точек, полученный при помощи 3D-сканера. На рис. 2,б представлена работа алгоритма наращивания областей. Для наглядности они изображены зеленым, синим и красным цветом и подписаны (А, В, С). Коричневым цветом окрашены ключевые точки, с помощью которых будет построен объект (точки 1–7). На рис 2,в представлен результат выполнения всех алгоритмов – построенный по ключевым точкам трехмерный объект.

### Заключение

На основании идеи алгоритма наращивания регионов был разработан и реализован свой алгоритм, позволяющий разбивать наборы точек на регионы, находить ключевые точки и строить по ним объекты. В дальнейшем планируется доработка этого алгоритма для обработки более сложных объектов.

### Библиографический список

1. Петров М.Н., Молочков В.П. Компьютерная графика. СПб.: Питер, 2010. 736 с.
2. Pratt W. K. Digital Image Processing. 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Los Altos, California, 2007, 812 p.
3. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. 604 с.
4. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М.: Радио и связь, 1988. 376 с.
5. Флэнаган Д. JavaScript. Подробное руководство./ Пер. с англ. СПб: СимволПлюс, 2008. 992 с.

УДК 621

**П. А. Смирнов**

студент кафедры управления в технических системах

**М. М. Бизин** – младший научный сотрудник лаборатории автономных робототехнических систем Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИИ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА В СРЕДЕ SOLIDWORKS

Независимо от промышленной отрасли или вида работы роботы-манипуляторы, которые практически полностью могут заменить работу человека, являются универсальными. Манипулятор – механизм для управления пространственным положением орудий, объектов труда и конструктивных узлов и элементов. Это значение закрепилось за словом в середине XX в. благодаря применению сложных механизмов для манипулирования опасными объектами в атомной промышленности. Манипуляторы делятся на управляемые человеком и автоматические.

Развитие манипуляторов привело к созданию промышленных роботов. Проектирование механизмов-манипуляторов требует решения таких задач, как создание маневренности и устойчивости в работе, выбор правильного соотношения полезных и холостых ходов. Иногда требуется проектирование таких систем, в которых оператор чувствует усилие, создаваемое на рабочем органе. Активное внедрение роботов-манипуляторов в производственные процессы на машиностроительных предприятиях объясняется многими причинами:

- они могут справляться с операциями, для выполнения которых вряд ли хватит возможностей человека;
- использование робототехники делает изготовление продукции более экономичным;
- благодаря роботизации производства заметно повышается качество выпускаемой продукции;
- робототехника способна существенно увеличить производительность, по сравнению с ручным трудом;
- если рабочий может допускать ошибки и получать травмы, то при использовании манипуляторов данные проблемы исключаются [1, 2].

В развитии систем управления промышленных роботов можно проследить два направления. Одно из них берет свое начало от систем программного управления станками, что впоследствии привело к созданию автоматически управляемых промышленных манипуляторов, а после – к появлению полуавтоматических биотехнических и интерактивных систем, в которых действиями промышленного робота управляет человек-оператор.

Таким образом, промышленные роботы можно разделить на следующие три типа (каждый из которых в свою очередь делится на несколько разновидностей [3–5]).

Автоматические роботы:

- программные (роботы с программным управлением);
- адаптивные (роботы с адаптивным управлением);
- обучаемые;
- интеллектуальные (роботы с элементами искусственного интеллекта).

Биотехнические роботы:

- командные (роботы с командным управлением);
- копирующие (роботы с копирующим управлением);
- полуавтоматические.

Интерактивные роботы:

- автоматизированные (роботы с автоматизированным управлением);
- супервизорные (роботы с супервизорным управлением);
- диалоговые (роботы с диалоговым управлением).

На сегодняшний день имеется множество роботов-манипуляторов, которые отличаются друг от друга конструкцией, способом управления и т.д. Рассмотрим основные характеристики (табл. 1) и достоинства и недостатки некоторых из них.

Робототехнический проект с кикстартера uArm (рис. 1,а) – проект манипулятора под управлением Arduino. Создателей вдохновил промышленный робот-манипулятор для паллетирования – IRB460 (ABB PalletPack) [6].

У этого манипулятора имеются следующие достоинства: управляется программируемой платой, грузоподъемность до 1 кг, прост в сборке, возможна замена части кисти (вакуумный захват, механические пальцы), изготавливается из плотного материала, имеет средство записи движений. Недостатком же этой конструкции является среднее плечо, невозможность подъема на угол свыше 90 градусов. Также при работе робота можно увидеть, что платформа не всегда устойчива на поверхности.

Velleman Robotic Arm KSR10 (рис. 1,б) – механическая рука с пятью степенями свободы [7].

Явными достоинствами робота является экономичность конструкции и простота сборки, также простейшая тумблерная система управления вперед-назад. Пластик качественный, не хрупкий, конструкции мощные. Недостатки – отсутствие

программируемого модуля и одной степени свободы в кисти руки (нет вращения вокруг собственной оси).

Таблица 1.

## Технические характеристики манипуляторов

Название робота	uArm	Velleman Robotic Arm KSR10
Вес манипулятора	-	660 г
Материал	оргстекло, дерево, алюминий	Пластик
Источник питания	Блок питания 5 В	4 x LR20С батареи
Управление манипулятора	Arduino UNO	Механическая
Максимальное удлинение при полностью вытянутой руке	340 мм	380 мм
Степени свободы	4	5



а)



б)

Рис. 1. Конструкции манипуляторов:  
а) uArm; б) Velleman Robotic Arm KSR10

При создании собственного манипулятора необходимо обеспечить:

- применение недорогого и доступного, но достаточно крепкого материала конструкции;
- наличие не менее пяти степеней свободы;
- наличие программируемого компонента и параллельно простейшей тумблерной системы управления;
- грузоподъемность не менее 100 грамм;
- устойчивость платформы манипулятора при любых действиях робота;
- простоту сборки.

Также необходимо, чтобы сконструированный робот был прост в управлении.

Рассмотрев имеющиеся решения компактных и недорогих манипуляторов, изучив их преимущества и недостатки, выделим конструктивные особенности пространственной модели разработанного манипулятора. При моделировании манипулятора одними из главных условий, предъявляемых к приводным механизмам, являются крутящий момент, вес и стоимость. Среди имеющихся двига-

телей был выбран сервопривод RDS3115 (рис. 3) как недорогой, легко программируемый и имеющий подходящий крутящий момент (табл. 2).



Рис.3. Сервопривод RDS3115

Таблица 2.

Технические данные сервоприводов

Название	RDS3115	MG995	DS3218 mg
Размер, мм	40×20×40.5	41×20×43	40×20×40.5
Вес, г	60	55	60
Скорость, сек/60°	0.16 (6 В) 0.14 (7.2 В)	0.2 (4.8 В) 0.16 (6 В)	0.16 (7.2 В) 0.14 (6 В)
Крутящий момент, кг·см	15 (6 В) 17 (7.2 В)	13	18 (6 В) 20 (7.2 В)
Напряжение, В	4.8–8.4	3–7.2	4.8–7.2
Мертвый ход, мкс	3	-	4
Угол обзора	180°	180°	270°
Механический угол	360°	-	360°

Для того чтобы построить плечи манипулятора, нужно предварительно рассчитать его длину, учитывая вес, который он сможет поднять. Самая большая нагрузка будет поступать на первое плечо, а значит, используя формулу моментов, сил рассчитаем, какой длины будут плечи [8].

Таблица 3

Первоначальные данные

Длина кисти руки, $L_k$	94 мм
Длина скобы, закрепленная на последний сервопривод, $L_c$	82 мм
Средний крутящий момент сервопривода, $M_k$	15 кг·см
Масса сервопривода, $m_c$	60 г

Расчет веса манипулятора, начиная от первого плеча и заканчивая кистью с захваченным грузом:

$$m = \frac{M_k}{L}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина от первого сервопривода до кисти руки.

В силу того, что одного двигателя будет мало на первое плечо, то ставим два параллельных, которые будут работать синхронно, а значит, крутящий момент  $M_{\text{кобщ}} = 30 \text{ кг см}$ .

$$L = L_k + L_c + L_{\text{п2}} + L_{\text{п3}}, \quad (2)$$

Для поднятия предположительного максимального веса в 500 грамм, подбираем длины плеч, с учетом веса сервоприводов, кисти и плеч:  $L_{\text{п2}} = 84 \text{ мм}$ ;  $L_{\text{п3}} = 120 \text{ мм}$ . Общая длина, полученная из (2),  $L = 380 \text{ мм}$ .

На рис. 4 изображена модель манипулятора, у которой, из выражения (1), получается общая масса  $m = 800 \text{ г}$  с грузом, захваченным пальцами, не учитывая вес двух сервоприводов, контролирующих конструкцию.

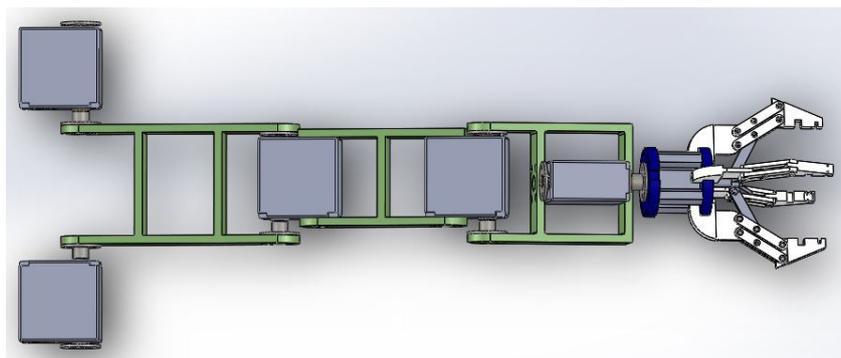


Рис. 4. Рассчитанная модель манипулятора без платформы с кистью в SolidWorks

На платформе установлен шаговый двигатель 28BYJ-48, технические характеристики которого приводятся в табл. 4.

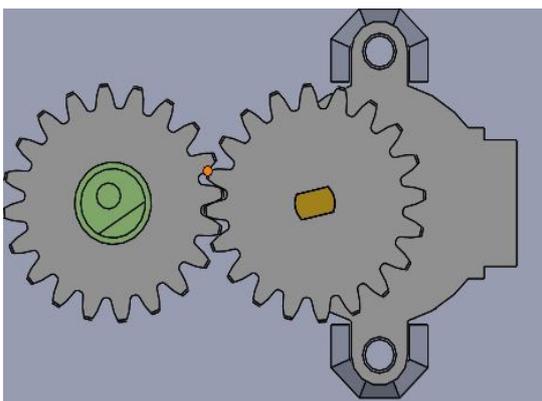
Таблица 4

Технические характеристики шагового двигателя 28BYJ-48

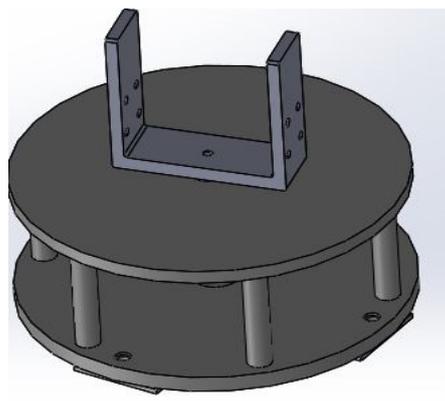
Название	28BYJ-48
Напряжение	5 В или 12 В
Число фаз	4
Сопротивление фазы	200 Ом $\pm 7\%$
Крутящий момент	450 г·см
Сопротивление изоляции	более 10 Мом
Отношение изменения скорости	1/64
Угол шага	5.625°

Осевое вращение (рис. 5,а) производится шаговым двигателем, который прокручивает вал эвольвентным соединением шестерней. Модель платформы (рис. 5,б) сделана круглой, чтобы манипулятор устойчиво стоял на поверхности.

Модель руки (рис. 6), у которой палец манипулятора рассчитан по размеру так, чтобы можно было интегрировать в него фоторезистор и тактовую кнопку. Фоторезистор и тактовая кнопка нужны для определения нахождения поднимаемого объекта в области захвата руки, осуществляемый сервоприводом SG90 (рис. 7), который экономичнее и легче MG90 (табл. 4). Сжатие пальцев выполняется тягами, скрепленными с крестом, который в свою очередь опускается сервоприводом.



а)



б)

Рис. 5. Конструкция платформы:  
а) зубчатая передача платформы; б) общая модель платформы

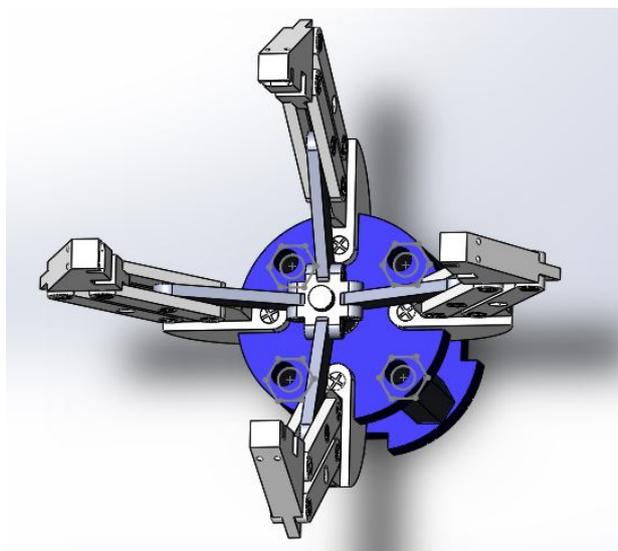


Рис. 6. Модель руки манипулятора



Рис. 7. Сервопривод SG90

Таблица 4.

Технические данные сервопривода

Название	SG90	MG90
Размер, мм	23×12×29	23×12×29
Вес, г	9	13.6
Скорость, сек/60°	0.12 (4.8 В)	0.11 (4.8 В); 0.10 (6 В)
Крутящий момент, кг·см	1.6	2
Напряжение, В	3.5-6	3.5-6 В
Угол обзора	180°	180°

Таким образом, в данной статье были рассмотрены имеющиеся решения компактных роботов-манипуляторов. На основе проведенного анализа была разработана модель манипулятора, с шестью степенями свободы, которая сможет поднять груз свыше 100 г. Эта модель недорогая, детали просты в сборке, кон-

струкция выполнена из ABS-пластика, имеющего достаточную прочность и легкость. Отличительной особенностью робота является рука, состоящая из четырех пальцев, на каждом из которых находятся полости для датчиков, контролирующих захват объекта. Платформа робота сохраняет устойчивость при эксплуатации. Предположительная модель может найти применение как в научно-исследовательских целях, так и в производственных.

### Библиографический список

1. Спыну Г. А. Промышленные роботы: конструирование и применение. Киев: Вища школа, 1985. 176 с.
2. Грувер М., Зиммерс Э. САПР и автоматизация производства. М.: Мир, 1987. 528 с.
3. Попов Е. П. и др. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы. М.: Наука, 1978. 400 с.
4. Макаров И. М., Топчиев Ю. И. Робототехника: История и перспективы. М.: Наука; Изд-во МАИ, 2003. 349 с.
5. Козлов В. В. и др. Динамика управления роботами. М.: Наука, 1984. 336 с.
6. uArm - открытый проект манипулятора под управлением Arduino [Электронный ресурс] URL: <http://robocraft.ru/blog/news/3048.html> [дата обр.: 17.03.2016].
7. Робоконструктор Velleman Robotic Arm KSR10 [Электронный ресурс] URL: <http://easyelectronics.ru/robokonstruktor-velleman-robotic-arm-ksr10.html> [дата обр.: 17.03.2016].
8. Трофимова Т. И. Курс физики. 7-е изд. М.: Высшая школа, 2001. 542 с.
9. Дударева Н.Ю., Загайко С.А. Самоучитель SolidWorks. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 336 с.

УДК 681.327

**Н. А. Соколова**

магистрант кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ «МОНИТОР МКПД» ПРИ САМОПРОВЕРКЕ БЛОКА В СОСТАВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ КПА

Аппаратура на базе мультиплексного канала передачи данных (МКПД) широко используется не только в составе бортового оборудования летательных аппаратов, но и в военно-морской промышленности, автомобилестроении, при создании локальных вычислительных сетей. При комплексной электрической проверке любого устройства необходимо получать информацию о работе МКПД, чтобы иметь данные о работе бортовых вычислительных машин и подсистем в процессе испытаний. Предназначенная для этого контрольно-проверочная аппаратура (КПА) должна иметь стандартизированные интерфейсы последовательных мультиплексных каналов обмена, отслеживать передаваемые данные, тестировать проверяемое устройство на наличие сбоев и неисправностей в работе.

Для непосредственной организации мультиплексных каналов межмодульного обмена требуется наличие специализированной аппаратуры, обеспечивающей как передачу аналоговых сигналов по ЛПИ (линии передачи информации), так и

выполнение определенных действий над информацией, представленной в цифровой форме. Электронный модуль, необходимый для сопряжения линии передачи информации с подсистемой, называют терминалом МК (монитора канала). Этот модуль может быть выполнен в виде отдельного блока или встраиваться в подсистему. В зависимости от типа подсистемы и ее назначения терминал может выполнять различный набор функций и работать в различных режимах. По определению стандарта существует три типа терминалов:

- контроллер канала;
- монитор канала;
- оконечное устройство.

Разработанное программное обеспечение в совокупности с платой TA1-USB и персональным компьютером представляет собой встраиваемый модуль, работающей только в режиме монитора канала. Он предназначен для тестирования внешних приемопередатчиков, используемых в авиационной, космической и специализированной аппаратуре различного функционального назначения, анализа данных МК и обнаружения ошибок в линии.

Рассматриваемый Блок для самопроверки аппаратуры имеет в своем составе два независимых канала обмена по МПИ: основной (МПИ1) и телеметрический (МПИ2).

На рис. 1 представлена схема подключения анализируемого Блока и ПК. Обмен данными между ПК и TA1-USB и между ПК и блоком КПА осуществляется посредством кабеля USB (обозначение «1» на рис. 1). Основной канал блока замыкается на телеметрический и таким образом осуществляется режим самопроверки оборудования, который позволяет выявить ошибки в работе тестируемой аппаратуры. На рис. 2 представлена полностью установка с дополнительным оборудованием, таким как осциллограф, необходимым для графического фиксирования и дальнейшего анализа сигналов.

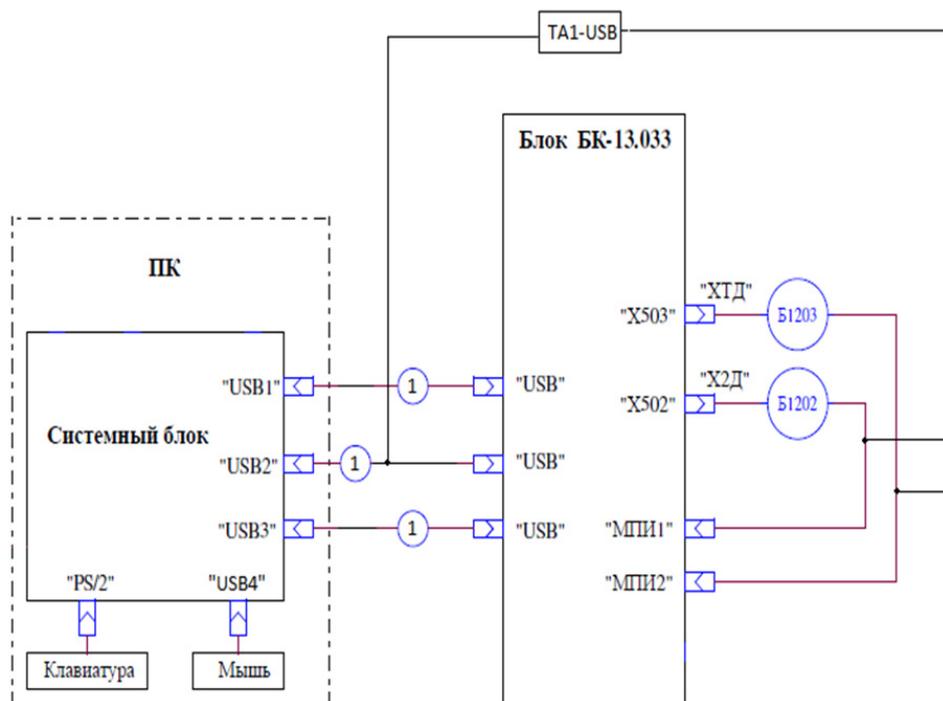


Рис. 1. Схема подключения Блока и ПК

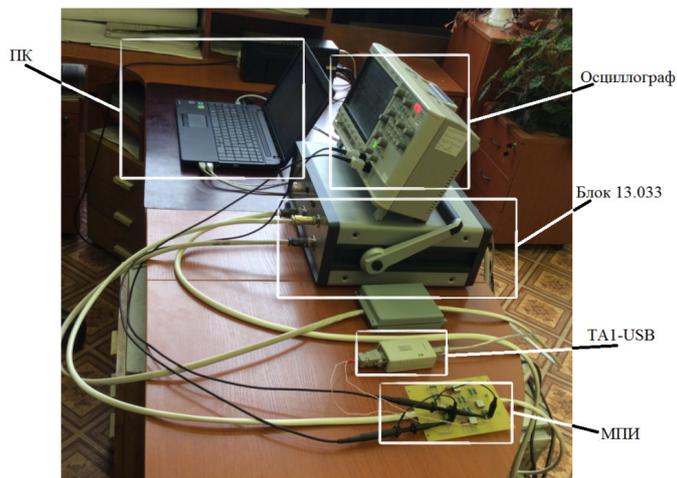


Рис. 2. Оборудование для работы Блока и ПК

На рис. 3 представлены осциллограммы во время работы обмена по МПИ: а) – поочередный обмен посылками по двум резервированным магистралям; б), в), г) – слово данных (СД), соответствующее значению  $0 \times 8000$ , командное слово и ответное слово соответственно.

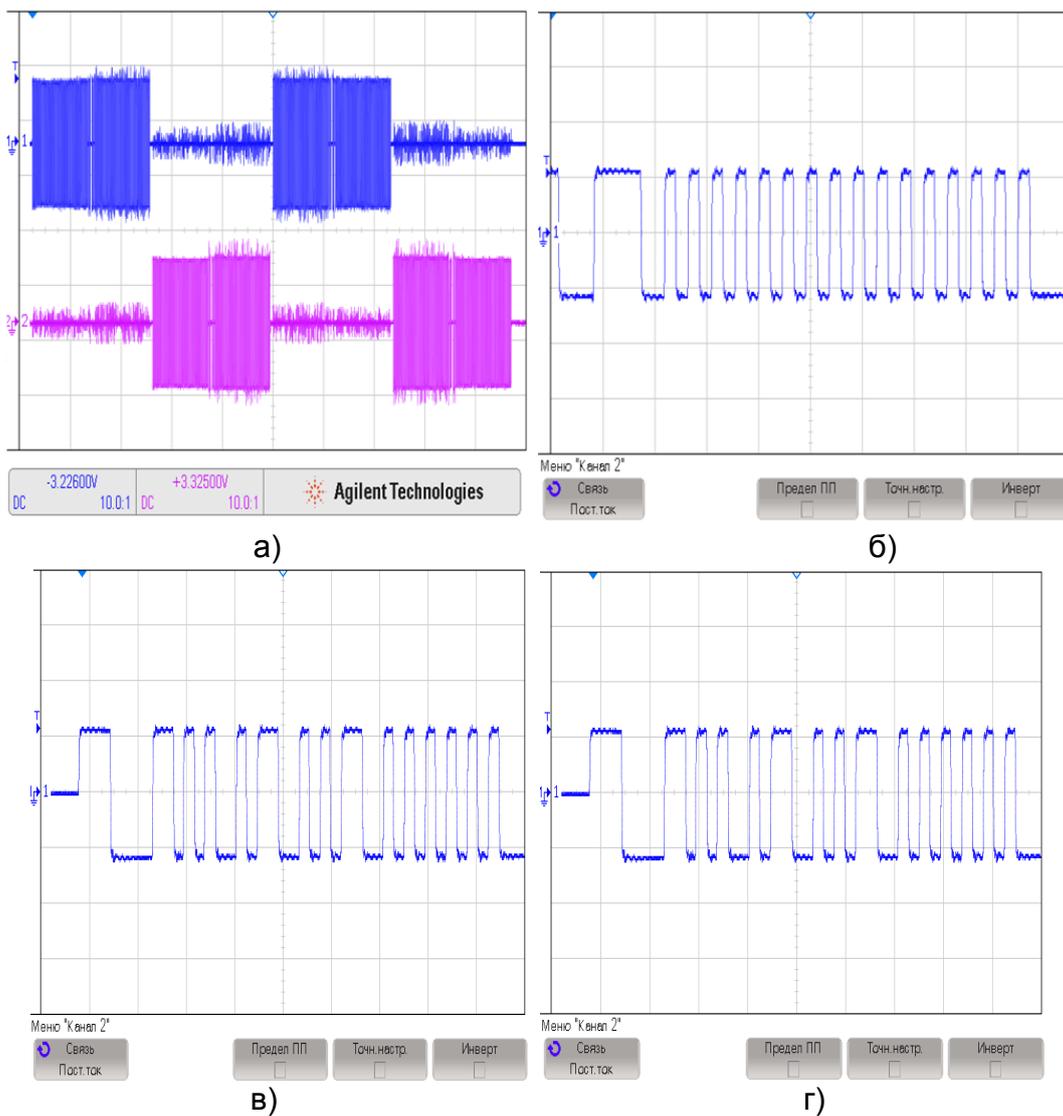


Рис. 3. Осциллограммы

На рис. 4 представлено окно работы программы. Интерфейс имеет стандартные кнопки запуска и остановки мониторинга линии, кнопки сохранения всех прочитанных сообщений и зафиксированных ошибок, также имеется встроенная справка для расшифровки значения слов состояния (СС), при обнаружении нарушений обмена. Нарушения обмена отображаются на экране в виде сообщений, выделенных красным цветом.

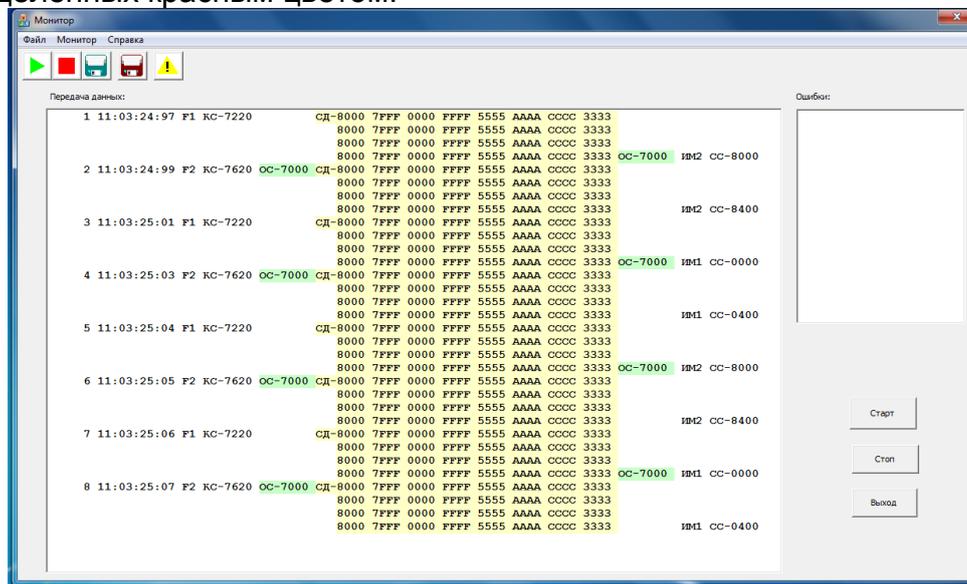


Рис. 4. Главное окно во время работы программы

В качестве вывода можно отметить, что в статье рассмотрены результаты практического применения ПО «Монитор МКПД» с использованием модуля TA1-USB. Рассматриваемая программа была успешно применена для анализа обмена по МПИ в составе отлаживаемой аппаратуры и показала свою эффективность при отладке информационного обмена.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 52070-2003 Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования
2. Техническое описание модуля. Модуль сопряжения USB - ГОСТ 52070-2003 (MIL-STD-1553). Электронная компания «Элкус».
3. «Мультиплексный канал межмодульного обмена информацией по ГОСТ 26765.52-87 (MIL-STD-1553B)» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.elcus.ru/index.php?ID=mil-std-1553b-cap#q1>

УДК 681.51, 681.52

**М. М. Соколовский**

студент кафедры управления в технических системах

**Д. В. Шишлаков** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТУРБОАГРЕГАТА ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Часто в современной жизни мы сталкиваемся с необходимостью получения энергии или вращательного движения для многочисленных машин. Если говорить

о небольших размерах, то такие устройства используются в автомобилях для увеличения мощности. Когда же речь идет о получении энергии, то это очень крупные устройства (рис. 1), которые могут занимать целые здания. В зависимости от размеров аппарата и его характеристик, можно говорить об энергонезависимости целого района или даже города. С этой задачей великолепно справляется турбоагрегат – совокупность турбины (паровой, газовой или гидротурбины) и приводимого ею в действие электрогенератора, который является одним из объектов основного оборудования электростанции. В более широком понимании турбоагрегат подразумевает сочетание двух и более агрегатов, имеющих между собой, кинематическую связь. При этом основным агрегатом этой композиции является турбина, поскольку именно она приводит весь турбоагрегат во вращение. Обороты остальных агрегатов могут быть существенно меньше, чем обороты приводной турбины, если применить редуктор или больше, если применить мультипликатор.



Рис. 1. Турбоагрегат мощностью 320 МВт



Рис. 2. Внутреннее строение турбины

Турбоагрегаты можно разделить на несколько классов в зависимости от назначения агрегата, который они собственно и приводят во вращение (которому передается мощность турбины). Так, например, при передаче мощности от турбины к насосу, мы получаем турбонасос – основной агрегат современного жидкостного ракетного двигателя. При передаче мощности от турбины к генератору мы получаем турбогенератор. При передаче мощности от турбины к компрессору (как правило центробежному или осевому) мы получаем турбокомпрессор – это основной агрегат современного автомобильного двигателя, как дизельного, так и бензинового [1]. Внутреннее строение турбины отражено на рис. 2.

Для исследования такого агрегата зачастую прибегают к математическим моделям. Их разрабатывают исходя из процессов, протекающих в турбине. На идее моделирования базируется любой метод научного исследования, при этом, в теоретических методах используются различного рода знаковые, абстрактные модели, в экспериментальных – предметные модели.

При исследовании сложное реальное явление заменяется некоторой упрощенной копией или схемой, иногда такая копия служит лишь только для того чтобы запомнить и при следующей встрече узнать нужное явление. Иногда построенная схема отражает какие-то существенные черты, позволяет разобраться в механизме явления, дает возможность предсказать его изменение. Одному и тому же явлению могут соответствовать разные модели. Задача исследователя – предсказывать характер явления и ход процесса. Иногда бывает, что объект доступен, но эксперименты с ним дорогостоящи или привести к серьезным экологическим последствиям. Знания о таких процессах получают с помощью моделей. Важный момент – сам характер науки предполагает изучение не одного конкретного явления, а широкого класса родственных явлений. Предполагает необходимость формулировки каких-то общих категорических утверждений, которые называются законами. Естественно, что при такой формулировке многими подробностями пренебрегают. Чтобы более четко выявить закономерность сознательно идут на огрубление, идеализацию, схематичность, то есть изучают не само явление, а более или менее точную ее копию или модель. Все законы – это законы о моделях, а поэтому нет ничего удивительного в том, что с течением времени некоторые научные теории признаются непригодными. Это не приводит к краху науки, поскольку одна модель заменилась другой более современной [2].

Когда математическая модель составлена, переходят к расчету передаточных звеньев, отвечающих за тот или иной процесс. Передаточные функции таких сложных систем высчитываются огромным количеством уравнений с использованием переменных, полученных из технических данных турбины. Промоделировать модель можно разными способами, но самый простой и понятный – это среда программы Matlab. Тут можно собрать и отладить большинство моделей, не затрачивая средства на разработку и проектирование реальной системы. Одна из таких систем показана на рис. 3.

С помощью программы Matlab можно не только построить и отладить работу системы в целом, но и увидеть качество переходных процессов. Изменяя параметры входных данных можно подстроить модель под реальные ситуации, в которых может оказаться агрегат и, проанализировав графики получившихся переходных процессов, понять, сможет система функционировать в такой ситуации или же нет. Можно исследовать реакцию системы на внешние случайные воздействия. В зависимости от мощности агрегата система управления будет отличаться размерами и количеством ступеней обратных связей для корректного управления.

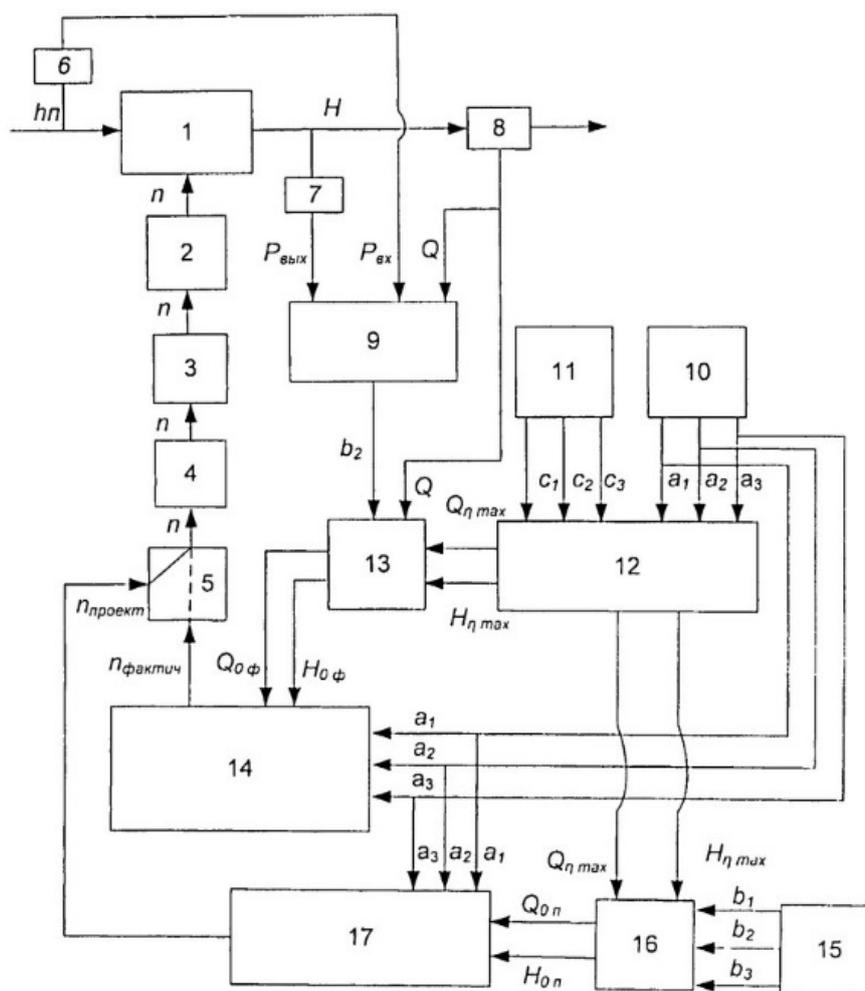


Рис. 3. Система автоматического управления турбоагрегатом

Т.к. турбоагрегаты имеют: а) наличие большого числа компонентов; б) сложный характер их взаимодействий; в) сложность выполняемых функций и г) многоуровневое (иерархическое) построение, то требуется высокая точность и гибкость системы управления. Такие системы называются многосвязными системами автоматического управления (МСАУ). Турбоагрегат представляется в виде электро-технической модели, синтез МСАУ может быть выполнен обобщенным методом Галеркина или методами вариационного исчисления. Когда мы говорим о МСАУ нужно понимать, что это системы, обрабатывающие данные с большого количества датчиков одновременно и на основе своей перекрестной структуры (рис. 4) выдающие нужное управляющее воздействие. Многосвязные системы имеют богатую классификацию:

- линейные и нелинейные;
- с одним выходом и с несколькими;
- симметричные и антисимметричные.

На рис. 4 представлена МСАУ с несколькими выходами, довольно распространенная.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что наша дальнейшая работа будет заключаться в разработке многосвязной системы автоматического управления и исследовании её при случайных воздействиях.

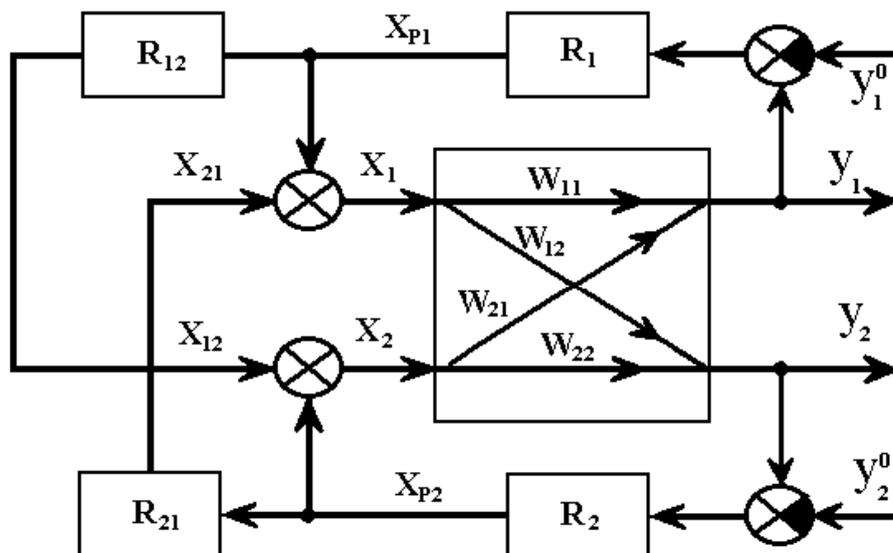


Рис. 4. Структурная схема МСАУ с несколькими выходами

### Библиографический список

1. Официальный сайт открытой библиотеки Википедия <https://ru.wikipedia.org/>
2. Турбоагрегаты. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Турбоагрегат>
3. Официальный сайт Педсовет.инфо <http://pedsovet.info/>. Математические модели. Режим доступа: [http://pedsovet.info/info/pages/referats/info\\_00002.htm](http://pedsovet.info/info/pages/referats/info_00002.htm)
4. Шишлаков Д.В., Цветков С.А., Шишлаков В.Ф. // Синтез параметров непрерывных и импульсных многосвязных систем автоматического управления: Монография. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостр. -СПб., 2008.- 180с.

УДК 621.039

**А. В. Статкевич**

студентка кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

**О. Я. Соленая** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

### ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

Реактор в космосе – редкий гость. Тем не менее, будущее космонавтики немислимо без управления ядерными реакциями. Основные отличия базирования реакторов в космосе от земного:

– для космического применения наиболее важным является вес. Весовая культура определяет множество других решений. Например, защита от излучения реактора делается секторно, в сторону полезной нагрузки;

– невесомость приводит к отсутствию конвективного теплообмена в жидких и газообразных теплоносителях. Из-за этого резко усложняется теплосъем и борьба с локальными перегревами активной зоны (АЗ) реактора;

– сброс паразитного тепла ядерной энергетической установки (ЯЭУ) возможен только через излучение радиаторами-холодильниками (РХ). Приемлемые

массы РХ получаются только в том случае, если их рабочая температура составляет хотя бы  $500^{\circ}\text{K}$  ( $230^{\circ}\text{C}$ );

– жесткие энергомассовые характеристики совместно с предыдущим пунктом заставляют использовать довольно экзотические теплоносители – гелий,  $\text{CO}_2$  или легкие металлы – литий, калий, натрий;

– от космических ядерных реакторов требуется долговременная работа без перегрузок ядерного топлива и, разумеется, максимальная надежность все это время.

Все вместе эти требования сильно усложняют разработку таких ЯЭУ и удорожают их применение.

Впервые ядерный реактор был выведен на орбиту в 1965 г. Американская установка SNAP-10A проработала 43 дня. Источник энергии мог выполнять возложенные на него задачи (в частности, питание ионного двигателя), но КПД, составлявший всего 1,5%, оставлял желать лучшего. Из 40 кВт выделяющейся энергии лишь 500–600 Вт переводилось в электрическую форму.

Советский космический реактор БЭС-5 «Бук», производившийся с 1970 г. серийно, отличался чуть лучшими характеристиками. При тепловой мощности 100 кВт в электрическую форму полупроводниковым термоэлектрическим генератором переводилось около 3 кВт. КПД на уровне 3% объяснялся миниатюрностью устройства. В дальнейшем совершенствование реакторов космического назначения велось путем включения в конструкцию термоэмиссионного преобразователя (проект «Топаз»).

В энергетических системах космического базирования для преобразования тепловой энергии ядерного реактора в электрическую используются термоэмиссионная космическая ядерная установка «ТОПАЗ100/40» и термоэлектрическая космическая ядерная установка.

Термоэмиссионная космическая ядерная установка «ТОПАЗ100/40» – это двухрежимная ядерная энергетическая установка, предназначенная для питания электроэнергией электроракетных двигателей (ЭРД) при выводе на высокую (вплоть до геостационарной) орбиту спутников системы спутниковой связи «Космическая звезда» (SpaceStar) и с питанием электроэнергией бортовой аппаратуры. Вывод на мощность реактора энергоустановки происходит только при достижении космическим аппаратом радиационно-безопасной орбиты (800 км и выше) (рис. 1) [1].

Термоэлектрическая космическая ядерная установка предназначена для питания электроэнергией аппаратуры космических аппаратов по принципу непосредственного преобразования тепловой энергии ядерного реактора в электричество в полупроводниковом термоэлектрическом генераторе.

В настоящее время обосновано, что термоэмиссия и термоэлектричество как в термоэмиссионных и термоэлектрических установках, так и при их комбинировании в космических ЯЭУ нового поколения имеют несомненную перспективу использования. При этом термоэмиссия имеет весомые преимущества перед другими статическими преобразователями и известными динамическими преобразователями [2].

Для полетов в дальний космос использование ЯЭУ практически не имеет альтернативы. Для таких масштабных проектов, как экспедиция на Марс, преимущество использования ядерной энергетики не вызывает сомнений. Причем ЯЭУ может служить не только источником энергии для жизнеобеспечения экипажа и питания аппаратуры, но и средством, обеспечивающим движение, в том числе с помощью ядерного ракетного двигателя. В соответствии с современными представлениями это может быть транспортно-энергетический модуль, обеспечивающий вывод аппарата на орбиту или возможность смены орбиты. Такая двухрежимная установка с уров-

нем мощности около 100 кВт обеспечит вывод космического корабля на рабочую орбиту, и уже там обеспечит энергопитание на более низком уровне мощности [3].

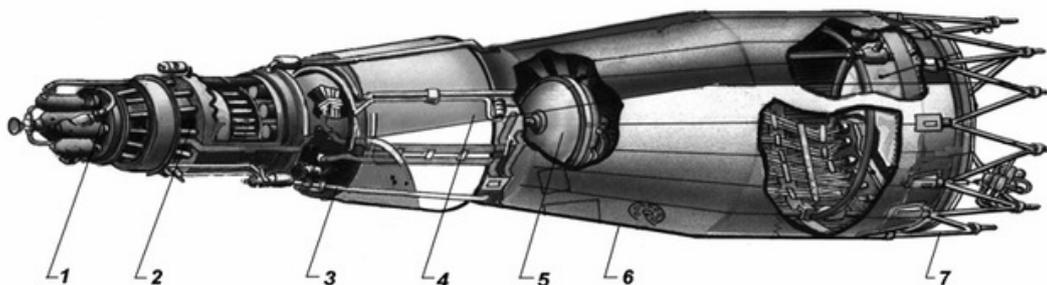


Рис. 1. Космическая ЯЭУ «ТОПАЗ»:

- 1 – блок системы подачи пара цезия и приводов органов регулирования;  
2 – термоэмиссионный реактор-преобразователь; 3 – трубопровод жидкометаллического контура; 4 – радиационная защита; 5 – компенсационный бак жидкометаллического контура; 6 – холодильник-излучатель; 7 – рамная конструкция

На данный момент в нашей стране ведутся работы по созданию транспортного модуля для межпланетных полетов на основе ядерной энергетической установки. Сердце модуля – ядерный реактор. Создание таких технологий предоставит человечеству перспективу подойти к промышленному освоению космоса, пилотируемому полету на Марс и исследованию дальних планет.

#### Библиографический список

1. Край И. Ядерная энергия в космосе: Атом // Популярная механика. 2011. №109. Режим доступа к ссылке: <http://www.popmech.ru/technologies/12084-yadernaya-energiya-v-kosmose-atom/>. (Дата обращения 15.04.2016г.).
2. Официальный сайт предприятия Красная Звезда Госкорпорации «Росатом» <http://www.redstaratom.ru>. Раздел Технологии/Ядерные энергоустановки. Режим доступа к ссылке: <http://www.redstaratom.ru/index.php/tekhnologii/yadernye-energoustanovki>. (Дата обращения 15.04.2016г.).
3. Гудилин В.Е., Слабкий Л.И. Ракетно-космические системы (История. Развитие. Перспективы). М., 1996. 326 с.

УДК 621.373.8

**Е. Р. Терещенко**

студентка кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

**С. В. Солёный** – канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

#### ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В КОСМОНАВТИКЕ

Исключительные свойства лазерного излучения позволяют использовать квантовые генераторы в самых разных областях науки и техники. Лазер – это устройство, которое создает и усиливает узкий, интенсивный луч когерентного света. Все лазеры являются оптическими усилителями, которые работают путем накачивания (возбуждения) активной среды, помещенной между двумя зеркалами, одно из которых пропускает часть излучения [1]. Активная среда –

это совокупность специально подобранных атомов, молекул или ионов, которые могут быть в газообразном, жидком или твердом состоянии и которые при возбуждении путем нагнетающего действия будут генерировать лазерное излучение, т.е. испускать излучение в виде световых волн, называемых фотонами. Накачка жидкости и твердых тел достигается путем облучения их светом импульсной лампы, а газы накачиваются при помощи электрического разряда (рис. 1).

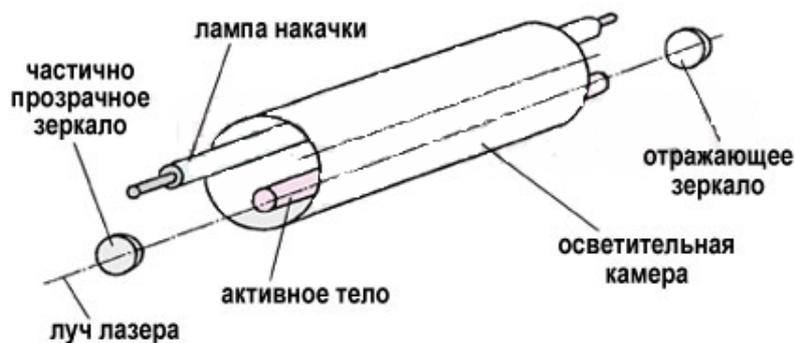


Рис. 1. Устройство лазера

Лазерное излучение обладает несколькими уникальными свойствами. Световой луч коллимированный – это означает, что он перемещается в одном направлении с очень маленьким расхождением даже на очень большие расстояния. Лазерный свет когерентный – это означает, что все световые волны перемещаются в фазе вместе как во времени, так и в пространстве. Лазерный свет монохромный – состоящий из одного цвета или узкого диапазона цветов. Это дало возможность освоить диапазон видимого света для осуществления передачи информации и связи, тем самым существенно увеличив количество передаваемой информации в единицу времени. Лазерное излучение большой мощности имеет огромную температуру. Все перечисленные качества позволяют фокусировать лазерный луч в пятно чрезвычайно малого размера, получая в точке фокуса огромную плотность энергии. Благодаря этим свойствам, лазеры нашли применение в космонавтике.

Применение методов адаптивной оптики в наземных телескопах позволяет существенно повысить качество изображения астрономических объектов путем измерения и компенсации оптических искажений атмосферы. Для этого в сторону наблюдения направляется мощный лазерный луч. Он рассеивается в верхних слоях атмосферы, создавая видимый с поверхности земли опорный источник света – искусственную «звезду». По ее свету, прошедшему на обратном пути к земле через слои атмосферы, можно понять, какие оптические искажения необходимо учесть при наблюдении. Измеренные таким образом атмосферные искажения компенсируются специальным корректором. Например, деформируемым зеркалом.

Возможно использование лазерных дальномеров – устройств, состоящих из импульсного лазера и детектора излучения. Измерив время, за которое луч преодолевает путь до отражателя и обратно, и зная значение скорости света, можно рассчитать расстояние между лазером и отражающим объектом. Лазерный дальномер простейший вариант лидара. Современные лазерные дальномеры в большинстве случаев компактны и позволяют в кратчайшие сроки и с большой точностью определить расстояния до интересующих объектов.

Лазерные лучи позволили узнать с точностью до нескольких сантиметров параметры орбиты Луны. Во время полетов на Луну пилотируемыми и беспилотными аппаратами на ее поверхность было доставлено несколько специальных

угловых отражателей. С Земли при помощи телескопа посылали специально сфокусированный лазерный луч и измеряли время, которое он затрачивает на путь до лунной поверхности и обратно. Основываясь на значении скорости света, стало возможным рассчитать расстояние до Луны.

Из сообщений Европейского космического агентства следует, что возможна также передача информации со спутника с помощью лазера. Первый спутник такого типа под названием EutelSat 9B уже был запущен на орбиту. Как объясняют ученые, с помощью высокоскоростного лазерного соединения будут связываться между собой спутники, которые постоянно делают снимки Земли. Использование лазеров позволит связываться низкоорбитальным спутникам с геостационарными, которые могут значительно быстрее передать данные на Землю. Теперь скорость и возможность передачи не будет зависеть от того, находится ли спутник над принимающей станцией. Это может быть важно, когда необходимо срочно передать информацию, например, о приближающемся стихийном бедствии [2].

Лазеры используются и в военных целях, например, в качестве средств наведения и прицеливания. Рассматриваются варианты создания на основе мощных лазеров боевых систем защиты воздушного, морского и наземного базирования [3]. Применение лазерной системы подсвета цели сокращает время атаки, но, все же, требует сравнительно длительного периода наведения.

Постоянное усовершенствование лазеров приводит к неуклонному расширению областей их применения. Очевидно, в ближайшее время этот процесс будет продолжаться еще более быстрыми темпами.

### **Библиографический список**

1. Официальный сайт Международной лаборатории «Лазерные системы». Режим доступа к ссылке: <http://lasers.ifmo.ru/>. (Дата обращения 02.04.2016 г.).
2. Официальный сайт электронной газеты «Век». Статья «Спутники будут использовать лазеры для передачи данных на Землю». Режим доступа к ссылке: <http://wek.ru/sputniki-budut-ispolzovat-lazery-dlya-peredachi-dannyx-na-zemlyu>. (Дата обращения 02.04.2016 г.).
3. Официальный сайт BBC в России <http://www.bbc.com/russian>. Статья «В США испытан боевой лазер, который может топить корабли». Режим доступа к ссылке: [http://www.bbc.com/russian/science/2011/04/110411\\_us\\_navy\\_laser\\_test.shtml](http://www.bbc.com/russian/science/2011/04/110411_us_navy_laser_test.shtml). (Дата обращения 02.04.2016 г.).

**УДК 629.7.062**

**И. Н. Шуйгин**

студент кафедры управления в технических системах

**В.С. Акопов** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. – научный руководитель

### **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДНИМ ШАССИ САМОЛЕТА**

Шасси самолета предназначено для обеспечения стоянки и движения самолета по поверхности аэродрома. Основными элементами шасси являются: амортизатор, колеса, подкосы и замки, фиксирующие стойку. Колеса базовых опор самолета оснащаются дисковыми тормозами [1].

Управление уборкой и выпуском шасси может производиться с помощью сжатого воздуха (на легкомоторных самолетах), электрического привода и гидроцилиндров.

Электропривод, в основном, используется также на небольших самолетах, хотя в отечественной гражданской авиации был факт использования электропривода для управления шасси на тяжелом магистральном самолете – Ту-114.

На всех самолетах предусмотрена блокировка уборки шасси на земле с помощью концевых выключателей на амортизационных стойках главных ног шасси, которые в обжатом положении разрывают цепь уборки. Аварийный выпуск обеспечивается механическим открытием замка убранный положения опоры и замков закрытого положения створок и осуществляется под действием собственного веса опоры и пружин механизма распора [2].

Основная и передняя опоры самолета SSJ100 показана на рис. 1.



Рис. 1. Основная (слева) и передняя (справа) опоры самолета SSJ100

Предлагаемые доработки и конструктивные усовершенствования обеспечивают снижение трудоемкости ТО, что позволит увеличить общее время коммерческой эксплуатации самолета SSJ100 (Сухой Суперджет 100).

На большинстве самолетов передние стойки убираются движением вверх–вперед (против потока), реже вверх–назад (рис. 2). В аварийном случае способ вверх–вперед обеспечивает выпуск передней стойки под действием ее веса и набегающего потока воздуха [3].

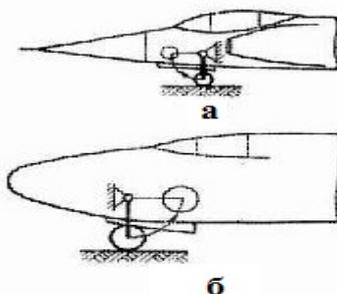


Рис. 2. Основные схемы уборки передней стойки шасси:  
а) против полета; б) по полету

На земле шасси являются объектом пристального внимания авиатехников и летчиков. Мало того, что они выглядят очень сложно, но они еще сочетают в себе множество систем: гидравлика, электричество, пневматика. Необходимо постоянно обращать внимание на целостность всех трубопроводов, шлангов, пружин, проводов, которые опоясывают систему шасси. Могут быть как механические повреждения, так и подтекания гидрожидкости.

Гидравлические системы имеют ряд недостатков, от которых свободны электромеханические системы. К ним, в частности, относятся утечки рабочей жидкости; потери на трение жидкости в трубопроводах и аппаратуре, в местах изменения скорости или направления течения жидкости (гидравлические потери), которые ограничивают быстрдействие гидросистем; изменение характеристик гидросистемы из-за изменения вязкости рабочей жидкости при изменении ее температуры.

Достоинства электропривода: удобство дистанционного управления; широкие возможности автоматизации процессов управления; мобильность, постоянная готовность к работе; стабильность характеристик в условиях изменения температуры и атмосферного давления; технологичность при обслуживании.

Предлагается в качестве исполнительного механизма (ИМ), вместо гидродвигателя использовать электродвигатель с шарнирно-винтовым механизмом. На рис. 3, показано, как будет выглядеть кинематическая схема переднего шасси при его выпущенном и убранном положениях.

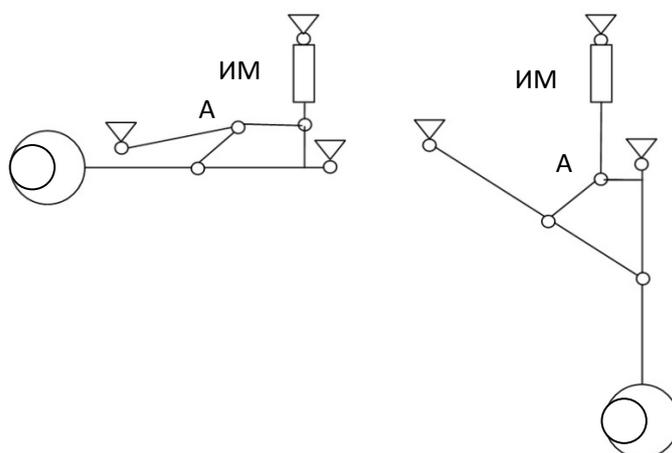


Рис. 3. Кинематическая схема сборки разборки переднего шасси

Функционирование систем автоматического управления положением шасси вполне определяется обобщенной функциональной схемой, приведенной на рис. 4.

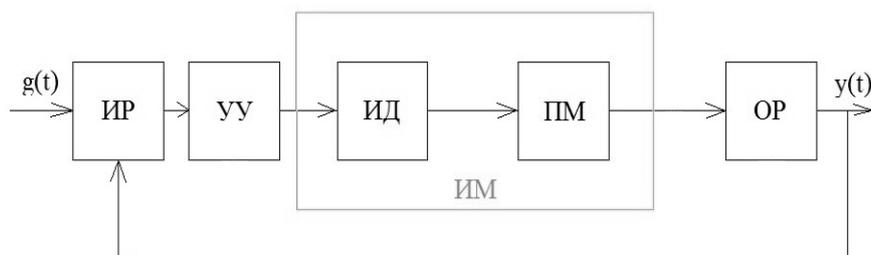


Рис. 4. Функциональная схема ЭП:

ИР – измеритель рассогласования; УУ – устройство управления; ИМ – исполнительный механизм; ИД – исполнительный двигатель; ПМ – передаточный механизм (ШВП); ОР – объект регулирования

Задающее устройство (ЗУ) вырабатывает управляющее (задающее) воздействие  $g(t)$ , с которым регулируемая величина  $y(t)$  на выходе объекта регулирования должна находиться в соответствии.

Исполнительный механизм (ИМ) состоит из исполнительного двигателя (ИД) и шарико-винтового механизма ШВП (редуктор), соединяющего вал электродвигателя с рабочим органом и согласующего их кинематические параметры. Устройство управления (УУ) служит для усиления сигнала рассогласования и преобразования его в регулирующее воздействие, подаваемое на исполнительный механизм (ИМ), который управляет объектом регулирования (ОР).

В качестве преобразователя вращательного движения в поступательное используем несамотормозящийся шарико-винтовой механизм (ШВМ) [4] (рис. 5) – достаточно компактное устройство с высоким КПД.

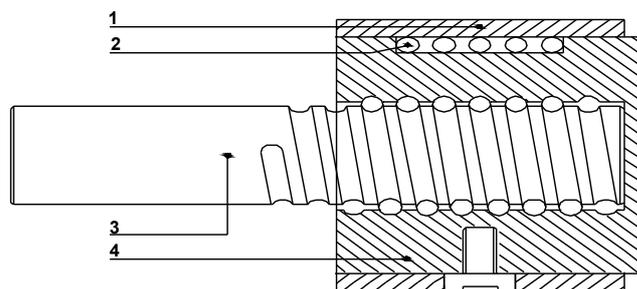


Рис. 5. Шарико-винтовой механизм:  
1 – стакан; 2 – шарики; 3 – винт; 4 – гайка

Винт вращается и перемещает в осевом направлении гайку, связанную с рычагом стойки в точке А (см. рис.3).

Опираясь на особенности условий эксплуатации, конструкцию, массовые и габаритные характеристики носового шасси самолета SSJ100 заданы следующие параметры нагрузки: момент инерции носового шасси  $23 \text{ кг м}^2$ ; коэффициент шарнирного момента  $40 \text{ Н м/рад}$ ; активный статический момент  $6 \text{ Н м}$ ; максимальный угол поворота  $1.57 \text{ рад}$ ; максимальная угловая скорость уборки шасси  $0.5 \text{ с}^{-1}$ ; максимальное угловое ускорение  $0.5 \text{ с}^{-2}$ .

Для исследования динамики привода удобнее всего воспользоваться средствами пакета MatLab с расширением Simulink. С учетом выбранных элементов функциональной схемы ЭП (см. рис. 4), используя методику построения математической и имитационной модели [5] системе управления угловым положением шасси соответствует имитационная модель на рис. 6. Результат моделирования показан на рис. 7.

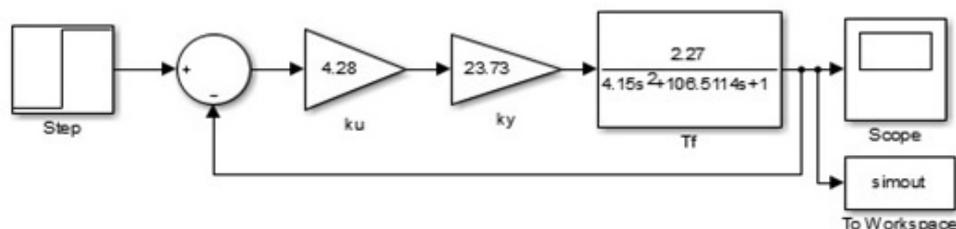


Рис. 6. Структурная схема привода, построенная на выбранных элементах

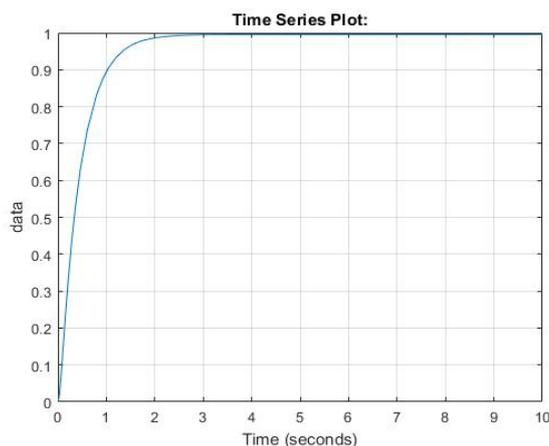


Рис. 7. График переходного процесса

Как видно из рисунка параметры переходного процесса в носовой стойке с электромеханическим приводом нас вполне удовлетворяют.

### Библиографический список

1. [Электронный ресурс] // Системы управления самолетом - понятие и виды. Классификация и особенности категории "Системы управления самолетом" 2014, 2015. URL:
2. [http://referatwork.ru/category/radio/view/395400\\_sistemy\\_upravleniya\\_samoletom](http://referatwork.ru/category/radio/view/395400_sistemy_upravleniya_samoletom) (Дата обращения: 27.03.2016)
3. [Электронный ресурс] // Шасси, спецификация. URL:
4. <http://superjet.wikidot.com/wiki:rrj-shassy> (Дата обращения: 27.03.2016)
5. Корнеев В.М. Конструкция и основы эксплуатации летательных аппаратов: конспект лекций / В.М. Корнеев. – Ульяновск: УВАУ ГА(и), 2009. – 130 с.
6. Турпаев А.И. Винтовые механизмы и передачи / А.И. Турпаев. М. : Машиностроение, 1982. 224 с. : ил. 20см.
7. Акопов В.С., Бураков М.В., Полякова Т.Г. Проектирование авиационного следящего электропривода малой мощности: учебное пособие / В.С Акопов, М.В. Бураков, Т.Г. Полякова. – Спб.: ГУАП, 2007. – 172 с.: ил. ISBN 978-5-8088-0331-2

УДК 621

**А. А. Щербаков**

студент кафедры управления в технических системах

**А. В. Денисов** – младший научный сотрудник лаборатории речевых и многомодальных интерфейсов,

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации

Российской академии наук – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЭМУЛЯЦИИ РАБОТЫ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

В связи с развитием технологий и высокими требованиями, предъявляемыми к точности выполняемых работ, современное производство сложно представить без автоматизации. Одним из главных средств автоматизации являются ро-

бототехнические системы [1]. Универсальность понятия «робот» может вводить неспециалистов в заблуждение, но когда упоминаются роботы на производстве, в основном говорят о робототехнических манипуляторах, управляемых посредством команд, отправляемых микропроцессорными устройствами [2]. Использование манипуляторов позволяет увеличить производительность труда, качество продукции, ускорить перефилирование технологической линии [3, 4] на выпуск новой продукции [5, 6]. Манипулятор без системы управления не может осуществлять воздействие на объект управления, поэтому под манипулятором следует понимать составную систему, которая может быть как замкнутой, так и разомкнутой [1]. Замкнутые системы имеют обратную связь, и как следствие, сложнее в управлении и проектировании. На рис. 1 представлена функциональная схема абстрактного манипулятора [1] с двумя контурами с обратной связью.

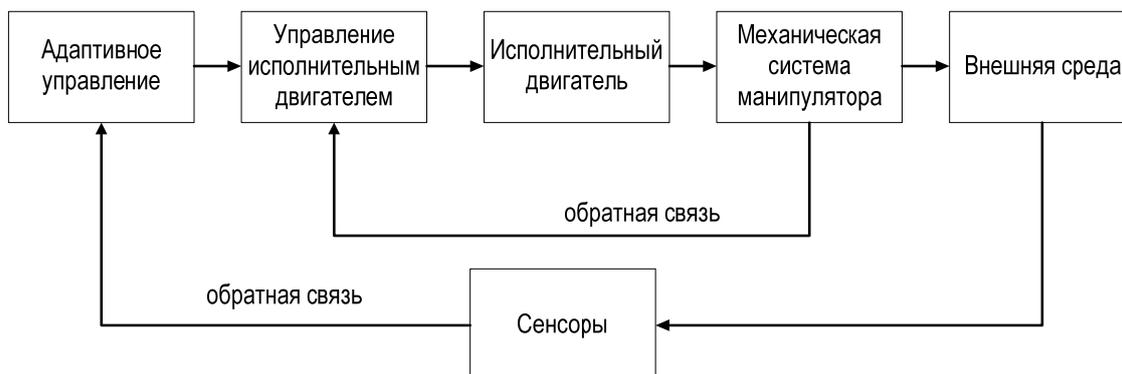


Рис. 1. Структурная схема робота манипулятора с обратной связью

Составные высокотехнологичные системы, такие как манипулятор, сложны в разработке и эксплуатации, и как следствие, требуют дополнительных средств разработки и обучения работе с ними [5]. Программы-симуляторы являются решением проблем, возникающих при разработке новых устройств, обучению работы с ними. Они позволяют моделировать внешние воздействия, кинематику, воздействия на объект управления без необходимости создавать опытный образец и без доступа к физическому устройству [7]. Симуляторы разделяют по языку программирования разработки самой программы-симулятора, возможности взаимодействия с другими программами (например, математическими пакетами), средствам визуализации и типу лицензии на использование и распространение [8].

### Постановка задачи

Необходимо разработать программный комплекс (далее приложение) для отображения работы некоторого робота-манипулятора. Зададимся параметрами робота-манипулятора. Пусть это будет неподвижный одноманипуляторный робот, имеющий четыре звена и обладающий пятью степенями свободы. Робот-манипулятор заданных параметров имеет вид, представленный на рис. 2,а и кинематическую схему рис. 2,б.

На рис. 2,а представлены: Arm\_0-3 – звенья манипулятора, Node\_0-4 – сочленения (шаровые шарниры), TargetPoint – положение захвата, которое необходимо достичь (его координаты не конечны и могут меняться в процессе работы манипулятора).

Разрабатываемое приложение является эмулятором, отличающимся от симулятора возможностью взаимодействовать с реальным устройством манипулятора в режиме реального времени и передавать команды на осуществление

управляющих действий. Таким образом, приложение включает в себя не только функциональность программы-симулятора, но и обладает расширенными возможностями в части взаимодействия с физическими системами. На структурной схеме (рис. 3) представлены базовые компоненты [9] приложения-эмулятора. Рассмотрим подробнее каждый из них.

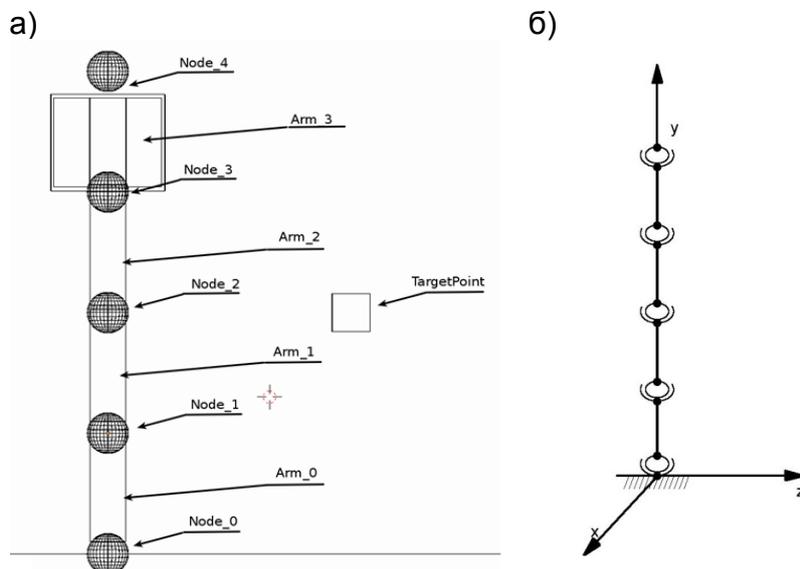


Рис. 2. Пример эмулируемого манипулятора  
а) схематичное изображение, б) кинематическая схема

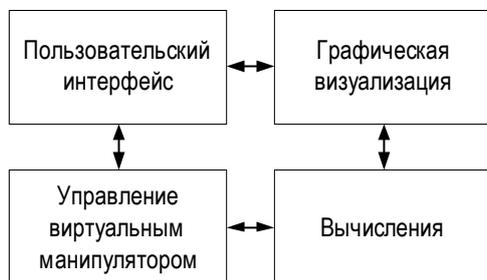


Рис. 3. Структурная схема базовых компонентов эмулятора робота-манипулятора

Компонент «Пользовательский графический интерфейс» позволяет пользователю вмешиваться в процесс работы системы без необходимости написания программного кода: задавать необходимые параметры, начальные условия, требуемую конфигурацию системы.

Компонент «Графическая визуализация» нужен как для визуального контроля и анализа результатов проводимых экспериментов, трансляции работы реального манипулятора, поведение которого эмулируется, так и в качестве инструмента для проведения презентаций в ходе разработки манипулятора. Поэтому на компонент «Графическая визуализация» накладывается требование соответствия актуальным технологиям по отображению трехмерной графики (3D-графики).

Компонент «Вычисления» служит для обслуживания математических расчетов, связанных с работой компонентов «Графическая визуализация» и «Управление виртуальным манипулятором».

В компоненте «Управление виртуальным манипулятором» реализуется математический аппарат манипулятора, включая: реализацию кинематических схем, алгоритмов кинематики, уравнений динамики и прочее. Тип руки манипулятора и вид его зоны обслуживания определяет выбор подходящей для него системы координат [1]. Существует огромное множество конфигураций манипуляторов и их составных частей, законов управления, а следовательно, и вариаций математического аппарата. Программирование математического аппарата требует существенных временных затрат, но, используя типовые решения, можно сократить время и силы на разработку всего приложения, а также получить возможность организации простых пользовательских интерфейсов, рассчитанных на различный уровень подготовки пользователя. Например, в основе большинства конфигураций лежат шесть элементарных сочленений, основными из которых являются вращательное и поступательное [1].

### **Выбор фреймворка для разработки эмулятора**

Для сокращения времени на разработку приложения используются средства быстрой разработки приложений – фреймворки [10]. Выбор фреймворка определяют поставленная перед разработчиком задача и вытекающие из нее требования и ограничения. Помимо теоретических требований, диктуемых характером поставленной задачи, существенными являются и сугубо практические: выбранный для разработки язык программирования, платформа, под которую могут быть разработаны приложения на основе выбираемого фреймворка, а также лицензия на использование программного обеспечения. Важной частью работы с эмулятором является создание 3D-модели симулируемого манипулятора, а значит, необходима простая методика импорта модели в эмулятор.

В качестве языка программирования был выбран платформонезависимый javascript [11]. Исходя из этого факта, рассматривались следующие фреймворки: Unity3D [12], Blend4Web, Treejs, Babylon.js. Для разработки был выбран фреймворк Blend4Web, обладающий рядом преимуществ: полная совместимость со свободным редактором 3D-графики Blender3D [13], активное развитие фреймворка, частый выпуск новых версий, русскоязычная документация и поддержка, язык программирования JavaScript с низким порогом вхождения, встроенные возможности вычисления различных математических данных, связанных с 3D-графикой (используется библиотека gl-matrix2), лицензия GPL-лицензия, позволяющая использовать, модифицировать и распространять программный продукт бесплатно [14].

Эмулятор манипулятора программно выполнен в виде модулей движка blend4web, который входит в состав фреймворка Blend4Web. Движок blend4web выполняет функции графической визуализации и вычислений данных (рис. 3). Это позволяет сконцентрироваться на разработке основных частей и использовать современные средства визуализации.

Модель виртуальной сцены импортируется в форматах json и bin, используя подобный подход можно создать код для типовых решений и загружать их в приложение по мере необходимости. При таком подходе программист с любым уровнем подготовки может написать свою реализацию математического аппарата для описания работы конкретного компонента манипулятора.

### **Описание архитектуры приложения**

Подход к разработке приложения должен начинаться с архитектуры. Простая и прозрачная архитектура позволяет каждой категории целевой аудитории приложения абстрагироваться от внутреннего устройства компонентов системы,

тем самым обеспечивая простой интерфейс для взаимодействия с системой и потенциал для ее дальнейшего развития.

Рассмотрим архитектуру приложения эмулятора манипулятора, представленную в виде структурной схемы на рис. 4

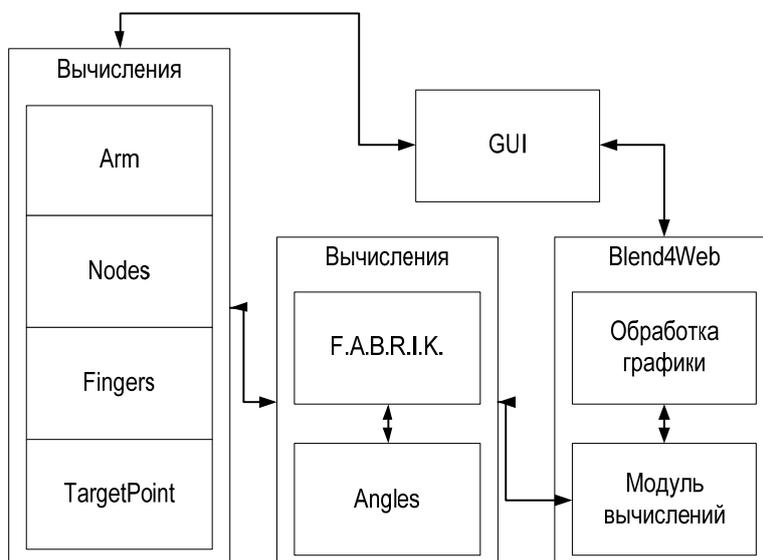


Рис. 4. Структурная схема архитектуры приложения

Модуль «Вычисления» содержит модули «FABRIK» и «Angles». В модуле «FABRIK» реализуется алгоритм обратной кинематики «F.A.B.R.I.K.» [15]. В модуле «Angles» вычисляются углы поворота сервоприводов, необходимые для достижения звеньями манипулятора заданного положения.

Модуль «Manipulator» состоит из подмодулей «Arm», «Nodes», «Fingers», «TargetPoint», представляющих математическое описание звеньев, шарниров, схвата, целевой точки схвата эмулятора, соответственно. Каждый из них находит отражение в 3D-представлении манипулятора в эмуляторе.

Модуль «Blend4Web» содержит модуль «Обработка 3D-графики» и «Модуль вычислений». Модуль «Обработка 3D-графики» служит для взаимодействия с объектом canvashtml-страницы по средствам WebGL. В «Модуле вычислений» реализованы математические функции для работы с векторами, матрицами и кватернионами.

Модуль «GUI» (GraphicalUserInterface) выполняет функции обработки данных модуля «Манипулятор» для вывода их в графическом интерфейсе и для передачи данных из графического интерфейса в модуль «Манипулятор».

### Описание режимов работы эмулятора

Работа приложения начинается с создания экземпляра класса движка Blender4Web. Далее происходит создание экземпляров классов остальных модулей и запуск управляющей программы.

Возможны несколько вариантов управляющей программы:

- демонстрационная управляющая программа;
- поворот звеньев на заданный фиксированный угол;
- перестроение звеньев манипулятора для достижения заранее заданной точки.

Демонстрационная управляющая программа служит для демонстрации работы эмулятора без необходимости вмешательства пользователя. В процессе работы она итеративно задает точку на основе заранее определенного массива конечных точек и выполняет на каждой итерации управляющую программу «Перестроение звеньев манипулятора для достижения заранее заданной точки».

Управляющая программа «Поворот звеньев на заданный фиксированный угол» получает экземпляры класса *Arm* и углы поворота. Далее она передает полученные объекты и углы в модуль «Обработка 3D-графики». Модуль «Обработка 3D-графики» передает свойства экземпляров класса *Arm*, необходимые для ориентации в пространстве, в модуль вычислений. Модуль вычисления возвращает новые свойства экземпляров класса *Arm*, а модуль «Обработка 3D-графики» перерисовывает кадр.

Управляющая программа «Перестроение звеньев манипулятора для достижения заранее заданной конечной точки» получает экземпляр класса *TargetPoint* и изменяет его свойства. Программа получает остальные экземпляры класса *Arm* и передает свойства экземпляров классов *TargetPoint* и *Arm* в модуль «FABRIK». Модуль «FABRIK» передает новые свойства экземпляров класса в модуль *Angles*. *Angles* возвращает новые свойства. Управляющая программа запускает управляющую программу «поворот звеньев на заданный фиксированный угол». На рис. 5,а и 5,б представлены снимки экрана, демонстрирующие работу управляющей программы «Перестроение звеньев манипулятора для достижения заранее заданной конечной точки».

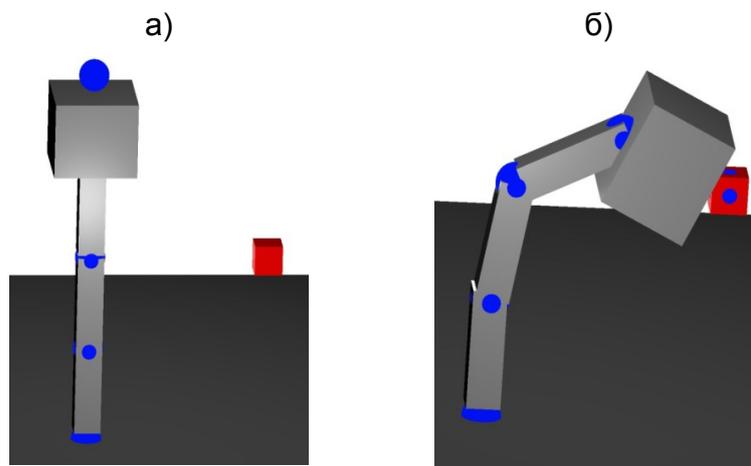


Рис. 5. 3D отображение манипулятора в эмуляторе:  
а) начальное положение, до выполнения управляющей программы;  
б) после выполнения управляющей программы

### Заключение

В ходе разработки архитектуры приложения эмулятора робота-манипулятора был сделан акцент на использовании преимуществ выбранного фреймворка с целью сокращения трудовых и временных затрат, а также на четком разделении модулей эмулятора на основе выполняемых функций. Это позволило построить понятную, достаточно детализированную систему с прозрачной архитектурой и удобным интерфейсом. Подобный подход может быть использован для создания эмуляторов прочих семейств роботов (колесных-наземных, воздушных-летающих и др.)

**Библиографический список**

1. Климчик А.С., Гомолицкий Р.И., Фурман Ф.В., Семкин К.И. Разработка управляющих программ промышленных роботов/ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Минск, 2008. 131 с.
2. Зенкевич С. Л., Ющенко А. С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами: учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 400 с.
3. Юревич Е. Основы робототехники. 2-е изд. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 420 с.
4. Robinson, P. Robotics Education and Training: A Strategy for Development// Industrial Robot. 1996. vol. 23(2). pp. 4-6.
5. Основы робототехники/ Н. В. Василенко К. Д., Никитин В. П., Пономарев, А. Ю. Смолин. Томск: МГП «РАСКО», 1993. 480 с.
6. Кондратьева М. Н. Экономика предприятия: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 241 с.
7. Robotic Modelling and Simulation: Theory and Application. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intechopen.com/books/robot-manipulators-trends-and-development/robotic-modelling-and-simulation-theory-and-application> (дата обращения: 19.03.16)
8. Echeverria G., Lassabe N., Degroote A., Lemaignan S. Modular open robots simulation engine: MORSE // Robotics and Automation (ICRA), 2001 IEEE International Conference on, Shanghai, 2001. pp. 46-51.
9. Optimal Usage of Robot Manipulators. [Электронный ресурс]. URL: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/10489.pdf> (дата обращения: 19.03.16)
10. Gachet A. Software Frameworks for Developing Decision Support Systems – A New Component in the Classification of DSS Development Tools// Journal of Decision Systems. 2003. vol. 12(3). pp. 271–281.
11. Флэнаган Д. JavaScript. Карманный справочник. Вильямс, 2015. 320 с.
12. Creighton R. H. Unity 3D Game Development by Example: A Seat-of-Your-Pants Manual for Building Fun, Groovy Little Games Quickly. PacktPublishingLtd, 2010.
13. Brito A. Blender 3D 2.49 Architecture, Buildings, and Scenery. PacktPublishingLtd, 2010.
14. GPL License [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gnu.org/licenses/> Режим доступа: свободный (дата обращения: 28.03.2016)
15. Aristidou A, Lasenby J. FABRIK: A Fast, Iterative solver for the Inverse Kinematics Problem// Graphical Models. 2001. vol. 73(5). pp. 243–260.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КОНКУРС «ЭНЕРГИЯ УСПЕХА»– 2016**

20 апреля 2016 года состоялся интеллектуальный конкурс «Энергия успеха», в котором приняли участие школьники 9 – 11 классов Санкт-Петербурга и Ленинградской области, обучающиеся на малом факультете института инновационных технологий в электромеханике и робототехнике.

Цель интеллектуального конкурса состоит в выявлении и развитии у обучающихся творческих способностей и интереса к научно-исследовательской деятельности, создании необходимых условий для поддержки одаренных детей, распространении и популяризации научных знаний среди молодежи, привлечении талантливой, наиболее подготовленной молодежи к обучению в ГУАП, выявлении и поддержке лиц, проявивших выдающиеся способности.

Доклады школьников охватили широкий спектр современных технических новинок: от применения современных геознергетических технологий до перспектив развития нейронных сетей в космонавтике. Участники конкурса творчески подошли к подготовке своих выступлений и представили свои работы в виде стендовых докладов. Ребята успешно продемонстрировали свои умения, знания и навыки, полученные в ходе обучения на малом факультете.

Научные руководители конкурсантов, магистранты института № 3, проявили высокую техническую эрудицию и педагогические навыки при подготовке участников. Вместе с профессорско-преподавательским составом института и программным комитетом конкурса, они также оценивали работы участников. Участники конкурса активно обменивались мнениями, идеями, знаниями.

Результаты конкурса будут учитываться приемной комиссией ГУАП как индивидуальное достижение учащегося, в соответствии с правилами приема ГУАП на 2016/2017 учебный год. Это даст возможность участникам получить дополнительные баллы к общему результату по ЕГЭ. Наиболее интересные и наукоемкие работы по результатам оценки членов жюри вошли в сборник докладов молодежной секции «Завалишинские чтения» и теперь участники имеют собственную научную публикацию.



УДК 620.92

**М. И. Заикин**

ученик 11 класса ГБОУ СОШ № 518 Санкт-Петербурга

**М. В. Медведев** – магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

### СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Различают пять основных типов геотермальной энергии:

- нормальное поверхностное тепло Земли на глубине от нескольких десятков до сотен метров;
- гидротермальные системы, то есть резервуары горячей или теплой воды, в большинстве случаев самовыливной;
- парогидротермальные системы – месторождения пара и самовыливной пароводяной смеси (гейзеры);
- петрогеотермальные зоны или теплота сухих горных пород;
- магма (нагретые до 1300°C расплавленные горные породы).

Самый распространенный пример использования геотермальной энергии – это геотермальные электростанции (ГеоТЭС), которые, в свою очередь, можно разделить на три основных типа:

- станции, работающие на месторождениях сухого пара;
- станции с парообразователем, работающие на месторождениях горячей воды под давлением;
- станции с бинарным циклом, в которых геотермальная теплота передается вторичной жидкости (например, фреону или изобутану) и происходит классический цикл Ренкина.

Из ныне работающих ГеоТЭС в качестве примера можно привести известные станции: ГеоТЭС Несьявеллир, Исландия, Мутновская ГеоТЭС, Россия, ГеоТЭС Хебер, США.

Рассмотрим преимущества и недостатки данного вида ТЭС. ГеоТЭС имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными типами ТЭС:

- постоянный излишек энергоресурсов, что обеспечивает использование полной установленной мощности оборудования ГеоТЭС;
- достаточно простой уровень автоматизации;
- последствия возможных аварий ограничиваются территорией станции;
- удельные капиталовложения и себестоимость электрической энергии в основном могут быть ниже, чем на электростанциях, использующих другие возобновляемые источники энергии.

А основной недостаток ТЭС (последних трех типов) – это территориальная зависимость (только в определенных областях Земли), которого лишены ГеоТЭС, использующие «универсальный тип геоэнергии» – нормальное поверхностное тепло Земли на глубине от нескольких десятков до сотен метров. Пример такой технологии – тепловой насос (ТН) [1].

Источником теплоснабжения могут служить ТН, которые преобразовывают низкопотенциальную тепловую энергию окружающей среды (воды, грунта, воздуха), а также тепловые отходы промышленных предприятий и коммунальных служб в тепловую энергию нужного потенциала. Перенесение теплоты от источника низкого потенциала на более высокий температурный уровень осуществляется подведением механической энергии или дополнительным подведением теплоты. Наиболее простой конструкцией является ТН парокомпрессионного вида, схема которого приведена на рис. 1.

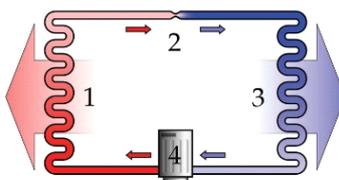


Рис. 1. Схема парокompрессионного теплового насоса:  
1 – конденсатор; 2 – дроссель; 3 – испаритель; 4 – компрессор

Конструкция парокompрессионного ТН включает два теплообменных аппарата – испаритель, в котором происходит испарение жидкого холодильного агента за счет подведения теплоты при невысоком давлении от среды с низким потенциалом, и конденсатор, в котором происходит конденсация пароподобного холодильного агента при повышенном давлении за счет отдачи теплоты теплоприемнику. В схеме предусмотрен компрессор для отсасывания из испарителя и сжатия паров холодильного агента до давления конденсации. Основной физической принцип работы ТН – цикл Карно (рис. 2) [2].

Уравнение теплового баланса парокompрессионного теплового насоса имеет вид:

$$Q_B = Q_H + W, \quad (1)$$

где  $Q_B$  – энергия, которая передается от конденсатора к рабочей среде высокого потенциала;  $Q_H$  – энергия среды низкого потенциала, которая передается испарителю;  $W$  – механическая энергия, затраченная компрессором на сжатие холодильного агента.

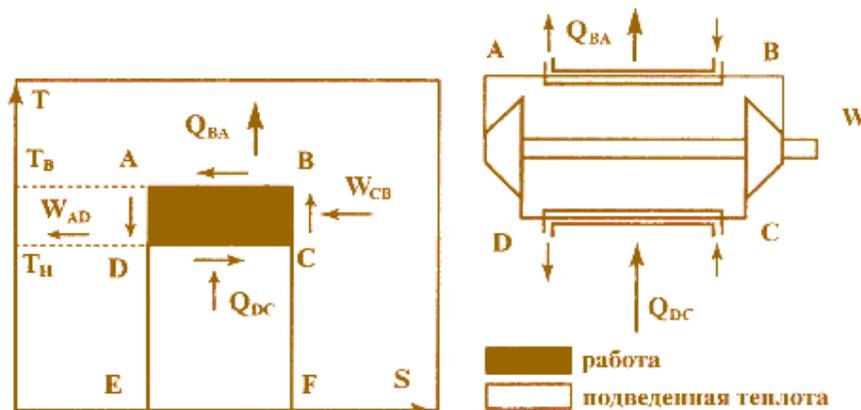


Рис. 2. Цикл Карно и схема идеального теплового насоса

Отношение полезной теплоты к затраченной называют коэффициентом преобразования  $k_p$  теплового насоса:

$$k_p = Q_{BA} / W = T_B / (T_B - T_H). \quad (2)$$

Практический интерес с точки зрения энергоснабжения представляет коэффициент использования топлива  $k_{ит}$ , являющийся отношением полезной энергии на выходе установки  $Q_B$  к количеству энергии  $Q_{топ}$ , которое содержится в первичном топливе и которое использовано для работы теплового насоса:

$$k_{ит} = Q_B / Q_{топ}. \quad (3)$$

Чем выше коэффициент использования топлива, тем эффективнее работа ТН. Другими словами, эффективность ТН тем выше, чем ниже стоимость использованной для привода компрессора механической или электрической энергии.

Рассмотрим конструкции ТН. В зависимости от источника, который отдает свое тепло, насосы подразделяются на следующие виды: геотермальные, воздушные,

использующие вторичное тепло. Геотермальный ТН использует для обогрева/охлаждения тепло земли, подземных или наземных вод. В свою очередь данное оборудование можно разделить на два типа: насосы замкнутого типа и насосы открытого типа. Первые могут быть горизонтальными, вертикальными или водными.

Горизонтальные геотермальные ТН замкнутого типа (рис. 3) имеют коллектор, который размещается извилисто или кольцами в специально выкопанных горизонтальных траншеях ниже глубины промерзания почвы (от 1,2 м и больше). Данный способ установки теплового оборудования является самым экономически выгодным для частных домов, однако, главным критерием выбора такой установки служит наличие достаточной площади для ее размещения.

Вертикальные насосы замкнутого типа (рис. 4) снабжаются коллектором, который размещается вертикально в неглубокие скважины (до 2 м). Данный вариант размещения теплового оборудования применяется в том случае, когда размеры земельного участка не слишком велики или же хозяин не желает нарушать ландшафт своего сада.

Водные насосы замкнутого типа (рис. 5) имеют тот же коллектор, но размещенный либо кольцами, либо извилисто в любом водоеме ниже глубины его промерзания. Это самый дешевый вариант из всех, но есть здесь и свои нюансы, касающиеся, прежде всего, глубины и объема самого водоема, причем для каждого региона данные требования свои. Геотермальные насосы открытого типа, как правило, используют в качестве теплообменной жидкости воду, которая циркулирует через саму систему в «открытом режиме», то есть после прохождения всего цикла, вода возвращается назад в землю. Данный способ отопления дома можно использовать лишь тогда, когда на участке имеется достаточно большое количество чистой воды и есть разрешение на монтаж.

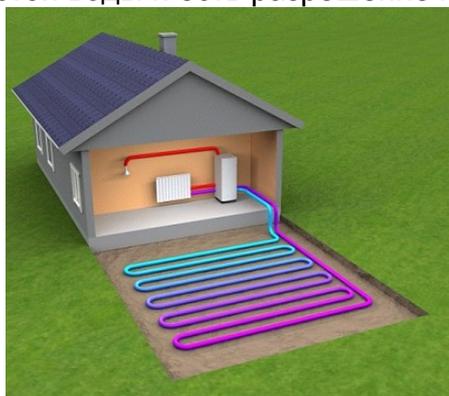


Рис. 3. Горизонтальный ТН

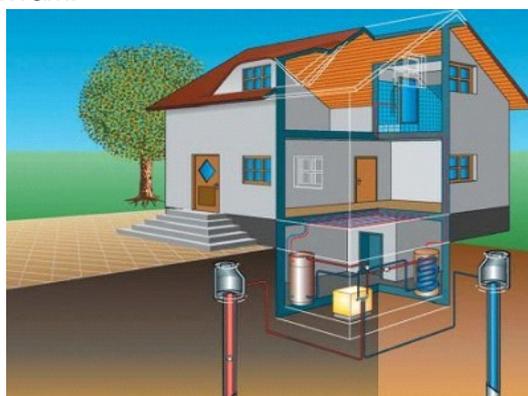


Рис. 4. Вертикальный ТН

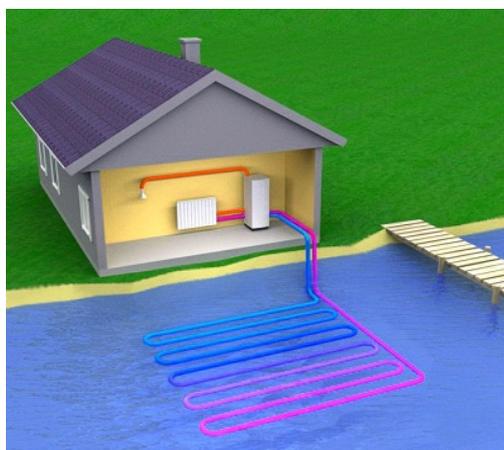


Рис. 5. ТН водный закрытого типа

Воздушный ТН (рис. 6) в качестве источника отбора тепла использует окружающий воздух. Грубо говоря, это обычный кондиционер, но поскольку цель данного оборудования полностью заменить собой старые радиаторные батареи, их мощность должна в несколько раз превышать мощность стандартной сплит-системы. Недостатком такого насоса является резкое уменьшение коэффициента преобразования воздуха в тепло при понижении температуры воздуха ниже -15 градусов.



Рис. 6. Воздушный ТН

Насосы, использующие вторичное тепло. Данный тип ТН в качестве источника отбора тепла использует любой вариант вторичного тепла, например, тепло трубопровода центрального отопления. Чаще всего этот способ обогрева используют крупные промышленные предприятия, где имеются подобные источники паразитного тепла.

Рассмотрим условия применения ТН в России. Тепловой насос с грунтовым коллектором можно применять только в случае, если температура грунта на уровне прокладки коллектора не опускается ниже  $0^{\circ}\text{C}$  (то есть нет перехода грунта в мерзлое состояние – промерзание), даже в зимний период времени. Так в 9 городах (Псков, Санкт-Петербург, Астрахань, Сочи, Салехард, Петропавловск-Камчатский, Владивосток, Красноярск, Екатеринбург) из 11 проанализированных есть возможность прокладывать горизонтальный грунтовой теплообменник на глубине 1,6 м, так как глубина промерзания почв расположена выше этой величины. Россия – территория с наибольшим распространением вечной мерзлоты. В зоне многолетне-мерзлых грунтов находится более 60% территории страны; в основном это территория Средней и Восточной Сибири и северной части Дальнего Востока. На вечной мерзлоте стоят Магадан, Анадырь, Якутск, Мирный, Норильск, Игарка, Надым, Воркута, на границах с Читой также имеются острова вечной мерзлоты. Город Якутск расположен в районе вечной мерзлоты, где грунт промерзает на достаточно большую глубину, что делает невозможным использование тепловой системы с горизонтальным коллектором. Читинская область имеет часть территории в районе вечной мерзлоты, где глубина промерзания почвы превышает 3,2 м, что делает также нецелесообразным применение установки с горизонтальным коллектором в качестве источника теплоты для обогрева помещения. Срок службы ТН ограничивается только сроком службы компрессора. Это единственное устройство, содержащее движущиеся части, срок службы которых составляет 25 лет. По истечении этого срока компрессор должен быть заменен. Срок эксплуатации коллекторов достигает 50 лет [3].

Преимущества установки ТН:

- высокая экономическая эффективность. Если учесть, что на 1 кВт электроэнергии, затраченной на работу установки, приходится от 2,5 до 5 и даже более кВт преобразованной тепловой энергии, то подобные агрегаты вполне оправдывают свою высокую стоимость;
- автономность и универсальность. Использовать ТН можно в любом регионе и при любых климатических условиях, к ним не нужно подводить никакие коммуникации, разве что электроэнергию, но даже при ее отсутствии вполне хватит небольшого дизельного генератора мощностью 2–5 кВт, чтобы качественно отопить дом площадью до 300 кв. м;
- экологичность. Во время работы ТН не происходит выделение никаких вредных и ядовитых веществ;
- долговечность. Прибор устроен очень просто, именно это и позволяет ему работать без капитального ремонта в течение более чем 50 лет;
- безопасность эксплуатации. Отсутствие каких-либо пожаро- и взрывоопасных материалов, очень часто применяемых для отопления помещений, делают ТН абсолютно безопасными. Ни одна деталь устройства не нагревается до тех температур, что способны привести к пожару. Не нужны никакие разрешения и документы. Купив установку, ее нужно просто смонтировать и пользоваться в свое удовольствие. Никакой волокиты по кабинетам, никаких согласований, никаких бумаг;
- комфорт. Прибор работает устойчиво, колебания влажности и температуры в доме минимальны, шум полностью отсутствует, а возможность управления насосом через интернет превращает устройство в настоящее чудо техники;
- перспективность. Цены на все энергоносители постоянно растут, что делает их применение в качестве источника тепла не совсем целесообразным. Сказать то же самое о ТН просто язык не повернется, ведь вода в озере, или воздух вокруг дома ничего не стоят, а значит, тепло вашего дома всегда будет стоить столько, во сколько вы сами его оцениваете.

### Библиографический список

1. *Бондаренко В. И.* и др. Энергетика: история, настоящее и будущее. Киев, 2005. 304 с.
2. Материал из Википедии: "Тепловой насос. Схема компрессионного теплового насоса". Режим доступа к ссылке: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тепловой\\_насос](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тепловой_насос). (Дата обращения 29.03.2016).
3. Материал из Википедии: Геотермальный тепловой насос. Раздел "Типы тепловых насосов". Режим доступа к ссылке:
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Геотермальный\\_тепловой\\_насос](https://ru.wikipedia.org/wiki/Геотермальный_тепловой_насос). (Дата обращения 29.03.2016).

### УДК 004.89

#### **О. А. Кондратьева**

ученица 11 класса ГБОУ СОШ № 258

**Г. С. Резванов** – магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

## НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА В ОПИСАНИИ ЗНАНИЙ

Одним из создателей кибернетики Джоном фон Нейманом было замечено, что стремление получить точную, исчерпывающую модель для достаточно слож-

ного объекта (процесса) не имеет смысла, поскольку сложность такого описания становится соизмеримой со сложностью самого объекта. Следовательно, использование такой модели не позволяет просто и наглядно объяснить механизм его функционирования, воспользоваться какими-либо стандартными математическими процедурами для исследования характеристик объекта и синтеза системы управления им. Известный специалист в области теории систем профессор факультета электротехники и информатики Калифорнийского университета (г. Беркли, США) Лютфи А. Заде сформулировал эту мысль в виде так называемого принципа несовместимости. Согласно этому принципу: «Чем сложнее система, тем менее мы способны дать точные и в то же время имеющие практическое значение суждения об ее поведении» [1], т.е. для систем, сложность которых превосходит некоторый пороговый уровень, точность и практический смысл становятся почти исключаящими друг друга характеристиками. В этом случае использование «четкой», классической логики становится практически невозможным. Это происходит из-за того, что других значений помимо 1 или 0 ни одна переменная принять не может. Решить эту проблему и призвана нечеткая логика.

Прежде, чем нечеткий подход к моделированию сложных систем получил признание во всем мире, прошло не одно десятилетие с момента зарождения теории нечетких множеств. И на этом пути развития нечетких систем принято выделять три периода. Первый период (конец 60-х – начало 70-х гг.) характеризуется развитием теоретического аппарата нечетких множеств (Л. Заде, Э. Мамдани, Беллман). Во втором периоде (70–80-е гг.) появляются первые практические результаты в области нечеткого управления сложными техническими системами (парогенератор с нечетким управлением). Наконец, в третьем периоде, который длится с конца 80-х гг. и продолжается в настоящее время, появляются пакеты программ для построения нечетких экспертных систем, а области применения нечеткой логики заметно расширяются. Сейчас нечеткие технологии становятся все более актуальными среди представителей самых различных профессий. Например, они активно используются при моделировании в области геологии, в разработке нефтяных месторождений. Нечеткая логика применяется в автомобильной, аэрокосмической и транспортной промышленности, в области изделий бытовой техники, в сфере финансов, анализа и принятия управленческих решений и многих других [2].

Предметом нечеткой логики считается исследование рассуждений в условиях нечеткости, размытости, сходных с рассуждениями в обычном смысле, и их применение в вычислительных системах [3]. Аппарат нечеткой логики используется в основном для очень сложных процессов, в которых не существует простой математической модели; для нелинейных процессов высоких порядков; и в случаях, если должна производиться обработка лингвистически сформулированных экспертных знаний. Основным определением в этом разделе математики является понятие нечеткого множества, впервые введенного Лютфи Заде в 1965 г. Его характеристикой выступает функция принадлежности элемента к множеству, принимающей любые значения в интервале  $[0;1]$  [4]. Проиллюстрируем это на простом примере. Формализуем неточное определение «горячий чай». В качестве области рассуждений  $X$  будет выступать шкала температуры в градусах Цельсия. Очевидно, что она будет изменяться от 0 до  $100^{\circ}\text{C}$ . Нечеткое множество для понятия «горячий чай» может выглядеть следующим образом:

$$C = \{0/0; 0/10; 0/20; 0,15/30; 0,30/40; 0,60/50; 0,80/60; 0,90/70; 1/80; 1/90; 1/100\}.$$

Так, чай с температурой  $60^{\circ}\text{C}$  принадлежит к множеству «Горячий» со степенью принадлежности 0,80. Для одного человека чай при температуре  $60^{\circ}\text{C}$  может оказаться горячим, для другого – не слишком горячим. Именно в этом и проявляется нечеткость задания соответствующего множества [3]. Для нечетких мно-

жеств, как и для обычных, определены основные логические операции. Самыми основными, необходимыми для расчетов, являются пересечение и объединение.

Пусть есть множество  $A$  и  $B$ , тогда:

- пересечение множеств, т.е.  $A \text{ or } B = \max(A, B)$ .
- объединение множеств, т.е.  $A \text{ and } B = \min(A, B)$ .

Для описания нечетких множеств вводятся понятия нечеткой и лингвистической переменных. С термином «лингвистическая переменная» можно связать любую физическую величину, для которой нужно иметь больше значений, чем только ДА и НЕТ. В этом случае определяется необходимое число термов и каждому из них ставится в соответствие некоторое значение описываемой физической величины. Для этого значения степень принадлежности физической величины к терму будет равна единице, а для всех остальных значений – в зависимости от выбранной функции принадлежности. Нечеткая переменная описывается набором  $(N, X, A)$ , где  $N$  – это название переменной,  $X$  – универсальное множество (область рассуждений),  $A$  – нечеткое множество на  $X$  [4]. Существует свыше десятка типовых форм кривых для задания функций принадлежности. Наибольшее распространение получили: треугольная, трапецеидальная и гауссова функции принадлежности.

Гибридизация методов интеллектуальной обработки информации – девиз, под которым прошли 90-е годы у западных и американских исследователей. В результате объединения нескольких технологий искусственного интеллекта появился специальный термин – «мягкие вычисления», который ввел Л. Заде в 1994 г. В настоящее время мягкие вычисления объединяют такие области как: нечеткая логика, искусственные нейронные сети, вероятностные рассуждения и эволюционные алгоритмы. Они дополняют друг друга и используются в различных комбинациях для создания гибридных интеллектуальных систем. Влияние нечеткой логики оказалось, пожалуй, самым обширным. Подобно тому, как нечеткие множества расширили рамки классической математической теории множеств, нечеткая логика «вторглась» практически в большинство методов DataMining, наделив их новой функциональностью.

### **Адаптивные нечеткие системы**

Классические нечеткие системы обладают тем недостатком, что для формулирования правил и функций принадлежности необходимо привлекать экспертов той или иной предметной области, что не всегда удается обеспечить. Адаптивные нечеткие системы решают эту проблему. В таких системах подбор параметров нечеткой системы производится в процессе обучения на экспериментальных данных. Алгоритмы обучения адаптивных нечетких систем относительно трудоемки и сложны по сравнению с алгоритмами обучения нейронных сетей, и, как правило, состоят из двух стадий:

- генерация лингвистических правил;
- корректировка функций принадлежности.

Первая задача относится к задаче переборного типа, вторая – к оптимизации в непрерывных пространствах. При этом возникает определенное противоречие: для генерации нечетких правил необходимы функции принадлежности, а для проведения нечеткого вывода – правила. Кроме того, при автоматической генерации нечетких правил необходимо обеспечить их полноту и непротиворечивость. Значительная часть методов обучения нечетких систем использует генетические алгоритмы.

### **Нечеткие запросы**

Нечеткие запросы к базам данных – перспективное направление в современных системах обработки информации. Данный инструмент дает возможность

формулировать запросы на естественном языке, например: «Вывести список недорогих предложений о съеме жилья близко к центру города», что невозможно при использовании стандартного механизма запросов. Для этой цели разработана нечеткая реляционная алгебра и специальные расширения языков SQL для нечетких запросов. Большая часть исследований в этой области принадлежит западноевропейским ученым Д. Дюбуа и Г. Праде [5].

Подводя итоги, можно сказать, что нечеткая логика – это бесспорно перспективная область науки, которая помогает оперировать нечеткими данными, поэтому развитие этой темы весьма важно.

### Библиографический список

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. 167 с.
2. Введение в нечеткую логику и системы нечеткого управления (Электронный ресурс) – Режим доступа: <http://www.gotai.net/documents/doc-l-fl-001.aspx>. (Дата обращения 19.04.16).
3. Материал из Википедии (Электронный ресурс) – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нечеткая\\_логика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нечеткая_логика). (Дата обращения 20.04.16).
4. Нечеткая логика (Электронный ресурс) – Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/87/87/lecture/20513>. (Дата обращения 20.04.16).
5. Интеллектуальные задачи в экономике (Электронный ресурс) – Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/3735/977/lecture/14689?page=2>. (Дата обращения 20.04.16).

УДК 004.896

**А. С. Куделин**

ученик 10 класса Сертоловской СОШ № 1

**Д. В. Лавринович** – магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

## МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Ретроспективный взгляд на историю современной робототехники позволяет выделить основные этапы ее поступательного развития, связанные с появлением принципиально новых типов устройств и систем, наращивание функциональных возможностей которых от поколения к поколению определяется существенным усложнением решаемых прикладных задач, а также расширением областей применения.

Преимущества прикладного применения мультиагентных робототехнических систем (МАРС):

- существование различных прикладных задач, решение которых связано с организацией взаимодействий нескольких исполнителей, объединяющих функциональные и технические ресурсы;
- существование различных прикладных задач, допускающих распараллеливание процессов решения между несколькими исполнителями в целях сокращения тех или иных затрат на достижение требуемого результата;
- возможность повышения надежности решения выполняемой задачи при отказе одного из исполнителей за счет перераспределения функций между оставшимися;

– возможность потенциальной замены сложных многофункциональных дорогостоящих систем группой более простых и дешевых робототехнических устройств.

### **Стратегии группового управления в мультиагентных робототехнических системах**

Стратегии централизованного управления предполагают сосредоточение всей совокупности командно-контролирующих функций в ведении некоторого единого органа, обеспечивающего планирование и координацию целесообразных действий членов группировки при решении общих прикладных задач. Структура системы централизованного управления должна предусматривать наличие каналов связи между командно-контролирующим органом и каждым из членов группировки. Главный недостаток этой системы заключается в ее потенциальной уязвимости, поскольку выход из строя командного узла приводит к потере ее работоспособности. К числу достоинств систем централизованного управления необходимо отнести существенное сокращение функциональной нагрузки на рядовых членов группировки.

Стратегии децентрализованного управления предполагают, что планирование коллективных действий в группе производится каждым из ее членов самостоятельно исходя из условий достижения общих целей.

Кроме того, в зависимости от возможности согласования индивидуально принимаемых решений, стратегии децентрализованного управления делятся на коллективные (с непосредственным обменом информацией между всеми членами группировки) и стайные (с опосредованной связью на основе анализа изменений среды и обстановки при отсутствии взаимной передачи данных).

Таким образом, структура децентрализованной системы коллективного управления должна предусматривать наличие каналов двусторонней связи между всеми членами группировки для координации выполняемых ими действий и обмена информацией о текущем состоянии среды. Главное достоинство подобного варианта построения системы заключается в сохранении ее работоспособности при выходе из строя одного или нескольких элементов. Основным недостатком децентрализованных систем управления связан со значительным объемом функций, возлагаемых на каждого члена группировки.

Следует отметить, что стайные стратегии группового управления занимают особое место среди прочих. При стайном управлении обеспечение групповых взаимодействий по существу ограничивается описанием постановки общей прикладной задачи и ее последующим доведением до сведения отдельных исполнителей, которые должны обладать достаточным уровнем интеллектуальных и функциональных возможностей для принятия и реализации решений о форме и доле своего участия в достижении поставленной цели.

В общем случае системы группового управления могут строиться не только в соответствии централизованной и децентрализованной, но и комбинированной структурой, формируемой по иерархическому принципу. Применение такого рода систем охватывает задачи управления группировками большой численности, все участники которых считаются разделенными на ряд мелких формирований. При этом для управления как самими формированиями, так и отдельными исполнителями в их составе могут использоваться различные стратегии.

В то же время очевидно, что вопросы выбора стратегии и структуры системы группового управления не только однозначно взаимосвязаны друг с другом, но и предполагают необходимость обеспечения надежных каналов сетевой связи.

### **Проблемы разработки, принципы построения и обобщенная функциональная структура MAPC**

Основные требования к функциональным возможностям MAPC связаны с необходимостью анализа поставленной прикладной задачи. Создание таких систем сопряжено с решением следующих ключевых проблем:

- организация развитого человеко-машинного интерфейса, позволяющего обеспечить оперативную постановку общей прикладной задачи;
- организация целесообразного взаимодействия между отдельными агентами в интересах выполнения общей прикладной задачи;
- обеспечение автономности агентов и системы в целом.

Каждая из перечисленных проблем является крайне сложной, многогранной и затрагивает целый ряд взаимосвязанных вопросов. Так, например, проблема организации целесообразных взаимодействий между активными элементами в составе MAPC охватывает две важнейших составляющих:

- планирование координированных действий агентов;
- обеспечение информационно-логического взаимодействия и совместимости агентов.

Другая, не менее важная проблема построения MAPC связана с организацией развитого человеко-машинного интерфейса, позволяющего обеспечить оперативную постановку общей прикладной задачи. Способ его построения должен с одной стороны полностью удовлетворять требованиям удобства и простоты работы оператора, а с другой стороны – отвечать особенностям закладываемых методов и алгоритмов планирования координированных действий агентов. В свою очередь, обеспечение автономности робота предполагает наличие интеллектуальной бортовой системы управления, реализующей весь спектр необходимых функций.

К фундаментальным основам построения MAPC относятся следующие ключевые принципы:

- единство целей функционирования агентов;
- адекватность интеллектуальных и функциональных возможностей агентов сложности решаемых задач;
- единство информационного пространства системы;
- гибкая перестраиваемость сетевой архитектуры, обеспечивающей поддержку единого информационного пространства системы при реализации различных стратегий группового управления;
- взаимная информационно-логическая совместимость агентов.

Представленные принципы фактически определяют функциональную структуру MAPC, включающую в свой состав следующий набор основных модулей:

- интеллектуального человеко-машинного интерфейса, который должен обеспечивать возможность оперативного описания общей прикладной задачи, оценки корректности ее постановки в режиме моделирования, спецификации среды предполагаемого функционирования и действующих в ней ограничений, а также отображения телеметрических и сенсорных данных о работе отдельных агентов и их взаимодействии;
- планирования действий и формирования заданий на основе анализа поставленной прикладной задачи и текущих результатов ее выполнения отдельными агентами;
- распределения текущих заданий между исполнителями исходя из имеющихся у них ресурсов с учетом особенностей сложившейся обстановки и специфики среды функционирования;

- сбора и обобщения разнородной сенсорной и командной информации отдельных агентов для построения модели среды, адекватной сложившейся обстановке;
- построения модели среды на основе интерпретации обобщенной информации, поступающей от агентов;
- анализа модели среды для выявления особенностей текущей обстановки.

### **Модели и алгоритмы планирования действий в МАРС**

Разработка соответствующих методов и алгоритмов позволит говорить о возможности унификации программного обеспечения, адаптируемого для перспективных образцов МАРС в интересах конкретных приложений.

Сценарии выполнения различных прикладных задач могут быть представлены в виде древовидного графика, вершины которого соответствуют отдельным операциям или этапам, а дуги определяют их технологическую очередность.

### **Вывод**

МАРС относятся к самоорганизующимся системам, так как в них ищется оптимальное решение задачи без внешнего вмешательства. Под оптимальным решением понимается решение, на которое потрачено наименьшее количество энергии в условиях ограниченных ресурсов. Главное достоинство МАРС – это гибкость. Многоагентная система может быть дополнена и модифицирована без переписывания значительной части программы. Также эти системы обладают способностью к самовосстановлению и обладают устойчивостью к сбоям благодаря достаточному запасу компонентов и самоорганизации. Следует отметить, что проблема разработки автономных роботов, которая сама по себе является крайне сложной, может во многом считаться практически разрешенной.

### **Библиографический список**

1. *Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г.* Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.:Физматлит, 2009. 280 с.
2. *Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В.* и др. Интеллектуальные системы автоматического управления. М.: Наука, 2001. 576 с.
3. *Каляев И. А., Лохин В.М., Макаров И.М. и др.* Интеллектуальные роботы: учебное пособие для ВУЗов / Под ред. Е.Ю.Юревича. М.: Машиностроение, 2007. 360 с.
4. *Каляев И.А., Капустян С.Г.* Проблемы группового управления роботами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. N 6 (99). С. 33-40.

**УДК 620.91**

**Л. Д. Кузнецов**

ученик 11 класса ГБОУ СОШ № 111 Санкт-Петербурга

**А. М. Корнюшин** – магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА**

Задачи по снижению антропогенных нагрузок на окружающую среду являются основными проблемами, стоящими перед человеком. Один из вариантов ре-

шения этих проблем – переход на альтернативный источник топлива, например, водород [1].

Водород при соединении с кислородом имеет самое высокое содержание энергии на единицу массы – 120,7 ГДж/т. Это одна из причин, по которой жидкий водород используется как топливо для ракет и космических кораблей, для которых малая молекулярная масса и высокое удельное энергосодержание водорода имеют первостепенное значение (табл. 1) [2].

При сжигании в чистом кислороде единственные продукты – высокотемпературное тепло и вода. Таким образом, при использовании водорода не образуются парниковые газы и не нарушается даже круговорот воды в природе [3].

Таблица 1.

Энергоемкость различных видов топлива

Энергоемкость	Тип топлива				
	Водород (газ)	Природный газ	Бензин	Дизельное топливо	Метанол
Весовая, кВт-час/кг	39,45	15,45	13,36	10,17	6,47
Объемная, кВт-час/м <sup>3</sup> (при давлении в одну атм.)	3,53	11,11	9,89	8,3	4,99

На сегодняшний день на планете производится почти 400 млрд м<sup>3</sup> водорода – это около 10% от производства черного золота – нефти. По общему признанию, этот водород используется в основном в химической и пищевой промышленности [3].

Способы получения водорода:

1. В настоящее время при помощи паровой конверсии природного газа производится примерно 90–95% всего водорода. Водяной пар при температуре 700–1000°С смешивается с метаном под давлением в присутствии катализатора. Себестоимость процесса \$2–5 за килограмм водорода. В будущем возможно снижение цены до \$2–2,50, включая доставку и хранение.

2. Газификация угля. Первый газогенератор был построен в Великобритании в 40-х гг. XIX в. США предполагают построить электростанцию по проекту FutureGen, которая будет работать на продуктах газификации угля. Электричество будут вырабатывать топливные элементы, используя в качестве горючего водород, получающийся в процессе газификации угля. При этом его нагревают с водяным паром при температуре 800–1300°С без доступа воздуха.

3. Электролиз воды  $2\text{H}_2\text{O} + \text{энергия} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ . Обратная реакция происходит в топливном элементе. Себестоимость процесса \$6–7 за килограмм водорода при использовании электричества из промышленной сети. В будущем возможно снижение до \$4 за килограмм [1].

Все же электролиз воды остается перспективным способом получения водорода, для этого можно использовать энергию атомных электростанций в период малых нагрузок и возобновляемые источники энергии. Наиболее перспективный метод – выделение водорода из биомассы с помощью биотехнологий. Потенциально для этих целей могут быть использованы любые виды органических отходов. Их обработка специальными штаммами бактерий, для которых водород является одним из продуктов жизнедеятельности, позволяет его получать без нанесения ущерба окружающей среде и без значительных затрат электроэнергии. Однако развитие данного направления требует создания новых высокопроизводительных микроорганизмов, устойчивых к более жестким температурным условиям. По оценкам специально созданной рабочей группы ЕС по вопросам водорода,

биотехнологические методы начнут играть заметную роль в суммарном производстве водорода к 2030 г. и смогут стать основными его источниками не раньше 2050 г. [4].

В современных условиях развития водородной энергетики можно обозначить две проблемы: использование водорода в качестве топлива и непосредственно само производство водорода. Без сомнений, главными устройствами для пользования водородом будут являться обычные топливные элементы. В этих топливных элементах идет процесс обратного пропорциональный электролизу. Во время электролиза в водных растворах к электроду подходит электрический ток, в результате чего происходит выделение как водорода, так и кислорода. Это все будет зависеть непосредственно от полярности электрода. В топливных аппаратах к электроду подводят и водород и кислород, потом генерируется электрический ток, как следствие, водяной пар (рисунок) [2].

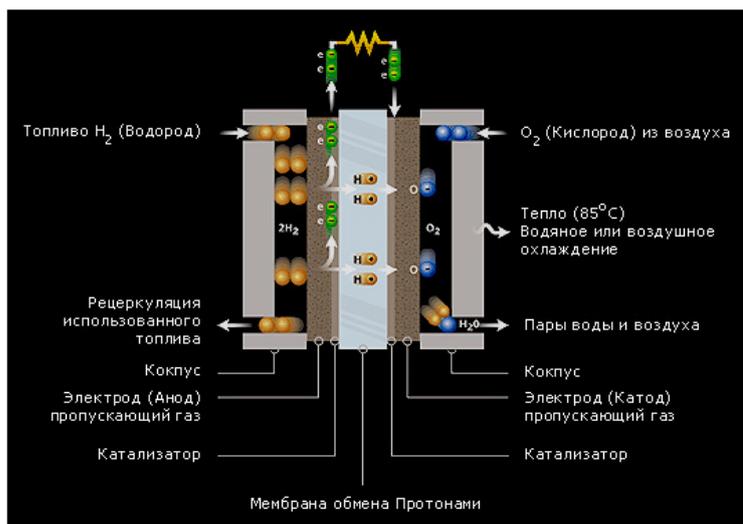


Рис. Процесс получения водорода

Основным аспектом перехода России на водородные элементы является то, что сегодня мир стоит на пороге нового технологического уклада и не факт, что этот переход удастся странам, находящимся на первых местах в экономических отраслях. Ведь нельзя ответить однозначно –смогут ли они переориентироваться, учитывая их вклады в уже существующую инфраструктуру [5].

Основными потребителями водорода в России являются: предприятия химической промышленности, которые производят аммиак, соляную кислоту, метанол и т.д.; предприятия машиностроительной и металлургической отрасли; предприятия энергетического комплекса; предприятия стекольной промышленности и другие.

К положительным факторам, влияющим на интерес к производству водорода относятся:

- ограниченность минеральных ресурсов;
- ухудшение экологической ситуации;
- рост рынка топливных элементов;
- рост рынка соляной кислоты и аммиака.

Подводя итоги, хочется подчеркнуть достоинства водородной энергетики и обосновать, почему Россия должна выбрать водород в качестве альтернативного энергоносителя:

- водород имеет высокую теплотворную способность;
- высокий КПД топливных элементов;
- водород является самым распространенным элементом на Земле;
- при использовании водорода выделяется лишь вода и водяные пары, а различные вредные выбросы отсутствуют [4].

Проекты, связанные с развитием водородной энергетики, имеют достаточно долгосрочную перспективу. К 2050 г. подобные разработки должны воплотиться в жизнь. Мировая водородная энергетика по своему развитию тормозится высокими ценами на этот вид топлива. Также здесь немаловажны вопросы инфраструктур, производство водорода в необходимых количествах и нормативные базы. Здесь есть только одно решение – если цена на водород снизится до \$2, то это сырье будет более чем востребовано потребителями [2].

### Библиографический список

1. Статья в свободной энциклопедии Википедия: "Водородная энергетика". Режим доступа к ссылке: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородная\\_энергетика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородная_энергетика). (Дата обращения 25.03.2016).
2. Статья "Водородная энергетика. Новые технологии и производства энергии". Режим доступа к ссылке: <http://venergetika.narod.ru>. (Дата обращения 26.03.2016).
3. Статья "Атомно-водородная энергетика – пути развития". Режим доступа к ссылке: [http://www.abitura.com/modern\\_physics/hydro\\_energy/hydro\\_energy2.html](http://www.abitura.com/modern_physics/hydro_energy/hydro_energy2.html). (Дата обращения 03.04.2016).
4. *Родионов В. Г.* Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего. НЦ ЭНАС, 2010. 352 с.
5. Статья "Перспективы водородной энергетики". Режим доступа к ссылке: [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=11](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=11). (Дата обращения 29.03.2016).

**УДК 621.865**

**А. В. Майорова**

ученица 11 класса ГБОУ СОШ № 258 Санкт-Петербурга

**Д. В. Лавринович** – магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

## МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

### Мехатроника

Историю мехатроники принято отсчитывать с 1969 г., когда японская фирма Yaskawa Electric ввела новый термин «Мехатроника» как комбинацию слов «Механика» и «Электроника». В 1972 г. фирма зарегистрировала этот термин как товарный знак. Первоначально мехатронными системами считались только регулируемые электроприводы. Затем сюда стали относить автоматические двери, торговые автоматы, мобильные средства и фотокамеры с автофокусировкой. В 80-х годах класс мехатронных систем пополнился станками с числовым программным управлением, промышленными роботами и новыми видами бытовых машин (посудомоечных, стиральных и т. п.) (рис. 1) [1].



Рис. 1. Структура мехатроники

В последнее десятилетие очень большое внимание уделяется созданию мехатронных модулей для современных автомобилей, нового поколения технологического оборудования (станков с параллельной кинематикой, роботов с интеллектуальным управлением), микромашин, новейшей компьютерной и офисной техники [2]. Важно подчеркнуть, что толчком для становления мехатроники стали не общие теоретические идеи (как это было, например, в истории робототехники), а технические достижения инженеров-практиков в различных отраслях. Затем заинтересованные организации в конце 80-х годов стали объединяться в научно-технические сообщества (рис. 2) [3].

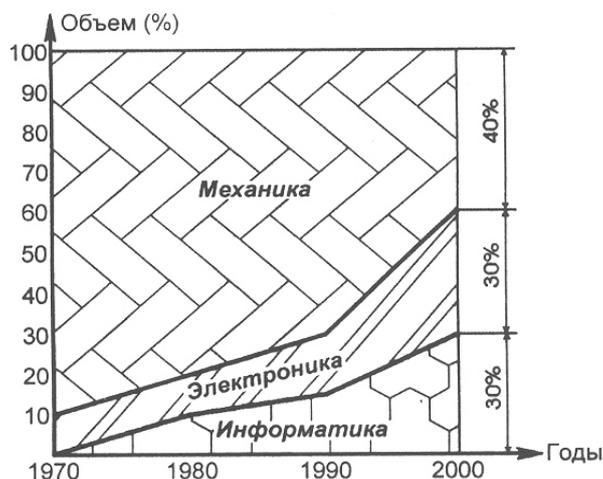


Рис. 2. Динамика развития трех основных составляющих мехатроники

Что же такое «Мехатроника»? На данный момент времени мехатроника – это наука, которая посвящена созданию и целенаправленной эксплуатации машин и систем, движение которых определяется электронно-вычислительной техникой. Она базируется на знаниях механики, микропроцессорной техники, информатики, электроники и компьютерном управлении движения агрегатов и машин [5].

#### Связь с робототехникой

Очень часто эти два понятия можно встретить вместе. Почему так? Дело в том, что робототехника – это самое перспективное направление мехатроники, ко-

торое может развиваться исключительно в ее рамках. Здесь необходимо сделать небольшое отступление. Дело в том, что сейчас мехатроника занимается автомобильной, авиационной, космической, бытовой, медицинской и спортивной техникой [5]. В то время как робототехника занимается разработками автоматизированных технических систем на базе электроники, механики и программирования. Другими словами, робототехника – это наука, занимающаяся созданием и внедрением в жизнь человека автоматических машин, способных намного облегчить как бытовую сферу жизни, так и промышленную. Выделяют строительную, промышленную, бытовую, авиационную и экстремальную (военную, космическую, подводную) робототехнику (рис. 3).

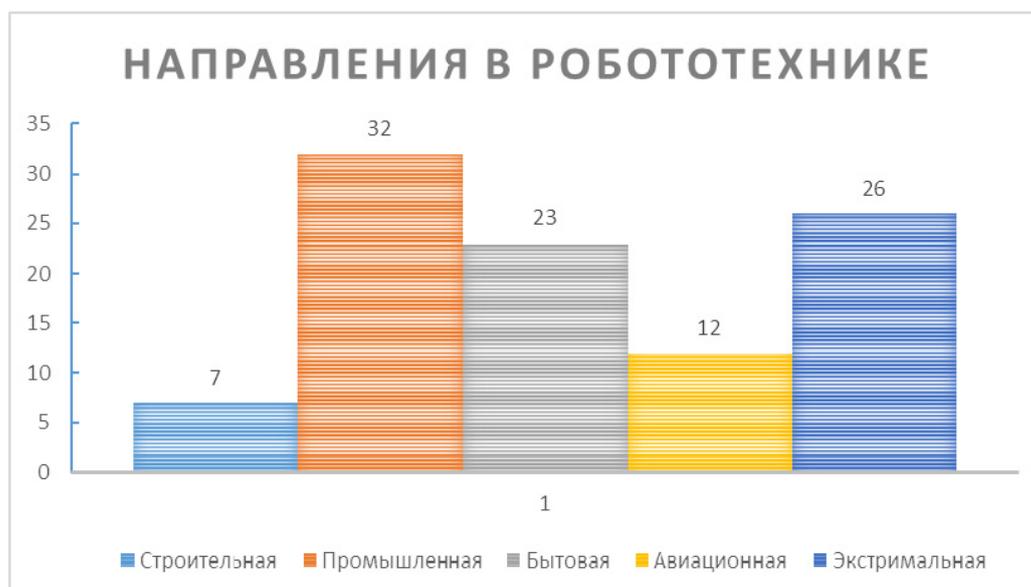


Рис. 3. Направления в робототехнике

Рассмотрим каждое направление робототехники на примере робота EV3.

### Робот EV3

Несколько лет назад произошло мое знакомство с EV3. EV3 – это конструкторский набор программируемой робототехники, который дает возможность создавать и управлять собственными роботами LEGO [6]. Конструктор, позволяющий за считанные минуты собирать весьма сложные механические системы и наделять их интеллектом без знания даже азов программирования, стал излюбленным средством быстрого прототипирования для изобретателей-любителей, студентов-технарей и даже профессионалов-промышленников [7]. Его колоссальное преимущество, наравне с другими роботами, состоит в том, что из стандартного робота, предложенного производителями, можно получить различные модификации (как по стандартным схемам, так и проявив фантазию). Но чтобы создать нового робота необходимо не только изменить внешние параметры робота, но и важно поработать над его внутренними характеристиками при помощи несложных операций программирования. Именно с этой трудностью связано то, что рекомендованный возраст ребенка, занимающегося с данным роботом, должен быть не менее 12 лет.

Ключевой частью этого набора является программируемый модуль. Этот модуль на самом деле является компьютером в комплекте с процессором, памятью, портами входов и выходов. Как и любой компьютер, он может быть запрограммиро-

ван, чтобы реагировать на входную информацию тем способом, которым пожелает программист. Программируемый модуль может также воспроизводить звуки, показывать изображения или текст на его ЖК-дисплее (178×128 пикселей) [8].

До четырех источников входного сигнала (например, датчик приближения, сенсорный датчик, датчик света и цвета и т.д.) может быть подключено к модулю EV3 на его верхней стороне. Также до четырех устройств (например, двигателей) может быть подключено к выходам модуля EV3 на его нижней стороне. Есть также разъемы для подключения к ПК/Mac или разъем для подключения внешней флэш-карты (для расширения внутренней памяти модуля). Робот может быть управляем при помощи Wi-Fi или Bluetooth (рис. 4) [9].



Рис. 4. Программируемый модуль

### Принципы программирования

Программное обеспечение EV3 предоставляет возможность визуального программирования (перетаскивание и размещение командных блоков). Чтобы писать программы, достаточно размещать блоки функциональности на схеме. В зависимости от типа блока, каждый блок может быть сконфигурирован. Например, «Средний Мотор» (рис. 5) имеет 5 режимов работы:

- выключить;
- включить;
- включить в течение определенного количества секунд;
- включить и повернуть на определенный градус;
- включить и повернуть фиксированное число раз.

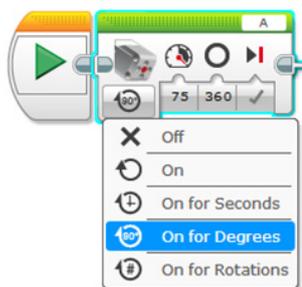


Рис. 5. Конфигурация блока

Есть широкий спектр программных блоков на выбор (рис. 6), и сгруппированы они в шесть категорий: Действие (зеленый), Управление потоком (оранжевый), Датчики (желтый), Операции над данными (красный), Дополнительные (синий), и Мои Блоки (циановый) [10].



Рис. 6. Программные блоки

Так, например, выглядит действие «поворот» для стандартного робота (рис. 7).



Рис. 7. Действие «поворот» в программном модуле

Программирование робота этой модели можно выполнять как в специализированных программах (RoboLab, Robot C, Scratch), с которыми вполне справится ребенок, так и в стандартных и хорошо известных всем программах (Pascal, Basic и т.д.), которые несколько расширяют границы программирования данной модели.

### Функции и возможности. Применение

Благодаря тому, что функции робота можно регулировать и менять, спектр его возможностей возрастает в разы. Так, робот может совершать совершенно невообразимые модификации. Например, из робота-разведчика, который при помощи Bluetooth будет передавать видео и аудиоинформацию, а при помощи Wi-Fi дистанционно управляться и получать команды, можно будет соорудить робота-уборщика или даже робота-принтер! Определенно, огромным преимуществом является тот факт, что деталями для корпуса робота являются детали конструктора Lego, который, найдется практически в любом доме.

Чтобы нагляднее продемонстрировать разнообразие модификаций, которые может совершать робот, приведем примеры роботов по направлениям робототехники (рис. 8).

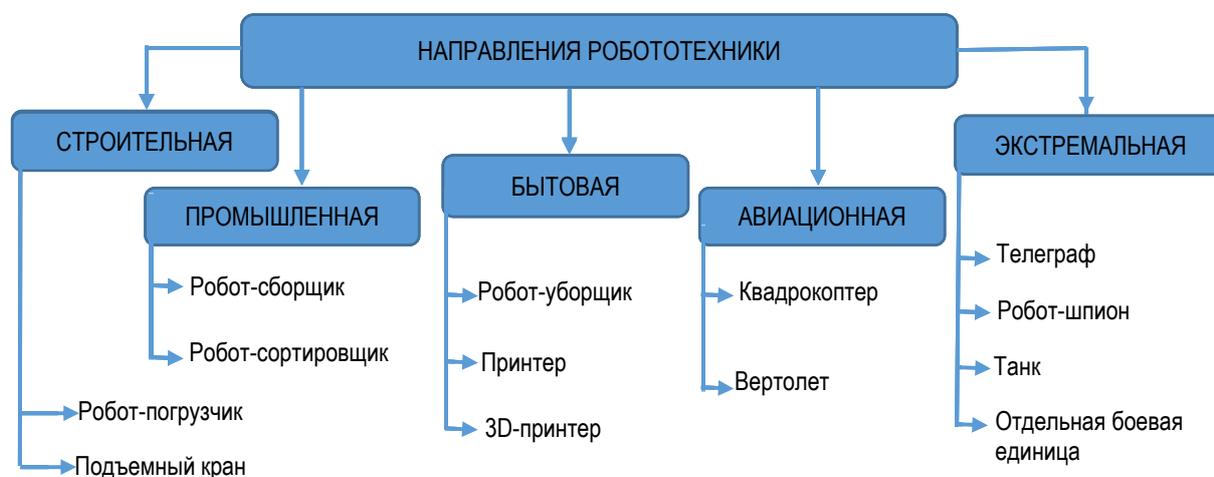


Рис. 8. Примеры роботов

Помимо практической пользы, EV3 может, например, играть в шахматы, трансформироваться в игровой автомат или настоящую гитару, на которой действительно можно что-нибудь сыграть. Помимо этого, роботом EV3 было установлено два мировых рекорда: он соорудил и самостоятельно запустил самую длинную дорожку из домино (4491863 штук), а также установил абсолютный мировой рекорд по сборке кубика-рубика (5,35 с) [11].

### Эксперимент

Мне стало интересно, может ли модуль EV3 работать отдельно от самого робота, если, допустим, детали конструктора заменить на более привычные нам материалы. Я решила провести эксперимент и создать своего робота. Поскольку это пробный робот, в эксперименте меня будет волновать самое простое – прямолинейное движение. Я решила, что форма корпуса должна быть нестандартная, поэтому модель робота будет «робот-паук». Сложность этой модели в том, что «паук» имеет 6 конечностей, для каждой из которых придется писать отдельную программу. Мой выбор материала для каркаса будущего робота пал на дерево: его можно найти везде и несложно обработать. Разумеется, без помощи в обработке не обошлось.

В качестве движущей силы были взяты 6 пневмоприводов на 1,5 Вт [10]. Этого достаточно, чтобы выдерживать вес паука. С другой стороны, мощности модуля хватает, чтобы питать все 6 конечностей. На рис. 9 изображены первые наброски «робота-паука».

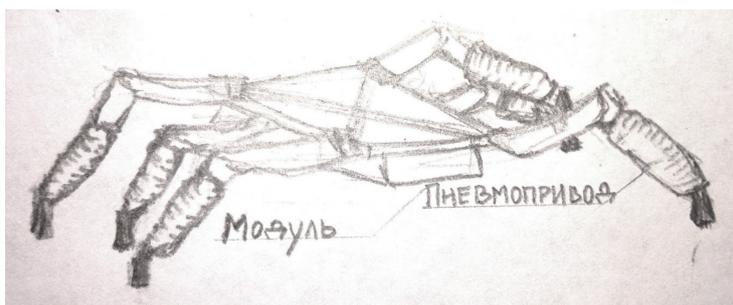


Рис. 9. Эскиз робота-паука

Сейчас робот находится на стадии разработки. Фото движущего элемента (пневмопривода) и самого корпуса представлены на рис. 10, 11.



Рис. 10. Пневмопривод

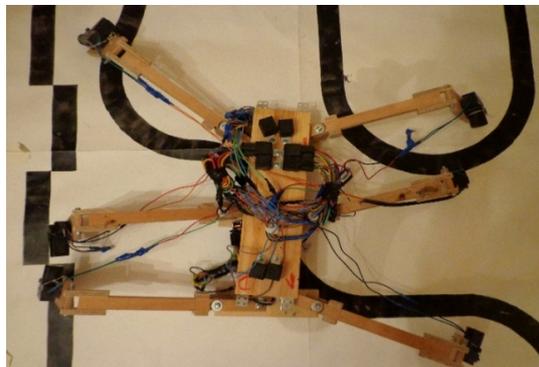


Рис. 11. Корпус робота

На рис. 12 представлена часть программы движения робота-паука.

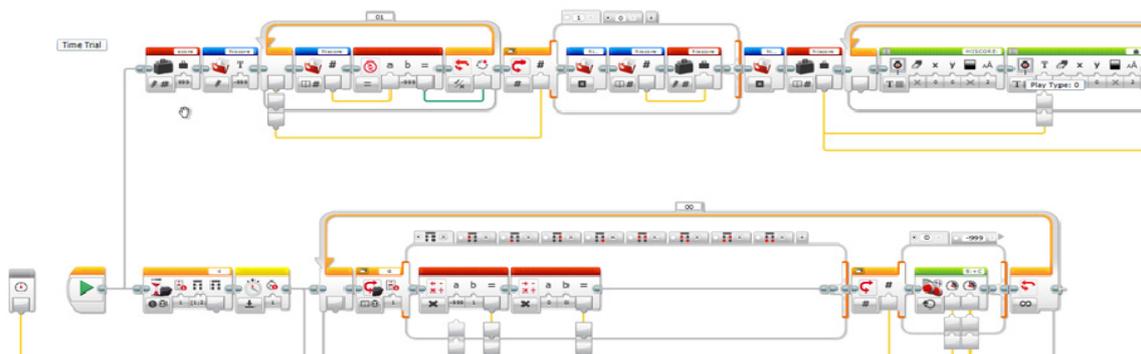


Рис. 12. Программа движения робота

Работа над роботом на основе мотора EV3 еще не закончена, поэтому подводить итог моему эксперименту пока рано. Могу лишь добавить, что как бы просто это не казалось на первый взгляд, на деле, чтобы добиться результатов, приходится приложить немало усилий. Визуальное программирование кажется детской забавой человеку, который впервые увидел последовательность разноцветных блоков, как показано на экране. Чтобы эти «блоки» заработали и привели к нужному результату, необходимо иметь определенные знания в этой области.

### Вывод

Таким образом, на примере робота EV3 показана перспективность такого направления в мехатронике как робототехника. Помимо этого, была представлена схема, подтверждающая универсальность данной модели робота и возможность успешной реализации и перспектив во всех направлениях робототехники. Я надеюсь, что в области развития робототехники больше внимания будет уделяться именно многофункциональным роботам, потому что за ними будущее!

### Библиографический список

1. История развития мехатроники (Электронный ресурс) – Режим доступа: [http://revolution.allbest.ru/manufacture/00279569\\_0.html](http://revolution.allbest.ru/manufacture/00279569_0.html). (Дата обращения 18.04.16).
2. Лекция 4 История развития мехатроники (Электронный ресурс) – Режим доступа: <http://refleader.ru/yfspolyatotr.html>. (Дата обращения 18.04.16).
3. Подураев Ю. В. Основы мехатроники (Электронный ресурс) – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/1379722/>. (Дата обращения 18.04.16).
4. Юревич Е. И. Основы Робототехники (Электронный ресурс) – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/396110/page:2/>. (Дата обращения 18.04.16).
5. Мехатроника и робототехника (Электронный ресурс) – Режим доступа: <http://fb.ru/article/235561/mehatronika---chto-eto-takoe-osnovyi-mehatroniki-mehatronika-i-robototehnika-spetsialnost-kem-rabotat>. (Дата обращения 18.04.16).
6. Популярная Механика (Электронный ресурс) – Режим доступа: <http://www.popmech.ru/diy/204671-urok-vsemogushchestva/>. (Дата обращения 18.04.16).
7. Обзор набора Lego (Электронный ресурс) – 31313 Mindstorms EV3 – Режим доступа: <http://technicspiter.look-in.net/blog/2014/01/14/lego-31313-mindstorms-ev3-review-part1/>. (Дата обращения 18.04.16).
8. Овсяницкая Л. Ю. Курс программирования робота Lego Mindstorms EV3 в среде EV3». 124 с.
9. Программа «LEGO MINDSTORMS EV3 Home Edition».

10. Vse-Krugom.ru (Электронный ресурс) – Режим доступа:  
<http://vse-krugom.ru/robot-sobral-kubik-rubika-za-3253-sekundy/>. (Дата обращения 18.04.16).
11. Prorobot.ru (Электронный ресурс) – Режим доступа:  
[http://www.prorobot.ru/lego/nxt\\_ev3.php](http://www.prorobot.ru/lego/nxt_ev3.php). (Дата обращения 18.04.16).

**УДК 004.8**

**М. Ю. Точилкин**

ученик 11 класса МОУ СОШ № 2 г. Всеволожска

**Е. М. Семикозова** – магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

**ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ**

В наши дни возрастает необходимость в системах, которые способны не только выполнять однажды запрограммированную последовательность действий над заранее определенными данными, но и способны сами анализировать вновь поступающую информацию, находить в ней закономерности, производить прогнозирование и т.д. Для выполнения подобных задач самым лучшим образом зарекомендовали себя так называемые нейронные сети – самообучающиеся системы, имитирующие деятельность человеческого мозга.

Все искусственные нейронные сети (ИНС) так же, как и мозг человека, состоят из большого числа связанных между собой однотипных элементов – нейронов, которые имитируют нейроны головного мозга. Искусственный нейрон состоит из синапсов, связывающих входы нейрона с ядром; ядра нейрона, которое осуществляет обработку входных сигналов и аксона, который связывает нейрон с нейронами следующего слоя [1]. Синапсы осуществляют связь между нейронами, умножая входной сигнал  $x$  на весовой коэффициент синапса  $w$ , характеризующий силу синаптической связи. Ядро нейрона выполняет сложение внешних входных сигналов, а аксон вычисляет передаточную функцию (рис. 1).



Рис. 1. Схема искусственного нейрона

ИНС состоит из нейронов трех типов: входные, скрытые и выходные нейроны. Сенсорные (входные) нейроны получают сигналы из внешнего мира и кодируют их в удобную для прочтения в рамках данной системы форму. В биологических нейронных сетях (человеческом мозге) это означает преобразование сигнала в электрические импульсы, в искусственных нейронных сетях, которые моделируют мозг, – оцифровка сигнала. Кодированные таким образом сигналы передаются

нейронам в следующий слой, расположенный ниже. Эффекторные (выходные) нейроны посылают свои сигналы «устройствам вывода данных» (для биологических нейронов это обычно мышцы, для искусственных – компьютерный терминал, с помощью которого с устройством взаимодействует пользователь). Посередине же находятся нейроны, которые не связаны напрямую с внешним миром – они не получают из него информацию и никак на него не воздействуют. Эти нейроны формируют скрытые слои. В первых искусственных нейронных сетях никаких скрытых слоев не было, и выходные данные были относительно простой функцией входных данных. Такие двухслойные модели восприятия информации мозгом, действующие исключительно на «вход-выход», были крайне ограничены в своих возможностях. К примеру, такая нейросеть, столкнувшись с несколькими черными кругами на белом фоне, была бы не в состоянии посчитать количество этих кругов. Лишь в 1980-е, спустя многие годы после первых работ в этой области, ученые поняли, что включение хотя бы одного или двух скрытых слоев поразительно расширяет возможности искусственных нейронных сетей. Сейчас такого рода многослойные сети используются, например, для анализа столкновений частиц высоких энергий в Большом адронном коллайдере. В скрытых нейронных слоях последовательно извлекаются наиболее информативные свойства сигналов (например, резкая смена цветов, свидетельствующая о границах объекта). Каждый нейрон в скрытом слое обладает матрицей сравнения, которая активизируется и посылает сигналы в следующий слой, только когда информация, поступающая из предыдущего слоя, соответствует (с некоторой точностью) этой матрице.

Для того чтобы нейронная сеть работала, ее необходимо обучить. Процесс обучения нейронной сети в общем виде представляет собой следующий алгоритм:

- в нейронную сеть поступают стимулы из внешней среды;
- в результате первого пункта изменяются свободные параметры нейронной сети;
- после изменения внутренней структуры нейронная сеть отвечает на возбуждения уже иным образом.

Самым распространенным видом обучения ИНС является обучение с учителем. Сначала предъявляется пример некоторой задачи на вход нейронной сети, и на выходе получается некоторый ответ. Далее оператор сообщает нейронной сети верный ответ на данную задачу. Затем операция многократно повторяется. Так нейронная сеть «запоминает» приведенные примеры. После этого вычисляется разность между желаемым ответом и реальным ответом сети. Таким образом определяется вектор ошибки. В целом, обучение нейронной сети похоже на обучение ребенка алфавиту или тренировку спортсмена. После многократного предъявления примеров весовые коэффициенты нейронной сети стабилизируются, причем нейронная сеть дает правильные ответы на все (или почти все) примеры из базы данных. В таком случае говорят, что нейронная сеть обучена. В программных реализациях можно видеть, что в процессе обучения величина ошибки (сумма квадратов ошибок по всем выходам) постепенно уменьшается. Когда величина ошибки достигает нуля или приемлемого малого уровня, тренировку останавливают, а полученную нейронную сеть считают натренированной и готовой к применению на новых данных. Качество обучения нейронной сети напрямую зависит от количества примеров в обучающей выборке, а также от того, насколько полно эти примеры описывают данную задачу (рис. 2).

Важнейшая особенность человеческого мозга состоит в том, что, однажды обучившись определенному процессу, он может верно действовать и в тех ситуациях, в которых он не бывал в процессе обучения. Например, мы можем читать

почти любой почерк, даже если видим его первый раз в жизни. Так же и нейронная сеть, грамотным образом обученная, может с большой вероятностью правильно реагировать на новые, не предъявленные ей ранее данные [2].

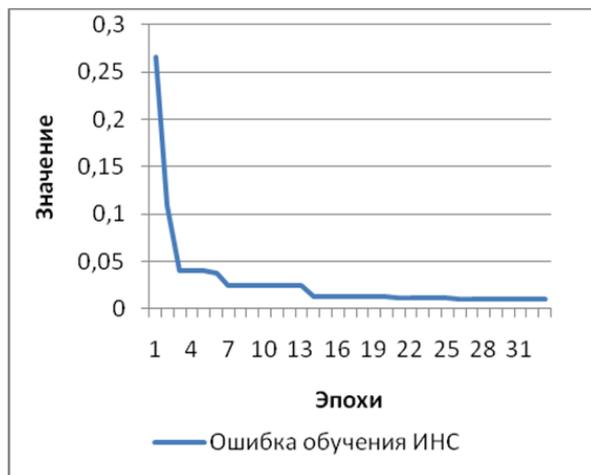


Рис. 2. Обучение нейронной сети:  
ось абсцисс (эпохи) – число циклов обучения, ось ординат – значение ошибки

После того, как нейронная сеть обучена, мы можем применять ее для решения полезных задач. Области применения:

- экономика и бизнес: прогнозирование временных рядов (курсов валют, цен на сырье, объемов продаж), оценка рисков невозврата кредитов, предсказание банкротств, оценка стоимости недвижимости, выявление переоцененных и недооцененных компаний, оптимизация товарных и денежных потоков, считывание и распознавание чеков и документов, безопасность транзакций по пластиковым картам;
- медицина: постановка диагноза больному, обработка медицинских изображений, мониторинг состояния пациента, анализ эффективности лечения, очистка показаний приборов от шумов;
- авиационная электроника: обучаемые автопилоты, распознавание сигналов радаров, адаптивное пилотирование сильно поврежденного самолета, беспилотные летательные аппараты;
- связь: сжатие видеoinформации, быстрое кодирование-декодирование, оптимизация сотовых сетей и схем маршрутизации пакетов;
- интернет: ассоциативный поиск информации, электронные секретари и автономные агенты в интернете, фильтрация и блокировка спама, автоматическая рубрикация сообщений из новостных лент, адресные реклама и маркетинг для электронной торговли;
- автоматизация производства: оптимизация режимов производственного процесса, контроль качества продукции, мониторинг и визуализация многомерной диспетчерской информации, предупреждение аварийных ситуаций;
- робототехника: распознавание сцены, объектов и препятствий перед роботом, прокладка маршрута движения, управление манипуляторами, поддержание равновесия;
- политологические и социологические технологии: предсказание результатов выборов, анализ опросов, выявление значимых факторов, исследование и визуализация социальной динамики населения;
- безопасность и охранные системы: распознавание лиц; идентификация личности по отпечаткам пальцев, голосу, подписи или лицу; распознавание автомо-

бильных номеров, анализ аэрокосмических снимков, мониторинг информационных потоков в компьютерной сети и обнаружение вторжений, обнаружение подделок;

– ввод и обработка информации: распознавание рукописных текстов, отсканированных почтовых, платежных, финансовых и бухгалтерских документов;

– геологоразведка: анализ сейсмических данных, методики поиска полезных ископаемых, оценка ресурсов месторождений [3].

Несмотря на эффективность нейронных сетей при решении различных задач перед их широким применением стоит ряд проблем:

– для построения модели объекта на основе ИНС требуется выполнение многоцикловой настройки внутренних элементов и связей между ними;

– проблемы, возникающие при подготовке обучающей выборки, связанные с трудностями нахождения достаточного количества обучающих примеров;

– поведение обученной ИНС не всегда может быть однозначно предсказуемо, что увеличивает риск применения ИНС для управления дорогостоящими техническими объектами.

Проблемы, связанные с внедрением и использованием нейронных сетей, немаловажны, но легко преодолимы при ответственном подходе к их решению. Не стоит забывать, что залогом правильной работы ИНС является ее правильное обучение.

В настоящее время искусственные нейронные сети являются важным расширением понятия вычисления. Они уже позволили справиться с рядом непростых проблем и обещают создание новых программ и устройств, способных решать задачи, которые пока под силу только человеку. Со временем должна появиться бытовая техника, подстраивающаяся под своего владельца, предвестником которой можно считать нейросетевой блок адаптивного управления в новом пылесосе фирмы Samsung. Системы безопасности будут узнавать своих хозяев по голосу, внешнему виду и ряду других уникальных характеристик. Получат развитие и системы жизнеобеспечения «умных» электронных домов, которые станут еще более адаптивными и обучаемыми. На производстве и в различных промышленных системах интеллектуальные нейросетевые контроллеры смогут распознавать потенциально опасные ситуации, уведомлять о них людей и принимать адекватные и, что самое главное, своевременные меры. Потоки данных в вычислительных сетях и сетях сотовой связи тоже будут оптимизироваться с помощью нейротехнологий [4]. Таким образом, нейронные сети находят применение и обладают перспективами во многих областях человеческой деятельности, а устройства на их основе способны уже сейчас очень заметно улучшить нашу жизнь.

### Библиографический список

1. Официальный сайт компании BaseGroupLabs <https://basegroup.ru/>. Раздел Общество / Статьи / Нейронные сети – математический аппарат. Режим доступа к ссылке: <https://basegroup.ru/community/articles/math>. (Дата обращения 19.04.2016 г.).
2. Официальный сайт компании НейроПроект <http://www.neuroproject.ru/>. Раздел Учебник / Нейронные сети. Режим доступа к ссылке: <http://www.neuroproject.ru/neuro.php>. (Дата обращения 19.04.2016 г.).
3. Официальный сайт Виктора Царегородцева <http://www.neuropro.ru/>. Раздел Нейронные сети / области применения. Режим доступа к ссылке: <http://www.neuropro.ru/neu7.shtml>. (Дата обращения 19.04.2016 г.).
4. Официальный сайт блога Компьютер Пресс <http://compress.ru/>. Раздел Технологии / Нейронные сети: на пороге будущего. Режим доступа к ссылке: <http://compress.ru/article.aspx?id=9663>. (Дата обращения 19.04.2016 г.).

УДК 629.7.05

**Г. А. Чемоданов**

ученик 11 класса ГБОУ СОШ № 481

**А. М. Корнюшин** – магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В КОСМОНАВТИКЕ

Понятие «Искусственные нейронные сети» сформировалось в 1940-е годы благодаря основополагающей работе У. Мак-Каллока и Ч. Питтса, в которой была предложена модель мозга как множества нейронов, имеющих одинаковую структуру.

Каждый нейрон реализует некоторую функцию над входными значениями. Если значение функции превышает определенную величину – порог, то нейрон возбуждается и формирует выходной сигнал для передачи его другим нейронам. Мозг получает входную информацию от рецепторов (слуховых, зрительных и других), затем она обрабатывается нейронными структурами, преобразуется в набор управляющих воздействий на организм.

В 1980-е годы появились мощные персональные компьютеры и рабочие станции, что позволило выполнять сложные эксперименты с искусственными нейронными сетями (ИНС).

В 1982 г. Дж. Хопфилд успешно применил методы механики для описания работы однослойных полносвязных динамических ИНС. Кохонен предложил новый класс ИНС для решения задач векторной классификации.

Однако наибольшее значение для возрождения интереса к ИНС имело появление алгоритма обратного распространения ошибки, позволяющего обучать многослойные ИНС прямого распространения.

Алгоритм обратного распространения ошибки (существующий в многочисленных модификациях) показал очень хорошие результаты по обучению ИНС при решении многих прикладных задач, связанных с распознаванием текста, символов и т. п. Вместе с тем этот алгоритм является локальным, т. е. гарантированно работает только тогда, когда минимизируемая при обучении функция ошибки является унимодальной. Во многих задачах функция ошибки мультимодальна, поэтому в последние годы наряду с алгоритмом обратного распространения для обучения ИНС используются такие универсальные алгоритмы глобальной оптимизации, как алгоритм «отжига металла», генетический алгоритм, «роевой интеллект», метод муравьиных колоний.

В результате можно выделить следующие направления использования искусственных нейронных сетей:

- классификация образов. Задача состоит в указании принадлежности входного образа, представленного вектором признаков, к одному или нескольким предварительно определенным классам. К подобным задачам относятся распознавание символов, речи, классификация электрокардиограмм, клеток крови и т. д. В робототехнике одним из основных приложений является распознавание объектов из видеоинформации, полученной от системы технического зрения;

- аппроксимация функций. Предположим, что имеется обучающая выборка, заданная парами вход-выход:  $((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n))$ , полученными от системы, описываемой неизвестной функцией  $f$ . Задача аппроксимации состоит в нахождении такой ИНС, поведение которой соответствует данной функции;

- кластеризация. При решении задачи кластеризации описание классов заранее не известно. Имеется большое множество объектов, которое требуется

разбить на группы близкородственных элементов (кластеры). Кластеризация применяется при обработке изображений, извлечении знаний, сжатии данных;

– прогнозирование. Пусть заданы  $n$  дискретных отсчетов  $\{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)\}$  в последовательные моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Задача состоит в предсказании значения  $y(t_{n+1})$ . Прогнозирование имеет большое значение при принятии решений в разных областях человеческой деятельности;

– ассоциативная память. В современных вычислительных машинах обращение к памяти доступно путем указания адреса, который не зависит от ее содержания. Ассоциативная же память должна быть доступна по указанию заданного содержания, которое может быть искаженным или неполным. Такое свойство характерно для человеческой памяти, когда небольшая деталь объекта позволяет представить его полное описание. Реализация ассоциативной памяти особенно важна при создании мультимедийных приложений и баз знаний;

– оптимизация. Многие проблемы в науке, технике, медицине и экономике могут рассматриваться как задачи оптимизации. Под задачей оптимизации понимается нахождение такого решения, которое удовлетворяет системе ограничений и обеспечивает экстремум заданной целевой функции [1].

Нейронные сети могут быть эффективно использованы для решения задач обработки бортовых данных космической техники, в которых присутствуют элементы комбинаторной оптимизации и распознавания образов. К ним относятся:

– адаптивное управление переориентацией и угловой стабилизацией космического аппарата (КА) в условиях непредвиденных изменений его динамической схемы и априорной неопределенности возмущающих моментов;

– минимизация потерь бортовой системы электроснабжения (СЭС) вследствие оптимального токораспределения;

– диагностирование бортового оборудования КА на основе автономного анализа формируемой на борту телеметрической информации;

– повышение качества функционирования системы управления сближением КА путем оптимизации состава селективных признаков и оперативного определения параметров относительного состояния.

### Библиографический список

1. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учебное пособие. СПб.: ГУАП, 2013. 284 с.

УДК 620.92

**А. Р. Юнацкевич**

ученик 11 класса ГБОУ СОШ № 258

**М. В. Медведев** – магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

## ЭНЕРГИЯ И СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Космос манит воображение людей с самого появления человечества. Еще в древности мечтатели-астрономы изучали небосвод, следили за движением небесных тел, изучали циклы движения объектов космоса и составляли по ним календари, формировали единицы измерения времени. Сейчас космосом зани-

маются физики, и космос интересен человечеству не только своими просторами, но и огромным энергетическим потенциалом [1], который, в силу особенностей вселенной, не иссякнет никогда. Рассмотрим виды и формы энергии в космосе.

В космосе первичная энергия (без энергии темной материи) выражена различными видами: световая энергия, тепловая энергия, энергия потоков плазмы, электромагнитное излучение [2]. В настоящий момент человечество способно преобразовывать эти виды энергии в полезную для себя электроэнергию.

Какие же системы генерации электроэнергии имеются в космосе? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо, прежде всего, разобраться, какие космические объекты могут поставлять эту самую энергию. В этой работе рассматриваются следующие космические объекты: блазары, квазары, звезды и джеты черных дыр и квазаров. Начнем с квазаров и блазаров.

Квазары – это квазизвездные радиоисточники, источники очень мощного радиоизлучения (подобные звезде) (рис. 1). Один квазар светится в 10–100 раз сильнее, чем наша галактика. Квазары выбрасывают энергию, которая равна энергии трех миллионов солнц [3]. Энергию квазаров можно эксплуатировать с помощью когенерирующих установок – с помощью инфракрасного излучения квазаров можно запастись тепловой энергией.

Блазары – это сверхмассивные квазары, однако они намного опаснее, нежели их «младшие братья», так как являются самыми высокоэнергичными объектами вселенной и испускают электромагнитное излучение во всех спектральных диапазонах с высокой степенью поляризации по направлению к нашей планете Земля. Энергию блазаров, как и квазаров, можно преобразовывать с помощью когенерирующих установок и новейших систем генерации энергии из радиоволн (рис. 1).

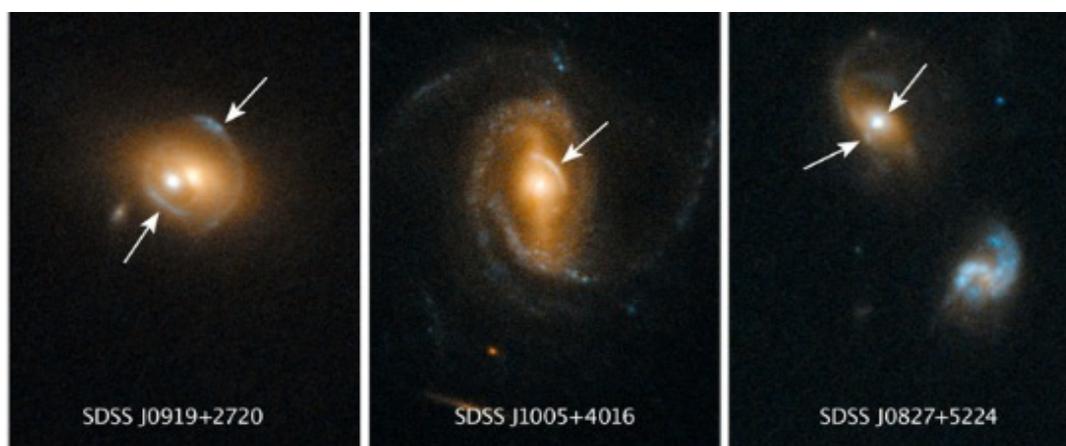


Рис. 1. Квазизвездный радиоисточник

Сейчас в Сиэтле профессором Шьям Голакотта производятся испытания устройств (Преобразователь Радиоволн в Электроэнергию, ПРЭ), которые способны преобразовывать радиоволны в энергию. Однако блазары и квазары – крайне далекие объекты, и ближайший из них ( $z \sim 0,16$ ) 3C 273 [5]. Перейдем к более «приземленным» космическим объектам.

Звезды – привычные человеку космические объекты, состоящие в основном из водорода и гелия. Энергия звезд крайне многогранна – помимо тепловой и световой энергии, звезда в своих недрах может генерировать энергию термоядерного синтеза. Благодаря этому синтезу звезды извергают в космическое пространство огромное количество энергии, которой хватит не на один миллион лет

нам и нашим потомкам [4]. Таким образом, энергию звезд можно считать относительно неисчерпаемой, и даже при низких показателях КПД современных установок человек в космосе может использовать энергию звезд для нормального функционирования энергозависимой аппаратуры космических кораблей и спутников, а также стационарных солнечных батарей во время космической экспансии. Один из минусов преобразования энергии звезд – необходимость постоянной направленности панелей на источник энергии, однако и эта проблема сейчас решается с помощью индикаторов освещения и роботизированных систем направления панелей [5].

Черные дыры и их джеты. Черную дыру нельзя увидеть. В физике черная дыра определяется как область в пространстве и времени, которая обладает настолько мощным гравитационным притяжением, что ее не могут покинуть даже тела и объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе и сами световые кванты-фотоны, которые просто не могут покинуть эту область [6]. Именно поэтому мы не можем наблюдать покидающий ее свет и, как следствие, не можем увидеть ее. Граница этой области называется горизонтом событий, а ее размер – радиусом Шварцшильда. Существование этих областей пространства и времени следует из точных решений уравнения Эйнштейна Карлом Шварцшильдом (1915 г.) [2]:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2},$$

где  $r$  – горизонт событий,  $G$  – гравитационная постоянная,  $M$  – масса черной дыры,  $c$  – скорость света.

Черные дыры поглощают все, что находится на их пути: пыль, газ, планеты, звезды и даже целые галактики. Прежде чем «упасть» на черную дыру, газ разогревается, излучает электромагнитные волны разного диапазона, длины, в том числе и короткие рентгеновские волны. Но если бы черные дыры только поглощали вещество, то они уже давно разрослись бы, объединились и захватили всю вселенную. Однако этого не происходит. Все потому, что черные дыры не только поглощают массу и материю, но и выбрасывают ее. Эту идею в 1975 г. выдвинул известный физик Стивен Хокинг. Теория гласит, что после формирования черной дыры, она начинает терять массу, испуская «излучение Хокинга» [7]. Стивен Хокинг также утверждает, что черная дыра теряет примерно треть поглощенной материи, которая выбрасывается в виде плазмы, ионизированного газа, энергии и радиоизлучения.

Эти самые «выстрелы», или, точнее, «трассеры» этих выстрелов мы и рассмотрим. Эти «трассеры» называют струйными выбросами черных дыр, релятивистскими струями [8] или «джетами» [9] черных дыр. Дело в том, что джеты (как и сами черные дыры) – прекрасные источники энергии. Но сразу возникает три ключевых вопроса: «Где они находятся? Как туда добраться? Как преобразовать энергию?». Релятивистские струи (РС) черных дыр выбрасывают топливо черных дыр (квазаров), а точнее, некоторую его часть [10]. Таким образом, черные дыры не вечны – они питаются и выбрасывают топливо, но когда «пища» кончается, джеты все равно выбрасывают потоки газов и излучение [11]. Струйные выбросы и есть излучение Хокинга, которое зарождается в нескольких световых годах от квазара. То есть, черная дыра поглощает космические тела и газы, а после выбрасывает массу в виде энергии (тепловой, световой и т.д.), мощных радиоволн, ионизированных облаков с помощью струйных выбросов на расстоянии от центра аккреционного диска [12]. Причем самое интересное, что на протяжении всего потока струи газ и плазма не остывает [8]. РС перпендикулярны аккреционному дис-

ку черной дыры и выходят из нее с двух разных сторон [13]. Примерное строение черной дыры представлено на рис. 2 [14].

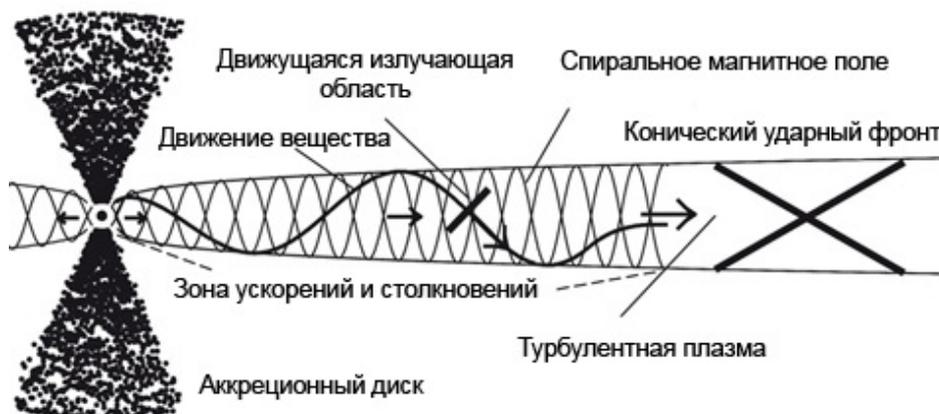


Рис. 1. Схема строения черной дыры

Как же преобразовать энергию джетов? Можно использовать станции с различным принципом аккумулирования, преобразования и работы.

Фотогальванические панели. Кроме гравитационной и тепловой энергии черная дыра может выделять и световую [15]. Достаточно расположить панели рядом с джетом, но не в нем.

Принцип управляемой реакции. Если выделить участки джета, разбив его на круги и поставить по окружности огромные магниты (пример: магнит, разработанный Национальной лабораторией высоких магнитных полей (NHMFL), 45 Тл), то можно будет использовать энергетические свойства плазмы, не создавая ни специальных условий, ни делая пробои газа электрическим током. Можно будет просто задерживать определенные участки джета, чтобы преобразовывать выделившуюся в результате термоядерного синтеза более тяжелых ядер (дейтерий, тритий, гелий и т.д.) энергию (предположительно тепловую, световую) [16] (рис. 3, 4).



Рис. 3. Реакции термоядерного синтеза

Рис. 4. Магнит NHMFL на 45 Тл

Ионизированные облака. Их также можно ловить с помощью сильнейших магнитов. Ионизированные облака джетов – в основном облака ионизированных металлов, которые можно также добывать, извлекая энергию облаков плазмы [17].

Космическая теплоэлектростанция. Всю выделившуюся и выделяющуюся тепловую энергию можно будет использовать для вращения турбин электро-

станции. Причем вода (возможно) будет при этом разлагаться. При этом можно будет запастись и водород с кислородом для обеспечения жизнедеятельности персонала.

Таким образом, человек способен подчинить огромный энергетический потенциал космоса и использовать его в своих целях.

### Библиографический список

1. NASA/IPACExtragalacticDatabase (англ.). Positiondatapointsforobject 3C 273.
2. Вкосмосе. Режим доступа: <http://v-kosmose.com/kvazaryi/> (Дата обращения 22.04.15).
3. Кононович Э. В., Мороз В. И. Активность ядер галактик и квазары // Общий курс Астрономии, 2012. 73 с.
4. Энергия Солнца. Режим доступа: <http://энергии-солнца.рф> (Дата обращения 22.04.15).
5. Астрономия в Санкт-Петербургском университете. Режим доступа: <http://www.astro.spbu.ru/?q=node> (Дата обращения 12.04.16).
6. Новиков И. Д. Черные дыры и Вселенная. М.: Мол. гвардия, 1985. 190 с.
7. Наука будущего. Режим доступа: <http://alligater.org/publ/3-1-0-365> (Дата обращения 12.04.16).
8. Black Holes and Time Warps. Kip Thorne. W. W. Norton, 1994. С.198 (Дата обращения 12.04.16).
9. Астро горизонт. Режим доступа: <http://www.astrogorizont.com> (Дата обращения 12.04.16).
10. Результаты последних наблюдений орбитальных обсерваторий «Чандра» и XMM-Newton см. Режим доступа: <http://chandra.harvard.edu> и <http://xmm.esac.esa.int/> (Дата обращения 22.04.15).
11. Астротурист. Режим доступа: <http://www.astrotourist.info/aktivnye-galaktiki> (Дата обращения 12.04.16).
12. A Deep Chandra Observation of the Perseus Cluster: Shocks and Ripples. A.C. Fabian et al. in Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 344, No. 3, pages L43–L47; September 2003.
13. Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/3C\\_273](https://ru.wikipedia.org/wiki/3C_273)(Дата обращения 12.04.16).
14. ESAPressRelease. Режимдоступа: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science)(Дата обращения 22.04.15).
15. World-X. Режим доступа: <http://wd-x.ru> (Дата обращения 12.04.16).
16. Популярная механика. Режим доступа: <http://www.popmech.ru/technologies/12084-yadernaya-energiya-v-kosmose-atom/#full> (Дата обращения 22.04.15).
17. Логика физики. Режим доступа: <http://logicphysic.narod.ru/jet.htm> (Дата обращения 22.04.15).Arial

СОДЕРЖАНИЕ

<b>Абдулсалам Билкису.</b> Моделирование реснитчатого движителя медицинского микроробота .....	3
<b>Бакустина М. И., Гончарова В. И., Попков Д. Е.</b> Дистанционно управляемый модуль контроля электрической сети .....	6
<b>Берестюк Е. А.</b> Блок управления двигателем в составе силового гироскопического комплекса (СГК250).....	8
<b>Бирючева А. С.</b> Система автоматизации управления качеством процесса горения топлива в условиях парового котла котельной .....	12
<b>Бороденко А. И.</b> Система автосопровождения радиотелескопом космических радиоисточников .....	15
<b>Булыченко Р. Н.</b> Анализ возможных вариаций временных характеристик электродвигателя .....	17
<b>Быкова А. М.</b> Система автоматизации управления темпом загрузки доменной шихты .....	21
<b>Васильев Д. О.</b> Система управления каскадной котельной.....	23
<b>Гречкин Н. Л.</b> Новые наноструктуры материалов на основе элементов 4 группы периодической системы в электронике, электромеханике и робототехнике.....	27
<b>Грущук В. Ю.</b> Анализ возможностей птк clearviewscada для создания лабораторного практикума «Автоматизация подстанции" .....	29
<b>Денисова Е. А.</b> Алгоритм термокоррекции электронного блока датчика горизонта.....	31
<b>Дудин Д. М., Кузнецов О. В.</b> Моделирование морского волнения при модальном управлении курсом корабля.....	34
<b>Зайцев А. А.</b> Проектирование четырехканального следящего электромеханического рулевого привода для беспилотного летательного аппарата.....	38
<b>Ильина Е. Э.</b> Оптимальный регулятор адаптивной платформы .....	42
<b>Казakov А. И.</b> Развитие полиморфной роевой робототехники.....	45
<b>Камольдинов И. Р.</b> Магнитогидродинамическая машина .....	48
<b>Сомар Кархеили</b> Система распознавания и 3D моделирования фигуры человека.....	51
<b>Кириллова А. С., Пантелеева А. С.</b> Перспективы развития экологических технологий в ядерной индустрии на примере атомного кольца .....	53

<b>Кодяков А. С.</b> Выявление оптимальных составляющих при конструировании антропоморфного робота .....	56
<b>Козлов М. Д.</b> Система управления активным выпрямителем напряжения .....	62
<b>Консон Ю. А.</b> Манипулятор на сборочном автомобильном производстве.....	66
<b>Корнюшин А. М.</b> Управление коническими емкостями для ферментации и фильтрации.....	69
<b>Кравченко И. А.</b> Система управления солнечными батареями автономных объектов.....	76
<b>Кривенко Н. В.</b> Система автоматизированного управления газоперекачивающего агрегата .....	79
<b>Кузнецов П. А.</b> Борьба с веерными отключениями в системах электроснабжения .....	82
<b>Лаверинович Д. В.</b> Автоматизация расчетов магнитных муфт .....	84
<b>Лапушкин А. А.</b> Применение нейронной сети Хопфилда в задаче о N ферзях ..	91
<b>Медведев М. В.</b> Разработка алгоритма оптимального раскроя материала .....	95
<b>Меркушин В. В.</b> Движение робота по заданной траектории .....	102
<b>Никулин П. С.</b> Анализ режима перенапряжения в низковольтной электрической сети .....	105
<b>Носоченко И. С.</b> Автоматический гребнесмазыватель колес тепловоза .....	107
<b>Онойко А. А.</b> Система управления приводом наведения главного зеркала радиотелескопа .....	110
<b>Острова О. В.</b> Анализ возможных вариаций частотных характеристик электродвигателя .....	115
<b>Пархоменко В. А.</b> Особенности проявления утечек тока на землю в системах электроснабжения .....	119
<b>Петрушин Д. Е.</b> Определение оптимального режима работы системы охлаждения силового автотрансформатора .....	121
<b>Пржевальский Х. Е., Медведев М. В.</b> Перспективы развития ядерных энергоустановок на быстрых нейтронах.....	125
<b>Пыхов Д. Э., Зимульдинов Э. К., Сапрыкин А. А.</b> Дистанционное управление роботом по инфракрасному каналу.....	128
<b>Резванов Г. С.</b> Математическая модель системы стабилизации гироскопа .....	131

<b>Семикозова Е. М.</b> Система автофокусировки радиоприемного устройства радиотелескопа .....	135
<b>Симагин Е. Ю.</b> Разработка методов и программных средств моделирования объектов на основе анализа трехмерных данных.....	145
<b>Смирнов П. А.</b> Разработка пространственной модели конструкции робота-манипулятора в среде SOLIDWORKS .....	149
<b>Соколова Н. А.</b> Применение программы «Монитор МКПД» при самопроверке блока в составе специализированной КПА .....	155
<b>Соколовский М. М.</b> Исследование математической модели турбоагрегата при случайных воздействиях.....	158
<b>Статкевич А. В.</b> Ядерные реакторы для космических проектов .....	162
<b>Терещенко Е. Р.</b> Применение лазеров в космонавтике .....	164
<b>Шуйгин И. Н.</b> Система управления передним шасси самолета .....	166
<b>Щербаков А. А.</b> Разработка архитектуры программного комплекса для эмуляции работы робота-манипулятора .....	170
Интеллектуальный конкурс «Энергия успеха»– 2016.....	177
<b>Заикин М. И.</b> Современные геоэнергетические технологии.....	178
<b>Кондратьева О. А.</b> Нечеткая логика в описании знаний.....	182
<b>Куделин А. С.</b> Мультиагентные робототехнические системы .....	185
<b>Кузнецов Л. Д.</b> Перспективы развития нетрадиционной энергетики с применением водорода в качестве топлива.....	188
<b>Майорова А. В.</b> Мехатроника и робототехника .....	191
<b>Точилкин М. Ю.</b> Искусственные нейронные сети и перспективы их развития...	198
<b>Чемоданов Г. А.</b> Перспективы развития нейронных сетей в космонавтике .....	202
<b>Юнацкевич А. Р.</b> Энергия и системы генерации электроэнергии космических объектов.....	203

Научное издание

ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ'2016

Молодежная секция

Сборник докладов

Ответственный за выпуск:

д-р техн. наук проф. *В. Ф. Шишлаков*

Ответственный секретарь *В. Н. Соколова*

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *С. Б. Мацапуры*

---

Подписано в печать 20.06.16. Формат 60x84 1\16. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,2. Тираж 150 экз. Заказ № 267.

---

Редакционно-издательский центр ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67