

Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пермский государственный технический университет»

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ,  
ИНСТРУМЕНТЫ, ПРАКТИКА (INNOTECH 2010)**

**Материалы II Международной  
интернет-конференции молодых ученых,  
аспирантов, студентов  
(1 ноября – 1 декабря 2010 г.)**

Издательство  
Пермского государственного технического университета  
2011

Представлены работы молодых ученых, аспирантов, а также лучшие работы студентов.

Конференция посвящена вопросам системных исследований и моделирования, информационно-измерительных и управляющих систем, систем телекоммуникации и связи, энергетики и энергоресурсосбережения, информационных технологий и средств автоматизации, аппаратно-программного обеспечения информационно-управляющих систем.

Публикуемые результаты исследований могут быть интересны молодым исследователям, преподавателям и специалистам, интересующимся теоретическими и прикладными разработками данной предметной области.

**Редакционная коллегия:**

*В.В. Киселев*, доцент, канд. техн. наук;

*А.М. Костыгов*, доцент, канд. техн. наук;

*А.Б. Петроченков*, доцент, канд. техн. наук;

*Н.М. Труфанова*, профессор, д-р техн. наук;

*Р.А. Файзрахманов*, профессор, д-р экон. наук;

*А.Г. Щербинин*, профессор, д-р техн. наук (отв. редактор);

*А.А. Южаков*, профессор, д-р техн. наук

**Рецензент**

д-р техн. наук, профессор, генеральный директор ОАО «НИИУМС» *В.Н. Аликин*

**Секция 1**

**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И СИСТЕМЫ**

# АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ КВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ BB84 И B92

Студент гр. КЗИ-07 С.А. Рукшин

Научный руководитель – канд. физ-мат. наук,

доцент *Е.Л. Кротова*

Пермский государственный технический университет

Каждый знает, что в наше время мощности вычислительных машин растут с огромной скоростью. Стоит задуматься: поскольку имеет место этот процесс, то насколько стойки существующие алгоритмы традиционного шифрования? Ведь от их стойкости зависит защищенность потоков информации, которыми люди и организации обмениваются друг с другом.

Квантовая криптография базируется на физических принципах, которые, в отличие от математических, базируются на свойствах объектов квантовой механики.

Используя квантовые явления, можно спроектировать и создать систему связи, которая может обнаруживать подслушивание. Принципиальным отличием является то, что попытка измерения взаимосвязанных параметров в квантовой системе вносит в неё нарушения, разрушая исходные сигналы (это гарантируется основополагающими законами квантовой физики), а значит, по уровню шума в канале легитимные пользователи могут распознать степень активности перехватчика и своевременно реагировать на угрозу.

Цель данной работы – исследовать, проанализировать и сравнить современные протоколы квантового шифрования BB84, B92.

Задачи:

- описать криптографические протоколы квантового шифрования BB84, B92;
- сравнить протоколы квантовой криптографии с традиционными схемами шифрования;

**Описание протокола квантового шифрования BB84.** Обмен шифрованными сообщениями обычно происходит между двумя сторонами: Алисой (А) и Бобом (В), допускается также, что сообщение, передаваемое от А к В, может быть перехвачено злоумышлен-



ником Евой (Е). BB84 – первый протокол квантового распределения ключа (рис. 1). Носителями информации являются двухуровневые системы, называемые кубитами (квантовыми битами). Задача квантовой криптосистемы заключается в генерации и передаче последовательности случайно поляризованных фотонов (ПСПФ), используемой в формировании ключа для шифрации и дешифрации сообщений, путем манипуляции четырьмя состояниями поляризации фотонов, представляющими 2 сопряженных ортогональных базиса [1].

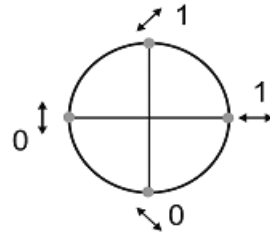


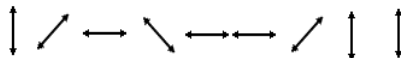
Рис. 1. Реализация протокола BB84. 4 состояния лежат на экваторе сферы Пуанкаре

$$|\uparrow\rangle, |\leftrightarrow\rangle, |\nearrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle + |\leftrightarrow\rangle), |\searrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle - |\leftrightarrow\rangle).$$

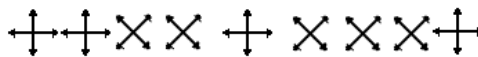
Эти базисы являются взаимно несмещёнными, т.е. выполняется условие

$$|\langle \nearrow | \uparrow \rangle|^2 = \frac{1}{2}.$$

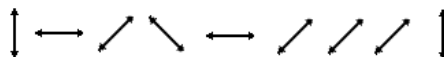
1) Алиса случайным образом выбирает один из базисов и посылает последовательность фотонов, имеющих случайную (0°, 45°, 90°, 135°) поляризацию,



2) Боб измеряет поляризацию фотонов, выбирая базис «+» (0°, 90°) или «X» (45°, 135°) по случайному закону,



3) Боб фиксирует полученные результаты измерений, сохраняя их в секрете,



4) Боб сообщает Алисе по открытому каналу, какие базисы («+» или «X») он использовал для каждого принятого фотона,

а Алиса сообщает ему, какие базисы из использованных были правильными (данные полученные при измерениях в неправильных базисах отбрасываются).



5) оставшиеся данные интерпретируются в соответствии с условленной схемой ( $0^\circ$  и  $45^\circ$  декодируются как «0», а  $90^\circ$  и  $135^\circ$  как «1») как двоичная последовательность (11001);

б) число случаев, в которых выбранные базисы совпали, будет составлять в среднем половину длины исходной последовательности, т.е.  $n = \frac{1}{2}$  (пример определения количества фотонов, принятых Бобом, показан на рис. 2).

Двоичный сигнал Алисы	0	1	0	1
Поляризационный код Алисы	↔	↕	↗	↘
Детектирование Бобом	↕↔	↕↔	↕↔	↕↔
Двоичный сигнал Боба	0	1	?	?

Рис. 2. Формирование квантового ключа по протоколу BB84

Вариант ключа, полученный в 5-м пункте, – черновой (сырой), далее следуют процедуры поиска ошибок и усиления секретности. Для части последовательности бит пользователей, в которых базисы совпали, через открытый общедоступный канал связи случайным образом раскрываются и сравниваются значения бит. Раскрытые биты отбрасываются. В идеальном квантовом канале (без шума) достаточно выявить несоответствие в одной раскрытой позиции для обнаружения злоумышленника. Известно, что если процент ошибок  $QBER \leq 11\%$ , то пользователи из нераскрытой последовательности, после коррекции ошибок через открытый общедоступный канал связи и усиление секретности, могут извлечь секретный ключ, который будет у них одинаковым и не будет известен Еве [1, 3].

### Описание протокола квантового шифрования B92:

1) Станция Алиса посылает фотоны, случайно ориентированные, в направлениях  $0^\circ$  и  $+45^\circ$  (рис. 3). Станция Боб при-

нимает фотоны через фильтры, ориентированные под углом  $90^\circ$  и  $135^\circ$  ( $-45^\circ$ ). Если фотон, переданный станцией Алиса, будет анализирован станцией Боб при помощи фильтра, ориентированного под углом  $90^\circ$  по отношению к передаваемому фотону, то фотон не пройдет через фильтр. Если же этот угол составит  $45^\circ$ , то фотон пройдет через фильтр с вероятностью 0,5 [2].

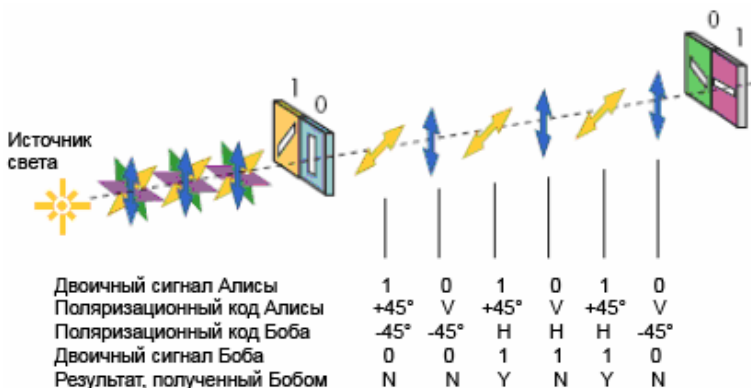


Рис. 3. Формирование квантового ключа по протоколу B92

2) Боб анализирует принимаемые ею фотоны, используя выбранный случайным образом один из двух неортогональных базисов «+» или «X». Если станция Боб анализирует посланный фотон фильтром с ортогональным направлением поляризации, то он не может точно определить, какое значение данный фотон представляет: 1, соответствующее фотону, который не проходит, или 0, соответствующее фотону, который не проходит с вероятностью 0,5. Если же направления поляризации между посланным фотоном и фильтром неортогональны, то станция Боб может определить, что принят фотон, соответствующий 0. Если фотон был принят удачно, то очередной бит ключа кодируется 0 (если фотон был принят фильтром, ориентированным под углом  $135^\circ$ ), либо 1 (если фотон был принят фильтром, ориентированным по направлению H). В первой и четвертой колонке (рис. 4) поляризации при передаче и приеме ортогональны, и результат детектирования будет отсутствовать. В колонках 2 и 3 коды двоичных разрядов совпадают, и поляризации не ортогональны. По этой причине

с вероятностью 50 % может быть положительным результат в любом из этих случаев (и даже в обоих). В таблице (см. рис. 4) предполагается, что успешное детектирование фотона происходит для случая, представленного в колонке 3. Именно этот бит становится первым битом общего секретного ключа передатчика и приемника. Отсюда минимальное количество фотонов, которое может быть принято станцией Боб,  $n = \frac{1}{4}$ . То есть в результате

передачи такого ключа около 25 % фотонов будут правильно детектированы станцией Боб. Для обнаружения факта съема информации в данном протоколе используют контроль ошибок, аналогичный контролю ошибок в протоколе BB84, то есть станции Алиса и Боб сверяют случайно выбранные биты ключа [2].

Двоичный сигнал станции Алиса	1	0	1	0
Поляризационный код станции Алиса	↗	↕	↗	↕
Поляризационный код станции Боб	↘	↘	↔	↔
Двоичный сигнал станции Боб	0	0	1	1
Результат, полученный станцией Боб	-	-	+	-

Рис. 4. Формирование квантового ключа по протоколу B 92

### **Сравнение с симметричными системами шифрования.**

Симметричные криптосистемы или системы с секретным ключом – это такие системы, в которых один секретный ключ применяется как для шифрации, так и дешифрации передаваемой информации. В этом случае Алиса и Боб владеют некой секретной информацией – ключом, который не должен быть известен Еве.

Недостатком такой системы является необходимость для Алисы и Боба располагать большим набором случайных двоичных последовательностей для использования их в качестве ключей.

В отличие от симметричных криптосистем квантовые системы обладают одним неоспоримым преимуществом – у них существует механизм генерации и распространения ключа, который встроен непосредственно в протокол шифрования. Также в квантовой криптосистеме есть возможность генерировать уникальный ключ для каждого передаваемого сообщения, что значительно уменьшает вероятность расшифровки.

### **Сравнение с асимметричными системами шифрования.**

Несимметричные криптосистемы или системы с открытым ключом – это такие системы, которые имеют дело с парами ключей. Один из них (открытый ключ) используется для шифрации, в то время как другой (секретный ключ) – для дешифрации сообщений.

Эти два ключа должны быть связаны между собой некоей «односторонней» функцией, которая позволила бы без труда вычислить открытый ключ, используя секретный, но не позволяла бы произвести обратную процедуру. В 1978 г. был создан алгоритм RSA. Сейчас принципы RSA используются в большинстве банковских транзакций, системах электронной покупки.

Квантовые криптосистемы так же, как и системы с асимметричным шифрованием, решают задачу распределения ключей.

В квантовой криптографии при использовании ее совместно с симметричными криптосистемами, для которых доказана возможность абсолютной защиты от взлома, стойкость системы основывается не на времени, необходимом для ее взлома, а на невозможности перехватить секретный ключ, находящийся у отправителя и получателя. Это достигается использованием законов квантовой механики, которые гарантируют, что злоумышленник не сможет прослушать канал передачи секретного ключа.

### **Библиографический список**

1. Голубчиков Д.М., Румянцев К.Е. Квантовая криптография: принципы, протоколы, системы. – М., 2008. – 37 с.
2. Слепов Н. Квантовая криптография: передача квантового ключа проблемы и решения // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2006. – № 2. – С. 54–61.
3. Молотков С.Н. Об интегрировании квантовых систем засекреченной связи (квантовой криптографии) в оптоволоконные телекоммуникационные системы // Письма в ЖЭТФ. – 2004. – Т. 79. – Вып. 11. – С 691–704.

## СТОХАСТИЧНОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАКОНА ОМА

**Канд. техн. наук, доцент М.С. Слободян**  
Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет

Измерения, проводимые путем контакта чувствительного элемента со средой или поверхностью объекта наблюдения, часто называемые «измеряемые методом зонда», находят широкое применение во многих областях науки и техники. В частности, это касается измерений удельного сопротивления, термоэлектродвижущей силы и коэффициента Холла, например, полупроводниковых материалов, с использованием токовых и потенциальных зондов для шумовой термометрии, изменений магнитной восприимчивости и высокочувствительных измерений при низких температурах в сквидах (сверхпроводящих квантовых интерферометрах Джозефсона), в микроконтактной спектроскопии для выявления малых нелинейностей вольт-амперных характеристик туннельных переходов сверхпроводников и др. Из анализа [1–4] следует, что зондовые технологии и в настоящее время играют важную роль в сфере технических измерений для изучения характеристик поверхности твердых тел и наноструктур. Контактное взаимодействие твердых тел является статистически обусловленным, и метрологически с точки зрения физического наблюдения диагностика происходящих в контакте явлений оказывается трудноразрешимой задачей.

Согласно ГОСТу о качестве электрического контакта судят по электрическому сопротивлению  $R$ , измеренному в установившемся состоянии процесса соединения элементов контактной пары. Другими словами, основой качества электрического контакта – базы измерений – служит фундаментальный закон Ома, который в явном виде не учитывает многие факторы, например случайный характер площади сечения поверхностей соприкосновения элементов контактной пары.

В законе Ома сечение области протекания тока в проводящем ток материале – величина детерминированная. Поэтому согласно ГОСТу измерение ведется в установившемся состоянии, когда переходный процесс контактного соединения поверхностей

двух элементов с принятой мерой точности (обычно с погрешностью  $\leq 5\%$ ) можно считать завершенным. Однако и в установленном состоянии, тем более в стадии переходного процесса движения элементов контактной пары, к завершению стадии соединения их поверхностей площадь сечения области контакта будет случайной и нестационарной во времени величиной. Площади сечений контакта области протекания тока через объем контактного пространства являются факторами, определяющими долговечность жизни механического и электрического контактов, особенно в импульсных режимах работы релейных, ключевых и мощных токовых элементов.

## **SCADA-ПРОДУКТЫ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ. FACTORYSUITE. IN TOUCH**

**Студентка гр. 2691 Е.А. Васильева**

Научный руководитель – старший продаватель *М.А. Шапченко*  
Санкт-Петербургский государственный  
инженерно-экономический университет

В настоящее время на российском рынке представлено несколько десятков зарубежных и отечественных SCADA-продуктов. Некоторые зарубежные SCADA-системы, известные в мире, на российском рынке пока не представлены (например, Cube, Panorama, Cimview и др.). Но эта ситуация может в любой момент измениться, как это произошло, например, с австралийской SCADA-системой Citect: система завоевала рынок Юго-Восточной Азии и Америки, в Европе рост ее продаж составил 30 % в год, а в России она была неизвестна, пока российская фирма-дистрибьютор RTSoft не начала распространение системы на российском рынке.

В России сегодня наиболее популярны следующие зарубежные SCADA-пакеты:

- In Touch (Wonderware, США);
- iFIX (Intellution, США);
- SIMATIC WinCC (Siemens, Германия);
- Citect (Ci technologies, Австралия);

- RTAP/plus (HP, Канада);
- Wizcon (PC Soft International, Израиль-США);
- Sitex и Phocus (Jade SoftWare, Великобритания);
- Real Flex (BJ Software Systems, США);
- Factory Link (US Data Corp., США);
- View Star 750 (AEG, Германия);
- PlantScape (SCAN 3000) (Honeywell, США).

Отечественные SCADA-программы для персональных компьютеров появились в нашей стране в начале 90-х годов с уже привычным 10-летним запаздыванием в этой области, особенно усиленным долго преодолевавшимся недоверием к надежности и «серьезности» этих систем. Вначале на ПК создавались программы под конкретный объект, и лишь затем появились универсальные решения. В настоящее время имеется около десятка отечественных SCADA-пакетов. Вот наиболее известные из них:

- TRACE MODE (AdAstra, Москва);
- СКАТ (Центрпрограммсистем, Тверь);
- САРГОН (НБТ-Автоматика);
- VNS, GARDEN, Vis-a-Vis (ИнСАТ);
- VIORD («Фиорд»);
- RTWin (SWD – Системы реального времени);
- ЗОНД (АСУТП Программа).

Главное направление развития современных программных технологий управления промышленным производством – органичное сочетание на новом техническом уровне, в рамках единого «глобального» инструментария, эффективного управления промышленным процессом как таковым и неразрывно связанным с ним общим бизнес-менеджментом предприятия.

Широко распространенные как на мировом, так и на отечественном рынке SCADA-системы в подавляющем большинстве ответственны лишь за тот уровень промышленной автоматизации, который связан с получением данных от различных датчиков и устройств ввода-вывода, визуализацией собранной информации и ее архивированием. Доступ же к этой информации со стороны руководителя предприятия, а также руководителей экономических подразделений до недавнего времени был лишь опосредованным. Для анализа производства в целом, моделирования



его отдельных этапов, выявления критических участков и слабых звеньев важен доступ к производственной информации на всех уровнях в реальном времени.

Для решения подобных задач автоматизации промышленных предприятий в целом на рынке появился ряд новейших программных комплексов, в том числе пакет FactorySuite американской компании Wonderware.

FactorySuite состоит из следующих основных, хорошо интегрирующихся друг с другом компонентов:

**InTouch** – мощная SCADA-система (о ней будет более подробно рассказано ниже);

**InControl** – инструментальная система программирования контроллеров – ПО на базе Windows NT для управления контроллерным оборудованием и процессами. Поддерживает широкий набор устройств ввода-вывода, двигателей, датчиков и другого промышленного оборудования через устоявшиеся интерфейсы и открытые промышленные сети;

**InTrack** – система управления производством. Позволяет наблюдать и отслеживать в реальном времени незавершенное производство, материально-технические запасы, использование оборудования, простои и т.п. Система позволяет определять и моделировать производственные процессы, контролировать исполнение заказов на продукцию;

**InBatch** – система гибкого управления процессами дозирования и смешивания. При помощи InBatch пользователи в металлургической, химической, пищевой промышленности могут моделировать свои процессы, создавать рецепты, имитировать исполнение рецептов, сопоставляя их с моделью, управлять реальным процессом, пользуясь моделью;

**InSupport** – это программное средство для обнаружения и устранения неисправностей и ведения технической документации. InSupport позволяет разрабатывать процедуры нахождения и устранения неисправностей, которые выдают четкие инструкции по обслуживанию и ремонту оборудования для операторов и обслуживающего технического персонала;

**IndustrialSQL Server** – реляционная база данных реального времени для внутривозовского применения, является «сердцем» промышленного набора FactorySuite. IndustrialSQL Server собирает

и хранит историю о производственном процессе, позволяя работать при этом с несколькими сотнями устройств ввода-вывода и управления, а также с множеством узлов InTouch и InControl. Он объединяет эту информацию с данными о конфигурации, аварийных ситуациях и событиях, с итоговыми и статистическими данными, с историей рецептов (из InBatch), с данными о ходе производства (от InTrack) и с данными о состоянии оборудования (из InSupport);

**Scout** – средство, позволяющее просматривать технологический процесс и данные автоматизированного производства, используя удаленный доступ через сети Internet/Intranet. Может использоваться руководителями и менеджерами для просмотра информации из любой географической точки.

Кроме перечисленных пакетов в FactorySuite входит несколько специализированных приложений-клиентов, объединенных под названием **FactoryOffice**. Они предназначены для создания текущих и архивных трендов, для создания параметрических графиков X–Y и для табличного отображения текущих и архивных данных.

SCADA-система InTouch считается самой продаваемой в мире. Она имеет более 200 000 инсталляций. Недавно появилась уже восьмая версия пакета – InTouch 8.0.

InTouch является первым продуктом, получившим сертификат соответствия на совместимость с Windows XP («Designed for Windows XP») от Microsoft.

Программный пакет InTouch, как любой SCADA-пакет, состоит из двух основных компонентов – среды разработки и среды исполнения. В среде разработки создаются мнемосхемы, определяются и привязываются к аппаратным средствам входные и выходные сигналы и параметры, разрабатываются алгоритмы управления и назначаются права операторов. Созданное таким образом приложение функционирует в среде исполнения.

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

**Студент гр. 2691 Д.Д. Черевко-Штупун**

Научный руководитель – старший продаватель *М.А. Шапченко*  
Санкт-Петербургский государственный  
инженерно-экономический университет

Целенаправленные процессы, выполняемые человеком для удовлетворения различных потребностей, представляют собой организованную и упорядоченную совокупность действий, называемых *операциями*. Операции делят на два класса: рабочие операции и операции управления.

К *рабочим операциям* относят действия такого рода, как, например, снятие стружки при обработке детали на станке, перемещение груза и т.п. Замена человека механизмом в рабочих операциях называется *механизацией*.

Для правильного и качественного выполнения рабочих операций необходимо направлять их действиями другого рода – *операциями управления*, посредством которых в соответствующие моменты обеспечиваются начало, порядок следования и прекращение отдельных рабочих операций; процессу придаются нужные показатели – по направлению, скорости, ускорению рабочего инструмента, температуре, давлению и т.д. Совокупность управляющих операций образует *процесс управления*.

Замена труда человека как в рабочих операциях, так и в операциях управления действиями технических устройств называется *автоматизацией*.

Совокупность технических средств – машин, орудий труда, средств механизации – при этом является *объектом управления*.

Совокупность устройств управления и объекта управления образует *систему управления*.

Система, в которой все рабочие и управленческие операции выполняются техническими устройствами, называется **системой автоматического управления (САУ)**.

Система, в которой автоматизирована только часть управленческих операций, а другая их часть (обычно наиболее ответственная) выполняется людьми, называется **автоматизированной системой управления (АСУ)**.

В ходе развития систем управления менялось соотношение между этими видами управления. Автоматизированное управление на определенном этапе считалось высшим уровнем автоматического. По мере совершенствования алгоритмов АСУ появились типовые алгоритмы управления, автоматизирующие сбор, обработку информации и принятие типовых решений в условиях определенности. Значит, в этой области автоматическое управление является верхним пределом автоматизированного управления. Но если взять весь комплекс задач функционального управления производством, то видно, что автоматизированное управление не может быть преодолено из-за необходимости принятия творческих решений в условиях неопределенности.

По *виду объекта управления* АСУ делятся на автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) и автоматизированные системы управления производственно-хозяйственной деятельностью (АСУПХД), примерами которых являются автоматизированные системы управления предприятием (АСУП).

У этих видов АСУ имеется единая основа, которая заключается в процессе обработке информации. Это делает возможным построение *интегрированных* систем управления, где обрабатываются как данные о технологических процессах, так и данные о производственно-хозяйственной деятельности.

АСУТП по *виду производства* делятся на АСУ непрерывным производством и АСУ дискретным производством.

Технологический процесс включает переработку, транспортировку и хранение. Производство бывает дискретное и непрерывное.

*Дискретное* – производство, в котором переработка осуществляется в несколько этапов и от одной ее фазы к другой обязательно осуществляется транспортировка.

*Непрерывное* – производство, в котором обработка ведется на фоне транспортировки.

Всякая АСУ состоит из *функциональной и обеспечивающей частей*. Подсистемы, входящие в функциональную часть, называются *функциональными подсистемами АСУ*, а подсистемы, входящие в обеспечивающую часть, – *обеспечивающими подсистемами АСУ*.

Задачи функциональных подсистем – это те задачи, ради решения которых и создается АСУ. Они различны для разных видов АСУ, т.е. для АСУТП одни функциональные задачи, а для АСУПХД – другие. В качестве примера рассмотрим состав функциональных подсистем АСУПХД.

Функциональные подсистемы АСУПХД соответствуют видам производственно-хозяйственной деятельности. Каждый производственный объект осуществляет, во-первых, основное производство. Для функционирования основного производства возникает вспомогательное производство. Кроме того, необходимо организовать процессы снабжения и сбыта и т.п. Каждый из этих процессов представляет собой самостоятельный объект управления.

Таким образом, в состав функциональных подсистем АСУПХД входят, как правило, следующие подсистемы:

- подсистема технико-экономического планирования;
- подсистема оперативного управления основным производством;
- подсистема управления технической подготовкой производства;
- подсистема управления материально-техническим снабжением;
- подсистема управления сбытом и реализацией продукции;
- подсистема управления качеством;
- подсистема бухгалтерского учета и др.

Целью обеспечивающих подсистем является обеспечение решения задач функциональных подсистем АСУ. Состав обеспечивающих подсистем не зависит от вида АСУ и включает следующие подсистемы:

- информационное обеспечение;
- математическое обеспечение;
- программное обеспечение;
- техническое обеспечение;
- лингвистическое обеспечение;
- эргономическое обеспечение;
- правовое обеспечение и др.

*Информационное обеспечение* – это совокупность данных, необходимых для решения функциональных задач АСУ, организованных в виде баз и банков данных.

*Математическое обеспечение* – это математические модели, методы и алгоритмы для решения функциональных задач АСУ.

*Программное обеспечение* – это комплекс программ, применяющихся в АСУ. Различают общее и специальное программное обеспечение. *Общее ПО* осуществляет управление работой технических средств и информационной базы. *Специальное ПО* предназначено для решения функциональных задач.

*Техническое обеспечение* – это комплекс технических средств для сбора, передачи, хранения и обработки информации.

*Лингвистическое обеспечение* – это совокупность языковых средств, используемых для машинной обработки информации и облегчающих общение человека с техническими средствами АСУ.

*Эргономическое обеспечение* – это методы и средства, обеспечивающие эффективное взаимодействие с системой всех категорий пользователей и обслуживающего персонала.

*Правовое обеспечение* – это совокупность документов, определяющих юридические аспекты функционирования АСУ.

Отметим некоторые основные особенности технологических процессов нефтегазовой отрасли:

1. Технологические процессы нефтегазовой отрасли являются **непрерывными**. Непрерывность характерна для технологических процессов добычи, подготовки, транспорта и переработки нефти и газа, нефтехимических процессов и т.д.

2. Технологические процессы нефтегазовой отрасли являются **распределенными**. Для нефтегазовых технологических процессов, прежде всего для процессов добычи и транспорта нефти и газа, характерна значительная рассредоточенность объектов по площадям. Объектами управления в технологических процессах добычи и транспорта нефти и газа являются добывающие скважины и другие объекты нефтяных и газовых промыслов, насосные и компрессорные станции магистральных нефтепроводов и газопроводов, краны и задвижки, вспомогательное оборудование, а также линейные участки газо-, нефте- и продуктопроводов. Эти объекты удалены друг от друга, а также от пунктов управления на значительные расстояния.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА СЛУЖБЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ**

**Студент гр. 2691 Н.А. Турилов**

Научный руководитель – старший продаватель *М.А. Шапченко*  
Санкт-Петербургский государственный  
инженерно-экономический университет

На современном этапе развития нефтегазовой отрасли России достаточно актуальными являются задачи по эффективному интегрированию отечественных предприятий в рыночную экономику с параллельным реформированием отрасли в целом и созданием современных систем менеджмента на основе внедрения принципиально новых моделей принятия решений. Динамизм и неопределенность рыночной экономики предполагают необходимость формирования новых подходов, новых управленческих технологий для стратегического развития предприятий, для максимально эффективной их адаптации к изменениям внешней среды с учетом реально существующего спектра рисков. Этим и объясняется необходимость внедрения современных информационных технологий.

Рынок информационных технологий в нефтегазовой отрасли России и стран СНГ (оптимизация производственных и бизнес-процессов в вертикально интегрированных компаниях нефтегазового сектора, экономное и эффективное обустройство месторождений нефти и газа, обеспечение надежности функционирования систем трубопроводного транспорта и т.д.) пока что достаточно консервативен. Шанс завоевать доверие у формирующегося класса эффективных собственников имеют только те консалтинговые и инжиниринговые ИТ-компании, которые могут оправдать ожидания руководства предприятий нефтегазового сектора относительно получения четкого управленческого контроля с конкретными бизнес-результатами. Одним из таких результатов может быть формализация бизнес-процессов с закономерным повышением прозрачности компании, увеличением ее стоимости и инвестиционной привлекательности. Ибо только так компания, предоставляющая передовые информационные технологии, может обеспечить себе серьезное позиционирование на российском нефтегазовом рынке.

Особенно неблагоприятно обстоят дела на нефтепромысловых трубопроводах. Там ежедневно (!) происходит 75–80 прорывов, из них более 50 – на коллекторах, причем более 90 % этих аварий связано с внутренней коррозией. За последние годы условия эксплуатации промысловых трубопроводов (особенно в Западной Сибири) осложнились в связи с обводнением месторождений и резким увеличением концентрации коррозионно-активных веществ в пластовой воде. Такая ситуация, прежде всего, связана с последствиями применения экстенсивных методов нефтедобычи, «варварских» с точки зрения рационального природопользования, когда на месторождении извлекается только четверть запасов нефти.

В результате срок эксплуатации нефтепроводов и водоводов существенно сократился. Возрастающие объемы использования ингибиторов коррозии, как и стальных труб с повышенной коррозионной стойкостью, не обеспечивают значительного увеличения срока службы трубопроводов и оборудования. Стеклопластиковые трубы применяются в малых объемах, а их «век», по данным экспертов, длится не более 15–20 лет [1].

Таким образом, мы видим, что объем рабочей, технологической и управленческой информации резко возрастает. Поэтому для повышения эффективности менеджмента на предприятиях нефтегазовой отрасли объяснимо внедрение крупных информационных систем, которые бы способствовали более глубокой проработке специализированных и зачастую интегрированных решений, таких, например, как предотвращение развития неблагоприятных процессов, связанных с риском внезапного аварийного разрушения системы магистральных трубопроводов. Это – весьма интересное направление практического использования возможностей современных систем информационно-управленческой поддержки деятельности предприятия, поскольку появляется реальный шанс оперативного отслеживания таких процессов.

В этом случае модули информационной системы позволяют оценивать риск разрушения трубопроводов из-за конструкционных, технологических или коррозионных причин, оценивают качество противокоррозионной защиты, осуществляют периодическую комплексную диагностику состояния магистральных трубопроводов.



К классу таких информационных систем, в частности, относится ЕМРАС, представительница группы систем ЕАМ-класса (Enterprise Asset Management). Ее эквивалент на российском рынке звучит как УФАП (управление фондами и активами предприятия). Основой системы ЕМРАС являются модули «Управление активами и фондами», «Управление работами», «Управление персоналом», «Управление гарантиями», «Управление проектами», «Управление складами» и «Управление закупками». Системы этого класса успешно зарекомендовали себя практически во всех крупных нефтегазодобывающих компаниях мира, стремящихся к росту своей рыночной капитализации.

Таким образом, основной целью внедрения информационной системы в промышленном производстве является тотальный мониторинг производственных и бизнес-процессов на конкретном предприятии, сокращение расходов на поддержание надежности работы оборудования. Достигается это, кроме того, путем ведения финансовой и ремонтной истории всех единиц оборудования, сбора и обработки статистики по отказам и неисправностям, за счет ведения регламента оборудования и учета выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту. В итоге руководство в каждый момент времени владеет полной и достоверной информацией о работе предприятия, может знать его «слабые стороны» и вовремя подстраховаться от кризисных ситуаций. Помимо информации о датах и объемах выполнения работ по техническому обслуживанию конкретных единиц оборудования компания, внедрившая у себя данную систему, получает данные о надежности любого класса оборудования, что позволяет реально оценить степень рисков наступления аварийных случаев. Кроме того, предприятие получает и полную статистику по отказам и неисправностям конкретных типов и видов оборудования, а значит, менеджмент компании имеет возможность отслеживать работу определенной техники в длительной перспективе, что позволяет, в конечном счете, существенно снижать производственные издержки и повышать рентабельность [1].

В настоящее время системы класса УФАП только выходят на российский рынок. В перспективе они могут дать существенный толчок развитию новых управленческих технологий, имеющих отношение к производственному риск-менеджменту [3].

Решения «Астерос» для предприятий нефтегазовой отрасли:

- внедрение информационно-управляющих систем стратегического планирования;

- информационная интеграция территориально-распределенных бизнес-центров, включая филиалы и дочерние общества, работающие за рубежом;

- создание единого информационного пространства, представляющего собой совокупность программно-технических средств, функционирующих на основе единых технических требований, единой нормативно-справочной информации, нормативных и организационных принципов;

- формирование единого корпоративного хранилища данных, что обеспечит интеграцию функциональных бизнес-процессов, в том числе управленческого учета, бюджетирования, управления финансами, управления производством;

- внедрение информационно-аналитических систем для использования передовых управленческих технологий, включая инструменты бюджетирования, проектного управления, управления рисками;

- создание системы управления информационной безопасностью, реализующей единую политику в этой области, включая совершенствование форм, методов и средств выявления, оценки и прогнозирования угроз информационной безопасности, а также противодействия этим угрозам;

- внедрение систем управления активами;

- внедрение комплекса интегрированных приложений для геопространственного управления трубопроводной магистральной сетью.

Одной из основных задач в области построения ИТ-систем в нефтегазовой отрасли группа «Астерос» видит в поддержке средствами информационных технологий оптимальной реализации бизнес-процессов предприятия [2].

Использование ИТ напрямую влияет на создание конкурентных преимуществ для устойчивого развития предприятия, новых продуктов и услуг, выход на новые рынки, повышение прозрачности финансово-хозяйственной деятельности, совершенствование корпоративного управления, повышение эффективности профильной деятельности корпораций нефтегазового сектора.

В настоящее время информационные технологии все больше выступают в качестве одного из основных инструментов создания конкурентных преимуществ.

### **Библиографический список**

1. URL: <http://www.oilru.com/nr/136/2687/>.
2. URL: <http://www.asteros.ru/fields./oil-gas/>.
3. URL: <http://www.add-ion.ru/ufap.html>.

## **IT-ТЕХНОЛОГИИ: IBM, INTEL И ERP В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**Студентка гр. 2691 М.С. Большакова**

Научный руководитель – старший продаватель *М.А. Шапченко*  
Санкт-Петербургский государственный  
инженерно-экономический университет

Информационные технологии (ИТ) служат рычагом развития стратегически важных отраслей, средством повышения эффективности управления. Они вносят весомый вклад в увеличение производительности труда и в то же время обеспечивают создание новых рабочих мест, в том числе и в нефтегазовых отраслях.

Современная нефтегазовая отрасль отличается высокой потребностью в скоростных вычислительных услугах [2]. И сегодня, с распространением архитектуры Хеоп, всё большее число компаний переходят с RISC-систем на архитектуру Intel. Она оказывается существенно дешевле и производительнее.

С каждым десятилетием нефть становится всё труднее добывать: месторождения усложняются, приходится «поднимать» новые пласты, которые раньше считались нерентабельными. И здесь на помощь нефтяникам приходят вычислительные технологии.

В 2005 г. в России был создан Центр инноваций IBM и Intel. Это первый в России и СНГ совместный центр, предназначенный для тестирования и оптимизации технологических решений для нефтяных, газовых и сервисных компаний [1]. Кроме того, Центр стал вторым в мире. Первый Центр был открыт Intel и IBM в 2002 г. в Абу-Даби (ОАЭ). Использование

ресурсов Центра позволяет нефтяным, газовым и сервисным компаниям упростить задачу обоснованного выбора ключевых технологических решений, связанных с разведкой и разработкой месторождений.

Уже сегодня моделирование, визуализация данных, мобильные технологии позволяют обеспечить конкурентные преимущества любой компании, работающей в нефтегазовой отрасли, за счёт ускорения совместной работы и взаимодействия сотрудников в течение всего цикла разведки и разработки месторождения. Московский центр передовых технологий IBM и Intel обеспечивает наглядную демонстрацию преимуществ использования важнейших технологических достижений в нефтегазовой индустрии.

К числу основных задач, решаемых в новом Центре, относятся:

- демонстрация заказчикам прикладных решений производителей отраслевого программного обеспечения на оборудовании IBM, построенном с применением платформ Intel;

- выбор заказчиками, настройка, тестирование и оптимизация технологических решений;

- получение заказчиком практического опыта установки, конфигурирования и настройки сложных кластерных систем и соответствующих приложений [1].

Одна из самых передовых отраслей российской экономики в области ИТ – топливно-энергетический комплекс (ТЭК): этому благоприятствует наличие «свободных» денег вкуче с потребностями быть «прозрачными» и эффективными. Бизнес отечественной нефтегазовой отрасли определяют 10 вертикально-интегрированных компаний (ВИНК) и 2 государственные транспортные компании. В компаниях ТЭК прослеживается тенденция интенсивного развития нескольких направлений ИТ. Первое из них – внедрение ERP-систем [3].

Использование ERP-систем, в свою очередь, привело к тому, что заказчики стали уделять пристальное внимание надежности не только программно-аппаратных комплексов, но и всей информационной системы [3]. Так, требования компаний ТЭК таковы, что время простоя (или недоступности сервиса для пользователей) не должно превышать 60 мин в год!

Наиболее востребованными на сегодняшний день являются решения, поддерживающие процессы:

– управления жизненным циклом активов в нефтегазовой отрасли;

– управления логистическими цепочками;

– интегрированного планирования/бюджетирования, моделирования деятельности компании, бизнес-аналитики.

С помощью инновационных технологий геологи могут при меньших затратах более точно определять места бурения скважин, анализировать запасы полезных ископаемых или разрабатывать проекты нефтеперерабатывающего завода. Это позволяет сократить цикл разработки, число непродуктивных скважин и необнаруженных месторождений, что значительно повышает уровень возврата инвестиций.

### **Библиографический список**

1. URL: <http://www.thg.ru/business/20050506/index.html>.
2. URL: <http://www.setevoi.ru/cgi-bin/text.pl/magazines/2005/04/13>.
3. URL: [http://www.it.ru/press\\_center/press/1198](http://www.it.ru/press_center/press/1198).

## **МЕТОДИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «МЕТОДЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ»**

**Студент гр. 9М201 Ю.В. Борнукова**

Научный руководитель – канд. пед. наук, доцент *Н.П. Фикс*

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет

В современных условиях организации образовательного процесса в вузе использование компьютера как средства обучения оказывает существенное влияние на методы преподавания и организации процесса обучения в целом. Рациональное использование компьютерных технологий позволяет повышать эффективность процесса обучения. Это достигается, прежде всего, за счет применения эффективных способов представления информации, индивидуализации и автоматизации образовательного процесса. Однако не всегда возможно использование систем

компьютерной математики без усложнения методических указаний к лабораторным работам. Опыт создания и практического использования информационных образовательных ресурсов отражен во многих работах. В частности, анализируются [1–3] различные аспекты содержания и методических основ применения электронных образовательных ресурсов.

Целью данной работы является разработка теоретического, методического и программного обеспечения для лабораторного практикума по курсу «Методы расчета устойчивости энергосистем».

АРВ СД относится к распространенному типу автоматических регуляторов, решающим образом влияющих на параметры нормальных режимов и устойчивость параллельной работы синхронных машин в составе энергосистем. Поэтому знания структурного построения, элементного состава, численных показателей параметров, математических моделей и математических методов исследования АРВ СД во многих случаях будут востребованы в практической деятельности инженеров и магистров.

Практическую направленность задачи построения областей допустимых режимов представляют вопросы выбора расчетных условий, использования ПЭВМ для расчетов и применения коэффициентов запаса устойчивости для построения двумерных областей допустимых режимов сложных энергосистем. Чисто теоретическое изучение этих вопросов малопродуктивно.

Поскольку на практике при проектировании энергосистем ориентируются на существующие системы возбуждения и соответствующие им типы АРВ, то задача выбора системы стабилизации сужается до определения значений настроечных параметров каналов стабилизации. При этом если типовая система возбуждения не позволяет обеспечить статическую устойчивость и качество переходных процессов при малых возмущениях, то рассматривают возможность применения более эффективных систем возбуждения из числа существующих. Если же и это не приводит к желаемому результату, то необходимо решать задачу синтеза структуры стабилизации АРВ. В данной работе используется методика выбора настроечных параметров каналов стабилизации АРВ (в том числе для совокупности энергосистем) [4]. Рассматриваются методика и практические способы расчета статической устойчивости электроэнергетических систем.

Основная задача настоящей работы – поиск оптимальных сочетаний параметров каналов стабилизации с целью обеспечения простоты и наглядности выполнения лабораторной работы «Выбор коэффициентов усиления АРВ СД генератора одномашиной энергосистемы» студентами.

Виртуальные лабораторные работы предназначены для закрепления теоретического материала по разделам курса «Методы расчета устойчивости энергосистем». Кроме того, студенты получают практические навыки постановки и решения задач расчета устойчивости энергосистем.

Общая задача расчетов, связанных с настройкой автоматических регуляторов возбуждения, заключается в том, чтобы посредством подбора коэффициентов усиления получить характеристическое уравнение, корни которого расположены в левой полуплоскости на плоскости корней. При решении этой задачи используются метод D-разбиения, алгебраические и частотные критерии устойчивости.

Выбор коэффициентов усиления следует осуществлять таким образом, чтобы устойчивость энергосистемы сохранялась без перенастройки АРВ во всех возможных эксплуатационных режимах. Поэтому при построении областей статической устойчивости вместе с коэффициентами усиления АРВ необходимо принимать к рассмотрению какие-либо наиболее информативные параметры режима, в наибольшей степени характеризующие режимные состояния энергосистем. К таким параметрам относятся взаимные углы и активные мощности электростанций, в пространстве которых часто строятся области устойчивости [4].

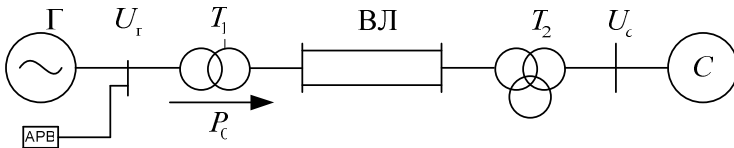


Рис. 1. Схема электропередачи

Для рассматриваемой одномашиной энергосистемы в качестве варьируемого параметра режима принимается передаваемая активная мощность  $P_0$  эквивалентного генератора (рис. 1).

Построение границ областей D-разбиения проводится для двух режимов передачи активной мощности  $P_{0(1)}$  и  $P_{0(2)}$ , которые задаются в долях от максимальной мощности  $P_{\max}$  по угловой характеристике, определяемой приближенно через номинальное напряжение  $U_{\text{гн}}$  генератора по выражению

$$P_{\max} = \frac{U_{\text{гн}} \cdot U_c}{X_{\text{гс}}}. \quad (1)$$

Все расчеты проводятся для одной схемы замещения энергосистемы. Вариантность обеспечивается за счет разных значений фиксируемых (задаваемых) коэффициентов усиления АРВ СД. Расчеты проводятся для следующих сочетаний параметров:

- координаты (коэффициенты) для построения областей статической устойчивости ( $K_{0f}$ ,  $K_{1f}$ );
- фиксируемые коэффициенты усиления АРВ СД ( $K_{0U}$ ,  $K_{1U}$ ).

Численные значения фиксируемых коэффициентов усиления АРВ СД задаются повариантно в форме таблицы.

#### Коэффициенты усиления АРВ

№ п/п	1	2	3	4	5	6
$K_{1U}$ , ед.возб.хх+с/ед.напряж.	10	20	30	40	50	60
$K_{0U}$ , ед.возб.хх / ед.напряж.	100	120	140	160	180	200

Определители Гурвица и данные для построения годографа Михайлова вычисляются для одной и той же произвольно выбранной точки на плоскости коэффициентов усиления АРВ СД. Координаты этой точки следует выбрать так, чтобы при обработке результатов расчета она не оказалась за пределами рисунка.

Расчет определителей Гурвица производится для обоих режимов. Параметры годографа Михайлова определяются для одного из режимов по выбору студента.

Решение задач настройки одним из способов, основанных на методе синтеза систем автоматического регулирования высокой точности, состоит в определении такой системы стабилизации, которая обеспечивает устойчивость при любой статической точности регулирования. Применительно к АРВ последнее требование означает обеспечение устойчивости при любых больших значениях  $k_{0u}$  до  $k_{0u} \rightarrow \infty$ . В действительности используемые на



практике значения  $k_{0u}$  велики, и статические характеристики регулируемого генератора близки к получаемым при  $U_r = \text{const}$ . При значительном увеличении  $k_{0u}$  не вносит заметных изменений в условия работы системы.

Вместе с тем увеличение  $k_{0u}$  приводит к ослаблению стабилизирующих свойств АРВ, поэтому переход от больших конечных значений  $k_{0u}$  при  $k_{0u} \rightarrow \infty$  связан с ухудшением условий устойчивости.

Таким образом, если система стабилизации АРВ обеспечивает устойчивость при  $k_{0u} \rightarrow \infty$ , как это требуется в соответствии с условиями синтеза, то предполагается, что система будет устойчива и при больших конечных значениях  $k_{0u}$ .

Современная теория устойчивости «в малом» (статической устойчивости) электрических систем, как и любых нелинейных технических систем, базируется на методах первого приближения Ляпунова и сводится к исследованию устойчивости линеаризованной системы дифференциальных уравнений движения систем.

Необходимым и достаточным условием статической устойчивости проверяемого режима электрической системы является наличие отрицательных знаков у вещественных частей всех корней характеристического уравнения [4].

При высокой степени характеристического уравнения вычисление его корней весьма трудоемко, поэтому часто используют некоторые математические условия, которые позволяют без вычисления корней определять наличие или отсутствие положительных знаков у их вещественных частей. В электроэнергетике эти условия называются математическими критериями статической устойчивости энергосистем, из которых выделяют алгебраические (критерии Рауса, Гурвица и др.) и частотные (критерии Михайлова, Найквиста и др.) [4].

В результате был выбран наиболее оптимальный комплект параметров настройки АРВ СД и получено простое и наглядное программное средство, позволяющее студентам самостоятельно выбрать допустимые коэффициенты усиления, при которых действие АРВ СД позволяет сохранить устойчивость одномашинной энергосистемы.

Разработана методика проведения расчетов и поддержания статической устойчивости энергосистем.

Например, в работе были рассчитаны параметры режима, частные производные, коэффициенты характеристического уравнения для режимов  $P_0(1) = 0,5$  и  $P_0(2) = 0,9$ . Затем для режима  $P_0(1) = 0,5$  рассчитали статическую устойчивость энергосистемы без учета влияния АРВ; с учетом влияния АРВ ( $k_{0U}, k_{1U}$ ) и с учетом коэффициентов для построения областей статической устойчивости ( $k_{0U}, k_{1U}, k_{0f}, k_{1f}$ ) – во всех случаях система оказалась устойчивой. Для режима  $P_0(2) = 0,9$  была рассчитана статическая устойчивость без учета АРВ – система оказалась неустойчивой, затем рассчитали статическую устойчивость с учетом АРВ ( $k_{0U}, k_{1U}$ ) – система вновь оказалась неустойчивой. Из этого следует, что генератор перегружен и влияние АРВ не помогает.

Разработанная программа лабораторной работы позволяет получить четкое изображение петли годографа Михайлова, имеет защиту от ввода некорректных данных и критических ошибок. В результате использования данной работы в учебном процессе ожидается достижение учебно-педагогического эффекта, который заключается в повышении качества обучения студентов. Студенты будут получать практические навыки постановки и решения задач расчета устойчивости энергосистем на ПВЭМ. Возможно дальнейшее использование программы как части автоматизированного учебно-методического комплекса.

### Библиографический список

1. Зайнутдинова Л.Р. Создание и применение электронных учебников. – Астрахань: ЦНТЭП, 1999. – 364 с.
2. Ивановский Р.И. Роль и значение программных систем компьютерной математики в математическом образовании // Сб. материалов выездного заседания НМС по математике Министерства образования и науки РФ. – Набережные Челны, 2006. – С. 136–148.
3. Ивановский Р.И. Компьютерные технологии в науке и образовании. Практика применения систем MathCAD Pro: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2003. – 432 с.
4. Хрущев Ю.В. Методы расчета устойчивости энергосистем: учебное пособие. – Томск: STT, 2005. – 176 с.

## SELF-ORGANIZATION: SELF-HEALING FORMS

**Student ICT-06 S.O. Alatartsev**

Scientific adviser Candidate of Math Sci,

Associate Prof. *E.S. Kogan*

Chita state university

Trends in recent years are more and more focused on distributed systems. Deliverance from central control unit and its distribution on the set of objects provide high resistance to various extreme situations.

At that moment, some scientific groups research collective communities (for example – ant colonies) and develop a model of an artificial swarm that could solve various problems, ranging from searching operations in the mountains, up to buildings construction. Such activities involve some risk, and therefore use of expensive devices may not be as cost effective as using a swarm of hundred simple objects in the total same price. For example – moon explorer vehicle. Many parts can be broken in this device. But for the same financing, you can build a lot of simple devices; failure of some of them will not disrupt the plan of exploration work.

In spite of such advantages of swarm, there are problems of its self-organization. Each object must be cheap to manufacture, and that's why must have a minimum set of sensors. This factor limits possibilities of interaction within the swarm.

Another problem is the lack of functionality of a single device. Sometimes we need to solve some physical problem: to get across the ravine, to get something from height and etc. We must have an appropriate physical instrument. Therefore, a swarm should be organized in such a way that objects while interacting with each other were able to transform to the shape with qualities superior the sum of qualities of its constituent parts. For example – wheel. Swarm in the shape of wheel can quickly cover long distances, rather than each object separately. There is a problem: how to achieve such cooperation, and how to describe these transformations in program?

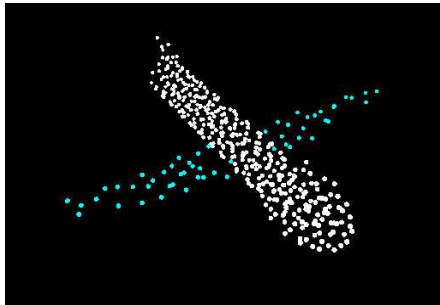
This article describes method for shape construction programming. Let's define shape like a system of limiting functions. Storing a set of functions requires less memory than storing the information about each points of the future shape.

Shape will be smoother, and it will be easy to change its form. For example, change of coefficients in limiting functions, can transform wheel in oval - like track-type. For a discrete set of points, such changes are also possible, but by a more significant change of the set.

After describing a shape, let's define entry point (or several) into it. The entry points should be interior points of the region. Objects that are outside of the shape, will rush into the nearest entry point.

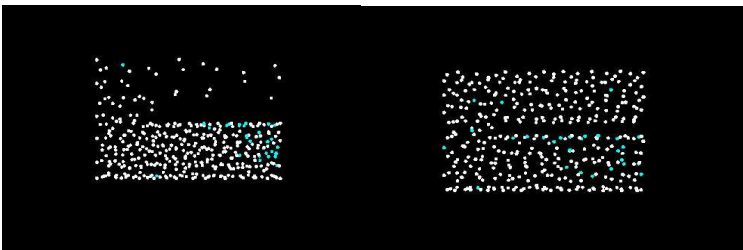
When they get in the shape (their coordinates will satisfy the system of limiting functions), they will have to spread inside evenly. The question is: how do objects spread themselves inside the body evenly, without a central control unit?

This article offer decision. Using sensors, each object detect the nearest object and start moving to the opposite side. This action is repeated in cycle until the distances between every nearest pair of objects will be practically the same and they will be maximum. If this condition is true, we may say, that objects are distributed evenly.



Pic. 1. Example form of complex shapes

Using system of functions to describe the shape allow us to make complex shapes. You can watch aircraft form on pic. 1.



Pic. 2. Complex shapes with different concentration of object

Distribution of objects inside the shape, will give us very important thing. If some objects will fail, other will take their functions. On left part of pic. 2, you can see that system did not come to the state of rest. And higher part of the shape has low concentration of object. On the right part of pic. 2, system in state of rest is stated.

## **АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ НА ГРАФАХ**

**Аспирант Д.С. Гордеев**

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук,  
профессор *В.Н. Касьянов*

Институт систем информатики им. А.П. Ершова, г. Новосибирск

Рост требований для интерактивных визуализаций графов, которые могут быть эффективно использованы при обучении студентов и исследованиях, а также отсутствие универсальных систем визуализации алгоритмов побуждают к созданию новой архитектуры для универсальной системы визуализации. Определение новой архитектуры требует интенсивного анализа существующих систем визуализации и описания ключевых требований, которым должна удовлетворять архитектура. Применение этой архитектуры упрощает процесс создания визуализаций произвольных алгоритмов, оперирующих графовыми объектами. Такие визуализации можно эффективно использовать в образовательных целях, так как есть возможность внести изменения в граф и в алгоритм и незамедлительно увидеть эффекты, к которым приводят изменения.

Визуализация алгоритма – это процесс графической иллюстрации абстрактного поведения и функциональности алгоритма и изменения внутреннего состояния соответствующих структур данных. Для этого используются различные технологии, относящиеся к компьютерной графике, в приложении к абстрактным структурам данных, операциям и семантике, чтобы создать качественное графическое представление этих абстракций. Главной целью является задача облегчить студентам понимание часто нетривиального поведения алгоритмов и помочь при анализе

различных вычислений в процессе работы. Системы визуализации алгоритмов – это системы, которые можно использовать как студентам, так и преподавателям для графических иллюстраций абстрактного динамического поведения алгоритмов и структур данных. Система в целом может рассматриваться как современный инструмент дистанционного обучения, который помогает студентам быстрее понимать нетривиальное поведение алгоритмов. Более того, это может быть частью исследований по анализу алгоритмов, улучшению их свойств или даже разработке новых алгоритмов. Системы визуализации алгоритмов производят мощную альтернативу традиционным инструментам обучения и материалам, таким как статичные презентации, использующиеся в лекциях и печатных книгах. Хотя, как показывает исследование, современные системы визуализации алгоритмов не поддерживают ключевые требования, предъявляемые к таким системам.

Далее будут описаны наиболее важные требования, которые должны поддерживаться системами визуализации алгоритмов, чтобы их можно было использовать как эффективные средства обучения. Можно различать два типа анимаций: статические и динамические. Статическая анимация – неизменная последовательность графических кадров, которая не поддерживает взаимодействие с пользователем, который мог бы влиять на содержимое кадров. В общем случае изображения можно проматывать в двух направлениях, назад или вперед, либо приостановить. Динамическая анимация – это визуальные симуляции, в основе которых лежит симуляция реального времени над алгоритмами или структурами данных. Во время работы таких симуляций пользователь может взаимодействовать с анимацией несколькими способами, в зависимости от того, насколько поддержка такого взаимодействия была заложена автором симуляции во время имплементации. Так как динамические симуляции больше соответствуют реальному миру, статические анимации выглядят менее эффективными и менее подходящими для обучения. Однако большинство из существующих систем визуализации алгоритмов и структур данных реализуют только статическую визуализацию или симуляцию с низким уровнем взаимодействия, что снижает их обучающую эффективность. Чтобы систему можно было использовать как эффективное средство дистанционного обучения, она должна

предоставлять инструментарий, чтобы дать возможность разработчикам легко добавлять новые симуляции. Как бы то ни было, так как NP-полные и вычислительно ёмкие алгоритмы не могут быть эффективно смоделированы в режиме реального времени, системы также должны поддерживать статичные симуляции. Это естественное требование гарантирует общность и широкое поле для применения системы в качестве инструмента обучения.

У некоторых существующих систем есть другое серьёзное ограничение. Если система поддерживает только специфичные наборы алгоритмов или структур данных, следовательно, она не может быть использована для обучения широкому классу задач, связанных с алгоритмами и структурами данных. Часто это серьёзное ограничение закладывается во время построения системы и не может быть устранено без серьёзной переработки системы. Таким образом, можно сформулировать ещё одно существенное требование к эффективной системе обучения. Система визуализации должна быть применима к широкому кругу задач, не только из области информатики, а также, например, биоинформатики, химии. Системы, построенные быстро и для специальной задачи, используют очень маленькую область применения или не реализуют динамическую визуализацию. Другие системы, при реализации которых были осуществлены попытки расширить заложенные рамки, требуют много дополнительных усилий, чтобы их можно было эффективно использовать.

Чрезвычайно важным требованием, предъявляемым к системам визуализации, является быстрое добавление новых симуляций. Система также должна обладать возможностью быстрого разворачивания. Исследование показывает, что существующие системы визуализации не удовлетворяют всем трём требованиям одновременно. Если система представляет собой модульную систему, состоящую из независимых модулей, то такая архитектура позволяет легче обновлять и поддерживать систему. Также модульная архитектура приводит к уменьшению усилий, необходимых для разработки и добавления новых анимаций. Также архитектура системы должна позволять студентам или исследователям запрограммировать собственный алгоритм, чтобы получить максимум эффективности от анимации алгоритма.

При разработке и реализации архитектуры была заложена модульная структура. Так как модули должны обмениваться информацией друг с другом, очень важно определить максимально обобщённый способ передачи данных. Поэтому в новой архитектуре реализован принцип обмена данными, при котором параметры и результаты передаются от модуля к модулю в виде текста. Текстовое представление данных позволяет передавать данные в обобщённом виде, так как такое представление не зависит ни от операционных систем, в контексте которых исполняются модули системы, ни от машинных архитектур. Это позволяет реализовывать модули с использованием различных технологий и, если потребуется, запускать в исполнение на различных вычислительных машинах, связанных сетью. Правило передачи данных в текстовом виде будет полезно, если потребуется портировать систему с одной технологии реализации на другую по частям. Достаточно будет лишь поддерживать определённый интерфейс взаимодействия, который будет описан ниже.

Поскольку пользователь должен иметь возможность ввести в качестве параметра граф, то система должна содержать модель редактирования графов. При его реализации можно использовать существующие графические редакторы, либо реализовать новый редактор. В последнем случае дополнительные усилия обеспечат более простую интеграцию с другими модулями системы. Этот модуль также должен обеспечивать функциональность преобразования абстрактного графа в текстовое представление. Конкретный формат зависит от модели представления графа и может быть выбран в самом обобщённом виде. Текст алгоритма можно использовать в качестве параметра без дополнительного преобразования, так как наиболее естественный способ ввода алгоритма с точки зрения пользовательского интерфейса – это ввод инструкций алгоритма.

Также следует выделить модуль исполнения алгоритма. При его реализации потребуется построить интерпретатор инструкций алгоритма, переданного в текстовом виде. Реализация интерпретатора зависит от синтаксиса алгоритмических инструкций, однако это довольно слабая зависимость между модулями ввода параметров и исполнения алгоритма, так как ничто не мешает при необходимости реализовать его с использованием другой



технологии. Во время работы интерпретатор инструкций генерирует журнал операций. Каждая запись журнала содержит информацию о преобразовании внутреннего состояния графовой модели, соответствующую исполненной инструкции алгоритма. Чтобы передать эту информацию следующему модулю, её также нужно представить в текстовом виде.

Самым важным, с точки зрения пользователя, модулем является визуализатор. Этот модуль получает в качестве параметров, текстовые представления графа, закодированного алгоритма, а также закодированное в текстовом виде представление журнала операций обработки графа-параметра заданным алгоритмом. Этот модуль связан с устройством вывода и пользовательского взаимодействия. Визуализатор перекодирует текстовое представление графа в графические примитивы, которые будут использоваться для построения визуализации. Текстовое представление будет использоваться без изменения. Суть его использования в том, что каждая инструкция алгоритма отражает некоторое преобразование внутреннего состояния графовой модели. И при изменении состояния следует визуально выделять инструкцию алгоритма, которая вызвала это преобразование. Каждая запись из журнала операций будет использоваться для изменения визуальных свойств графических примитивов. Также этот модуль должен содержать настройки, которые задают соответствие между данными из записи журнала операций и характером изменения визуального состояния графовой модели.

Принципы описанной архитектуры были применены при реализации прототипа системы визуализации алгоритмов. На момент написания статьи были реализованы модули исполнения алгоритма и модуль визуализации с базовыми настройками. Реализованные настройки соответствуют изменению цвета и формы вершин графа [1–4]. Результатом работы модуля визуализации является набор файлов изображений в любом заданном графическом формате. В данный момент рассматривается возможность интеграции с существующими графическими редакторами, чтобы обеспечить возможность ввода графа-параметра. Задача ввода алгоритма-параметра является сравнительно простой из-за текстового входного представления. Также рассматриваются существующие методы генерации

управляемых пользователем визуализаций, построенных с помощью последовательности изображений. Следует отметить, что выбор последовательности файлов изображений в качестве выходных значений модуля визуализации продиктован исключительно тем, что текущая версия является прототипом. После решения указанных вопросов направлением дальнейших исследований является задача создания настраиваемого соответствия между записями журнала операций и визуальными эффектами, соответствующими инструкциям алгоритма.

### **Библиографический список**

1. Касьянов, В.Н., Евстигнеев, В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.

2. Lisitsyn I.A., Kasyanov V.N. Higes – Visualization system for clustered graphs and graph algorithms // Proc. of Graph Drawing 99. – Lect. Notes in Comput. Sci. – 1999. – Vol. 1731. – P. 82–89.

3. Demetrescu C., Finocchi I., Stasko J. T., Specifying Algorithm Visualizations: Interesting Events or State Mapping? // In Proc. of Dagstuhl Seminar on Software Visualization – Lect. Notes in Comput. Sci. – 2001. – P. 16–30.

4. Stallmann M., Cleaveland R., Hebbbar P. GDR: A Visualization Tool for GraphAlgorithms // In Proc. Computational Support for Discrete Mathematics, American Mathematical Society. – 1994. – P. 17–28.

# УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ СРЕДА ВИЗУАЛИЗАЦИИ АТРИБУТИРОВАННЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Студенты гр. 7202 Т.А. Золотухин, Д.С.Колбин

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук,  
профессор *В.Н. Касьянов*

Новосибирский государственный университет

Визуализация информации – это процесс преобразования больших и сложных видов абстрактной информации в визуальную форму. Универсальным средством представления такой информации являются графы. Любая информация, состоящая из объектов, между которыми имеется связь, может быть наглядно представлена в виде графа. Во многих приложениях используемые графы являются иерархическими и/или атрибутированными [3], наглядное представление этих графов позволяет эффективнее работать с предоставленной информацией.

Целью проекта является построение расширяемой системы визуализации атрибутированных иерархических графов с интерактивным управлением этой визуализацией, а также удобной навигацией по графам. Также перед проектом стоит цель предоставления дополнительных средств, позволяющих повысить качество сопровождения разрабатываемой системы визуализации.

## **Обозначения**

- **Visual Graph** – название системы (далее Программа);
- **графовая модель** – атрибутированный иерархический граф;
- **входной язык** – язык, позволяющий описывать следующие сущности:
  - вершины и дуги графа;
  - графы с любым количеством вершин, дуг, вложенных графов;
  - произвольное количество атрибутов для любого графа, вершины или дуги;
- **входной граф** – файл, содержащий графовую модель, описанный с помощью входного языка.

## **Соглашения**

- для Программы входным языком является GraphML [4].

**Область применения.** Основной областью применения являются структуры данных, обрабатываемые компиляторами, т.е. компилятор может сохранить свое внутреннее представление в виде файла (одного из поддерживаемых Программой форматов), и Программа сможет прочитать граф, содержащийся в этом файле, и отобразить его.

В дальнейшем предполагается расширить области применения. Например, можно охватить генеалогию (семейные деревья), спорт (турнирные деревья), бизнес-менеджмент (визуализация схем предприятий), веб-дизайн (карты сайтов) и другие области, традиционно поддерживаемые аналогичными системами визуализации графов [2].

**Существующие проблемы.** При решении задачи возникло большое количество проблем. Ниже перечислены те из них, которые будут решаться в рамках данного проекта:

1. Выбор эффективного внутреннего представления является первостепенной задачей для создания универсальной расширяемой системы визуализации. От этого выбора зависит то, насколько быстрой будет реакция системы на запросы пользователей, а также возможность добавления новых методов параметризуемого поиска сущностей.

2. Выбор алгоритма раскладки для создания понятного пользователю визуального представления графов также является проблемой, поскольку не существует понятия «универсального» или «хорошего» алгоритма раскладки. Алгоритмы раскладки могут различаться в зависимости от сферы их применения. Например, одним из основных видов графов, создаваемых компилятором, является граф управления программы. Поэтому в рамках этого проекта будет выбран алгоритм раскладки, позволяющий наиболее понятным образом визуализировать именно такие графы.

3. Не существует универсальных методов навигации по графовым моделям. В рамках данного проекта будут созданы методы навигации, позволяющие выделять из больших графов небольшие фрагменты, интересующие пользователей в конкретный момент времени. Также будет предоставлена возможность быстрого перемещения между существующими фрагментами.

4. Контроль над подмножеством атрибутов для визуализации также является критичным для работы с визуализированными

графами, поскольку неограниченное наложение атрибутов на изображение может препятствовать пониманию обозримого визуализированного фрагмента.

5. Для построения расширяемой системы необходимо, чтобы программа могла работать с большим набором инструментов, который может меняться. Пользователь должен иметь возможность подключать новые инструменты и отключать ненужные.

### Попытки решения существующих проблем:

1. Размер входного графа может достигать сотни мегабайт. Следовательно, хранение такого количества информации в оперативной памяти компьютера может привести к тому, что она быстро закончится. Поэтому было принято решение об использовании встраиваемой базы данных. В качестве оной была взята SQLite, так как она имеет хорошие технические показатели, имеет бесплатную лицензию и хорошую документацию. На рис. 1 представлена база данных, которая используется Программой для хранения графовых моделей.

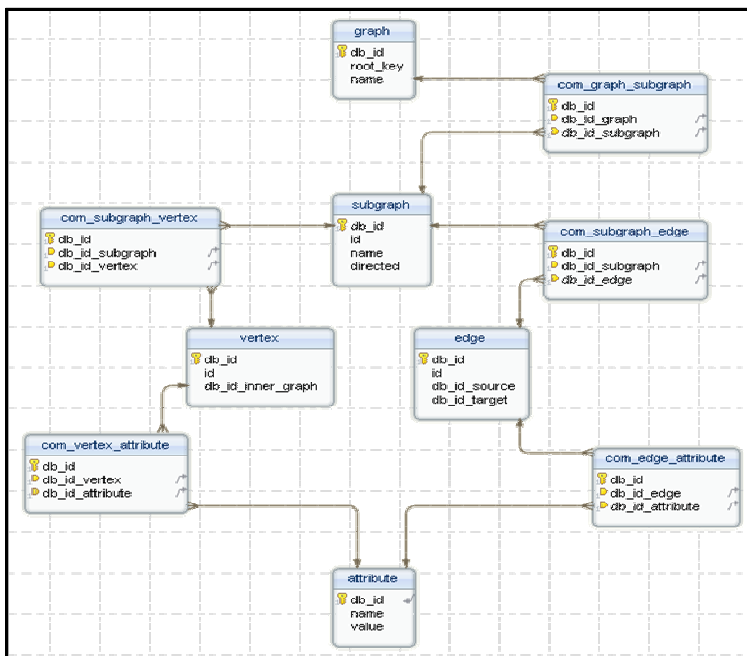


Рис. 1. Структура базы данных для хранения графовых моделей

2. В связи с тем, что основной областью проекта является визуализация дампов компилятора, которые, как правило, имеют иерархическую структуру, основным раскладчиком был выбран иерархический. Иерархический раскладчик способен обеспечить удобное и компактное представление графа. Как альтернатива иерархическому раскладчику вводится ортогональная раскладка, так как в некоторых случаях она может обеспечить более наглядное представление данных.

3. Программа Visual Graph предоставляет целый набор инструментов для навигации по графовой модели.

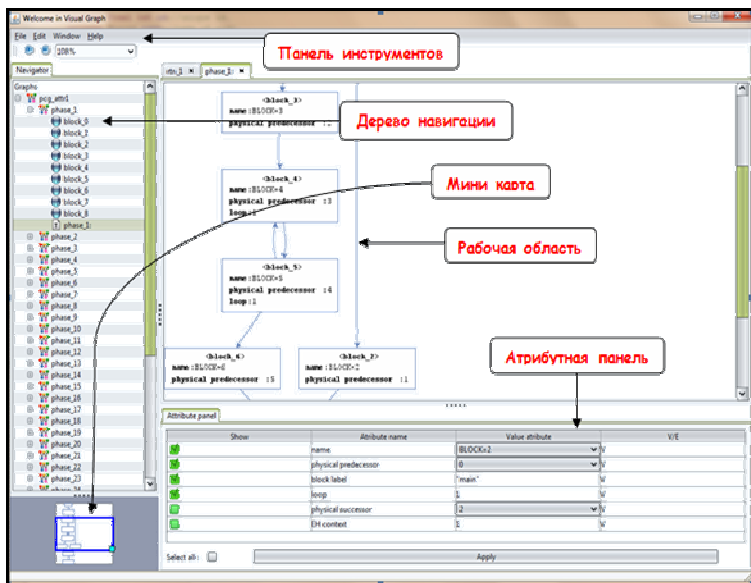


Рис. 2. Пользовательский интерфейс программы Visual Graph

На рис. 2. изображены следующие инструменты навигации:

- мини-карта для графа, находящегося в текущей вкладке;
- дерево навигации. Этот инструмент визуализирует входной граф в виде дерева, с возможностью быстрого переключения между вкладками и визуализирования в рабочей области интересные пользователю элементы графовой модели;
- рабочая область. Этот инструмент визуализирует части графовой модели, используя различные раскладчики графов.

Так как Программа предназначена исключительно для визуализации графов и навигации по ним, то пользователь не может изменять структуру графа (вносить новые вершина, ребра и т.п.), но может менять расположение вершин.

Помимо этого есть и другие инструменты навигации по графовой модели:

- фильтр, позволяющий отсеять ненужные вершины и дуги в выбранной части графа;

- поисковый модуль, осуществляющий поиск вершин по заданным условиям во всей графовой модели, и в результате выдает дерево, в котором представлены результирующие вершины.

4. Для контроля над подмножеством атрибутов для визуализации была создана атрибутная панель, которую можно увидеть на рис. 2. Эта панель позволяет управлять визуализацией атрибутов вершин и ребер.

5. Для построения расширяемой системы было принято решение о добавлении поддержки плагинов.

На данный момент вся функциональность системы является набором плагинов, которые могут общаться друг с другом. Общение происходит за счет системы уведомлений и запросов, т.е. каждый плагин может отправить системе запрос или уведомление, и та в свою очередь разошлет его по всем плагинам. Также плагин, исполняющий чей-то запрос, может отослать заказчику (плагину, породившему этот запрос) уведомление о состоянии его запроса. Разработчику плагина необходимо только прописать реакцию своего плагина на те или иные запросы и уведомления.

**Текущее состояние проекта.** На текущий момент:

- разработаны use-case диаграммы и дизайн-диаграмма классов;
- написано ядро системы;
- внедрена модульная система тестирования;
- внедрена система тестирования пользовательского интерфейса;
- внедрена система логирования;
- написан загрузчик входных графов;
- разработана большая часть пользовательского интерфейса;
- разработана панель управления визуализацией атрибутов вершин и ребер;

- разработана панель поиска вершин по заданным условиям;
  - разработаны фильтр, панель навигации, атрибутная панель.
- Ведутся работы над:

- созданием системы поиска путей,
- созданием ортогонального раскладчика,
- улучшением иерархического раскладчика.

**Используемые продукты.** При разработке были использованы следующие продукты:

- Junit (<http://www.junit.org>),
- Window Tester Pro (<http://code.google.com/intl/ru-RU/javadevtools/wintester/>),
- JGraphX (<http://www.jgraph.com>),
- Java (<http://www.java.com>),
- Substance (<https://substance.dev.java.net>),
- SQLite (<http://www.sqlite.org>).

### **Библиографический список**

1. JGraph User Manual. – URL: <http://www.jgraph.com/pub/jgraph-manual.pdf>.
2. Проприетарный аналог: aiSee. – URL: <http://www.aisee.com/>.
3. Касьянов В.Н. Иерархические графы и графовые модели: вопросы визуальной обработки // Проблемы систем информатики и программирования. – Новосибирск, 1999. – С. 7–32.
4. GraphML Home. – URL: <http://graphml.graphdrawing.org>.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭВРИСТИК МУЛЬТИМЕТОДНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

**Аспирант В.А. Чеканин**

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор *Е.Е. Ковшов*  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

В классическом генетическом алгоритме решение оптимизационной задачи представляют собой строку, содержащую последовательность закодированных параметров задачи. При решении задачи упаковки использование строки решения, в которой закодирована



последовательность подачи объектов на упаковку, не всегда оказывается эффективной, особенно при увеличении числа размещаемых объектов [1]. Мультиметодная технология, разработанная И.П. Норенковым [2], позволяет расширить функциональность декодирующего строку алгоритма. В этом случае строка решения содержит последовательность алгоритмов размещения объектов, которые называются эвристиками. В статье проводится сравнительный анализ эвристик, разработанных для решения задачи упаковки объектов.

**Задача ортогональной упаковки.** Задача ортогональной контейнерной упаковки – задача оптимального размещения заданного набора прямоугольных объектов в прямоугольных контейнерах. Целевой функцией решения такой задачи является число заполненных объектами контейнеров. Задача ортогональной упаковки является *NP*-трудной задачей комбинаторной оптимизации [3], эффективным подходом к решению которой является использование эволюционных, в частности, генетических алгоритмов.

Задача контейнерной упаковки имеет многочисленные приложения в различных сферах деятельности: распределение двумерных производственных ресурсов, прямоугольный раскрой в машиностроении, планировка помещений, размещение элементов электронных схем и пр. Широкое распространение этой задачи делает её решение актуальным.

Для представления объектов в контейнерах используется модель виртуальных объектов. В пространстве контейнера размещаются особые точки, именуемые узлами, по которым осуществляется стыковка упаковываемых объектов. Набор узлов в контейнере образует контур, к которому могут присоединяться другие объекты.

Каждый узел содержит:

- вектор положения  $\{x, y\}$ ;
- ссылку на прикрепленный к узлу объект;
- вектор виртуального объекта  $P = \{px, py\}$ ;
- флаг ориентации объекта в пространстве контейнера.

Все узлы сортируются в порядке убывания приоритета присоединения к ним объектов, который зависит от положения узла в пространстве контейнера.

Вектор виртуального объекта описывает габариты наибольшего прямоугольника, который может быть присоединен к узлу

без пересечений с другими размещенными объектами. Пустой контейнер с габаритами  $L \times W$  содержит единственный узел с вектором виртуального объекта  $P = \{L; W\}$ . После присоединения объекта к узлу контейнера определяются векторы виртуальных объектов всех узлов, чьи виртуальные объекты пересекают размещенный объект.

**Алгоритм размещения объектов.** Декодирование строки решения выполняет разработанный декодер *Packer*, работа которого включает выполнение следующих этапов:

1. Выбор размещаемого объекта из строки решения. Выбор контейнера, содержащего, как минимум, один пустой узел.

2. Последовательный поиск узла текущего контейнера, к которому возможно присоединить текущий объект. В случае если искомым узел не может быть найден, переход к следующему контейнеру.

3. Присоединение объекта к найденному узлу контейнера. Сортировка узлов контейнера в порядке невозрастания приоритета присоединения к ним объектов. Выбор следующего объекта для размещения. Переход к п. 1.

Описанный выше алгоритм размещения объектов позволяет динамически заполнять контейнеры объектами в порядке, определяемом положением узлов контейнеров. При размещении объектов декодер учитывает все свободные области контейнеров и размещает новые объекты как можно ближе к началу координат контейнера благодаря сортировке узлов после размещения каждого нового объекта.

**Мультиметодный генетический алгоритм.** Применительно к модели виртуальных объектов разработаны следующие эвристики:

1) *WF (Width Fit)*: присоединение к определенному узлу контейнера наиболее подходящего по ширине объекта;

2) *SF (Square Fit)*: присоединение к определенному узлу контейнера первого подходящего объекта с максимальной площадью;

3) *NWF (Next Width Fit)*: присоединение первого объекта из списка упорядоченных по ширине объектов к ближайшему свободному узлу контейнера;

4) *NSW (Next Square Fit)*: присоединение первого объекта из списка упорядоченных по площади объектов к ближайшему свободному узлу контейнера.

Мультиметодный генетический алгоритм (МГА) представляет собой классический генетический алгоритм, в котором хромосомы содержат набор эвристик. Таким образом, решение задачи упаковки представляет собой оптимальную последовательность эвристик размещения. При этом размер хромосомы равен числу упаковываемых объектов.

Начальная популяция решений содержит набор хромосом, состоящий из трех частей:

- хромосомы, содержащие определенные эвристики (*WF-NF2*);
- хромосомы, содержащие только определенные эвристики для объектов, повернутых на 90°;
- хромосомы, содержащие произвольный набор эвристик.

Исходная задача разбивается на подзадачи выполнения различных эвристик, которые в конечном итоге обеспечивают получение решения.

**Тестирование эвристик.** Тестирование работы эвристик размещения объектов проводилось на примерах из библиотеки *OR-library* [4] для наборов объектов, взятых из задач, сформулированных *Fekete* и *Schepers* [5], для которых известны нижние границы решения. Задачи решались на разработанном универсальном программном обеспечении *Packer*. Эксперименты проводились на персональной ЭВМ (ЦП – *AMD 1.79* ГГц, ОЗУ – 896 МБ).

В ходе тестирования была проведена серия из 100 экспериментов для 21 задачи упаковки трех типов (*ngcutfs1-ngcutfs3*) с объемом выборки 40, 50, 100, 150, 250, 500 и 1000 объектов [5]. Показателем качества размещения служит относительное отклонение от нижней границы  $\mu$  (%):

$$\mu = \frac{N - \Delta_*^{(P)}}{m} 100 \%,$$

где  $N$  – целевая функция решения (число заполненных контейнеров),  $\Delta_*^{(P)}$  – нижняя граница задачи,  $m$  – число упаковываемых объектов.

На рис. 1 приведена диаграмма качества размещения объектов различными эвристиками, из которой видно, что невозможно выделить эвристику, которая наилучшим образом обеспечивает размещение объектов для различных типов задач. Поэтому начальная популяция решений содержит равновероятный набор

эвристик, а лучшая эвристика выбирается в ходе эволюционного поиска оптимального решения.

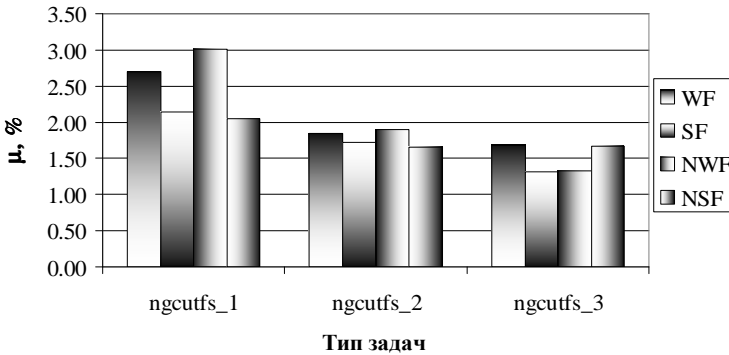


Рис. 1. Результаты тестирования эвристик при решении 2DBPP задачи

На рис. 2 приведена диаграмма, отражающая динамику изменения процентного содержания различных эвристик в популяции в ходе эволюции при решении задачи двумерной контейнерной упаковки объектов. Из диаграммы видно, что наиболее эффективная эвристика для определенной оптимизационной задачи отбирается в процессе эволюции популяции решений.

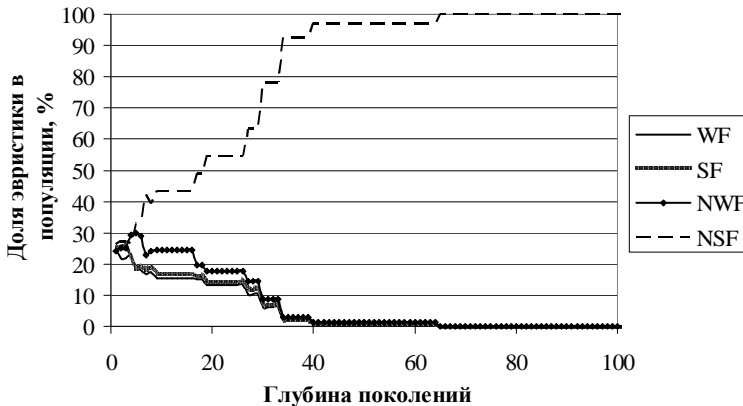


Рис. 2. Динамика изменения процентного содержания эвристик

**Выводы.** Реализована мультиметодная технология для решения задач ортогональной упаковки. Разработаны эвристики

размещения объектов, анализ которых показал, что эффективность их работы неодинакова при решении различных задач. Поэтому оптимизационные задачи необходимо решать на основе МГА, в этом случае оптимальная эвристика выбирается в процессе эволюции популяции решений. Предложенные эвристики могут быть использованы при решении различных задач ортогональной упаковки.

### **Библиографический список**

1. Валиахметова Ю.И., Филиппова А.С. Мультиметодный генетический алгоритм для решения задач ортогональной упаковки // Информационные технологии. – 2007. – № 12. – С. 50–56.
2. Норенков И.П. Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации // Информационные технологии. – 1999. – № 1. – С. 2–7.
3. Gary, M., Johnson, D., Computers intractability: a guide to the theory of NP-completeness. – San Francisco: W.H. Freeman, 1979.
4. URL: <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html> (Библиотека OR-library наборов объектов из задач Fekete и Schepers).
5. Beasley J.E. A population heuristic for constrained two-dimensional non-guillotine cutting // EJOR. – 2004. – Vol. 156. – P. 601–627.

## **НЕФТЬ, ГАЗ И СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ**

**Студентка гр. 2691 К.А. Гриненко**

Научный руководитель – старший преподаватель *М.А. Шапченко*  
Санкт-Петербургский государственный  
инженерно-экономический университет

Эффективность работ в нефтегазовой отрасли непосредственно связана с применением мощных суперкомпьютеров для решения масштабных расчетных задач, обеспечивающих качество поиска и разведки нефтегазовых месторождений, повышение продуктивности действующих скважин и снижение экологического ущерба при их разработке.

Сегодня во всем мире хорошо понимают, что повышение эффективности нефтегазовой отрасли непосредственно зависит от мощности применяемых высокопроизводительных вычислительных

систем. Так, из числа 500 самых мощных суперкомпьютеров мира третье место по использованию занимает их применение в геофизике компаниями нефтегазового сервиса при поисках, разведке и разработке месторождений. Для того чтобы найти и эффективно разрабатывать месторождение нефти и газа, геофизики анализируют результаты применения различных физических методов дистанционного зондирования совместно с данными поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, а также разнородной геологической информацией.



Рис. 1. Способы сейсморазведки

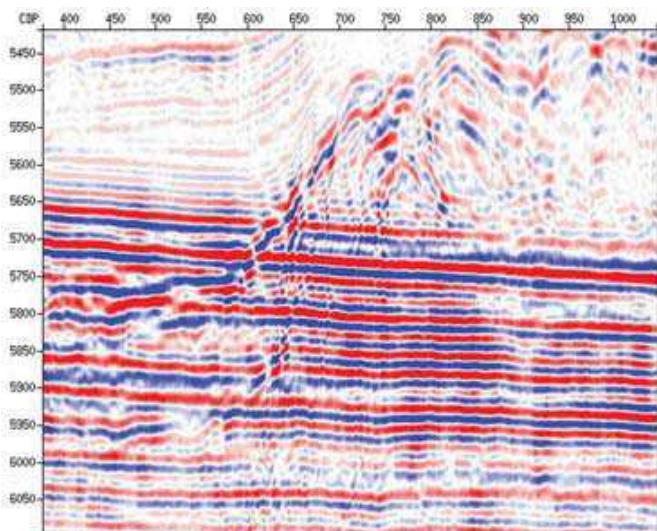
Среди геофизических методов исследований можно отметить сейсмические, электромагнитные и гравитационные.

В настоящее время для поиска месторождений нефти и газа в основном применяют сейсмическую разведку. Суть метода состоит в том, что на земной поверхности (или на поверхности моря) искусственно, например, при помощи взрыва, возбуждают упругие волны, которые затем регистрируются на поверхности земли специальными устройствами – сейсмоприемниками, как показано на рис. 1. Волны, отраженные от границ раздела горных пород с различными физическими свойствами, несут в себе информацию об этих свойствах. Однако эту информацию еще необходимо правильно извлечь, чтобы попытаться ответить на следующие вопросы:

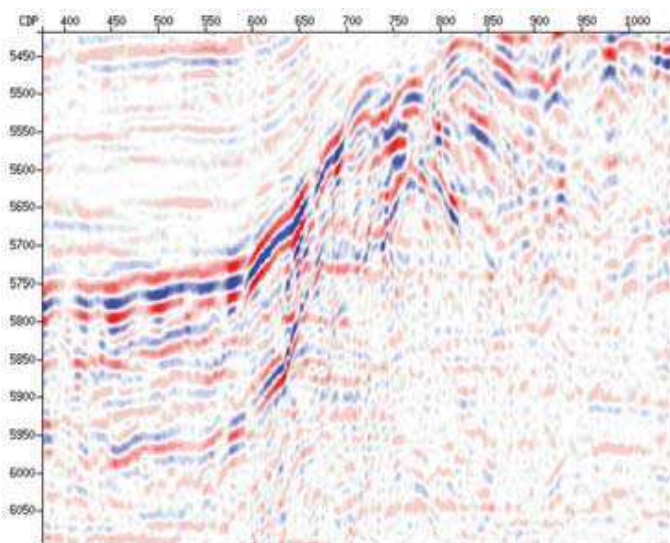
- есть ли в месте поиска нефть или газ?
- как устроено месторождение, на какой глубине, в каких породах?
- как выглядит объемная модель месторождения?
- где и как следует пробурить разведочные скважины, а где повторить более детальную сейсморазведку?

Процесс извлечения информации из сейсмических данных выглядит следующим образом. В первую очередь надо подавить когерентный и некогерентный шум – так называемые волны-помехи, затем – построить глубинно-скоростную модель среды, описывающую распространение волн на макроуровне, и объемное глубинное изображение участка земной коры в исследуемом районе. И, наконец, попытаться проанализировать состав и свойства пород и предсказать наличие залежи нефти и/или газа.

В процессе обработки информации, записанной при сейсморазведке, используется достаточно сложный и разнообразный математический аппарат. Так, для подавления волн-помех применяют различные одномерные и многомерные фильтры как во временной, так и в частотной области, а также в области преобразования Радона. В процессе построения глубинно-скоростной модели используются томографические методы, которые сводятся к решению больших систем линейных уравнений. И, наконец, в процессе построения глубинного изображения среды используются те или иные способы прямого или обратного продолжения волнового поля, то есть получение оценок решения волнового уравнения. Применяют как численные методы, в том числе метод конечных разностей или конечных элементов, так и численно-аналитические, когда используется аппарат интеграла Кирхгофа. На рис. 2, а,б приведены примеры того, как можно подавить волну-помеху при помощи одного из современных алгоритмов.



*a*



*б*

Рис. 2. Пример подавления волн-помех при обработке сейсмических данных: *a* – фрагмент исходных данных; субгоризонтальные отражения – помеха, которая препятствует принятию геологом решения о продуктивности данного участка; *б* – фрагмент данных после подавления помехи



Особая проблема состоит в том, что объем исходных сейсмических данных при разведке одного месторождения может составлять десятки терабайт. В качестве примера можно привести случай из практики: построение глубинного изображения на участке  $1000 \text{ км}^2$  при помощи алгоритма миграции в обратном времени, сводящегося к двукратному решению волнового уравнения методом конечных разностей в пространственно-временной области, занимает 6 месяцев при использовании 1024 процессорных ядер.

Насколько оправданы такие серьезные и дорогостоящие вычисления, можно заключить, проанализировав стоимость бурения скважин. Так, бурение одной скважины на суше в среднем обходится нефтяной компании в 5 млн. долларов США, а на море, с использованием буровой платформы или судна, может превышать 100 млн. долларов США. Именно поэтому ведущие зарубежные нефтесервисные компании и исследовательские центры активно инвестируют в разработки, связанные с суперкомпьютерными технологиями (рис. 3). Ведь скорость и качество вычислений непосредственно влияют на время и качество поиска месторождения, точность разведочного и эксплуатационного бурения, эффективность добычи нефти и газа в период эксплуатации месторождения.



Рис. 3. Рабочее место геофизика

Этап добычи нефти и газа называют разработкой месторождения. Для того чтобы извлекать нефть из вмещающих пористых пород, бурят несколько скважин, в которые закачивают под давлением различные растворы, горячий пар, а могут устроить и управляемый пожар на глубине несколько километров для того, чтобы разогреть твердые фракции углеводородов. Чтобы эти процессы были эффективны и продуктивны, по исходным данным сейсморазведки и результатам исследования скважин на компьютере строят объемную геологическую и гидродинамическую (рис. 4) модели месторождения, которые постоянно уточняют и верифицируют. Для построения таких моделей используют сложные математические алгоритмы, учитывающие сотни и тысячи различных параметров одновременно, что требует применения самых мощных суперкомпьютеров. Чем они мощнее и чем лучше используемые расчетные алгоритмы, тем выше качество и точность построения моделей и, следовательно, качество принятия решений, напрямую влияющих на продуктивность и время жизни эксплуатируемых месторождений углеводородов.

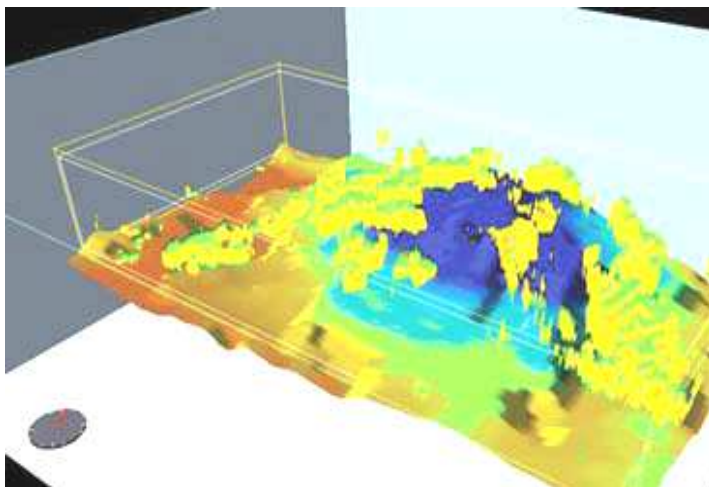


Рис. 4. Пример гидродинамической модели месторождения

Можно с уверенностью сказать, что сегодня существенный технологический прогресс в нефтегазовой отрасли возможен только на основе применения высокопроизводительных программно-аппаратных средств, которые способны обеспечить:

повышение эффективности работ по разведке нефтегазовых месторождений, повышение продуктивности действующих скважин и снижение экологического ущерба при их разработке.

Напоследок рассмотрим, какие модели суперкомпьютеров существуют, какие имеют в своем составе программы. На сегодняшний день суперкомпьютеры являются уникальными системами, создаваемыми «традиционными» игроками компьютерного рынка, такими как IBM, Hewlett-Packard, NEC и другими, которые приобрели множество ранних компаний вместе с их опытом и технологиями. Компания Cray (англ.) по-прежнему занимает достойное место в ряду производителей суперкомпьютерной техники. Операционная система суперкомпьютеров – это, как правило, Linux, либо другие виды Unix-систем. Наиболее распространёнными программными средствами суперкомпьютеров, так же, как и параллельных или распределённых компьютерных систем, являются интерфейсы программирования приложений (API) на основе MPI и PVM и решения на базе открытого программного обеспечения, наподобие Beowulf и openMosix, позволяющего создавать виртуальные суперкомпьютеры даже на базе обыкновенных рабочих станций и персональных компьютеров. Для быстрого подключения новых вычислительных узлов в состав узкоспециализированных кластеров применяются технологии наподобие ZeroConf. Примером может служить реализация рендеринга в программном обеспечении Shake, распространяемом компанией Apple. Для объединения ресурсов компьютеров, выполняющих программу Shake, достаточно разместить их в общем сегменте локальной вычислительной сети. Аппаратное обеспечение создавалось на основе мощных процессоров с архитектурой RISC, как PowerPC или PA-RISC. Наиболее дешёвым видом современных «суперкомпьютеров» является персональный суперкомпьютер на основе графических процессоров GPU. За счёт применения возможностей архитектуры CUDA графические процессоры используются в качестве вычислителей. Установленные в настольные ПК графические вычислители могут предоставлять мощности до 4 терафлоп на каждом индивидуальном рабочем месте. Примером графических адаптеров для построения персональных суперкомпьютеров являются вычислители NVIDIA Tesla. Персональный суперкомпьютер позволяет исследователям решать ресурсоёмкие задачи.

IBM Roadrunner стоит примерно 120 млн. долл., TESLA C2050 – 688 728 руб., KLAT2 – 41 200 \$.

### **Библиографический список**

1. URL: <http://www.supercomputers.ru/top50/>.
2. URL: <http://www.arbite.ru/products/HPC/supercomputer.shtml>.
3. URL: <http://www.fabrikamisli.ru/page/198/>.
4. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki>.

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ В ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

**Канд. техн. наук Е.И. Мутина**

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

В настоящее время автоматизированные медицинские информационные системы широко используются в лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ) различного профиля и масштаба [1]. Наибольший интерес для практического здравоохранения представляют системы поддержки принятия решений (СППР) в практической деятельности врачебного персонала [2].

Медицинские задачи, связанные с лечебно-диагностическим процессом и в первую очередь с прогнозом состояния здоровья пациента, носят неявный характер и решаются явными методами с точностью и удобством, совершенно недостаточными для широкого практического использования в конкретных задачах прогнозирования и принятия решений [3]. Неявные задачи медицины явились идеальным полем для применения интеллектуального анализа данных (ИАД) [4]. В этой связи предлагается создание СППР на основе гибридного метода анализа данных на основе многомерного представления данных и применения аппарата деревьев решений.

Системы поддержки принятия решений представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, предназначенные для помощи врачам, при управлении лечебно-диагностическим процессом. Принять любое управленческое решение невозможно, не обладая необходимой для этого информацией, обычно количественной, при этом она должна быть достоверной, полной, непротиворечивой и адекватной. Данная информация находится

в различных подсистемах распределённой информационной системы ЛПУ, представленной на рис. 1.

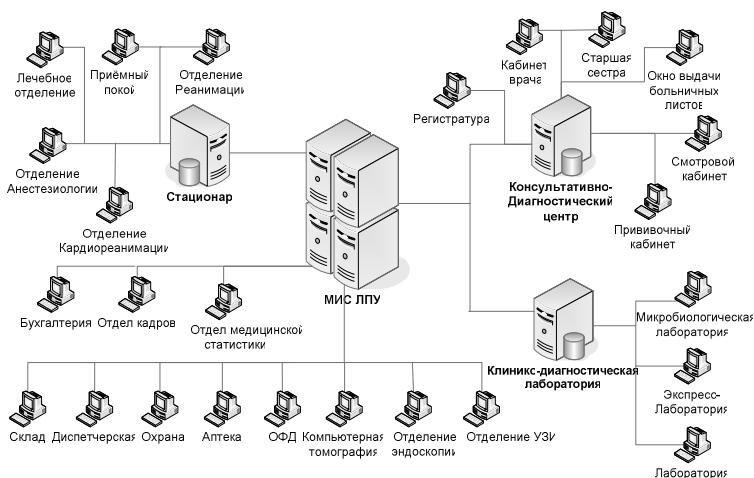


Рис. 1. Структура распределённой информационной системы ЛПУ

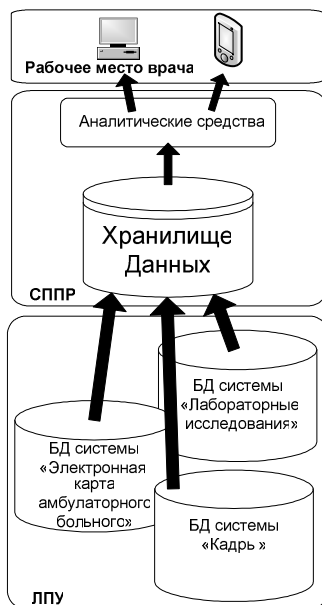


Рис. 2. Структура СППР в МИС

В качестве аналитических средств СППР выступают оперативная аналитическая обработка (*OLAP*-анализ) и интеллектуальный анализ данных (ИАД) [5, 6]. ИАД – это процесс поддержки принятия решений, основанный на поиске в данных скрытых закономерностей. Проведенное исследование методов ИАД, используемых в медицинских информационных системах (МИС), показало, что деревья решений являются наиболее эффективными для решения медицинских задач и помогают выявить зависимость изменения результатов наблюдения от некоторых показателей [7]. На основе полученных результатов при каждом осмотре в процессе динамического амбулаторного наблюдения врач вносит необходимые дополнения и изменения, определяет лечебные мероприятия и частоту повторных осмотров в соответствии с произошедшими изменениями в протекании заболевания, а также по имеющимся показаниям назначает необходимые консультации врачей-специалистов и дополнительные клинико-лабораторные исследования.

Прикладное программное обеспечение (ППО) СППР структурно состоит из двух частей – клиентской и серверной.

Клиентское приложение может быть активизировано не только на стационарном персональном компьютере (ПЭВМ), но и на карманном персональном компьютере (КПК) или аналогичном устройстве (коммуникаторе), имеющемся в арсенале врача. При этом используется универсальная технология разработки распределённых приложений на платформе .NET Framework с использованием языка программирования высокого уровня C#. В процессе работы данные с сервера передаются на КПК посредством беспроводной сети (BlueTooth, Wi-Fi) на основе различных коммуникационных протоколов.

При помощи КПК формируются мобильные автоматизированные рабочие места, позволяющие получать информацию из распределённых баз данных, аналитических служб и в итоге предоставлять рекомендации врачам с любого места, где проходит обследование, а также получать результаты интеллектуального анализа данных и принимать на их основе взвешенные медицинские решения.

На главной форме интерфейсной части программы предоставляется возможность выбора способа анализа по ряду параметров: для всех пациентов с одним диагнозом или по отдельно взятому пациенту. При выборе первого появляется форма, представленная на рис. 3, а, а при выборе второго – форма, показанная на рис. 3, б.



а

б

Рис. 3. Экранные формы анализа по параметрам (а) и/или по пациентам (б)

Форма, представленная на рис. 3, б, отображает такие данные о пациенте, как дата рождения, диагноз, дата постановки диагноза, наличие профессиональной вредности и вредных привычек, краткий анамнез. Результатом выбора конкретного пациента будет построение диаграммы, представленной на рис.4, б, которая отражает количество улучшений состояния больного, ухудшений или состояний без изменений в процентах от общего количества наблюдений для каждого применяемого фармакологического препарата.

Результатом выполнения запроса левой формы (см. рис. 3, а) будет построение диаграммы зависимости состояния пациентов от выбранного метода лечения (рис. 4, а).

Работа клиентской части поддерживается на программной платформе *Pocket PC'2002* и *Windows'CE*.

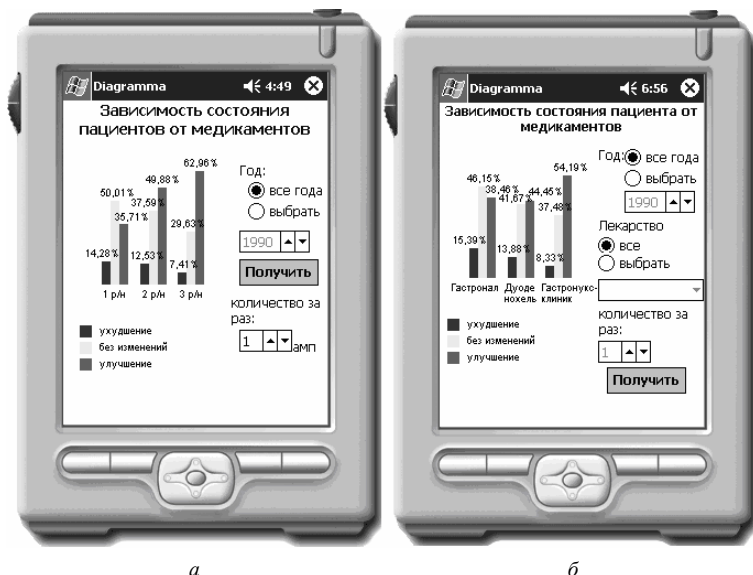


Рис. 4. Экранные формы «Результаты выполнения запросов»

СППР на основе интеллектуального анализа данных разработана с целью обеспечения помощи врачу в решении широкого круга задач планирования и контроля своевременности, эффективности и качества проведения наблюдения за здоровьем пациентов и проводимой медикаментозной терапии.

### Библиографический список

1. Гусев А.В., Романов Ф.А., Дуданов И.П. Обзор медицинских информационных систем на отечественном рынке в 2005 году // Медицинские информационные системы: матер. симпозиума. – Кондопога, 2005. – URL: <http://mis-2005.narod.ru/>.
2. Джексон П. Введение в экспертные системы. – М.: Вильямс, 2001. – 624 с.
3. Гусев А.В. Моделирование и оценка эффективности функционирования медицинской информационной системы: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.18 / Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск, 2004.



4. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
5. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гарев, С.В. Васютин, В.В. Райх. – М.: Нолидж, 2000. – 351 с.
6. Parsaye K. A Characterization of Data Mining Technologies and Processes // The Journal of Data Warehousing. – 1998. – № 1. – С. 7–11.
7. Кречетов Н., Иванов П. Продукты для интеллектуального анализа данных // ComputerWeek-Москва. – 1997. – № 14–15. – С. 32–39.

## **УПРАВЛЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫМИ ДАННЫМИ В КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ XML-ТЕХНОЛОГИЙ**

**Канд. техн. наук Д.И. Мутин**

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

Единое информационное пространство как системообразующая составляющая системы принятия решения обеспечивает интеграцию процесса управления по вертикали и горизонтали управления, а также взаимодействие между компонентами управления. Составными частями данного пространства выступают гетерогенные, т.е. имеющие разнородную структуру и содержание информационные потоки.

Несмотря на бурное развитие современных информационных технологий, они не способны обеспечить построение сложных систем, состоящих из большого числа компонентов и имеющих большое количество источников информации. Необходимо, чтобы информация одних потоков дополняла, уточняла, подтверждала информацию из других.

Для реализации взаимодействия между отдельными функциональными подсистемами необходимо обеспечить количество информационных потоков, равное  $n(n - 1)/2$ , где  $n$  – количество функциональных подсистем [1]. Затраты на реализацию возможностей информационного обмена между функциональными подсистемами в этом случае велики и быстро начнут преобладать над затратами по реализации функциональности самих подсистем [2].

В целях снижения количества информационных потоков до количества функциональных подсистем предлагается метод интеграции гетерогенных информационных потоков, суть которого заключается в приведении всех информационных потоков к единому универсальному формату представления информации и осуществлении всего информационного обмена путем приведения к нему [3].

В то же время качество межсистемного информационного взаимодействия во многом зависит от объема и структуры передаваемых данных. Передача данных сопровождается решением проблемы: с одной стороны, необходимо передать как можно более детальную информацию, чтобы принимающая сторона могла корректно интерпретировать полученные данные, с другой стороны, передаче подлежат не все имеющиеся данные, что вызвано соблюдением режима конфиденциальности.

Анализ форматов представления данных в виде табличной или текстовой модели позволил определить, что для реализации информационного взаимодействия наиболее перспективным является использование текстового формата [4], основным преимуществом которого является простота интеграции в сообщение дополнительных элементов, которые могут быть использованы для передачи семантики сообщения.

Среди стандартов текстового формата наиболее распространенным является семейство стандартов, определяемых при помощи языка *XML* (*extensible markup language*). В отличие от других языков язык *XML* позволяет описать не только структуру, но и семантику информации [5]. *XML* позволяет осуществлять контроль за корректностью данных, хранящихся в документах, производить проверки иерархических соотношений внутри документа и устанавливать единый стандарт на структуру документов, содержанием которых могут быть самые различные данные.

Для хранения *XML*-документов наиболее эффективным является применение активно развивающейся технологии создания истинных *XML*-баз данных [6].

Истинная *XML*-база данных (*Native XML Database, NXD*) обладает следующими полезными свойствами [7]:

- определяет (логическую) модель *XML*-документа (в отличие от данных, содержащихся в этом самом документе) и сохраняет и извлекает документы в соответствии с этой моделью;
- документ *XML* в этой базе выступает в качестве основной единицы (логического) хранения;

– может быть построена на основе любой физической модели хранения.

Цель истинных *XML*-баз данных состоит в помощи разработчику в обеспечении надежного хранения и манипулирования *XML*-документами.

Рассмотрим применение *XML*-баз данных в распределенной медицинской информационной системе. В системах такого рода часто возникают трудности в нахождении оптимального решения задач управления, документооборота и отчетности, которые являются следствием одной причины – отсутствия у подсистем клиники актуальной информации о деятельности других подсистем [8]. Решения этой проблемы можно добиться включением всех объектов управления клиникой в единое информационное пространство, в чём может помочь создание истинной *XML*-базы данных.

Структура информационной системы медицинского учреждения, состоящая из нескольких подсистем, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура информационной системы

С целью повышения эффективности управления медицинской информацией в гетерогенных МИС была выбрана отечественная истинная *XML*-база данных Sedna, разрабатываемая исследовательской группой MODIS Института системного программирования РАН [9].

Модель обмена данными в такой гетерогенной системе представлена на рис.2.

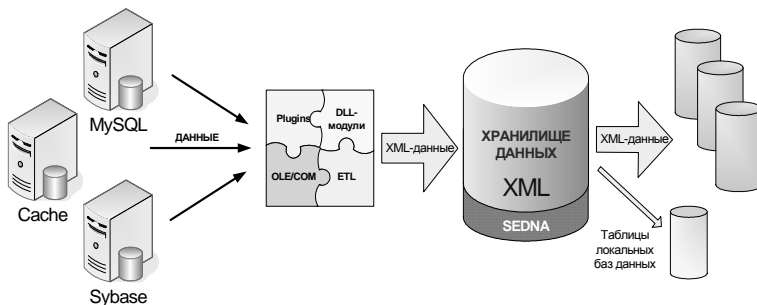


Рис. 2. Структура обмена информацией в МИС

В СУБД *Sedna* в основе хранения *XML*-документа во внешней памяти лежит описывающая схема *XML*-документа.

Рассмотрим пример структуры персонального учета врачебных кадров медицинских учреждений. Согласно приказу Департамента здравоохранения г. Москвы от 21.10.2003 г. № 621 существует стандарт общих требований, структур и правил формирования электронных документов форм федерального государственного наблюдения. Стандарт предназначен для обеспечения обмена данными между информационными системами. Стандарт разработан на основе и с использованием языка *XML*.

Структура *XML*-документа для БД «Отдел кадров», хранящей данные о персонале медицинского учреждения, проиллюстрирована фрагментом на рис. 3.

```

<?xml version="1.0" encoding="windows-1251"?>
  < MSH mshSoft="000 Программы и комплексы" mshDate
    ="18.12.2004">
    <LPU lpuCode="33" lpuName="Боткинская больница">
      <FORM formId="17p" formYear="2004">
        <ПЕРСОНАЛ>
          <АНКЕТА>
            <ПАСПОРТ>
              <фамилия> Александров
                </фамилия>
              <имя> Иван </имя>
              ...
            
```

Рис. 3. Фрагмент структуры *XML*-документа

Результат выполнения указанного примера представлен на рис. 4.

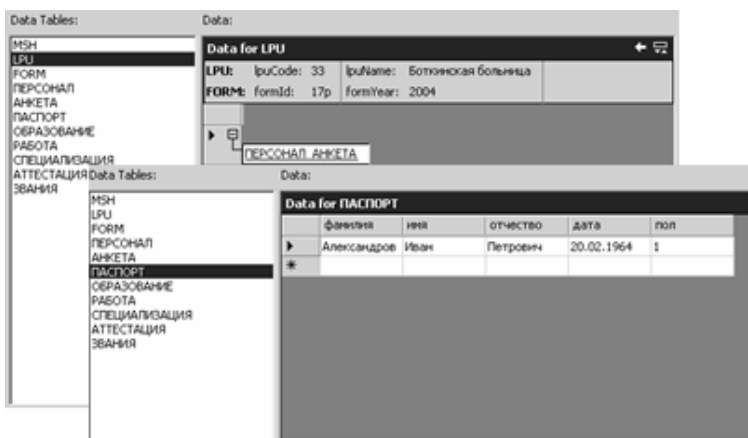


Рис. 4. Структура электронного документа

Таким образом, благодаря использованию технологии *XML*-баз данных достигается эффективное взаимодействие для обмена информацией между информационными системами управления лечебно-профилактическим учреждением. Помимо этого *XML* СУБД *Sedna* позволяет создавать эффективные серверные решения для решения задач управления полуструктурированными данными.

### Библиографический список

1. Ogdin J.L. The Mongolian hordes versus superprogrammer // Infosystems. – 1972. – Dec. – P. 20–23.
2. Брукс Ф. Мифический человеко-месяц или как создаются программные системы. – СПб.: Символ, 2000. – 304 с.
3. Панькин А.В. Интеграция гетерогенных информационных потоков, циркулирующих в контуре управления // Интеграция информации и ГИС: тр. 2-го международ. сем. – СПб.: Анатолия, 2005. – С. 210–215.
4. Слукин П.А. Адаптивные интерфейсы обмена коммерческой информацией: автореф. дис. ... канд. экон. наук. – М., 2006.
5. Питц-Моултис Н., Кирк Ч. XML в подлиннике. – СПб.: BHV, 2000. – 736 с.

6. R. Bourret. Школы консорциума W3C: XML и базы данных. – URL: <http://xml.nsu.ru>.
7. Стандарты Native XML Databases.
8. URL: <http://www.rpbouret.com/xml/XMLAndDatabases.htm>
9. Гулиев Я.И. Медицинская информатика в ИПС РАН // Программные системы: теория и приложения: тр. междунар. конф.: в 2 т. / под ред. С.М. Абрамова (Переславль-Залесский). – М.: Физматлит, 2004. – Т. 1. – С. 53.
10. Sedna XML DBMS. – URL: <http://modis.ispras.ru/Development/sedna.htm>.

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕРАКТИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РУКОВОДСТВА**

**Студенты гр. АТП-06м А.С. Бояршинова,  
И.В. Александров**

Научный руководитель – д-р техн. наук,  
профессор *А.Г. Шумихин*

Пермский государственный технический университет

Управление качеством образовательных услуг в вузах осуществляет система менеджмента качества (СМК). В соответствии с идеологией TQM (Total Quality Management) предполагается непрерывное улучшение образовательных услуг, что достигается совершенствованием структурной организации, системы образования, материальной базы и учебно-методического обеспечения.

В ходе исследования, проводимого среди студентов направлений подготовки «Автоматизированные технологии и производства», выявлен ряд проблем, связанных с учебно-методическим обеспечением лабораторных практикумов по специальным предметам.

Как правило, лабораторные работы предполагают использование соответствующего программного обеспечения (ПО) и различных технических устройств. За четыре академических часа студенту необходимо освоить работу лабораторного оборудования и ПО и применить их в соответствии с заданием, что требует

предварительного ознакомления с теоретическими сведениями, относящимися к теме работы. Следовательно, выполнение лабораторной работы требует привлечения множества различных источников информации и поиска в них необходимой. Это влечет за собой затраты большого количества времени на работу, не связанную непосредственно с процессом обучения.

Лабораторные работы кафедры, направленные на получение практических навыков работы с техническими и программными средствами автоматизации, максимально приближены к реальным производственным условиям за счет использования стандартизованного оборудования, что неизбежно требует использования соответствующей информации из технической и нормативной документации. Существует задача обеспечить простой доступ к данной информации, что не всегда удается. Техническая документация, как правило, представлена в единственном экземпляре в печатном виде, вследствие чего студентам приходится иметь дело с электронной версией документа. Нормативные документы могут оказаться сложны для понимания и зачастую требуют комментариев и разъяснений. Как техническая, так и нормативная документация содержит большой объем специфической информации, в котором достаточно трудно сориентироваться за короткое время. И если всю информацию представить в печатном виде, то объем таких методических указаний будет недопустимо большим. В данном случае электронный вариант предпочтителен.

Лабораторный практикум непрерывно модифицируется. Это требует оперативного обновления в соответствии с лабораторными работами методических указаний. Обновление информации, представленной в бумажном виде, трудозатратно и затянато во времени.

Анализ данных проблем позволил сформулировать цель и задачи исследования. Цель работы – повысить эффективность образовательного процесса при отработке практических навыков по специальным дисциплинам у студентов направлений подготовки «Автоматизированные технологии и производства».

Задачи исследования:

- систематизировать используемую в процессе обучения информацию;
- автоматизировать процесс поиска необходимой информации;

- обеспечить доступность информации;
- обеспечить возможность непрерывного улучшения процесса обучения.

Данные задачи можно решить путем создания Интерактивного электронного технического руководства (ИЭТР). ИЭТР – это структурированная мобильная база, заменяющая традиционные технические описания, руководства по эксплуатации, обслуживанию и ремонту, каталоги и т.д. ИЭТР содержат иллюстрированный текст, используют видео, звуковое сопровождение, цифровые фотографии, компьютерные модели. С помощью ИЭТР пользователь, выполняя свои функции, быстро получает необходимую информацию. ИЭТР позволяет перевести бумажную документацию на электронный носитель. Принято решение создавать ИЭТР для лабораторных практикумов на базе программных средств TG Builder (TGB).

Основные преимущества TGB:

- соответствие стандартам – отечественным и международным;
- это специализированный продукт – TGB специально разработан для создания ИЭТР;
- простота в освоении – предлагает готовые средства для быстрого и качественного изготовления ИЭТР, не требующие глубокого знания стандартов;
- работа своими силами – разработка и сопровождение без сторонних организаций;
- квалификация персонала – разработку и сопровождение может выполнять неквалифицированный персонал;
- применение оригинальной конструкторской документации – резко снижает затраты и увеличивает скорость работы, минимизирует ошибки в документации, не требует доработки документации дорогостоящими системами;
- наличие локальной и сетевой многопользовательской версии под Oracle;
- поддержка многоязычности;
- развитая поисковая система;
- поддержка любых форматов данных – графика, трёхмерные модели, аудио- и видеоматериалы;



- взаимосвязь и интерактивность всех данных – связывание спецификаций и иллюстраций к ним, перекрёстные ссылки и гиперссылки;

- лёгкое сопровождение полученного ИЭТР;

- распространённость продукта – опыт использования более чем в сотне крупных отечественных предприятий, в первую очередь оборонного комплекса.

TG Builder позволяет обеспечить простой доступ к информации. Все данные собраны в единой программной среде. Преподавателю достаточно выдать один файл, который содержит всю информацию, необходимую для лабораторной работы. Например, созданное ИЭТР по выполнению лабораторной работы «Поверка и градуировка преобразователей и датчиков давления» включает в себя методические указания, расположенные во вкладке, техническую документацию, руководство по эксплуатации всех используемых приборов, нормативную документацию и теоретические сведения, расположенные также во вкладке. Нормативным документом, необходимым для выполнения данной лабораторной работы, являются ПР 50.2.006-94 ГСИ, порядок проведения поверки средств измерений.

Вся информация по лабораторной работе систематизирована. Автоматизированный поиск позволяет быстро находить нужную информацию. Гиперссылки обеспечивают быстрое перемещение внутри документа и между документами. Непрерывное улучшение учебной деятельности осуществляется за счет постоянного обновления ИЭТР. ИЭТР позволяет осуществлять непрерывно всем участникам процесса обновление и улучшение процесса обучения. Благодаря распределению прав доступа работа разделяется между участниками процесса и каждый выполняет свою роль. Проект, находящийся на стадии разработки, может быть снабжен вложенными файлами. Каждый участник проекта может редактировать доступный ему модуль данных, используя информацию из вложенного файла. Не нужно каждый раз заново искать необходимый источник информации.

Вложенные файлы не препятствуют созданию публикаций из готовых, отредактированных модулей данных, таким образом, даже незаконченный проект может быть внедрен в процесс обучения и уже внедренный проект может редактироваться. TG Builder

позволяет обеспечить непрерывность процесса улучшения качества образовательного процесса.

Применение ИЭТР для непрерывного усовершенствования учебной деятельности соответствует идеологии TQM, позволяя быстро внедрять новые учебно-методические разработки и производить их корректировку и обновление.

### **Библиографический список**

1. Руководство пользователя Technical Guide Builder 2.4 1999-20080 НИЦ CALS-технологии «Прикладная логистика».

2. Руководство пользователя Technical Guide Designer 2.5 1999-20080 НИЦ CALS-технологии «Прикладная логистика».

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ТИПОВЫХ СИТУАЦИЙ**

**Студент гр. АСУ-07 Ф.Ю. Боголепов**

Научный руководитель – доцент *В.П. Гладков*

Пермский государственный технический университет

Проектирование базы данных (БД) является сложной и нетривиальной задачей, от решения которой зависят эффективность и качество работы, основанной на БД информационной системы. Проектирование осложняется большим разнообразием предметных областей (ПО). Однако при внимательном рассмотрении можно выделить в разных ПО ситуации, которые повторяются. Такие ситуации могут быть представлены типовыми решениями.

Работа посвящена описанию типовых ситуаций в разных ПО и их представлению в реляционной базе данных.

*Ситуация 1. Хранение справочной информации.*

Рассмотрим схему реляционной базы данных (РБД), состоящую из таблиц:

Поставщик (НомерПоставщика, Фιο, Статус, Город),  
Деталь (НомерДетали, Название, Вес, Цвет, Город).

Атрибут Город повторяется в обеих таблицах и содержит название. Если средняя длина названия города – 10 символов, количество разных городов – 100, а количество записей в каждой

из таблиц – 1000, то для хранения потребуется  $1000 \cdot 2 \cdot 10 = 20\,000$  байт  $\sim 19,5$  Кб. К тому же, при таком способе хранения возникнут аномалии технологических операций, если, например, для каждого города хранить и его код (часть почтового индекса).

Для устранения выявленных недостатков создается таблица – справочник городов. В этом случае исходная схема БД преобразуется:  
Поставщик (НомерПоставщика, Фео, Статус, НомерГорода),  
Деталь (НомерДетали, Название, Вес, Цвет, НомерГорода),  
СправочникГородов (НомерГорода, Название, Код).

Поскольку городов только 100, то номер города может быть двузначным, т.е. занимать один байт, тогда объем справочника без учета кода будет  $1 \cdot 100 + 10 \cdot 100 = 1100$  байт. Использование номера города для связи в таблицах Поставщик и Деталь потребует еще 2000 байт. Всего для хранения информации о городах в новой схеме БД потребуется:  $1100 + 2000 = 3100$ , что в 6 раз меньше по сравнению с предыдущей схемой.

Использование справочника позволит сэкономить память и устранить аномалии технологических операций.

Подобный пример хранения данных Дж. Дейт называет факторизацией [1].

*Ситуация 2.* Часто возникает потребность хранить в БД информацию, которая в ПО имеет структуру таблицы и состоит из «шапки» и тела, которое включает несколько строк.

Примерами являются рецепты, накладные, чеки, описи, ведомости инвентаризации и т.п.

Рецепт содержит сведения о больном и враче, а также множество строк с описанием выписанных лекарств.

Накладная содержит сведения о продавце и покупателе, а также множество строк, описывающих купленные товары.

Для отображения ситуации 2 в БД создадим две таблицы: первая – содержит «шапку», а вторая, связанная с первой связью «один ко многим», – множество строк.

Например, информация рецепта будет содержаться в таблицах:  
Рецепт (НомерРецепта, КомуВыписан, КемВыписан),  
СтрокиРецепта (НомерРецепта, НомерСтрокиРецепта,  
Лекарство, Количество)

*Ситуация 3.* Возникает, когда в предметной области необходимо описать маршрут или состав, например, маршрут следования поезда, маршрут полета самолета, состав детали, изделия или состязания, из которых состоит соревнование.

Для описания маршрута автобуса нужны три таблицы:

Остановка (НомерОстановки, Название, НаличиеПавилиона),

Маршрут (НомерМаршрута, Длина),

ОстановкаМаршрут (НомерМаршрута, НомерОстановки, ПорядковыйНомерОстановкиВМаршруте).

*Ситуация 4.* Для ПО, где имеется связь «многие ко многим», справедливо правило: «Если тип бинарной связи равен  $m:n$ , то для представления данных необходимы три таблицы: по одной для каждого класса, где в качестве ключей используются ключи соответствующих классов, и связующая таблица, в которой помещаются ключи обоих классов. В качестве ключа связующей таблицы выступает комбинация ключей двух первых таблиц».

Рассмотрим ПО: «Каждый студент может иметь несколько несданных предметов, но такие же предметы могут быть не сданы другими студентами».

В ней имеется связь «многие ко многим» между студентами и предметами. Применение правила приводит к следующим реляционным таблицам:

Студент (НомерСтуд, Фамилия);

Предмет (НомерПред, Название);

Экзамен (НомерСтуд, НомерПред, КолПопыток).

В таблице Экзамен будут повторения номеров студентов и номеров предметов, однако комбинации номеров должны быть уникальны. В соответствии с описанием предметной области будут студенты и предметы, отсутствующие в таблице Экзамен.

Вследствие уникальности комбинации атрибутов НомерСтуд и НомерПред операция деления может быть записана на основе сравнения количеств в таблицах «делимое» и «делитель».

Например, запрос: «Найдите номера студентов, которые сдали все экзамены» может быть записан так:

```
select НомерСтуд
from Экзамен
group by НомерСтуд
having count(distinct НомерПред) = (select
count(НомерПред) from Предмет).
```

*Ситуация 5.* Пусть необходимо хранить данные об изменении курса валют и периоде их актуальности.

Представление периода актуальности возможно на основе событий или интервального представления.

В представлении на основе событий в базе данных хранятся: значение данных, момент времени, когда это значение изменялось, и событие, которое привело к изменению значения.

В интервальном представлении каждое состояние объекта данных снабжается интервалом времени, в течение которого это состояние имело место. Новое состояние помечается интервалом, началом которого является текущая дата, а концом – некоторая дата в далеком будущем, например, 31.12.999.

На основе интервального представления получаем таблицу для хранения курса валют: `Exchange_rate(base_code, code, rate, begda, endda)` – таблица курсов валют, хранит `base_code` – код базовой валюты, `code` – код второй валюты, `rate` – курс второй валюты по отношению к базовой, `begda` – дату начала действия курса валюты и `enda` – дату окончания действия курса валюты.

Таблица `Exchange_rate` устроена так, что хранит избыточную информацию, потому что в ней встречаются, например, такие пары:

```
USD - RUB - курс1,  
RUB - USD - 1 / курс1,  
USD - EUR - курс2,  
EUR - USD - 1 / курс2,  
RUB - EUR - курс3,  
EUR - RUB - 1 / курс3
```

и им подобные.

Таблица курсов, содержащая такие данные, позволяет просто и быстро отыскать нужную информацию с помощью оператора `select`, однако возникают аномалии удаления и корректировки, так как удалять и корректировать нужно пару записей.

Хранение таблицы курсов валют, содержащей по одной записи из двух:

```
USD - RUB - курс1,  
EUR - USD - 1 / курс2,  
RUB - EUR - курс3
```

устраняет аномалии технологических операций, но затрудняет поиск, потому что заранее не известно, в каком поле `base_code` или `code` необходимо искать данные.

Для устранения описанных трудностей предлагается использовать представление, создаваемое следующим оператором SQL на основе таблицы, описанной последней:

```
CREATE VIEW exchange_rate1 AS
SELECT base_code, code, rate
FROM exchange_rate
UNION
SELECT code, base_code, ( 1 / rate )
FROM exchange_rate
```

Созданное представление `exchange_rate1` хранит по две строки для курсов пары валют и позволяет легко отыскивать нужную информацию, однако базовая таблица хранит по одной строке и, следовательно, легко обновляется.

*Ситуация 6.* Возникает, когда имеются связи между объектами внутри одного класса. Такие связи называются *рекурсивными* [2].

В качестве классической приводится связь «начальник – подчиненный»: «Каждый начальник должен руководить несколькими подчиненными. Каждый подчиненный должен подчиняться только одному начальнику (руководителю)».

Таким образом, заданная связь является связью «один ко многим» с модальностью «должен» с обеих сторон. Связь является иерархической и может содержать несколько уровней подчинения.

Возникает вопрос о подчиненности начальника самого верхнего уровня. Однако он удовлетворительно решается введением его подчиненности самому себе.

Реляционная таблица, содержащая данные для рассматриваемой связи, имеет схему:

```
Сотрудник(НомерСотр, Фамилия, НомерНачальника).
```

Однако в приведенной таблице возникают аномалии технологических операций:

– **ДОБАВЛЕНИЕ:** для добавления сотрудника необходимо знать его начальника;

– **УДАЛЕНИЕ:** если сотрудник один, то его удаление приводит к потере информации о начальнике. Если о начальнике нужны дополнительные данные, то возникают поля, не зависящие от первичного ключа;

– **ОБНОВЛЕНИЕ:** если изменится начальник, то необходимо пересмотреть всю таблицу и корректно исправить ее.

Трудности вызывает запрос на установление всех сотрудников, работающих вместе под управлением одного начальника, так как необходимо не только выбрать имена сотрудников, но и добавить к ним соответствующего начальника. Например, реализация запроса поиска всех сотрудников, работающих под руководством начальника с номером 2, на SQL может быть такой:

```
SELECT фамилия
FROM Сотрудник
WHERE НомерНачальника = 2
UNION
SELECT фамилия
FROM Сотрудник
WHERE НомерСотр = 2.
```

Причинами аномалий является совместное хранение двух фактов в одной таблице:

- 1) факт подчиненности сотрудников;
- 2) факт совместной работы.

Рассматриваемая связь является не рекурсивной, а связывает два класса объектов: 1) класс сотрудников и 2) класс отделов, в которых они работают.

Поэтому связь представляется двумя таблицами:

```
Сотрудник( НомерСотр, Фамилия, НомерОтдела);
Отдел( НомерОтдела, Название, НомерНачальника).
```

Предложенное преобразование устраняет аномалии, имеющиеся в одной таблице.

В качестве еще одного примера рассмотрим класс сущностей Студент и связь СоседПоКомнате в общежитии.

По существующему мнению [2] это рекурсивная связь «один ко многим», где с кардинальностью «1» в связь вступает сущность Студент в роли «студента», а с кардинальностью «М» – сущность СоседПоКомнате в роли «сосед по комнате».

Такая интерпретация связи приводит к ряду трудностей. Дело в том, что данная связь является симметричной: «Студент *A* является соседом студента *B*, но, в свою очередь, студент *B* также является соседом студента *A*». Если оба этих факта будут представлены в реляционной таблице одновременно, то получим дублирование информации с вытекающими отсюда аномалиями технологических операций. Если данный факт хранить только один раз, то запросы о соседях студента *A* и *B* будут несимметричными

и потребуют разных реализаций, что вызовет недоумение со стороны пользователей.

Ситуация еще более усложняется, если в комнате проживают более двух студентов.

Например, если в комнате проживают студенты Иван, Петр и Сидор, то для отражения ситуации в реляционной таблице T1 придется использовать многозначное поле, что по правилам реляционной таблицы недопустимо.

T1(НомерСтуд, Имя, ДатаРождения, НомерСоседаПоКомнате).

Для устранения многозначного поля придется ввести новую связующую таблицу Соседи, которая связывает номера студентов, соседей по комнате.

Получаем схему:

T1(НомерСтуд, Имя, ДатаРождения),  
Соседи(НомерСтуд, НомерСоседа)

Такое представление базы данных усложняет подсчет количества студентов, живущих в одной комнате.

Для устранения отмеченных сложностей, заметим, что связь «Сосед по комнате» не является рекурсивной. На самом деле эта связь связывает два класса: Студенты и Комнаты и отражает факт совместного проживания студентов в одной комнате.

Комнаты входит в связь проживание с кардинальностью «1», а Студенты – с кардинальностью «М». Причем со стороны Комнаты модальностью связи является «может», а со стороны Студенты – «должен». Приведенные соотношения указывают на то, что эта связь является функциональной зависимостью, поэтому ее можно представить в реляционной модели двумя таблицами:

Студенты(НомерСтуд, Имя, ДатаРождения, НомерКомнаты(FK)),  
Комнаты(НомерКомнаты, Этаж, КоличествоМест).

В случае предложенной схемы запрос на поиск всех проживающих в комнате, например, 345 будет иметь вид:

```
SELECT Имя FROM Студенты WHERE НомерКомнаты = 345.
```

Если требуется найти пары имен студентов, являющихся соседями, то получим запрос:

```
SELECT 1.Имя, 2.Имя  
FROM Студенты 1, Студенты 2
```



WHERE 1.НомерКомнаты = 2.НомерКомнаты //условие  
соединения таблиц  
and 1.НомерСтуд < 2.НомерСтуд.

Последнее условие добавлено для того, чтобы отбросить факт проживания студента с самим собой в одной комнате и симметричные пары. Если выбран факт проживания Ивана с Сидором в одной комнате, то выбор факта, что Сидор проживает в одной комнате с Иваном, излишен.

Примеры показывают, что при установлении рекурсивности связи следует проявлять осторожность, так как неверная интерпретация приводит к существенным затратам при эксплуатации базы данных и усложняет построение запросов.

Рассмотренные ситуации облегчают процесс проектирования БД и уменьшают количество ошибок.

### **Библиографический список**

1. Дейт Дж. Введение в системы баз данных. – 8-е изд. – М.: Вильямс, 2005.
2. Кенке Д. Теория и практика построения баз данных. – 8-е изд. – СПб.: Питер, 2003.

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕРКИ РАСЧЕТНЫХ КУРСОВЫХ РАБОТ**

**Студент гр. ИВТ-07 К.А. Головки**

Научный руководитель – старший преподаватель *Г.М. Яковлева*  
Читинский государственный технический университет

Данный проект представляет собой программное приложение, предназначенное для проверки результатов расчетов в курсовых работах по предмету «Физические основы электроники». Проект имеет следующую структуру и состоит из трёх основных элементов:

1) главное приложение, в котором реализованы основные функциональные возможности проекта, такие как регистрация и контроль учетных записей пользователей, подключение дополнительных модулей, содержащих функции проверки расчетов по

отдельным лабораторным работам, осуществление работы этих модулей и работа с собственной базой данных;

2) база данных, используемая главным приложением и содержащая в себе необходимую информацию для работы главного приложения: учетные записи пользователей, варианты заданий, список лабораторных работ, результаты проверок расчетов в лабораторных работах, выполненных пользователями, а также таблицу основных физических констант; использование базы данных обеспечивает наибольшую гибкость при работе с программой, предоставляя наиболее удобный доступ к основной информации программы;

3) подключаемые модули, которые представляют собой отдельные подпрограммы, работающие под управлением основного приложения; каждый из таких модулей реализует проверку результатов одной из лабораторных работ и его функциональность не зависит от остальных модулей, что позволяет в случае изменения условий или задания одной из работ изменить необходимым образом только соответствующий модуль, не затрагивая остальные модули и главное приложение.

Работа с программой происходит следующим образом: при первом запуске приложения пользователь регистрирует свою учетную запись, которая заносится в базу данных; если у пользователя уже есть учетная запись, то, используя её, он заходит в программу.

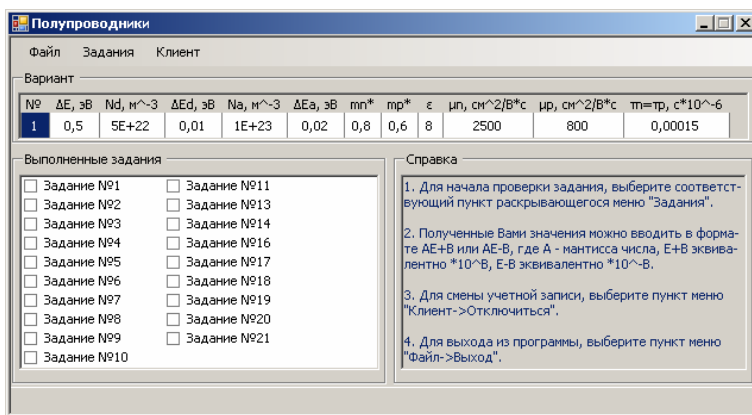


Рис. 1. Главное окно программы

В главном окне программы (рис. 1) находятся исходные данные варианта пользователя, а также список лабораторных работ, среди которых выполненные верно отмечены галочкой. Чтобы приступить к проверке задания, пользователь должен выбрать нужное из верхнего раскрывающегося меню «Задания».

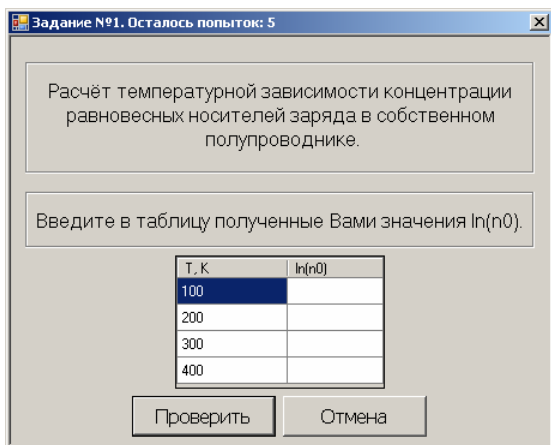


Рис. 2. Окно «Задание №1»

После выбора задания, появляется соответствующее окно, в котором отображаются условие работы и приглашение ввести рассчитанные величины в соответствующие ячейки (рис. 2). После ввода величин и нажатия кнопки «Проверить» пользователь увидит окно с сообщением о результате проверки: «Верно!» либо «Неверно!». В первом случае окно задания автоматически закроется после нажатия кнопки «ОК», а в базу данных программы будет помещена информация о том, что данная работа зачтена. Также выполненное верно задание исчезнет из списка работ меню «Задания». Во втором случае после нажатия кнопки можно будет повторить ввод данных либо покинуть данную работу. Если была допущена ошибка в числовом формате данных, пользователь увидит сообщение «Неверный формат чисел.» или «Неверный формат числа.», при этом после нажатия кнопки «ОК» пользователю будет предоставлена возможность ввести рассчитанные величины заново. После завершения работы с программой пользователь может либо выйти из программы с помощью пункта меню «Клиент → Отключиться», либо закрыть программу, используя пункт меню «Файл → Выход».

Также в программе предусмотрена возможность использования специальной учетной записи пользователя с административными правами. При входе в программу такой пользователь получает доступ к пункту меню управления, где имеет возможность настраивать параметры проверки заданий, а также, используя подпункт «Статистика», отслеживать процесс выполнения заданий студентами.

В окне «Статистика сдачи» (рис. 3) выводится список всех зарегистрировавшихся студентов, содержимое списка можно фильтровать по фамилии, имени, отчеству или группе обучения. При выборе в списке какого-либо студента в таблице внизу формы выводится список выполненных студентом работ с указанием успешности, числа попыток и точности выполнения расчетов.

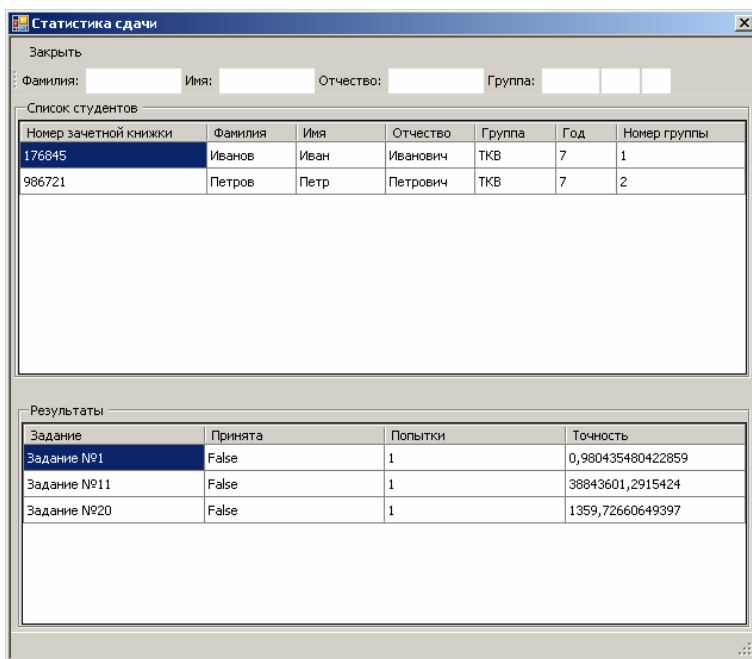


Рис. 3. Окно «Статистика сдачи»

Программный продукт внедрен в работу кафедры физики и техники связи технологического факультета Института технологических и транспортных систем Читинского государственного университета.

## РАБОТА С БАЗАМИ ДАННЫХ В ТЕХНОЛОГИИ ASP.NET

Студент гр. АСУ-06м И.С. Полевщиков

Научный руководитель – доцент А.М. Ноткин

Пермский государственный технический университет

Для того чтобы создавать интересные веб-страницы, необходимо наполнить их динамичным обновляемым содержанием. Особенно необходимо это в бизнес-приложениях – банковских, интернет-магазинах и аукционах. Важная часть работы, которую выполняет разработчик ASP.NET, – это связывание своих страниц с источниками данных, отображение данных на странице, создание удобных средств взаимодействия с ними.

**ASP.NET** – технология создания веб-приложений и веб-сервисов от компании «Майкрософт». Она является составной частью платформы Microsoft.NET и развитием более старой технологии Microsoft ASP.

**Active Server Page (ASP)** является веб-страницей, которая содержит программный код для динамического конструирования содержимого веб-страницы в соответствии с действиями пользователя и вводимыми им данными.

Некоторыми преимуществами ASP.NET перед ASP являются:

- компилируемый код выполняется быстрее, большинство ошибок отлавливается ещё на стадии разработки;
- расширяемый набор элементов управления и библиотек классов позволяет быстрее разрабатывать приложения;
- ASP.NET опирается на многоязыковые возможности .NET, что позволяет писать код страниц на VB.NET, Delphi.NET, Visual C#, J# и т. д.;
- возможность разделения визуальной части и бизнес-логики по разным файлам («code behind»).

Также следует отметить явные преимущества ASP.NET по сравнению с PHP. Языки программирования ASP.NET имеют строгую типизацию данных. Это, безусловно, выигрышный момент по сравнению с нетипизированным php: меньше будет логических ошибок, которые весьма трудно находить и исправлять. Также существенным преимуществом является маркетинговая политика фирмы Microsoft. Если вы пишете на ASP.NET, то на

вашей стороне мощная рекламная машина Microsoft, а также партнёрские программы этой фирмы. Поэтому без заказов вы не останетесь.

В ASP.NET 2.0 работа с данными происходит через **ADO.NET 2.0** – часть .NET, разработанная специально для доступа к базам данных или XML-файлам.

ADO.NET – это набор классов для работы с внешними данными. В новой версии .NET 2.0 он был расширен новыми свойствами и тоже получил номер 2.0.

Соединение в ADO.NET может происходить с помощью различных провайдеров. В настоящее время рекомендуется работать с помощью провайдера MS SQL или Oracle. Эти провайдеры сами написаны на управляемом коде .NET. Еще один провайдер, OLEDB, позволяет получить доступ к другим источникам данных – Access, Excel, MySQL, SAP. Провайдер OLEDB написан на неуправляемом коде, но может работать вместе с .NET.

Классы ADO.NET объединены в несколько пространств имен. Пространство имен **System.Data** – это ядро ADO.NET. Оно содержит классы, необходимые для связи посредством любых провайдеров данных. Эти классы представляют таблицы, строки, столбцы, *DataSet* (множество взаимосвязанных таблиц). Там определены интерфейсы (в смысле языка C#) соединений с базами данных, команд, адаптеров данных.

Все провайдеры данных содержат классы соединений, адаптеров, команд. Схема типичной программы в ADO.NET следующая:

1. Вначале создается соединение с базой данных – класс *Connection*, который обеспечивается необходимой информацией – строкой соединения.

2. Создается объект *Command* и задается команда, которую необходимо выполнить в данной СУБД. Эта команда может быть запросом SQL или исполняемой процедурой. Нужно задать параметры этой команды, если они имеются.

3. Если команда не возвращает данных, она просто выполняется с помощью одного из методов *Execute*. Например, это может быть удаление или обновление данных *таблицы*.

4. Если команда возвращает выборку данных, их необходимо куда-то поместить. Решите, нужно ли вам получить данные для

последующего использования без связи с базой данных или же нужно просто быстро выполнить команду. В первом случае нужно создать класс *DataAdapter* и с его помощью сохранить данные в *DataSet* или в *DataTable*. Во втором случае создается класс *DataReader*, который требует сохранять соединение на все время работы, хранит выборку только для чтения и позволяет двигаться только вперед. Зато чтение с помощью *DataReader* выполняется в несколько раз быстрее, чем в *DataAdapter*.

5. Задать полученный *DataSet* или *DataReader* как источник данных элемента управления или вывести их на страницу другим способом.

Для работы с данными в ASP.NET существуют две группы специальных элементов управления. Первая предназначена для того, чтобы осуществлять связь с источниками данных. Вторая группа служит для отображения данных.

**Элементы-источники данных (*Data Source Controls*)** облегчают работу с ADO.NET, инкапсулируя работу с соединениями, командами и адаптерами. Они реализуют интерфейс *IDataSource*, в котором определен базовый набор возможностей работы с источниками данных. Большинство этих классов предоставляет функциональность для чтения и записи. Они являются обертками объектов ADO.NET. В предыдущих версиях надо было создавать объекты ADO самим и связывать элементы-управления с ними посредством команды *DataBind*.

Всего в ASP.NET можно выделить следующие элементы-источники данных: *SqlDataSource*, *AccessDataSource* и *ObjectDataSource* для работы с табличными источниками данных и *XmlDataSource* и *SiteMapDataSource* – для работы с иерархическими данными.

*SqlDataSource* позволяет соединиться с большинством реляционных СУБД. *Sql* в названии класса означает, что он служит для соединения с базами, которые понимают язык запросов *Sql*, а не только с MS SQL Server. *AccessDataSource* оптимизирован для работы с базами Access.

Элементы-источники данных предназначены для двустороннего обмена данными, то есть как для чтения, так и для записи. Сами по себе они ничего не отображают. Данные будут доступны подключенным к ним элементам управления. Для отображения

данных, полученных из классов-источников данных, служат *элементы-потребители данных*.

В ASP.NET 2.0 появились 3 новых элемента управления для отображения табличных данных: *GridView*, *DetailsView* и *FormView*.

*GridView* – это серверный элемент управления, который может быть использован для отображения данных в форме таблицы. Главное преимущество *GridView* – автоматическое связывание с данными, благодаря чему нет необходимости писать обработчики событий, чтобы обеспечить функциональность, такую как удаление, редактирование, сортировка, разбиение на страницы при условии связывания с элементами-источниками данных. Он обеспечивает стандартную обработку подобных событий, но ее всегда можно расширить, чтобы обеспечить дополнительные возможности.

Элемент управления *DetailsView* показывает каждый раз одну запись из источника данных в таблице с двумя столбцами, где слева отображается название поля, а справа – значение. Так же, как и *GridView*, *DetailsView* позволяет производить разбивку на страницы, редактирование и удаление с автоматическим связыванием с источником данных.

Рассмотрим пример веб-приложения, работающего с базой данных, созданной в СУБД Access. Внешний вид страницы *Default.aspx* в режиме конструктора показан на рис. 1. В качестве элемента-источника данных использован *AccessDataSource*, а в качестве элементов-потребителей данных – *GridView* и *DetailsView*. Эти элементы управления расположены на вкладке *Data* панели инструментов *Toolbox*. Приложение создано в Microsoft Visual Web Developer 2005 Express Edition.

Для сложных элементов управления, подобных *AccessDataSource*, предусмотрена дополнительная возможность – *Common Tasks* (Частые задачи). Эта функция предоставляет быстрый доступ к задачам, которые обычно возникают при настройке серверного элемента управления. Когда элемент управления *AccessDataSource* переносится на страницу, создается прямоугольник. Если внимательно на него посмотреть, в верхнем правом углу находится маленькая стрелочка. Щелчок по этой стрелочке приведет к отображению меню часто возникающих задач, которое можно использовать для настройки элемента.



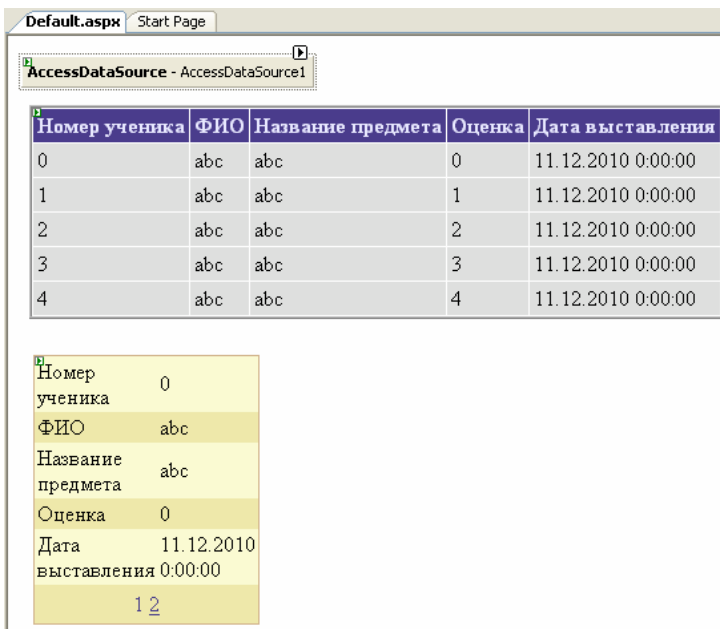


Рис. 1. Внешний вид страницы *Default.aspx* в режиме конструктора

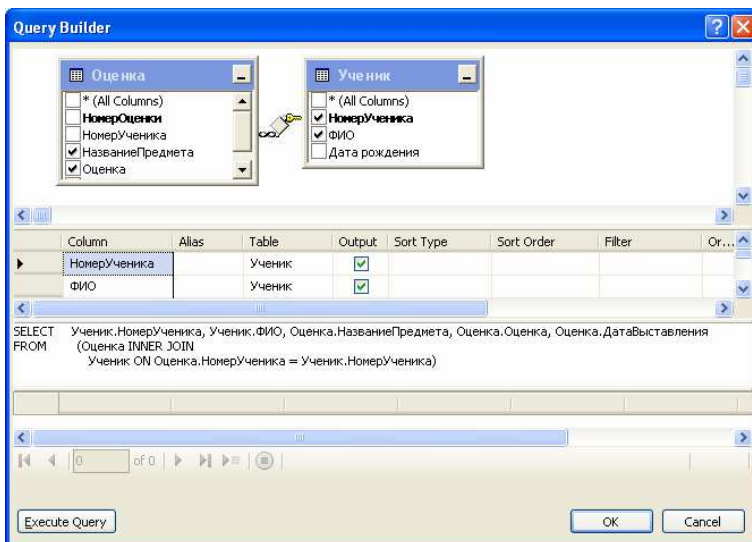


Рис. 2. Создание SQL-выражения

В нашем случае единственная задача, доступная для созданного элемента управления источником данных, – выбор базы данных, с которой он будет связан. Эта задача решается по ссылке *Configure Data Source* (Настроить источник данных) в меню *AccessDataSource Tasks* (Задачи *AccessDataSource*). Переход по этой ссылке приведет к появлению мастера *Configure Data Source* (Мастер конфигурации источника данных), который проведет вас через процесс связи этого элемента управления с базой данных. На одном из шагов этого процесса создается SQL-выражение (рис. 2).

Возможность *Common Tasks* предусмотрена и для элементов управления *GridView* и *DetailsView* (рис. 3). Например, параметр *Choose Data Source* позволяет выбрать источник данных из списка, параметр *Auto Format* содержит ряд шаблонов для изменения внешнего вида элемента управления, параметр *Enable Paging* дает возможность разбивать данные на страницы.

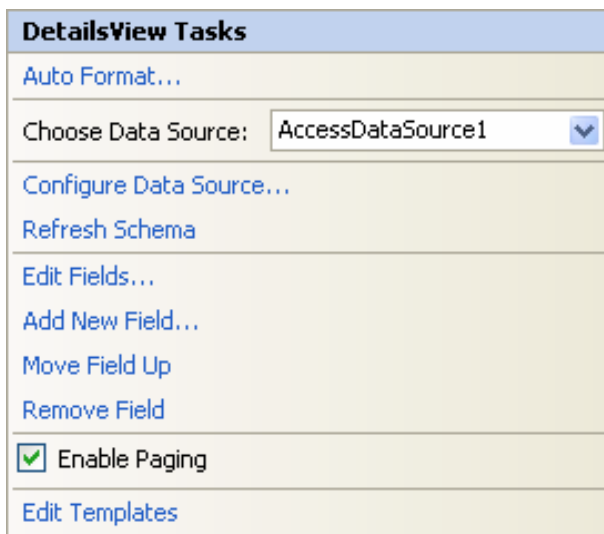


Рис. 3. *Common Tasks* для элемента управления *DetailsView*

Технология ASP.NET хорошо подходит для создания различных веб-приложений, используемых для автоматизации работы кафедры. Например, в настоящее время на кафедре ИТАС ПГТУ

разрабатывается приложение ASP.NET, с помощью которого можно будет вводить данные о научно-исследовательской деятельности кафедры, сохранять их в базе данных, а затем выгружать в текстовый файл. В качестве СУБД была выбрана MySQL, в качестве среды разработки – Visual Studio 2010. И работа с данными в этом приложении как раз осуществляется с помощью ADO.NET.

Протестируем созданное веб-приложение (рис. 4).

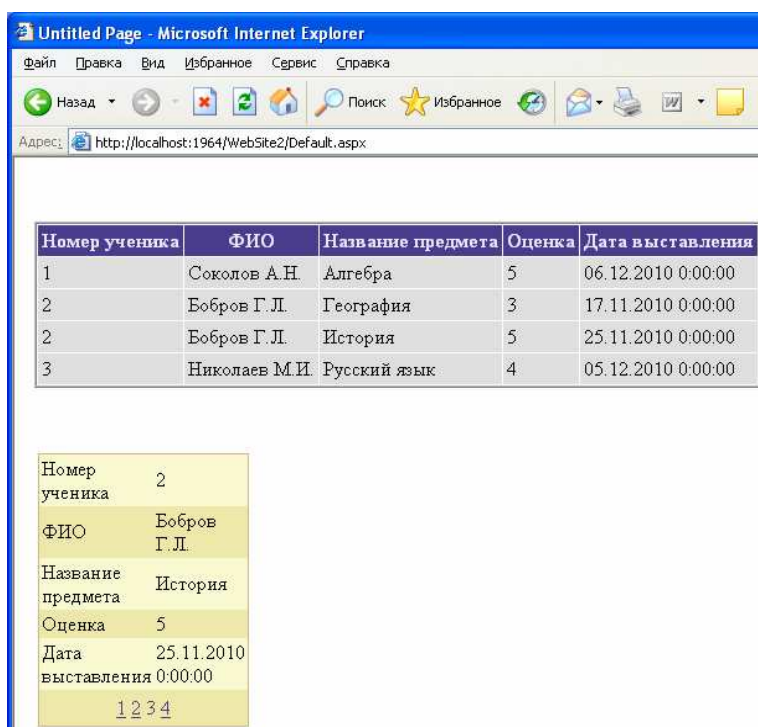


Рис. 4. Созданное веб-приложение

Выше были рассмотрены преимущества технологии ASP.NET, особенности ADO.NET, схема типичной программы в ADO.NET, элементы-источники данных и элементы-потребители данных. Разобран пример веб-приложения, работающего с базой данных. Таким образом, показано, что технология ASP.NET предоставляет большие возможности для создания веб-приложений, в которых необходима работа с данными.

## Библиографический список

1. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/ASP.NET>.
2. URL: <http://www.intuit.ru/department/se/aspdotnet/>.
3. URL: <http://www.tmanager.ru/russian/php.html>.
4. Базы данных. Проектирование и разработка / сост. Р. Фрост, Д. Дей, К. Ван Слайк; пер. с англ. А.Ю. Кухаренко. – М.: ИТ Пресс, 2007. – 592 с.: ил. – (Самоучитель).

## ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Студенты гр. АСУ-06м Е.А. Ромин, Я.Г. Лелькин**

Научный руководитель – старший преподаватель *А.В. Кычкин*  
Пермский государственный технический университет

Одной из ключевых задач информационных технологий является задача обработки информации и текста. Существуют два типа данных:

- сильно структурированные данные (собственно данные);
- слабо структурированные данные (текстовые документы на языке естественном или ограниченно естественном).

В работе со слабоструктурированными данными различают несколько групп задач. К ним относятся: машинный перевод, общение человека с компьютером, синтез речи, поиск текстовой информации, построение тезаурусов, выражение семантики документа на формальном языке, принятие решений, генерация новых знаний, автоматическое реферирование и автоматический машинный перевод, классификация и кластеризация документов [1].

Под кластеризацией понимают выделение признаков объектов некоторого множества, характеризующих степень их взаимного сходства или различия, и формирование на основе такого выделения групп (классов) родственных объектов. Собственно отнесение объектов к тому или иному классу из числа заданных называют классификацией.

**Кластеризация** предназначена для разбиения совокупности объектов на однородные группы (кластеры или классы). Если данные выборки представить как точки в признаковом пространстве,

то задача кластеризации сводится к определению «сгущений точек». **Цель кластеризации** – поиск существующих структур.

**Классификация** – системное распределение изучаемых предметов, явлений, процессов по родам, видам, типам, по каким-либо существенным признакам для удобства их исследования; группировка исходных понятий и расположение их в определенном порядке, отражающем степень этого сходства.

**Классификация** – это закономерность, позволяющая делать вывод относительно определения характеристик конкретной группы. Таким образом, для проведения классификации должны присутствовать признаки, характеризующие группу, к которой принадлежит то или иное событие, или объект (обычно при этом на основании анализа уже классифицированных событий формулируются некие правила). Классификация относится к стратегии обучения с учителем (*supervised learning*), которое также именуется контролируемым или управляемым обучением [2].

В данной работе мы будем проводить сравнение 3 классификационных методов: метод ближайшего соседа, метод Байеса и метод евклидовых расстояний.

**Метод ближайшего соседа.** Метод ближайшего соседа – один из наиболее простых алгоритмов классификации, относящийся к группе структурных методов (рис. 1).

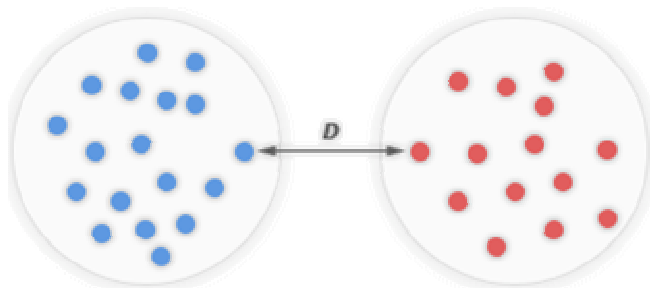


Рис. 1. Иллюстрация работы метода ближайшего соседа

В качестве обучающей выборки используется набор объектов, каждый из которых принадлежит к одному из двух или более классов. Каждый объект может быть представлен точкой в  $n$ -мерном пространстве, где  $n$  – число аналитических признаков, используемых для классификации.

Пусть задана обучающая выборка пар «объект–ответ»

$$X^m = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\}.$$

Пусть на множестве объектов задана функция расстояния  $p(x, x')$ . Эта функция должна быть достаточно адекватной *моделью сходства* объектов. Чем больше значение этой функции, тем менее схожими являются два объекта  $x, x'$ .

Для произвольного объекта  $v$  расположим объекты обучающей выборки  $x_i$  в порядке возрастания расстояний до  $v$ :

$$p(v, x_{1;v}) \leq p(v, x_{2;v}) \leq \dots \leq p(v, x_{m;v}),$$

где через  $x_{i;v}$  обозначается тот объект обучающей выборки, который является  $i$ -м соседом объекта  $v$ . Аналогичное обозначение введём и для ответа на  $i$ -м соседе:  $y_{i;v}$ . Таким образом, произвольный объект  $v$  порождает свою перенумерацию выборки [3].

В наиболее общем виде алгоритм ближайших соседей есть

$$a(u) = \arg \max \sum_{i=1} [x_{i;u} = y] w(i, u),$$

где  $w(i, u)$  – заданная *весовая функция*, которая оценивает степень важности  $i$ -го соседа для классификации объекта  $u$ . Естественно полагать, что эта функция неотрицательна и не возрастает по  $i$ .

По-разному задавая весовую функцию, можно получать различные варианты метода ближайших соседей:

- $w(i, u) = [i = 1]$  – простейший метод ближайшего соседа;
- $w(i, u) = [i \leq k]$  – метод  $k$  ближайших соседей;
- $w(i, u) = [i \leq k]q^i$  – метод  $k$  экспоненциально взвешенных ближайших соседей, где предполагается  $q < 1$ .

Неизвестный объект относится к одному из классов по следующему принципу: находится  $K$  ближайших объектов из обучающей выборки в пространстве образов (обычно используется мера расстояния Евклида). Затем определяется, к какому классу принадлежит большинство ближайших объектов обучающей выборки – к этому классу относится и неизвестный объект. Оптимальное число  $K$ , как правило, подбирают экспериментальным путем. Увеличение  $K$  приводит к уменьшению влияния случайных погрешностей в данных, но при этом разделение на классы становится менее четким.

При использовании метода ближайшего соседа особое внимание следует уделять выбору меры расстояния между объектами. На основе нее формируется начальная матрица расстояний, которая и определяет весь дальнейший процесс классификации (рис. 2).

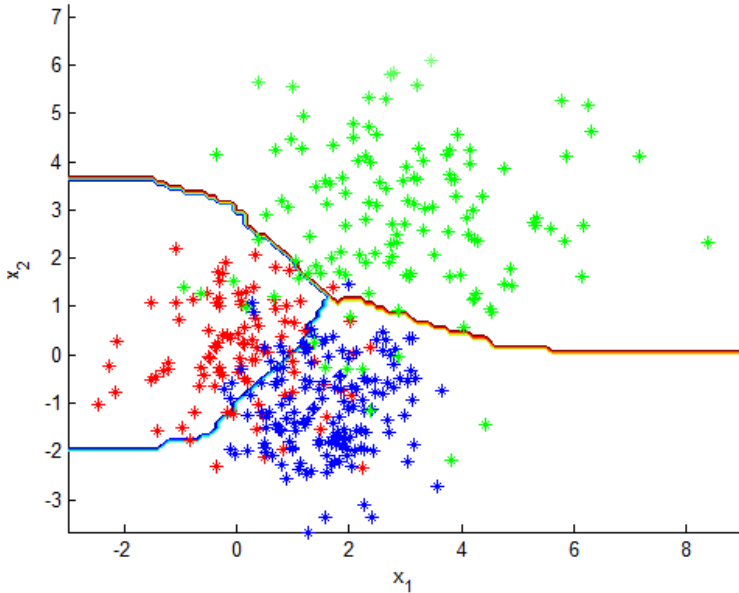


Рис. 2. Иллюстрация работы метода ближайшего соседа

#### *Алгоритм «Наивный метод Байеса».*

«Наивный метод Байеса» – достаточно прозрачный и понятный метод классификации. «Наивным» он называется потому, что исходит из предположения о взаимной независимости признаков. Свойства наивной классификации:

1. Использование всех переменных и определение всех зависимостей между ними.
2. Наличие двух предположений относительно переменных:
  - все переменные являются одинаково важными;
  - все переменные являются статистически независимыми, т.е. значение одной переменной ничего не говорит о значении другой.

Вероятность того, что некий объект  $i_i$ , относится к классу  $c_r(y = c_r)$ , обозначим как  $P(y = c_r)$ . Событие, соответствующее

равенству независимых переменных определенному значению, обозначим как  $E$ , а его вероятность –  $P(E)$ . Идея алгоритма – в расчете условной вероятности принадлежности объекта к  $c_r$  при равенстве его независимых переменных определенным значениям. Из теории вероятности

$$P(y = c_r | E) = \frac{P(E | y = c_r)P(y = c_r)}{P(E)}.$$

Таким образом, формулируются правила, в условных частях которых сравниваются все независимые переменные с соответствующими возможными значениями. В заключительной части – все возможные значения зависимой переменной:

$$x_1 = c_1^k, \dots, x_n = c_n^k, y = c_r \dots \{\text{и так для все наборов}\}.$$

Для каждого из этих правил по формуле Байеса определяется его вероятность. Так как независимые переменные независимы друг от друга, то

$$P(E | y = c_r) = P(x_1 = c_1^k | y = c_r) \dots P(x_n = c_n^k | y = c_r),$$

что подставляем в верхнюю формулу и получаем вероятность всего правила.

Вероятность принадлежности объекта к классу  $c_r$  при равенстве его переменной  $x_n$  определенному значению  $c_n^k$  определяется следующим образом:

$$P(x_n = c_n^k | y = c_r) = \frac{P(x_n = c_n^k \& y = c_r)}{P(y = c_r)}.$$

Нормализованная вероятность вычисляется по формуле

$$P'(y = c_r | E) = \frac{P(y = c_r | E)}{\sum_{c_r} P(y = c_r | E)}$$

и является вероятностью наступления данного исхода вообще, а не только при  $E$ .  $P(E)$  просто сокращается [4].

Наивный классификатор Байеса имеет несколько свойств, которые делают его чрезвычайно полезным практически, несмотря на то, что сильные предположения независимости часто наруша-



ются. Этот метод показывает высокую скорость работы и достаточно высокое качество классификации. Его можно рекомендовать для построения классификатора, когда существуют жесткие ограничения на время счета и воспользоваться более точными методами не представляется возможным.

**Метод евклидовых расстояний.** Суть метода заключается в сравнении евклидовых расстояний от центра кластера до элемента и принятии решения о включении в класс на основе этих данных. Основное отличие от метода ближайшего соседа состоит в том, что мы строим матрицу расстояний от центра кластера до объекта, а не до ближайшего элемента в кластере. В зависимости от количества параметров евклидово расстояние считается по формуле

$$D_{ab} = \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ja} - x_{jb})^2}.$$

Если это двух- или трёхмерное пространство, то эта мера является реальным геометрическим расстоянием между элементами в пространстве. После построения матрицы евклидовых расстояний принимается решение о включении элемента в тот или иной класс в зависимости от его близости к центру класса.

**Сравнение методов.** Для сравнения методов классификации будем использовать имитационную выборку элементов с 10 параметрами. Для этой задачи специально было написано программное средство, позволяющее не только проводить классификацию элементов, но и визуально отображать результат работы различных методов классификации (рис. 3).

Оценка точности классификации будет проводиться при помощи кросс-проверки. **Кросс-проверка** (*Cross-validation*) – это процедура оценки точности классификации на данных из тестового множества, которое также называют кросс-проверочным множеством. Точность классификации тестового множества сравнивается с точностью классификации обучающего множества. Если классификация тестового множества дает приблизительно такие же результаты по точности, как и классификация обучающего множества, считается, что данная модель прошла кросс-проверку.

Точность будем вычислять по формуле

$$K_a = \frac{K_y}{K_o},$$

где  $K_y$  – число попыток классификации, в которых результаты применения метода совпали с предполагаемыми;  $K_o$  – общее число попыток классификации.

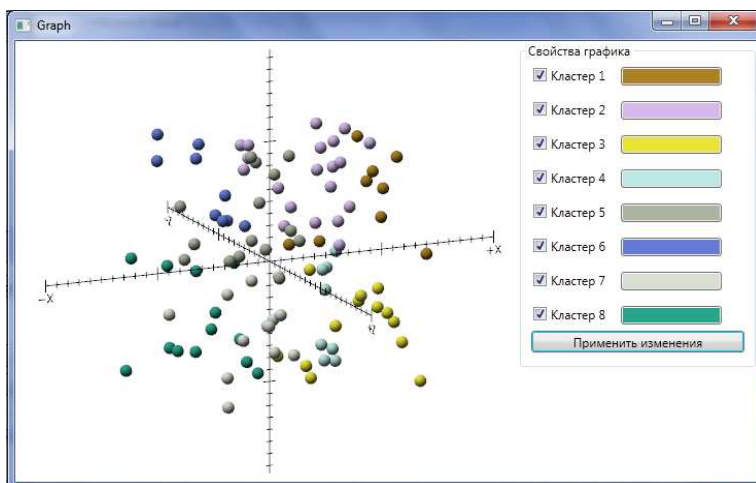


Рис. 3. Интерфейс программного средства классификации

Оценивание методов следует проводить, исходя из следующих характеристик: скорость, интерпретируемость, надежность.

**Скорость** характеризует время, которое требуется на процедуру классификации. Критерий для оценки скорости будет вычисляться по формуле

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^m \frac{t_i}{m},$$

где  $m$  – число попыток классификации;  $t_i$  – время выполнения  $i$ -й попытки.

**Интерпретируемость** обеспечивает возможность понимания модели аналитиком. Прежде всего это зависит от компактности классификационных правил. Проведя 3 тестирования на обучающих имитационных моделях (100, 500 и 1000 элементов), имеем следующие данные (таблица).

## Результаты тестирования

Наименование	Время, мс	Точность	Время, мс	Точность	Время, мс	Точность
	100 элементов		500 элементов		1000 элементов	
Метод ближайшего соседа	6,810	0,77	30,331	0,84	16,660	0,96
Наивный метод Байеса	47,182	0,86	101,615	0,87	127,327	0,99
Метод евклидовых расстояний	5,3	0,93	12,390	0,92	14,05	0,99

С точки зрения интерпретируемости самым сложным оказался наивный метод Байеса, поскольку в нем значительно больше классификационных правил для принятия решения о включении в кластер элементов.

**Заключение.** Таким образом, в работе мы рассмотрели три метода классификации: метод ближайшего соседа, наивный байесовский метод и метод евклидовых расстояний на базе обучающих выборок с различным количеством элементов. Байесовский метод показал худшие результаты по времени выполнения в связи со сложностью самого алгоритма, плохо поддающегося оптимизации. Однако стоит заметить, что Байесовский метод предназначен в основном для использования в «зашумленных» выборках, с большим количеством «выбросов». Во всех случаях время выполнения классификации слабо зависит от объема выборки. При увеличении объема выборки в 10 раз время выполнения увеличилось в среднем меньше чем в 3 раза. В то же время при увеличении объема выборки все методы обеспечивают приемлемую точность.

### Библиографический список

1. Задачи обработки текстовой информации [Электронный ресурс]. – URL: [http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=080\\_IS/ai401.mod?cou=Default/142\\_problems.cou](http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=080_IS/ai401.mod?cou=Default/142_problems.cou).

Задачи Data Mining. Классификация и кластеризация [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.intuit.ru/department/database/datamining/5/1.html>.

3. Алгоритм ближайшего соседа [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/regression/knn/>.

4. Метод Байеса (Naive Bayes) [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.acrg.ru/naive\\_bayes.html](http://www.acrg.ru/naive_bayes.html).

## СИСТЕМА REDUCE ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ КОМПИЛЯТОРНЫХ ТЕСТОВ

Студент гр. 6111 Д.М. Ильин

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук,

профессор *В.Н.Касьянов*

Новосибирский государственный университет

Основным инструментом для получения высокоэффективного кода является оптимизирующий компилятор, поэтому надёжность его работы особенно важна.

Целью системы является минимизация компиляторных тестов, демонстрирующих ошибку оптимизирующего компилятора, являющихся программами на языке C/C++, с сохранением воспроизводимости имеющейся ошибки.

Минимизация осуществляется путём преобразования абстрактного синтаксического дерева программы до тех пор, пока ошибка перестанет воспроизводиться.

В частности, задача стояла в получении из программы её абстрактного синтаксического дерева и генерации по дереву программы. Эти процессы реализованы с помощью построителя распознавателей ANTLR (<http://www.antlr.org/>). Для него написаны две грамматики, по которым автоматически строятся модули системы по трансляции и ретрансляции. Первая – грамматика для разбора программ на языке C/C++, по правилам которой строится удобная для создания и применения упрощённая форма абстрактного синтаксического дерева программы. Вторая – правила, по которым осуществляются обход дерева и построение по нему и извлечённой информации программы, эквивалентной программе, представленной в виде дерева.

Уменьшение дерева программы ведётся по задаваемому пользователем набору правил. Основываясь на структуре дерева и разновидностях вершин, создан стандарт правил преобразования дерева и порядка их применения.

В процессе создания транслятора и ретранслятора, а также написания преобразований был написан модуль визуализации AST, позволяющий получать дерево в формате GraphML.

В связи с расширением и изменениями в языке C++ относительно C задачей являлось добавление правил для упрощения C++ программ.

Облегчению работы с большими проектами помогает реализованный специально для этого модуль системы.

Для написания системы использован язык программирования Python. Выбор языка был обусловлен простотой освоения, удобством использования, широкими возможностями, а также наличием ANTLR Python BackEnd, позволяющего получить транслятор и ретранслятор на языке Python.

Система работает под операционными системами Windows/Linux.

Так же в результате используемых методов уменьшения нет зависимости от используемого компилятора.

**Общая схема действия.** Общая схема действия системы такова: на вход Reduce подаются набор опций и команда построения исходной программы. Система построения собирает все необходимые данные об исходных файлах и вызовах компилятора, линковщика, библиотек (рис. 1). Транслятор для каждого файла строит промежуточное представление кода минимизируемой программы – абстрактное синтаксическое дерево (AST). Если дерево можно уменьшить, то к нему по определённой стратегии применяется набор преобразований. Уменьшенное дерево ретранслируется в исходный файл языка C/C++ и производится проверка наличия первоначальной ошибки. В случае воспроизведения ошибки выполняются следующие преобразования, иначе происходит возврат к предыдущей версии AST. Когда не остаётся возможности для преобразования, программа переходит к следующему файлу. В результате получается набор уменьшенных исходных файлов, на котором воспроизводится первоначальная ошибка (рис. 2).

**Результаты.** Транслятор и ретранслятор обрабатывают все конструкции языка C++, кроме редких неоднозначных случаев, проблема разрешения которых должна быть решена конечным пользователем. Транслятор и ретранслятор разбирают все стандартные заголовочные файлы C++.

Написан достаточный набор преобразований для использования. И у пользователя есть возможность самому настраивать и создавать правила и стратегии их применения. Визуализация AST облегчает этот процесс. Система успешно уменьшила несколько реальных приложений. Но в ходе испытаний были обнаружены

минусы: большое потребление памяти при трансляции файлов, больших приблизительно 3,5 мегабайт, и также большое потребление памяти интерпретатором Python при работе с набором крупных файлов, при трансляции одного за другим.

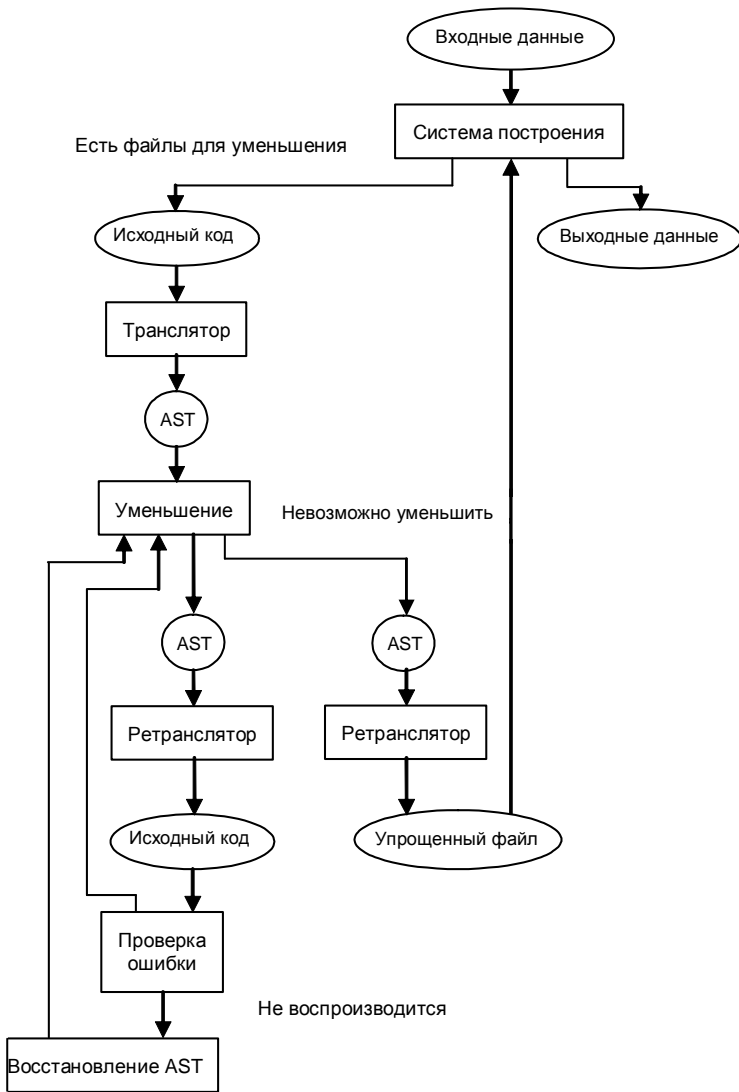


Рис. 1. Общая схема действия системы

```

extern void print_int (unsigned);
extern unsigned rnd ();

unsigned int j5 = 2;
unsigned int l = 30;
unsigned int k = 6;
unsigned long m = 3;
unsigned char x = 29;
unsigned long p = 8;
unsigned long d[10 * 2] = {
3
};
unsigned int q[10 * 2] = {
6
};
unsigned int z[10 * 2] = {
7
};
unsigned char fb[10 * 2] = {
1
};
unsigned long c[10 * 2] = {
6
};
unsigned long a[10 * 2] = {
7
};
int main ()
{

/* fs100001 */
for (l = 0; l < 10 * 2; l++) {
d[l] = 95;
fb[l] = 6;
};
for (p = 1; p <= 6; p++) {
j5 = fb[p + 1] + ((6)) - rnd();
x += -5;
j5 = j5 * 3;
m += (1 - 6 + fb[p + 1] * 1 + 1 ^ 1);
}
for (p = 3; p <= 6; p++) {
k = 1 + j5 + 0;
}
j5 |= k;
print_int (j5);
return 0;
}

```

→

```

unsigned int j5 = 0;
int main ()
{
j5 = rnd();
print_int(j5);
return 0;
}

```

Рис. 2. Пример работы Reduce

В связи с этим основной целью на данный момент является генерация с помощью ANTLR транслятора на языке С и интегрирование его в существующую систему для уменьшения ресурсоёмкости.

## НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В БАКЕ

Студенты гр. АСУ-06м И.С. Полевщиков, А.Р. Шакиров  
Научный руководитель – старший преподаватель А.В. Кычкин  
Пермский государственный технический университет

*Нечеткая логика* основана на использовании таких оборотов естественного языка, как «далеко», «близко», «холодно», «горячо» и т.п. Диапазон ее применения очень широк – от бытовых приборов до управления сложными промышленными процессами. Многие современные задачи управления просто не могут быть решены классическими методами из-за очень большой сложности математических моделей, их описывающих. Вместе с тем, чтобы использовать теорию нечеткости на цифровых компьютерах, необходимы математические преобразования, позволяющие перейти от лингвистических переменных к их числовым аналогам в ЭВМ.

Классические методы управления хорошо работают при полностью детерминированном объекте управления и детерминированной среде, а для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления оптимальными являются нечеткие методы управления.

Рассмотрим пример использования нечеткой логики.

Необходимо разработать нечеткий регулятор уровня жидкости в баке, благодаря которому текущий уровень жидкости ( $L_{\text{тек}}$ ) всегда будет равен регулируемому ( $L_{\text{рег}}$ ). Для соблюдения этого правила определяется, какое количество жидкости нужно откачивать в единицу времени. На вход нечеткого регулятора должна поступать следующая величина:  $E = L_{\text{тек}} - L_{\text{рег}}$ . Бак имеет форму цилиндра с радиусом  $R = 10$  и высотой  $H = 200$ .  $L_{\text{рег}}$  может меняться. Изначально текущий уровень равен регулируемому. Количество жидкости, поступающее в бак в единицу времени, является случайной величиной.

В целом весь процесс нечеткого управления можно разбить на несколько шагов: *фаззификация*, *разработка нечетких правил* и *дефаззификация*. Рассмотрим эти шаги для нашего примера.

**1-й шаг. Фаззификация (переход к нечеткости).** На данном шаге точные значения входных переменных преобразуются



в значения лингвистических переменных посредством применения некоторых положений теории нечетких множеств, а именно при помощи определенных функций принадлежности. С термином «*лингвистическая переменная*» можно связать любую физическую величину, для которой нужно иметь больше значений, чем только ДА и НЕТ.

В нечеткой логике значения любой величины представляются не числами, а словами естественного языка и называются *термами*.

Как уже говорилось, принадлежность каждого точного значения к одному из термов лингвистической переменной определяется посредством *функции принадлежности*.

В качестве лингвистических переменных для нашего примера выберем:

–  $E$  – разность между текущим и регулируемым уровнем жидкости в баке. Значениями данной лингвистической переменной являются термы: *отрицательная большая*, *отрицательная средняя*, *отрицательная маленькая*, *положительная маленькая*, *положительная средняя*, *положительная большая*. Функция принадлежности для данной переменной показана на рис. 1;

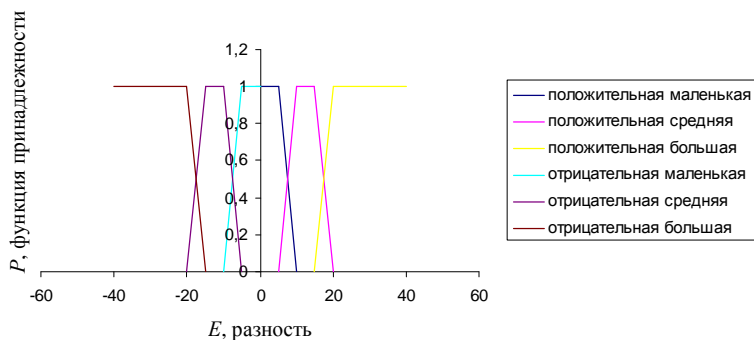


Рис. 1. Функции принадлежности для разности  $E$

–  $V$  – скорость откачки жидкости из бака. Значениями данной лингвистической переменной являются термы: *нулевая*, *низкая*, *средняя*, *высокая*. Функция принадлежности для данной переменной показана на рис. 2.

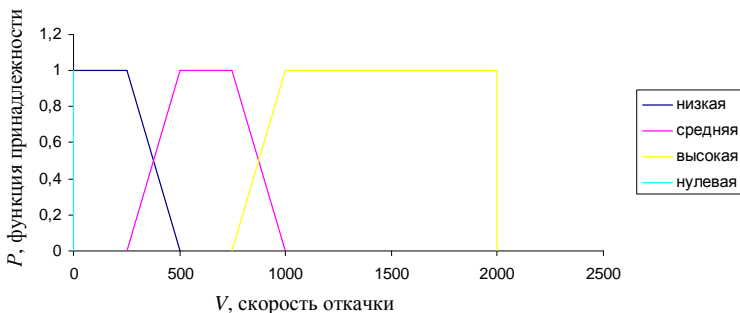


Рис. 2. Функции принадлежности для скорости откачки V

**2-й шаг. Разработка нечетких правил.** На этом этапе определяются *продукционные правила*, связывающие лингвистические переменные. Совокупность таких правил описывает стратегию управления, применяемую в данной задаче.

Большинство нечетких систем используют продукционные правила для описания зависимостей между лингвистическими переменными. Типичное продукционное правило состоит из *антецедента* (часть ЕСЛИ ...) и *консеквента* (часть ТО ...). Антецедент может содержать более одной посылки. В этом случае они объединяются посредством логических связок И или ИЛИ.

Процесс вычисления нечеткого правила называется нечетким логическим выводом и подразделяется на два этапа: обобщение и заключение.

На первом шаге логического вывода необходимо определить степень принадлежности всего антецедента правила. Для этого в нечеткой логике существуют два оператора:  $\text{MIN}(\dots)$  и  $\text{MAX}(\dots)$ . Первый вычисляет минимальное значение степени принадлежности, а второй – максимальное значение. Когда применять тот или иной оператор, зависит от того, какой связкой соединены посылки в правиле. Если использована связка И, применяется оператор  $\text{MIN}(\dots)$ . Если же посылки объединены связкой ИЛИ, необходимо применить оператор  $\text{MAX}(\dots)$ . Ну а если в правиле всего одна посылка, операторы вовсе не нужны.

Следующим шагом является собственно вывод или заключение. Подобным же образом посредством операторов  $\text{MIN}/\text{MAX}$  вычисляется значение консеквента. Исходными данными служат

вычисленные на предыдущем шаге значения степеней принадлежности antecedентов правил.

Сформулируем правила для нашего примера:

ЕСЛИ  $E$  = положительная высокая,  
ТО  $V$  = высокая.

ЕСЛИ  $E$  = положительная средняя,  
ТО  $V$  = средняя.

ЕСЛИ  $E$  = положительная низкая,  
ТО  $V$  = низкая.

ЕСЛИ ( $E$  = отрицательная высокая) ИЛИ ( $E$  = отрицательная средняя) ИЛИ

( $E$  = отрицательная низкая),  
ТО  $V$  = нулевая.

**3-й шаг. Дефаззификация (устранение нечеткости).** На этом этапе осуществляется переход от нечетких значений величин к определенным физическим параметрам, которые могут служить командами исполнительному устройству.

Для устранения нечеткости окончательного результата существует несколько методов. Рассмотрим некоторые из них. Аббревиатура, стоящая после названия метода, происходит от сокращения его английского эквивалента.

- **Метод центра максимума (CoM)**

Так как результатом нечеткого логического вывода может быть несколько термов выходной переменной, то правило дефаззификации должно определить, какой из термов выбрать.

- **Метод наибольшего значения (MoM)**

При использовании этого метода правило дефаззификации выбирает максимальное из полученных значений выходной переменной.

- **Метод центроида (CoA)**

В этом методе окончательное значение определяется как проекция центра тяжести фигуры, ограниченной функциями принадлежности выходной переменной с допустимыми значениями.

Для нашего примера выбираем *метод наибольшего значения* как наиболее простой для учебного примера.

**Реализация.** Программа, демонстрирующая работу нечеткого регулятора уровня жидкости в баке, была разработана в среде Delphi.

Пример работы программы представлен на рис. 3.

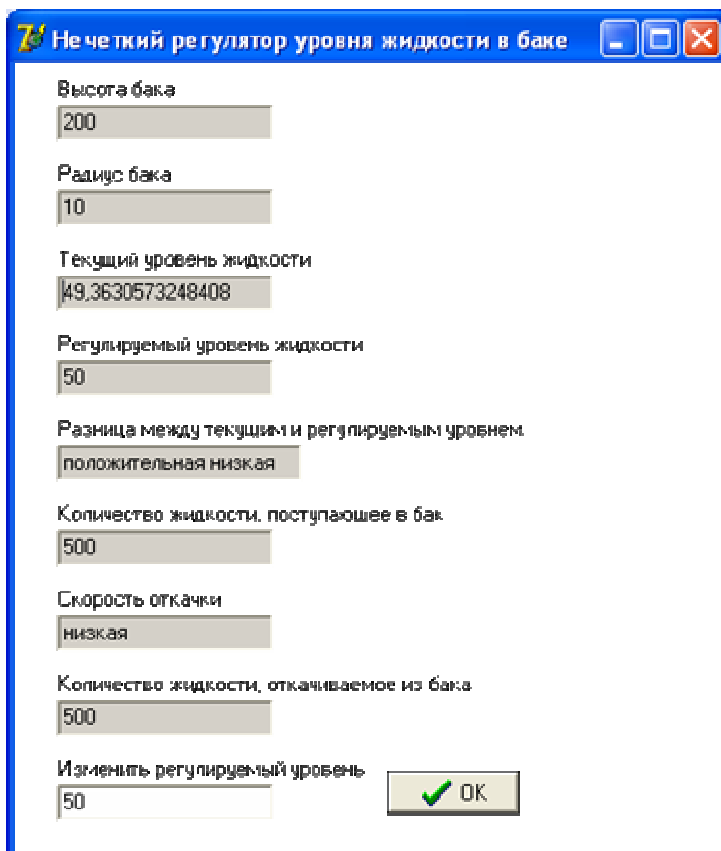


Рис. 3. Пример работы программы

Данные о поступлении и откачке жидкости записываются в текстовый файл. Фрагмент этого файла показан ниже.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Высота бака: 200

Радиус бака: 10

Регулируемый уровень: 5.000000000000000E+0001

Текущий уровень: 5.000000000000000E+0001

-----

ПОСТУПЛЕНИЕ И ОТКАЧКА ЖИДКОСТИ

Поступившее количество жидкости:  
1.000000000000000E+0002  
Регулируемый уровень: 5.000000000000000E+0001  
Текущий уровень (до откачки):  
5.03184713375796E+0001  
Разница между уровнями: 3.18471337579616E-0001  
Разница между уровнями: положительная низкая  
Скорость откачки: низкая  
Откачиваемое количество: 5.000000000000000E+0002  
Текущий уровень (после откачки):  
4.87261146496815E+0001

ПОСТУПЛЕНИЕ И ОТКАЧКА ЖИДКОСТИ

Поступившее количество жидкости:  
1.000000000000000E+0002  
Регулируемый уровень: 5.000000000000000E+0001  
Текущий уровень (до откачки):  
4.90445859872611E+0001  
Разница между уровнями: -9.55414012738856E-0001  
Разница между уровнями: отрицательная низкая  
Скорость откачки: нулевая  
Откачиваемое количество: 0.000000000000000E+0000  
Текущий уровень (после откачки):  
4.90445859872611E+0001

ПОСТУПЛЕНИЕ И ОТКАЧКА ЖИДКОСТИ

Поступившее количество жидкости:  
5.000000000000000E+0002  
Регулируемый уровень: 5.000000000000000E+0001  
Текущий уровень (до откачки):  
5.06369426751592E+0001  
Разница между уровнями: 6.36942675159233E-0001  
Разница между уровнями: положительная низкая  
Скорость откачки: низкая  
Откачиваемое количество: 5.000000000000000E+0002  
Текущий уровень (после откачки):  
4.90445859872611E+0001

ПОСТУПЛЕНИЕ И ОТКАЧКА ЖИДКОСТИ

Поступившее количество жидкости:  
2.000000000000000E+0002  
Регулируемый уровень: 5.000000000000000E+0001

Текущий уровень (до откачки):  
4.96815286624204E+0001  
Разница между уровнями: -3.18471337579624E-0001  
Разница между уровнями: отрицательная низкая  
Скорость откачки: нулевая  
Откачиваемое количество: 0.000000000000000E+0000  
Текущий уровень (после откачки):  
4.96815286624204E+0001

-----

**Выводы.** Выше были рассмотрены область применения нечеткой логики, шаги процесса нечеткого управления (фаззификация, разработка нечетких правил и дефаззификация). Показан пример разработки нечеткого регулятора уровня жидкости в баке. Таким образом, доказано, что для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления оптимальными являются нечеткие методы управления.

### **Библиографический список**

1. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Нечёткая\\_логика](http://ru.wikipedia.org/wiki/Нечёткая_логика)
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование D в среде Mat-  
Lab и flzzyTECH. – СПб.: Петербург, 2005. – 736 с.: ил.
3. Прикладные нечеткие системы: пер. с япон. / К. Асаи,  
Д. Ватада, С. Иваи [и др.]; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. –  
М.: Мир, 1993.

## **ПРОГРАММА РАЗЛОЖЕНИЯ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ И ПСЕВДОБУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ В РЯД**

**Студент гр. КЗИ-08 А.С. Поленов**

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор *С.Ф. Тюрин*  
Пермский государственный технический университет

Булева функция – это такая функция, переменные которой могут быть равны либо «0», либо «1», а значение функции может быть также равно либо «0», либо «1».

Псевдобулева функция – это такая функция, переменные которой могут быть равны либо «0», либо «1», а значение функции может быть равно любому рациональному числу.

Любая булева функция (далее БФ) и псевдобулева функция (далее ПБФ), могут быть представлены рядом, аналогичным ряду Фурье для периодических сигналов [1–3]. Причём для получения такого ряда достаточно знать количество переменных, участвующих в функции, и значения, которые принимает функция на каждом наборе переменных. Если значение на каких-то наборах переменных неизвестно или не востребовано, то эти значения могут быть произвольно доопределены до «0» или «1» для БФ, либо до любого рационального числа для ПБФ. Здесь важно отметить, что такой ряд конечен и его длина зависит от количества переменных функций.

Процесс получения такого ряда достаточно трудоёмок, он требует составления матрицы Уолша, затем её преобразования в матрицу Адамара, затем из этой матрицы получают коэффициенты Уолша и затем уже переходят непосредственно к формированию ряда. Имеет смысл автоматизировать этот процесс, написав компьютерную программу, выполняющую все эти действия автоматически.

Поиски такого программного продукта в Интернете не увенчались успехом. А мощные компьютерные математические системы, такие как Mathcad, Matematica, MatLab, не оснащены подобным инструментом. Данный факт побудил к написанию оригинального программного продукта.

Задача сводится к тому, чтобы максимально освободить пользователя от вычислений. Всё, что требуется, это выбрать тип функции (БФ или ПБФ), количество переменных и прописать значения, которые принимает функция на каждом наборе.

Программа, написанная мной, предусматривает работу с БФ и ПБФ на 2 и 3 переменные. В интерфейсе программы имеются переключатель вида функции и количества переменных, 8 полей ввода для значений функции, кнопка, запускающая вычислительный алгоритм на выполнение. В интерфейсе есть также краткая инструкция по использованию данной программы.

В код программы уже встроены готовые матрицы Адамара для 2 и 3 переменных. Ведь вид такой матрицы зависит только от количества переменных. Для всех БФ и ПБФ с одинаковым

числом переменных она будет выглядеть одинаково. Несмотря на то, что такой подход лишает программу универсальности (она не может самостоятельно вычислить эти матрицы для заданного числа переменных), это в разы повышает быстродействие и делает программу значительно проще. Программа выполнена на языке DHTML, что позволяет без проблем разместить её на каком-нибудь веб-сайте и пользоваться ею в режиме онлайн, то есть без установки на компьютер.

Алгоритм вычисления в программе представляет собой несколько функций, работающих в цепном порядке (каждая предыдущая функция запускает следующую функцию). Рассмотрим основные этапы выполнения программы после нажатия запускающей кнопки:

1) определяются тип функции и количество переменных, выбранных пользователем, запуск следующего этапа;

2) выполняется корректность заполнения полей пользователем. Значения БФ должны быть равны «0» или «1». Значения ПБФ должны быть равны рациональному числу. Если что-то заполнено неверно, программа сообщит о неверном заполнении и укажет, в каких полях ошибки. Все пустые поля будут автоматически доопределены до «0». Все дробные числа будут автоматически округлены до целого в меньшую сторону (это ограничение сделано преднамеренно и может быть снято путём простой модификации программного кода). В случае, когда используются только 2 переменные, последние 4 поля будут проигнорированы. Если проверка прошла успешно, запускается следующий этап;

3) идёт вычисление коэффициентов Уолша. Алгоритмически эти вычисления полностью идентичны для БФ и ПБФ. Запуск следующего этапа;

4) формирование ряда. Нужно отметить, что большую часть времени на этом этапе занимает приведение ряда к удобочитаемому виду для вывода на экран, нежели математическое построение. Далее идёт непосредственно вывод полученного ряда на экран. Также выводится пример вычисления значения БФ или ПБФ с помощью ряда на нулевом (все переменные равны «0») и единичном (все переменные равны «1») наборах переменных.



Экранная форма программы представлена на рис. 1.

<p>Выберите функцию, которую вы хотите разложить в ряд Фурье: булева функция (БФ) или псевдобулева функция (ПБФ), а также количество переменных в вашей функции (2 или 3).</p>	<p> <input type="radio"/> БФ (2 переменные)  <input type="radio"/> БФ (3 переменные)  <input type="radio"/> ПБФ (2 переменные)  <input checked="" type="radio"/> ПБФ (3 переменные)         </p>
<p>Укажите значения, которые принимает функция на каждом наборе переменных. Учтите, что здесь переменные перечислены в порядке ZYX (то есть Z - старшая переменная, X - младшая переменная). Для БФ значение может быть либо «0», либо «1». Для ПБФ значения могут быть выражены целым числом (все дробные числа будут автоматически округлены в меньшую сторону). Все пустые поля будут автоматически доопределены до «0». При использовании двух переменных последние четыре поля будут проигнорированы. В случае ошибочного заполнения программа вам укажет на неверно заполненное поле. Имейте в виду, что нумерация полей начинается с нуля.</p>	<p> <math>f(000) = 24</math>  <math>f(001) = 17</math>  <math>f(010) = 1</math>  <math>f(011) = 0</math>  <math>f(100) = 2</math>  <math>f(101) = 5</math>  <math>f(110) = 4</math>  <math>f(111) = 2</math> </p>
<p>Нажмите кнопку, чтобы разложить функцию в ряд Фурье. При этом текущая страница будет перезагружена.</p>	<p><input type="button" value="Поехали!"/></p>

Рис. 1. Экранная форма для ввода значений БФ, ПБФ

**Ваша функция:**

$$(55/8)^x(-1)^0 + (7/8)^x(-1)^2 + (41/8)^x(-1)^7 + (29/8)^x(-1)^2 + (1/8)^x(-1)^{25} (39/8)^x(-1)^{25} (9/8)^x(-1)^{25} (11/8)^x(-1)^{27} 2^x$$

**Значение функции на нулевом наборе:**

$$(55/8)^x(-1)^0 + (7/8)^x(-1)^0 + (41/8)^x(-1)^0 + (29/8)^x(-1)^0 + (1/8)^x(-1)^{0+0} (39/8)^x(-1)^{0+0} (9/8)^x(-1)^{0+0} (11/8)^x(-1)^{0+0+0} = 24$$

**Значение функции на единичном наборе:**

$$(55/8)^x(-1)^0 + (7/8)^x(-1)^1 + (41/8)^x(-1)^1 + (29/8)^x(-1)^1 + (1/8)^x(-1)^{1+1} (39/8)^x(-1)^{1+1} (9/8)^x(-1)^{1+1} (11/8)^x(-1)^{1+1+1} = 2$$

Рис. 2. Полученный ряд

Результаты расчетов представлены на рис. 2.

**Библиографический список**

1. Тюрин С. Ф. Дискретная математика и математическая логика. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 52 с.
2. Аляев Ю.А., Тюрин С.Ф. Дискретная математика и математическая логика. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 357 с.
3. Тюрин С.Ф. Аляев Ю.А. Дискретная математика: практическая дискретная математика и математическая логика. – М.: Финансы и статистика, 2010. – 394 с.

## **ЭВОЛЮЦИЯ И СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ НА КАФЕДРЕ ИТАС ПГТУ**

**Студентка гр. АСУ-06м М.В. Ведерникова**

Научный руководитель – канд. пед. наук, доцент *Т.К. Щемелева*  
Пермский государственный технический университет

В морских и речных портах, в специальных учебных заведениях ежегодно осуществляется подготовка более 1000 машинистов кранов по стандартному учебному плану: теоретическое обучение, а затем и производственное обучение непосредственно на кране. Такая система приводит к тому, что длительность производственного обучения, то есть приобретение навыков управления, довольно большая, потому что за рычаги управления будущий крановщик садится впервые.

На начальном этапе обучения будущий машинист крана работает с резкими пусками-остановками механизмов, что из-за больших инерционных нагрузок приводит к частым поломкам. Кроме того, кран длительное время выведен из нормальной эксплуатации и используется только для обучения крановщиков, что приводит к неэффективному использованию грузоподъемной машины.

Быстро достигнуть высокого уровня подготовки при отсутствии тренажёра крановщиков достаточно трудно. Разработкой подобных тренажёров занимается Пермский государственный технический университет (ПГТУ).

ПГТУ занимается разработкой электронных тренажеров порталных кранов с 1969 г. Инициаторами разработки стали главный инженер Пермского грузового порта Геннадий Иванович Изюмов, который выделил средства на создание первого в мире электронного тренажера для подготовки крановщиков порталных кранов, и доценты кафедры ВТАУ Пермского политехнического института (ППИ) М.С. Тер-Мхитаров и И.Д. Колодный.

Группа разработчиков (О.Б. Низамутдинов, В.С. Галкин и И.Д. Колодный) за короткий срок сумели разработать и ввести в эксплуатацию первый тренажер.

Объектом имитации стал порталный кран «Ганц-5/6-30». Рабочее место обучаемого включало кресло-пульт, максимально приближенный к реальному посадочному месту машиниста,

и панель индикации качества выполнения перегрузочного упражнения и допущенных нарушений ПТЭ и ТБ (рис. 1).



Рис. 1. Первое поколение тренажера портальных кранов

На экране ЭЛТ перед оператором формировалось изображение, соответствующее картине, реально наблюдаемой крановщиком при работе на кране. Задача обучаемого заключалась в том, чтобы совместить две светящиеся фигуры на дисплее – груз и точку адресации груза. Хотя разработка тренажеров проводилась на базе современной в те годы вычислительной техники, добиться реалистичности изображения на ЭЛТ-экране не удавалось. Тем не менее тренажер успешно эксплуатировался в Пермском порту до 1989 г.

В ПГТУ (ранее ППИ) стали поступать многочисленные заявки на их изготовление от многих речных и морских портов. Проявили большой интерес к нашим тренажерам Министерство морского флота СССР и Министерство речного флота РСФСР. Тренажеры имели огромную популярность в морских портах СССР.

Реализация идей тренажерной подготовки крановщиков выявила значительный экономический и дидактический эффект от их использования. Благодаря их внедрению значительно повышалась безопасность обучения, снижались аварийность и сроки подготовки операторов.

С 1980 г. начались работы по созданию тренажеров второго поколения, оригинальность которых подтверждена многими авторскими свидетельствами [1]. Тренажеры второго поколения [2] имели значительно расширенные возможности за счет адаптации учебных программ к текущему уровню профессиональной подготовки каждого оператора. Адаптация осуществлялась за счет выбора:

- традиционного или автоматического инструктажа;
- предъявление оператору в ходе тренировки оптимального или наилучшего алгоритма из выполненных им упражнений.

При этом повышалось качество обучения и уменьшалась продолжительность обучения навыкам управления на реальном оборудовании.

Тренажеры имели несколько режимов работы, в том числе режим обучения по произвольной программе, по контролируемой программе и режим квалифицированных испытаний.

Наши тренажеры с успехом экспонировались в г. Ленинграде на международном форуме фирм, производящих технику для морских портов, на международных выставках в ФРГ и Финляндии. Разработчики тренажеров награждены медалями Московской ВДНХ.

В последующих моделях (1980–1992) аналоговая модель объекта управления в тренажерах была заменена на цифровую, что снизило трудоемкость их изготовления и повысило надежность.

В период с 1969 по 1990 г. тема создания электронных тренажеров многократно обсуждалась на всесоюзных научно-технических конференциях, были написаны десятки научных работ и защищено около десяти диссертаций. Научные труды разработчиков опубликованы в таких журналах, как «Автоматика и техника», «Автоматизированные системы и средства управления» «Hebazeuge und Fördemittel» и др.

В 90-е гг. в связи со сложной экономической ситуацией в стране разработка новых поколений тренажера была приостановлена. С 2005 г. кафедра ИТАС продолжила работу над созданием тренажеров [3].

С развитием компьютерной техники после смены трех поколений, отличающихся элементной базой (аналоговые, цифровые, микропроцессорные), кафедра перешла к разработке компьютерных тренажеров. Объектом имитации стал широко распространенный в нашей стране порталный кран «Альбатрос».

К тому времени появились более совершенные технологии, средства проектирования и моделирования тренажеров.

В 2009–2010 гг. была создана компьютерная версия тренажера, основанная на использовании современных технологий 3D-моделирования.

Применение трехмерного моделирования позволило добиться:

- более привычного для глаз способа отображения информации;
- большей реалистичности и наглядности изображения;
- комфортных условий тренировок с игровыми формами обучения (рис. 2).

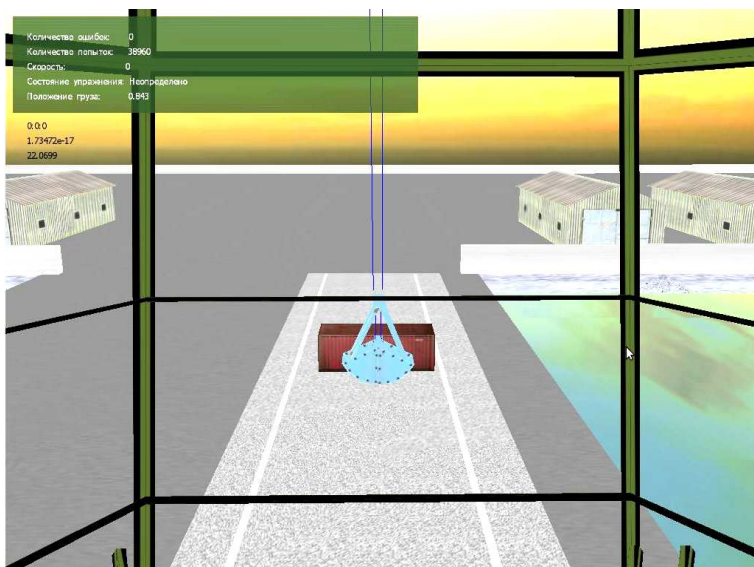


Рис. 2. Вид из кабины

Новая версия может использовать любое устройство визуализации, будь то дисплей, проектор или шлем виртуальной реальности. Тренажер может имитировать погодные условия и различные типы подвеса, такие как грейфер или контейнер.

Благодаря внедрению современных технологий удалось достичь следующих результатов:

- тренажер превратился в многоцелевую систему, которая производит обучение, контроль и симуляцию работы крановщика;
- обучение производится в обстановке, наиболее приближенной к реальности;
- игровая форма обучения способствует освоению работы на кране быстрее и легче.

За счет этих преимуществ эффективность обучения на тренажере многократно увеличилась.

В настоящее время работы над созданием тренажеров продолжаются.

В будущем планируется создавать профессиональные тренажеры по самым различным направлениям. Дополнительная информация размещена на сайте кафедры ИТАС.

### **Библиографический список**

1. А.с. 911590, МКлЗ G 09 D 9/04. Устройство для обучения крановщика / В.А. Жилин, Л.И. Кибрик, И.Д. Колодный, М.С. Тер-Мхитаров, Т.К. Щемелева. – 2889901/ 18–24; Заяв.27.02.80; Опубл. 07.03.82. – Бюл. № 12. – 8 с.

2. Щемелева Т.К. Система подготовки крановщиков с применением тренажеров: 30 лет спустя // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. № 3. – Пермь, 2009. – С. 106–109.

3. Файзрахманов Р.А. Старосельцев В.Б. Разработка компьютерного тренажера для подготовки крановщиков // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: матер. Всерос. науч.-практ. интернет-конф., 20 октября–10 ноября 2006. – Пермь, 2006. – С. 115–124.

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ СИМУЛЯТОР РАСПРЕДЕЛЕННОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

**Студенты гр. АСУ-06м Р.Р. Бакунов, А.С. Мехоношин**

Научные руководители:

д-р экон. наук, профессор *Р.А. Файзрахманов*,  
старший преподаватель *А.В. Кычкин*

Пермский государственный технический университет

Переход к использованию робототехнического комплекса (РТК) в качестве основного, а не только вспомогательного технологического оборудования для выполнения таких операций, как перевозка грузов, сборочные работы, сварка, окраска и т.д., является необходимым условием для формирования интегрированных, гибко перенастраиваемых технологических циклов, производственных участков и предприятий в целом. В настоящее время решение задач управления, идентификации и диагностики РТК при комплексной автоматизации технологических процессов является необходимым условием обеспечения надежности, безопасности и конкурентоспособности производств.

Автоматизация производства способствует сокращению трудоемкости, увеличению производительности труда и внедрению новых технологических методов, реализации новых научно-технических и технологических решений. В настоящее время на предприятиях осуществляется множество технологических процессов, в которых продолжительность основных операций сопоставима с длительностью погрузочно-разгрузочных и вспомогательных работ. Также современное состояние некоторых производств, например химико-технологических, характеризуется частой сменой номенклатуры и объемов выпускаемой продукции, варьированием сырья. Готовая продукция и сырье для производств могут быть ядовитыми, токсичными, легко- и труднораспадающимися, способными образовывать с воздухом взрывоопасную смесь, горючими и негорючими, обладать мутагенными и канцерогенными свойствами, коррозионной активностью.

Для ликвидации тяжелого физического труда на вспомогательных операциях, особенно во вредных и особо опасных условиях,

необходимо использовать автоматизированные системы. Одним из основных элементов внутривозводской перевозки грузов являются межучастковые и межцеховые перемещения по схемам. В настоящее время эти перемещения в большинстве случаев осуществляются различными транспортными средствами, управлением которых занято большое количество рабочих. Супервизорное управление не является оптимальным вследствие того, что человек может допускать ошибки и имеет более низкую скорость реакции, чем автоматизированная система. Анализ современного состояния производства показывает, что оптимальным вариантом является применение транспортных систем на основе мобильных роботов. В последнее время для внутри- и межцеховых перемещений грузов все большее применение находят напольные безрельсовые роботы, выполняющие без водителя транспортные и погрузочно-разгрузочные операции по заданной программе в автоматическом цикле. С их помощью осуществляют транспортировку грузов по горизонтали в цехах, загружают и разгружают сборочные линии; роботы встраиваются в производственные процессы, служат в качестве мобильного рабочего места, загружают и разгружают склады и соединяют их с другими участками производства. Поэтому решение задачи автоматизированной маршрутизации может существенно повысить производительность и рентабельность производства, устранить человека из зоны влияния возможных неблагоприятных производственных факторов.

Помимо управляющей части важной частью РТК является система самодиагностики. Основная цель диагностики состоит в определении технического состояния различных, в первую очередь сложных устройств и систем. Процесс диагностики представляет собой процесс управления с многократной подачей на устройство управляющих воздействий (тестовых входных наборов). Так происходит почти во всех более или менее сложных случаях, причем управляющие воздействия могут быть более сложными, а их состав и последовательность подачи могут зависеть от ответов объекта диагностики на эти воздействия. Иными словами, процесс проверки технического состояния некоторого объекта есть процесс управления этим объектом, выполняемый по определенной программе.



В настоящее время формирование программ управления, идентификации и диагностики может быть осуществлено на основе имеющихся программных систем. Существующие программные системы для АСУТП, SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition) имеют ряд недостатков:

1. Затрачивается значительное время на их внедрение;
2. Как правило, отсутствует техническая поддержка, так как большая часть систем разработана за рубежом;
3. Ограничен набор поддерживаемых контроллеров.

С другой стороны, развитие современных визуальных систем и средств разработки программного обеспечения позволяет создавать программы для управления и диагностики различного промышленного оборудования в короткий срок и с наименьшими затратами.

Следует отметить, что сегодня в России большинство производств располагает оборудованием 10–20-летней давности, которое при соответствующей модернизации систем управления и разработке комплекса программ, удовлетворяющих современным требованиям, позволит более эффективно решать задачи автоматизации технологических процессов.

Данная работа посвящена разработке программно-аппаратного симулятора, а также практически значимых методов моделирования траекторно-недетерминированной среды и маршрутизации мобильных роботов в системах автоматизации транспортных операций производств. В данном симуляторе аппаратная составляющая включает в себя мобильные роботизированные платформы, оснащенные датчиками, и управляющий терминал, собирающий данные с роботов и обладающий возможностью подключения к персональному компьютеру.

В качестве роботизированной платформы используется имеющийся в свободной продаже набор разработчика IE-ROBO-51, включающий в себя гусеничную платформу, управляемую микроконтроллером AT89C51AC2 фирмы Atmel, ЖКИ 16×2, а также набор датчиков. Робот успешно позволяет демонстрировать симуляцию упрощенных алгоритмов управления, идентификации и диагностики, которые могут быть использованы для построения РКТ на реальном производстве. Для связи с управляющим терминалом используется интерфейс RS-232 по беспроводному каналу.

В качестве управляющего терминала был использован отладочный комплекс AVR-Easy, предназначенный для макетирования и отладки различных устройств на базе микроконтроллеров AVR. В основу этой платы положен принцип максимальной универсальности и удобства программирования и отладки программ на базе микроконтроллеров AVR. В качестве головного микроконтроллера отладочной платы используется ATmega16 фирмы Atmel.

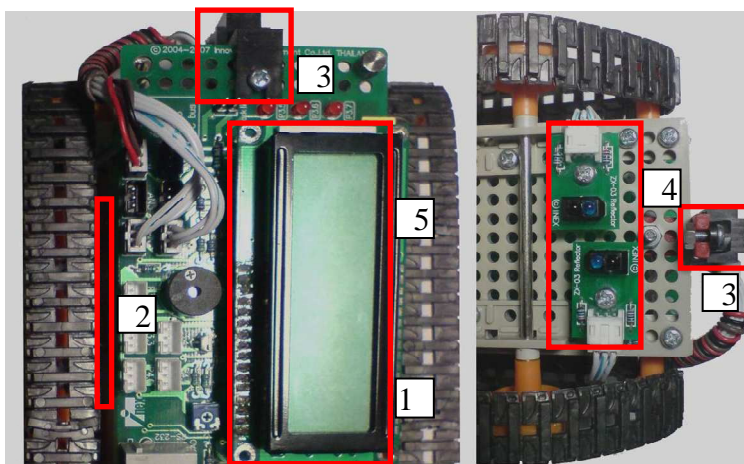


Рис. 1. Основные узлы робота

На рис. 1 показаны основные узлы одного из роботов (вид сверху и снизу):

- 1) микроконтроллер AT89C51AC2 (расположен под ЖКИ);
- 2) модуль для инфракрасный связи;
- 3) инфракрасный дальномер GP2D120;
- 4) инфракрасные датчики отражения;
- 5) ЖКИ 16×2.

Для демонстрации алгоритма работы робота был разработан тестовый полигон с трассой, на которой продемонстрирована упрощенная модель предприятия, куда возможно внедрить подобную систему автоматизации.

На рис. 2 изображена трасса, по которой перемещаются роботы:

- 1) «контрольная точка»;
- 2) ответвление для технического обслуживания;

3) датчик, вмонтированный в трассу.

Трасса представляет из себя овал, проходящий через 4 помещения, изображающие различные части производственного процесса. В каждом из помещений робот выполняет некоторые действия (на данный момент это проявляется лишь в остановке и выводе на ЖКИ последовательности своих действий).

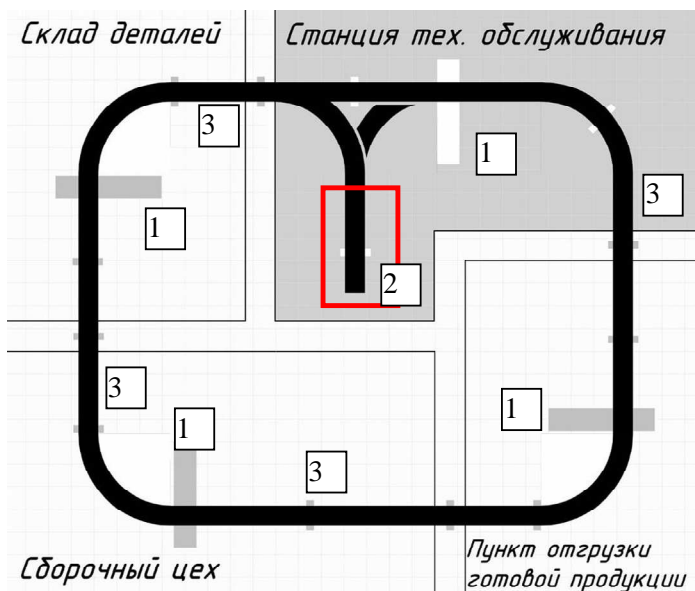


Рис. 2. Трасса, по которой перемещаются роботы

В каждом помещении имеется «контрольная точка», в которой осуществляется связь робота с управляющим терминалом. Также по пути следования робота размещено множество датчиков, с помощью которых управляющий терминал определяет положение роботов на трассе в каждый момент времени. На «станции технического обслуживания» имеется ответвление от трассы, куда робот может заехать, если возникает «аварийная ситуация» или же наступит время планового обслуживания.

В рамках данной работы был разработан тестовый полигон, а также составлены алгоритмы и написаны программы для роботов и управляющего терминала. В данный момент идет разработка алгоритмов для демонстрации более сложной модели многоэтажного

производства. В скором времени планируется заменить модули инфракрасной связи на беспроводные модули с радиоканалом и установить над полигоном камеру для отслеживания положения роботов.

### **Библиографический список**

1. Технический паспорт: Robotics experiment with AT89C51 microcontroller based-on Robo-51 robot kit. Innovative Experiment Co. Ltd.
2. Техническая документация на микроконтроллер AT89C51. – URL: [www.atmel.com](http://www.atmel.com).
3. Техническая документация на микроконтроллер ATMega16. – URL: [www.atmel.com](http://www.atmel.com).
4. Автоматизированное проектирование САУ / под ред. В.В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1990.
5. Бурдаков Ф., Мирошник И.В. Система управления движением колесных роботов. – СПб.: Наука, 2001. – 228 с.

## **СИСТЕМА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МАШИННОГО ПЕРЕВОДА ТЕКСТОВ ПО КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛИНГВИСТИКЕ**

**Студенты гр. ТПЛ-06 ПГУ А.М. Левченко, Е.Н. Мехонина**  
Научный руководитель – старший преподаватель *Д.С. Курушин*  
Пермский государственный технический университет

Проблема оценки качества перевода является одной из наиболее сложных и потому наиболее активно разрабатываемых в переводоведении. Работа над методикой оценки качества перевода представляется актуальной по нескольким причинам. Во-первых, достаточно часто результаты оценки являются ненадежными и субъективными, поскольку зависят, прежде всего, от индивидуальных предпочтений эксперта. Следовательно, необходима разработка методики оценки на основе стандартизированных релевантных критериев. А во-вторых, формализация объективных критериев анализа позволит внести вклад в развитие автоматических методов оценки перевода.

Цель нашего исследования – предложить объективный и надежный метод количественной оценки качества машинного перевода текстов по компьютерной лингвистике.

При разработке методики мы опирались на систему количественной оценки, которая за рубежом носит название Translation Quality Metric. Она была создана Ассоциацией по стандартизации процессов локализации, ее суть – в измерении количества допущенных ошибок с учетом их типа. Результатом подсчета является объективная и воспроизводимая переменная – индекс качества перевода (Translation Quality Index или TQI).

С учетом типа текстов, перевод которых подвергается оценке в нашей работе, минимальный набор компонентов системы включает в себя:

- 1) одного обученного эксперта;
- 2) классификатор ошибок с указанием веса ошибки каждого типа;
- 3) методику проверки с подробными инструкциями для проверяющего;
- 4) форму для занесения результатов, автоматически рассчитывающую TQI.

Остановимся подробнее на классификаторе ошибок и форме для занесения результатов. За основу мы взяли классификатор Бюро перевода «Окей» [1–3] и адаптировали к нашему типу текстов.

Составление классификатора обусловлено следующими основными особенностями текстов на оригинальном языке:

- 1) обилие терминологии, в частности, не имеющей общепризнанных аналогов в русском языке;
- 2) академичность;
- 3) множество формул, таблиц, схем.

Ошибки делятся на 6 основных групп по области, к которой они относятся: смысл, терминология, правила языка, стиль, региональные стандарты, оформление. Все типы ошибок делятся на серьезные и незначительные; однотипные ошибки в случае повторения считаются каждый раз. В области «Терминология» к значительным ошибкам можно отнести «использование термина, не соответствующего предоставленным глоссариям, словарям, нормативным документам или сложившейся в данной области практике применения» (There are many *data mining* tasks – Есть

много задач *сбора данных*). Одной из характеристик незначительного признака в области «Терминология» является «игнорирование контекста» (many irrelevant attributes, which call for data reduction – много несоответствующих признаков, которые призывают к *сжатию* данных). Таким же образом эксперт находит все ошибки и классифицирует их.

Форма результатов представляет собой отдельное приложение. Оно имеет простой и удобный интерфейс: экран делится на две части, в левую загружается оригинал, в правую – текст оцениваемого перевода. Как только эксперт обнаруживает ошибку, он выделяет единицу, в которой она допущена, и из предложенного списка выбирает тип ошибки; результатом такой работы может быть сохранение индексированного текста. Далее приложение подсчитывает суммарное количество баллов ошибок – error points (далее EP) – и нормализует значение TQI. Функция нормализации определена по методу наименьших квадратов (МНК) (см. <http://www.sinisha.ru/math/mnk.html>) по приведенному ниже алгоритму.

### **1. Приведение значения к линейной зависимости.**

На данном этапе формируется линейная зависимость накопленного количества EP от количества проверенных слов (для каждых 25 слов, например, (0;0), (25;38), (50;69) и т.д.). В нашем случае теоретическая модель представляет собой линейную зависимость от одного параметра:

$$y = a + b \cdot x. \quad (1)$$

Исходя из (1), для наблюдаемых значений рассчитывается коэффициент пропорциональности.

### **2. Определение наклона прямой.**

Угол наклона представляет собой  $\arctg(b)$ . Мы исходим из предположения, что прямые хороших переводов имеют угол наклона меньше  $45^\circ$ . Необходимо отметить, что критерий нормы качества перевода мы будем уточнять в наших дальнейших исследованиях на основе данных ряда психолингвистических экспериментов. С помощью предложенной методики мы оценили два перевода введения к книге «Web Data mining» Адама Чендлера (310 слов), выполненных в общедоступных онлайн-системах машинного перевода Promt (текст «Text 1», см. <http://www.translate.ru/>) и Babel

Fish (текст «Text 2», см. <http://babelfish.yahoo.com/>). Значения угла наклона прямых для данных переводов равны соответственно  $54^\circ$  и  $66^\circ$  (значения округлены).

### 3. Определение функции нормализации.

Сначала нужно привести нормализованное значение к диапазону  $(0...1)$ , сигма-функция имеет вид

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^x}. \quad (2)$$

Тогда при  $x = 0$   $\sigma(x) = 0,5$ , при  $x = 10$   $\sigma(x) \rightarrow 0$ , при  $x = -10$   $\sigma(x) \rightarrow 1$ .

Но нам необходимо, чтобы при  $x = 90$   $\sigma(x) \rightarrow 0$ , при  $x = 0$   $\sigma(x) \rightarrow 1$  и  $\sigma(x) = 0,5$  при  $x = 45$ .

Таким образом, мы имеем:  $0 \rightarrow -10$ ,  $45 \rightarrow 0$ ,  $90 \rightarrow 10$ .

По методу НК находим:

$$y = a + b \cdot x = -10 + 0,2)x = -5 + x/9. \quad (3)$$

С учетом (3) функция нормализации имеет вид (4).

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{\frac{x}{9} - 5}}. \quad (4)$$

Использованные в настоящей работе переводы текстов проанализированы по приведенной выше методике, в результате получены следующие результаты (рисунок):

Как видно из рисунка, текст «Text 1» характеризуется меньшим наклоном графика и, следовательно, согласно предложенной методике переведен качественнее текста «Text 2». Данный результат согласуется с мнением эксперта-переводчика.

Предлагаемая методика обладает многочисленными достоинствами, к недостаткам же можно отнести трудоемкость и медленность. Однако с увеличением опыта работы количество затрачиваемого на проверку времени значительно сокращается, а результаты разметки могут стать основой для заполнения базы данных автоматической методики оценки и тренировки систем машинного перевода [4].

Практическое применение методики мы видим как в оценке новых систем машинного перевода, так и в оценке работы переводчиков (например, в преподавательской деятельности –

оценивание учащихся, составление рейтинга, отслеживание прогресса и т.д.) [5].

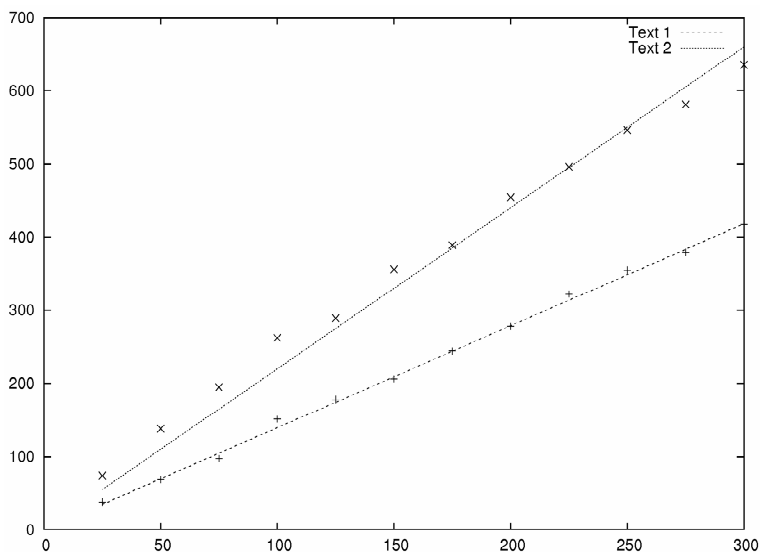


Рис. Характеристики текстов

Таким образом, представленный метод оценки качества перевода обладает объективностью, высокой надежностью, способностью оценить перевод в прагматическом аспекте, удобством представления и сохранения результатов и использования их в автоматических системах оценки перевода.

### Библиографический список

1. Бюро переводов «Окей». – URL: <http://www.allcorrect.ru/> (дата обращения: 01.11.2010).
2. Каширина, Н.А. Критерии оценки качества письменных переводов как методическая проблема // Лингводидактические основы преподавания языков и культур: сб. статей / под ред. И.А. Цатуровой. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – С. 48–56.
3. Papineni, Kishore; Roukos, Salim; Ward, Todd and Zhu, Wei-Jing. BLEU: a Method for Automatic Evaluation of Machine Translation. – URL: <http://www.ldc.upenn.edu/acl/P/P02/P02-1040.pdf> (дата обращения: 01.11.2010).



4. Schiaffino, Riccardo; Zearo, Franco. Translation Quality Measurement in Practice. – URL: [http://www.translationquality.com/files/TQM\\_in\\_Practice.pdf](http://www.translationquality.com/files/TQM_in_Practice.pdf) (дата обращения: 01.11.2010).

5. Schütz Jörg. Deploying the SAE J2450 Translation Quality Metric in MT Projects. – URL: <http://www.mt-archive.info/MTS-1999-Schutz.pdf> (дата обращения: 01.11.2010).

## **ПОСТРОЕНИЕ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ СЛИТНОГО ТЕКСТА**

**Студентка гр. ТПЛ-07 ПГУ М.М. Игнатьева**

Научный руководитель – старший преподаватель *Д.С. Курушин*  
Пермский государственный технический университет

Входной информацией в системах электронного документооборота зачастую выступают рукописные документы (документация паспортно-визовой службы, анкетирование, прием заявлений от населения). Имеется большое количество унаследованных рукописных документов, содержащих важную информацию, уникальную в своем роде, которую необходимо оцифровать и сохранить для будущих поколений.

Несмотря на то, что задачей распознавания рукописных символов исследователи начали заниматься с 70-х гг. XX в. (Ковалевский В.А., Рыбак В.И., Фукунага К. и др.), до сих пор имеется множество теоретических и практических проблем, связанных с обработкой рукописных символов, отличающихся большим многообразием написания.

Решение проблемы распознавания символов поможет выполнить ряд практических задач, требующих ввода рукописных документов с бумажных носителей в информационные системы. Разработки в этой области существенно упростят анализ письменных ответов школьников на едином государственном экзамене, помогут скорее получить результаты анкетирования населения (всевозможные опросы, перепись населения и т.д.), ускорится процесс обработки различных деклараций, заявлений и платежных документов.

В почтовых отделениях письма на начальном этапе сортируют согласно индексу. Для этого от отправителя требуется корректное

заполнение данной графы, символы должны соответствовать шаблону. Далее адрес обрабатывается вручную. По самым скромным оценкам количество почтовых отправлений измеряется десятками миллиардов в год. Поэтому в настоящее время почтовые ведомства многих развитых стран активно финансируют исследования в области распознавания образов.

Наличие качественной системы по распознаванию рукописных текстов существенно облегчит выполнение большого количества операций, сократит время обработки данных и поможет прийти к современному способу хранения информации в электронном виде.

Распознавание рукописного ввода – это способность компьютера получать и интерпретировать интеллектуальный рукописный ввод. Распознавание текста может производиться «оффлайновым» методом из уже написанного на бумаге текста или «онлайновым» методом – считыванием движений кончика ручки, к примеру, по поверхности специального компьютерного экрана.

Интерфейс «онлайнного» распознавания обычно состоит из:

- 1) ручки или стилуса, которым пользователь осуществляет ввод;
- 2) поверхности, чувствительной к касаниям, которая может быть интегрирована в дисплей;
- 3) программного обеспечения, которое интерпретирует движения стилуса по пишущей поверхности, переводя получившиеся линии в цифровой текст.

«Оффлайновый» метод распознавания успешно применяется в сферах деятельности, где необходимо обрабатывать большое количество рукописных документов, к примеру, в страховых компаниях. Качество распознавания можно повысить, используя структурированные документы (формы). Кроме того, можно улучшить качество, уменьшив диапазон возможных вводимых символов. При автоматизации рукописного текста возникают проблемы, связанные со специфичностью и индивидуальностью почерка. Различная ширина букв, расположение на строке, наклон букв, связующие элементы, границы слов и строк – все это затрудняет процесс распознавания и сличения с шаблонами. Не одно десятилетие программисты пытаются найти оптимальное решение. Как научить систему выполнять то, что зачастую вызывает сложности у человека? Распознать символы в лекции, порой в собственном конспекте не представляется

возможным, а ведь мы в отличие от компьютера способны использовать контекстное содержание.

Известны три подхода к распознаванию символов – шаблонный, структурный и признаковый.

1. Шаблонные системы. Такие системы преобразуют изображение отдельного символа в растровое, сравнивают его со всеми шаблонами, имеющимися в базе, и выбирают шаблон с наименьшим количеством точек, отличных от входного изображения. Шаблонные системы довольно устойчивы к дефектам изображения и имеют высокую скорость обработки входных данных, но надежно распознают только те шрифты, шаблоны которых им известны. И если распознаваемый шрифт хотя немного отличается от эталонного, шаблонные системы могут делать ошибки даже при обработке качественных изображений.

2. Структурные системы. В таких системах объект описывается как граф, узлами которого являются элементы входного объекта, а дугами – пространственные отношения между ними. Системы, реализующие подобный подход, обычно работают с векторными изображениями. Структурными элементами являются составляющие символы линии. Так, для «р» – это отрезок и дуга. К недостаткам структурных систем следует отнести их высокую чувствительность к дефектам изображения, нарушающим составляющие элементы. Для этих систем, в отличие от шаблонных и признаковых, до сих пор не созданы эффективные автоматизированные процедуры обучения.

3. Признаковые системы. В таких системах усредненное изображение каждого символа представляется как объект в  $n$ -мерном пространстве признаков. Здесь выбирается алфавит признаков, значения которых вычисляются при распознавании входного изображения. Полученный  $n$ -мерный вектор сравнивается с эталонным, и изображение относится к наиболее подходящему из них. Признаковые системы не отвечают признаку целостности. Необходимое, но недостаточное условие целостности описания класса объектов состоит в том, что описанию должны удовлетворять все объекты данного класса и ни один из объектов других классов. Но поскольку при вычислении признаков теряется существенная часть информации, трудно гарантировать, что к данному классу удастся отнести только нужные объекты.

написание	элементы
Ааа	/x3; 0+1;
ббб	/+0+1; 0+L;
ббб	/+0x2; 0+0;
ггг	/x2; 2;
Ееѐ	L+ /x2; 0+L+ (1);
***	1x2+1; Lx2+ /x2;
ззз	L+ C; L+0; /+L;
ийй	L+1+ (1);
ккк	1+ 1;
ммм	/+L+1; /+ Lx2; Lx3;
Нее	/x3;
о	0;
с	C;
Ттт	/x2; /+2x2;
Ууу	L+0; 1+0;
Ффф	0+1; /+0x2;
х	1x2;
ч	L+1+ 0;
чзз	L+1; 2;
ш	Lx2+1;
ш	Lx2+1+ 0;
ъ	L+ 0;
ннн	1+ (0)+2;
б	1+ 0;
ъ	C+1; L+ 0;
еѐ	L+ 0+L; 0+1.

Рис. Соответствие символов сочетаниям штрихов

Согласно второму способу тривиальная модель системы распознавания рукописи выглядит следующим образом. Слитный рукописный текст представляет собой набор кривых линий, хаотично расположенных в некотором двухмерном пространстве. Это расположение подчиняется некоторым правилам.

Рукописный текст можно интерпретировать как след траектории пера при написании. Каждой букве русского текста можно сопоставить код – определенную последовательность штрихов. Например, для строчных и некоторых заглавных букв можно сопоставить следующие коды, представленные в таблице, показанной на рисунке.

Системе можно задать правила сочетаний штрихов, а также правила объединения букв в слово:

- вероятность после согласной буквы обнаружить гласную букву выше, чем снова согласную;
- вероятность после гласной буквы обнаружить согласную букву выше, чем снова гласную;
- после букв ж и ш нельзя обнаружить букву ы;
- ь,ъ,ы встречаются только после согласных букв, также их нельзя обнаружить в начале слова.

Безусловно, данная тема содержит множество нюансов, требующих детального рассмотрения. Распознавание рукописного текста – непростая задача. Дело в том, что в этой задаче на распознавание приходится лишь 30 %, а остальные 70 % лежат в области «понимания» компьютером смысла документа. Решить задачу распознавания слитного текста с высоким результатом можно будет, только когда компьютер сможет «понимать» смысл предлагаемого текста. Фактически нужно создать модель представления о мире и заложить ее в компьютер. И тогда можно будет выпускать качественно новые системы распознавания рукописных слитных текстов.

Разработки в данной области очень важны. По сравнению с обычным набором распознавание текста позволяет значительно сэкономить время. Функции распознавания рукописного ввода позволят автоматизировать процесс заполнения электронных документов, в том числе ведение протоколов, написание писем, рабочих записей и заметок, выполнять наложение резолюций и назначение заданий. Поддержка рукописного ввода позволит автоматизировать и повысить эффективность ввода в различные базы данных заполняемых вручную форм, анкет и опросных листов.

# MULTIAXIAL NAVIGATION SYSTEM FOR IMPROVING WEB ACCESSIBILITY<sup>1</sup>

**R.R. Fayzrakhmanov<sup>2</sup> (Perm STU, Vienna TU),  
B. Krüpl (Vienna TU), W. Holzinger (Vienna TU)**

In this paper we introduce our paradigm for web page navigation to improve Web accessibility used in the ABBA framework. The research is mainly oriented to blind users. Current approaches do not factor in the visual representation of web pages or the problem of navigability, which make web pages inaccessible to the blind community. Our approach overcomes these limitations by unifying different semantic views of a document into one multi-axial model and making them accessible to the user in an intuitive interface.

## **INTRODUCTION**

Access to information from Web documents has become essential for everyday life across the world. Visually impaired users (VI) in particular can benefit greatly from a centralized access to this wealth of information to reduce their dependence on third parties and thus to improve their quality of life. Web documents are authored with the sighted user in mind, focusing increasingly on visual presentations, with new technologies such as AJAX intensifying this trend. For the VI user, obtaining information from and understanding Web documents becomes increasingly hard. Typical screen readers are not designed with the Web in mind and offer only limited functionality in generating a reading order from documents. Especially the interactive nature of the Web 2.0 is not very well addressed in those products. Recent research has seen the advent of more intelligent solutions that are tailored to the very problems inherent to the Web document design paradigm. Also, initiatives to standardize the Web document authoring process to incorporate special attributes to allow a more consistent Web experience across all population, including VI users, are a step in the right direction [2]. Their problem is a very small adoption rate by Web document authors.

---

<sup>1</sup> The ABBA project (Advanced Barrier-free Browser Accessibility) is sponsored by the Austrian Forschungsförderungsgesellschaft FFG under grant 819563.

<sup>2</sup> Supported by the Erasmus Mundus External Cooperation Window Programme of the European Union.

In this article we discuss a novel perspective on how to model user navigation paths within a Web document in a consistent and transferable way. One of the major obstacles for VI users when acquiring information from an unseen Web document is the very steep learning curve for understanding the basic structure of the document. Instead of trying to support the VI user to understand the visual structure of a document, we believe it is much more beneficial to them to understand the navigations the document allows. Therefore, it is the goal of our research to identify common in-document navigation routines that are recurring across many unrelated documents and to model these in a coherent and transferable way. Given such model, the VI user can then deduce a functionality of an unknown Web page from previous experiences with Web pages exposing similar navigation routines without having to understand the visual structure of that page.

We propose a multi-axial Web navigation methodology that is based on Multi-axial navigation model and enables the VI user to access information on a page with higher speed and better orientation. Different semantic views of a Web document are united into the Unified ontological model through the use of Web Information Extraction (WIE) based enrichers, creating a richer description of the document. Also, our methods are based on the visual document representation obtained from the Web browser rendition of a page.

### **ABBA MODEL**

Despite accessibility efforts (e.g. WCAG [5]), many Web documents are still authored with only the sighted user in mind. Information is embedded in a thicket of arbitrary layout and graphical design that stands in the way between the VI user and the required information. We try to clear the field by exposing common navigation routines any user of a page irrelevant of their sight can understand. We achieve this by defining navigation on a multi-layered model of the cognitive understanding behind visual layout and design concepts of a particular document. We are now ready to more formally define such a model.

The *ABBA Model* is built using an ontology and has two main sub models: *Unified Ontological Model* (UOM) [3] and *Multi-Axial Navigation Model* (MANM) [4]. The UOM represents the information of the geometrical and logical structure of the web page, while MANM provides the means to navigate this model, allowing the opportunity for fast and convenient access to the logical elements of the document.

## Unified ontological model

To make a web page understandable for the computer we automatically generate its ontological model taking into account its visual representation. We call this model the *Unified Ontological Model* (UOM) [3]. It consists of two main layers: *geometric* and *logical*. The *geometric layer* of the UOM is a conglomerate of several specialized ontologies providing us with a rich set of concepts for the description of the *visual objects* on a web page with their properties (coordinates, size, font formatting) and the spatial relationships between them. A *Visual Object* (VO) is a visible element of a web page layout, which is drawn on the screen. A VO can correspond to a CSS box or set of CSS boxes. Between every two VOs, relationships such as alignment (left-aligned, right-aligned, top-aligned, bottom-aligned, etc.), direction (north-of, east-of, south-of, west-of), and topological relationships (inside, disjoint, overlap, meet) can be defined. The main element of this model is the navigable element, which can be read to the user. On different levels of abstraction, it can be words, sentences, images, form elements, etc. In some sense it is a primitive element to which particular textual interpretation or descriptions, which can be read to the user, can be set accordingly.

The *logical layer* of the UOM is a set of general and domain ontologies applied to the web page during web page analysis. It contains two types of objects: *structural* and *NLP*<sup>3</sup> *objects*. A *structural object* is a logical element that is part of the logical structure of the web page. Concepts such as table, article, navigation menu, etc. can be logical objects. An *NLP object* is a logical element that contributes to the process of understanding the web page and provides semantics for the content that can be processed by the computer. It also helps to provide additional information to the user about the content, such as named entities (organizations, locations, persons, etc.) and events. The logical layer is generated while invoking a set of predefined *enrichers*. *Enrichers* are programs that analyze the layout of the web page, taking into account information provided on the geometric layer of the UOM, and build a corresponding set of logical elements. In the ABBA framework, the enricher is a java-based module.

---

<sup>3</sup> Abbreviation for Natural Language Processing.



## Multi-axial navigation model

The *Multi-Axial Navigation Model* (MANM) [4] provides the means to navigate the logical structure of the web page. The MANM is built on top of the UOM and contains a set of generated axes applied to the visual representation of a web page, which makes it possible to navigate the content and its logical elements. Thus, the axis is a serialization of the navigable elements on the web page. Axis  $A$  with the size  $n$  can be represented as a tuple  $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ . The *axis type* is a set of axes that share the same semantics or have the same algorithm for their generation. The *axis type* represents the abstract rule for reading certain concepts of the underlying model.

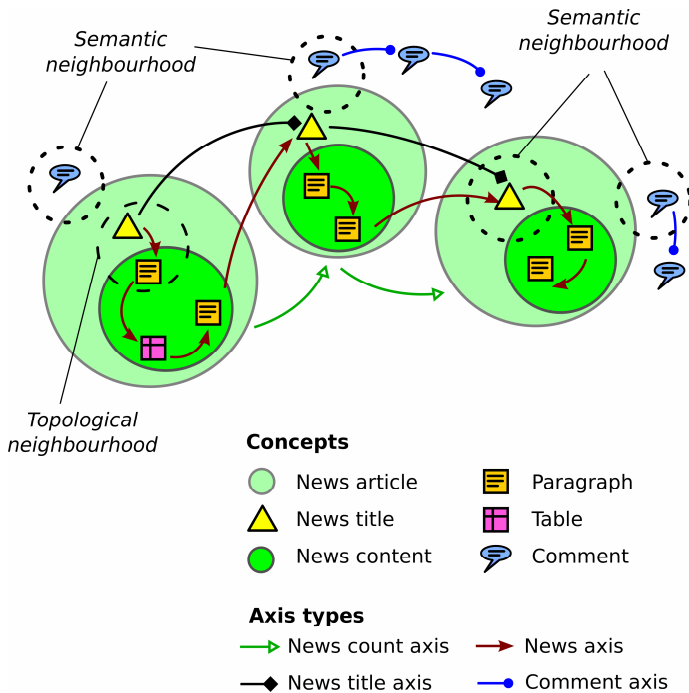


Fig. 1. Example of the Multi-axial navigation model for a news web site

In Fig. 1 we give an abstract example of navigational axes within a hypothetical news site. The depicted model represents main concepts (logical objects) of the news domain such as «news article», «news title», «content», «comment» etc. These concepts can have a complex

structure on their own and include further sub-concepts, e.g. news articles that can contain sections, paragraphs, tables, figures etc. Depicted concepts with defined spatial and semantic neighbourhoods are part of the UOM. In the figure, the model also represents four types of axes: «news title axis», «news axis», «comment axis», and «news count axis». Axes types applied for the model can have one instance (e.g. «news title axis») or several (e.g. «comment axis»), or not at all.

There are two types of relations which define the neighbourhood in the Multi-axial model: spatial and semantic. Spatial relation is based on relative distance between objects and defined in the UOM. The example can be the spatial relation between news title and a paragraph which is the first paragraph of the news article (Fig. 1). Semantic relations can be set either for object in the underlying model (UOM) or for axis types in the MANM. For the semantic relation defined between the axis types the semantically nearest object of the particular axis will be the object of another axis which is topologically nearer than other ones of the same axis. For instance, relation between «news axis» and «comment axis», and relation between «news title» and «news content» as an example of semantic relations.

### NAVIGATION

According to IF theory we introduce respective concepts for our MANM. We see two different types of locomotions for our model: *in-axis navigation* and *inter-axis navigation* [1]. Basic in-axis navigation has following operations: (i) *next* (go to next object of the current axis), (ii) *previous* (go to previous object of the current axis), (iii) *first* (go to first object of the current axis), and (iv) *last* (go to last object of the current axis). Basic operations for inter-axis navigation are (v) *set new axis* (go to the first object of the new axis) and (vi) *change axis* (go to topologically nearest object of new axis to the current one). All navigational paths are recorded and the user always has the opportunity to go through objects in reverse order.

After the model evaluation and user behaviour analysis we found additional useful operations: (vii) go to previous object, where last axes change occurred, and change the axis to the previous one; (viii) go to previous object, which is in the neighbourhood of previous axis, and change the axis to the previous one. The first command is used to rollback locomotions which were done at the selected axis to the initial state. The second command is used to always have mapping be-

tween an object of current axis and an object of the previous axis. For instance, if the user went through news titles at the news title axis and then changed the axis to the news axis, then he will be able to go to the title of current news article and go through news titles again to find other relevant news.

The inter-axis navigation – possibility to change axis at the particular object, in its spatial or semantic neighbourhood – is one of the benefits of our navigation model. The reason for changing axis can be because of finding an item with high information scent and the user wants to change the axis from more general to a more specific one. Changing from more specific axis to less specific one can be done because of very low information scent. The changes axes in either spatial or semantic neighbourhood tells us about user intention to find necessary information serialized in different way, in different axis.

For the orientation inside the axis we use such characteristics as quantity of passed objects and residuary objects. These characteristics can be conveniently represented as a percentage ratio. Main operations on the model for the inter-axial orientation are: (i) get list of all axes in the model, (ii) get list of all axes intersecting the object, (iii) get list of axes in the spatial neighbourhood, (iv) get list of axes in the semantical neighbourhood.

Inter-axis navigation is an important new concept. It allows the user to explore the structure of a document quickly, with different contexts and goals, and without losing orientation. At any point, if he goes astray, backtracking to a more familiar location (landmark) is possible, because the axis grid is a stable network. This principle of «no surprises» encourages users to explore freely and without risk of getting lost, while the coarse grain nature of some of the axes also make it a less time-consuming and therefore less painful experience.

The navigation model presented so far is implemented as a prototype. Axes, where possible, are created automatically, but the systems also allows for manual annotation and axis generation. Web pages are rendered by a web browser, and the resulting visualized document is converted to an RDF representation, landmark recognition and axis generation works on this graph model. The resulting model and navigation on the MANM is then exposed via either a proprietary user interface and speech output from a command line application or via a Web interface using a conventional screen reader.

## CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this paper, we presented the ABBA model with navigation methodology for improving web page accessibility. Two main sub models, the Unified Ontological Model (UOM) and the Multi-Axial Navigation Model (MANM), were introduced. The UOM is used primarily to describe visual objects appearing on the web page in a machine-readable way, while the MANM is mainly used to provide the basis for stable and convenient navigation through a web page. The navigation methodology described in this paper shows the main principles and means for navigation through the MANM.

The main area for improvement is navigation. Using additional domain ontologies, machine learning, more efficient methods for logical object detection can make navigation models more stable and more helpful to the user both to build an adequate mental model for a web page and to have quick access to the required information on the web page.

## References

1. Web 2.0 Vision for the Blind / R. Baumgartner, R.R. Fayzrakhmanov, R. Gattringer, M.C. Goebel, W. Holzinger, D. Klein, B. Kruepl // Proc. of the Web Science Conference 2010. – 8 p.
2. Accessible Rich Internet Applications (WAI-ARIA) 1.0 [Electronic resource] / J. Craig, M. Cooper. – Electronic data. – W3C, cop. 2010. – Mode access: <http://www.w3.org/TR/wai-aria/>.
3. A unified ontology-based web page model for improving accessibility / R.R. Fayzrakhmanov, M.C. Goebel, W. Holzinger, B. Kruepel, R. Baumgartner // Proc. of the 19th international conference on World Wide Web 2010. – P. 1087–1088.
4. Modelling Web Navigation with the User in Mind / R.R. Fayzrakhmanov, M.C. Goebel, W. Holzinger, B. Kruepel, A. Mager // Proc. of the 7th International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility 2010. – 4 p.
5. WCAG 2.0: a web accessibility standard for the evolving web / L.G. Reid, A. Snow-Weaver // Proc. of the 2008 International Cross-disciplinary Conference on Web Accessibility 2008. – P. 109–115.

**Секция 2**

**ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ  
В ЭНЕРГЕТИКЕ. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

## ИЗОМОРФИЗМ СКОЛЬЗЯЩЕГО КОНТАКТА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

**Аспирант В.С. Деева**

Научный руководитель – канд. техн. наук,  
доцент *М.С. Слободян*

Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет

Несмотря на обилие работ [1, 2], касающихся контактного разрушения поверхности разных тел, в основном металлов, имеется мало публикаций, в которых бы рассматривались динамика и кинетика изменений этого, часто недоступного для наблюдения в реальном времени, контактного пространства, формированию которого сопутствуют сложные вероятностные, точнее, стохастические, процессы. Поэтому подобные исследования представляют значительный интерес не только в плане оценки живучести тела скольжения, что весьма актуально не только для электромашиностроения и электроэнергетики, но и для общей теории физики контактного взаимодействия конденсированных тел.

Основываясь на общем принципе применения в анализе и исследовании различных физических процессов и технических систем плотно упакованной дискретной структуры конденсированных сред и тел, в представленном ниже для обсуждения подходе принята за основу создания аналитической математической модели фрактального (дисперсного) процесса разрушения тонкого поверхностного слоя тела, находящегося в скользящем взаимодействии с неограниченной поверхностью другого конденсированного тела, гидродинамическая модель потока продуктов фрактального распада в ограниченном по объёму контактном пространстве конденсированных тел скольжения.

Аналитический обзор исследований показывает, что продукты контактного распада поверхностного слоя конденсированного тела скольжения, например щётки электрической машины (электродвигателя, гидро-, турбогенератора и т.п.), переносятся и оседают на вращающемся коллекторе не в виде сплошной плёнки, а в виде отдельных фрагментов. В ряде исследований отмечен также перенос фракций распада материала электрической щётки

с поверхности коллектора на контактную поверхность других, смежных щёток.

Экспериментальная оценка стохастического явления фрактального разрушения контактного слоя тела скольжения, проведённого целым рядом исследователей, говорит о том, что миграция фракций распада зависит от параметров силового и термического воздействия, например, электрического тока, протекающего через контактное пространство конденсированных тел скольжения. Скорость распада тонкого поверхностного контактного слоя конденсированной среды электрической щётки составляет по некоторым средним оценкам многих исследователей величину порядка  $\sim 0,03$  мГ/ч.

Анализируя пространственное совмещение поверхностей элементов скользящей контактной пары конденсированных тел, можно видеть, что область скользящего контакта поверхностей конденсированных сред состоит из двух неравновесных стохастических зон, важных для последующего математического описания. Для установившегося стационарного режима скольжения сред автором создана аналитическая математическая модель динамики движения в тонком слое контактного пространства тел потока фракций разрушения поверхностных слоёв конденсированных сред тел скольжения.

В основу модели разрушения слоя поверхности конденсированного тела скольжения положен [3] случайный процесс распада тонкого слоя на некоторые случайные малого размера фракции. Тогда вероятность распада или эмиссии фракций слоя материала контактной пары тел скольжения в контактное пространство за предельно малый промежуток времени  $dt$  представится соотношением  $\lambda dt$ , где  $\lambda$  – в общем случае некоторая в среднем постоянная величина, в данном случае – интенсивность эмиссии в контактный слой фракций распада. Для упрощения анализа принято, что эта величина характеризует общий поток фракций распада как интенсивность эквивалентного процесса эмиссии частей материала контактной пары тел в виде дискретных фракций, образующихся при скользящем контактом взаимодействии неравномерностей поверхностей конденсированных сред. В общем случае переход на группу активных

источников эмиссии частиц распада интенсивностями  $\lambda_i$  в контактный слой, с учетом свойства случайного потока событий, результат легко обобщается:

$$\lambda = \sum_{i=0}^k \lambda_i .$$

На основе применения методик фундаментальной теории подобия проведён сравнительный анализ адекватности размерностей и основных полученных для модели закономерностей физического процесса разрушения и «течения» потока фракций разрушения в тонком контактном слое ограниченного по объёму контактного пространства, как по трубопроводу. Верификация полученной аналитической модели движения стационарного потока фракций распада конденсированных сред скольжения в тонком слое контактного пространства подтвердила удовлетворительную, с точки зрения совпадения с экспериментальными данными, полученными другими исследователями, работоспособность.

### **Библиографический список**

1. Хольм Р. Электрические контакты. – М.: ИЛ, 1961. – 464 с.
2. Лившиц П.С. Скользящий контакт электрических машин. – М.: Энергия, 1974. – 272 с.
3. Скороход А.В., Слободянюк Н.П. Предельные теоремы для случайных блужданий. – Киев: Наукова думка, 1970. – 304 с.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СИНХРОННЫХ МАШИН**

**Канд. техн. наук, доцент А.И. Судаков, доцент Е.А. Чабанов**  
Пермский государственный технический университет

Графоаналитический метод (ГАМ) обработки осциллограмм по переходным процессам, существующий в настоящее время в ГОСТе 10169-77 на методы испытаний синхронных машин (СМ), является основным и широко распространённым на элек-



тромашиностроительных предприятиях Российской Федерации. В частности, ГАМ обработки осциллограмм, полученным при испытаниях СМ в опыте ВКЗ, позволяет определить постоянные времени (ПВ) и параметры по выражению (34–39) полного тока якоря СМ в [1, 2]. Работа с осциллограммами представляет довольно сложный набор подготовительных операций по обмеру осциллограмм, графическим построениям огибающих тока якоря по всем фазам машины, а также графическим разделением составляющих тока якоря с использованием специальной полулогарифмической бумаги для определения постоянных времени, составляющих тока якоря. Причём окончательная оценка электромагнитных параметров СМ, требующая серьёзного навыка и профессиональной подготовки для безошибочного проведения графических построений и графоаналитических расчётов, не обеспечивает должной достоверности обработки осциллограмм. Несмотря на низкую точность и достоверность, чрезмерную трудоёмкость ГАМ обработки осциллограмм, он до настоящего времени широко используется в практике испытаний СМ, а проблема автоматизации обработки с исключением осциллограмм остаётся актуальной. Многочисленные публикации по автоматизации обработки переходных процессов без осциллограмм не решают проблему полностью, так как не учитывают влияния на точность и достоверность обработки случайных факторов, влияющих на переходный процесс. Поэтому в большинстве случаев они нетехнологичны, сложны и недостаточно достоверны. В основном авторы предлагаемых методов ограничивают решение проблемы формализацией обильных графических зависимостей в ГАМ с помощью их аппроксимации различными численными методами и вычислительными средствами. Это делается лишь с целью снижения трудоёмкости обработки, не меняя радикально при этом реализацию идеологии ГАМ, следовательно, не обеспечивается достоверность обработки из-за сохраняющейся существенной как систематической погрешности обработки, так и погрешности от случайных факторов.

Теоретический анализ и многолетние исследования результатов обработки осциллографируемых переходных процессов в опытах ВКЗ синхронных турбомашин позволили выйти

на вероятностно-статистические методы (ВСМ) их идентификации. Решающим шагом к этому переходу послужил анализ погрешностей разброса получаемых результатов обработки различными методами одного и того же процесса. Естественно, что в ходе указанного анализа, переход на вероятностные методы вскрыл новые проблемы при обработке исходных данных в том же опыте ВКЗ и других опытах. Лишь последовательное и поэтапное преодоление возникающих проблем позволило весьма эффективно поднять точность и достоверность результатов обработки с хорошими шансами на перспективу развития вероятностных методов.

Нелегко было избрать из состава имеющихся величин переходного процесса в опыте ВКЗ ту, которая могла быть принята за базовый случайный признак и которая адекватно реагировала бы на появление различного рода случайных факторов в процессе записи и обработки переходных процессов. Подробнее об этом изложено в [3, 4] и других ранних работах. За базовый случайный признак принята  $kj$ -я постоянная времени (ПВ) для соответствующих составляющих при идентификации любых дискретно заданных экспоненциальных процессов СМ:

$$\tau_{kj} = (t_j - t_k) / (\ln |i_{ok} / i_{oj}|), \quad (1)$$

где  $k$  и  $j$  – диапазоны изменения переменных,  $k = \overline{1, K}$ ,  $j = \overline{k+1, K}$ ;  $i_{ok}$ ,  $i_{oj}$  – значения соответствующих дискретно заданных составляющих на шаге времени  $t_k = k \cdot \Delta t + \Delta T$  и  $t_j = (k+1)\Delta t + \Delta T$  огибающих тока якоря;  $\Delta t$  – шаг квантования переходного процесса по времени;  $\Delta T$  – начальный фазовый сдвиг во времени первой вершины тока ВКЗ.

Отметим, что ни одна из известных величин переходного процесса в опыте ВКЗ не конкурирует с выбранным случайным признаком на базе  $kj$ -й ПВ. Преимущество случайного признака, заключающееся в простоте создания его избыточности при работе с генеральной совокупностью и различными выборками из генеральной совокупности, исследовано, апробировано и получило дальнейшее развитие в последних работах [3, 4]. А выведенный коэффициент, жестко связывающий элементы  $i_{ok}$  и  $i_{oj}$  в заданных границах для переходной составляющей, является основопола-

гающим для извлечения из любого объема совокупности случайного признака эффективных точечных выборок по условию

$$i_{oj} = 0,33i_{ok}. \quad (2)$$

Алгоритм обработки переходных процессов по данным опыта ВКЗ синхронных турбомашин на базе ВСМ включает следующие операции:

- 1) аппаратное преобразование переходного процесса к амплитудным значениям вершин тока якоря;
- 2) выделение вершин огибающих периодической составляющей тока якоря и аperiodической составляющей;
- 3) разделение периодического тока  $i_o(t)$ , представленного в виде дискретных значений с шагом 0,01 с между огибающими тока якоря, на переходную и сверхпереходную составляющую и их идентификацию;
- 4) идентификация аperiodической составляющей тока якоря;
- 5) оценка среднеквадратичной погрешности приближения  $\bar{\Delta}$ ;
- 6) определение индуктивных сопротивлений;
- 7) определение ударного тока ВКЗ.

Представленный алгоритм обработки опыта ВКЗ лежит в основе инженерного метода экспресс-обработки как с величиной установившегося тока якоря по окончании переходного процесса в опыте (как в ГАМ), так и с процедурой оптимизации установившегося значения тока якоря (возможной лишь в ВСМ).

При испытаниях на заводах-изготовителях и в условиях эксплуатации СМ влияние различных случайных факторов на переходные процессы вызывает отклонение от экспоненциальности всего переходного процесса со всеми его составляющими. Поэтому с 3-го шага алгоритма в процесс идентификации параметров переходного процесса введён вероятностно-статистический аппарат.

Прежде всего, осуществляется обоснование границ для использования дискретных значений переходной составляющей на активном участке переходного процесса. Затем по генеральной совокупности случайного признака, выборке из него и четырём эффективным точечным выборкам проводятся исследования, связанные со степенью отклонения переходного процесса от экспоненциальности в обоснованных для переходной составляющей границах.

Далее по унифицированным формулам на базе четырёх эффективных точечных выборок рассчитывают параметры переходной составляющей, а затем параметры остальных составляющих по представленным выражениям в (3).

Объём используемой первичной информации в (3) с учётом (2) и установившегося значения тока якоря остаётся постоянным и составляет 32 вершины. Для идентификации переходной составляющей используются четыре элемента: два  $i'_{o,n1}$ ,  $i'_{o,n2}$  в нижней границе  $t'_{n1}$ ,  $t'_{n2}$  и два, получаемые по условию (2), в верхней границе  $t'_{B1}$ ,  $t'_{B2}$ . По четырём эффективным точечным выборкам  $(\tau'_{kj})_{эф}$  получена обобщённая, унифицированная формула в (3) для оценки эффективной усреднённой ПВ  $\tilde{\tau}'_{эф}$  и усреднённого удвоенного начального значения  $2\tilde{I}'_0$  переходной составляющей. По одной эффективной точечной выборке идентифицированы сверхпереходная и аperiodическая составляющие – формулы приведены в (3).

$$\left. \begin{aligned}
 \tilde{\tau}'_{эф} &= \frac{1}{4} \left[ \sum_{j=1}^2 \frac{|(t_{Bj} - t_{n1})'|}{\ln \left| \frac{i'_{o,n1}}{i'_{o,Bj}} \right|} + \sum_{j=1}^2 \frac{|(t_{Bj} - t_{n2})'|}{\ln \left| \frac{i'_{o,n2}}{i'_{o,Bj}} \right|} \right] \text{ при } j = \overline{1, 2}, \\
 2\tilde{I}'_0 &= \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (i'_{o,nj})_L e^{\tau'_{эфj}} \text{ при } j = \overline{1, 4} \text{ и } L = \\
 &= ((ENTIER(j-1)/2) + 1), \\
 \tau''_{эф} &= \frac{t''_{в.эф} - t''_{н.эф}}{\ln |i''_{o,n} / i''_{o,B}|}, \quad 2I''_0 = i''_{o,n} \cdot e^{\frac{t''_н}{\tau''_{эф}}}, \quad i''_{o,n} = i_{o,n} - 2\tilde{I}'_0 \cdot e^{-\frac{t_n}{\tau'_{эф}}} - \\
 &- 2I_{\infty}, \quad i''_{o,B} = 0,33i''_{o,n}, \\
 \tau_{a.эф} &= \frac{t_{a.в.эф} - t_{a.н.эф}}{\ln |i_{a,n} / i_{a,B}|}, \quad I_{a0} = i_{a,n} e^{t_{a.н.эф} / \tau_{a.эф}}, \\
 i_{a,n} &= i_{o,n} / 2 - |I_{M2}|, \quad i_{a,B} = 0,33i_{a,n} \\
 &\text{при } |I_{M2}| < |i_n| \text{ или } i_{a,n} = i_{o,n} / 2 - |i_n| \text{ при } |i_n| < |I_{M2}|,
 \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

в которых  $L = ((ENTIER(j-1)/2) + 1)$  – оператор округления до целого по  $j$ ; формирование массива первичной информации по

опытным данным для обработки осуществляется со второй полу- волны ( $I_{м2}$ ) от начала переходного процесса; нижняя граница для сверхпереходной и аperiodической составляющих принимается со второго шага; из-за существующего различия длительности существования сверхпереходной и аperiodической составляющих в опыте ВКЗ верхняя граница  $t_v$ , полученная для этих составляющих по условию (2), будет отличаться.

Корректная идентификация параметров переходной составляющей является важнейшей для обеспечения достоверных результатов обработки переходного процесса, так как с использованием ГАМ обработки опыта ВКЗ разделение тока якоря на составляющие начинается с операции вычитания установившегося тока якоря из дискретных значений огибающих тока якоря. Если установившееся значение тока якоря будет определено с отклонениями, то дальнейший процесс обработки оказывается некорректным из-за существенной систематической погрешности установившегося значения тока якоря. Исследования показали, что операция осциллографирования переходных процессов в опытах ВКЗ осуществляется именно с отклонениями, поэтому точное определение установившегося значения тока якоря до сих пор остаётся проблемой.

В рассматриваемом алгоритме используется способ оптимизации установившегося значения тока якоря с процедурой минимизации среднеквадратичной погрешности приближения модели переходной составляющей к её опытным данным впервые предложенный и апробированный в ранних работах. Для его реализации установившееся значение тока якоря, получаемое в опыте ВКЗ, принимается в (4) за первоначальное. Затем по формуле (3) с использованием эффективных точечных выборок по граничным значениям переходной составляющей с учётом условия (2) рассчитывают параметры переходной составляющей, по которым моделируется переходная составляющая в (4) и определяется среднеквадратичная погрешность приближения полученной модели к опытным данным исследуемого участка переходной составляющей:

$$\bar{\Delta}'_K = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \{i'_p(t_k) - i'_s(t_k)\}^2}, \quad (4)$$

где  $i'_p(t_k) = 2\tilde{I}'_0 \cdot e^{-\frac{t_k}{\tau'_{эф}}}$  – расчётное значение (модель) переходной составляющей по идентифицированным параметрам (3) и условию (2);  $i'_s(t_k) = i_o(t_k) - 2I_{пм\infty}$  – экспериментальное значение переходной составляющей;  $K$  – элементы (дискретно заданные токи между огибающими) на участке переходной составляющей между нижней и верхней границами.

Вновь изменяют установившееся значение тока якоря в (4), рассчитывают по (3) с учётом условия (2) параметры переходной составляющей, по которым снова моделируют переходную составляющую в (4) и оценивают погрешность приближения модели к опытным данным. Процесс продолжается до окончательного определения установившегося значения тока якоря, соответствующего минимуму среднеквадратичной погрешности приближения, а расчётные параметры переходной составляющей по (3), соответствующие установившемуся значению тока якоря, полученного при минимальной погрешности приближения, принимаются окончательными. При реализации описанной процедуры важно помнить о том, что с изменением установившегося значения тока якоря в (4) изменяется верхняя граница эффективных точечных выборок на исследуемом участке переходной составляющей, а следовательно, будет изменяться и погрешность приближения. Только после завершения процедуры оптимизации установившегося значения формируются исходные массивы данных для идентификации параметров сверхпереходной и аперiodической составляющих.

Идентификация параметров сверхпереходной составляющей осуществляется также по эффективным точечным выборкам со второго шага от начала переходного процесса. Окончательные результаты обработки принимаются по оценке величины среднеквадратичной погрешности приближения. Эту погрешность определяют по отклонению на каждом шаге расчётной модели периодического тока якоря по результатам идентификации его переходной и сверхпереходной составляющих с учётом установившегося значения тока якоря к опытным данным по всему переходному процессу без первой вершины, т.е. для  $j = K - 1$ ,

$$\bar{\Delta}_{K-1} = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{j=2}^{K-1} \left\{ \dot{i}_{oj} - (2\tilde{I}'_0 \cdot e^{-\frac{t_j}{\tau'_{эф}}} + 2I''_0 \cdot e^{-\frac{t_j}{\tau''_{эф}}} + 2I_{пм\infty}) \right\}^2}. \quad (5)$$

К важнейшим возможностям ВСМ экспресс-обработки и проведению исследований переходных процессов СМ с целью повышения достоверности их идентификации относятся: учёт систематической погрешности (за счёт оптимизации установившегося значения тока якоря и модернизации унифицированных формул для идентификации переходной составляющей и сверхпереходной [2, 3]); учёт влияния случайных факторов на результаты обработки (за счёт разработки интерполяционной формулы назад для уточнения начального сдвига первой вершины и коррекции её величины, за счёт коррекции с оценками погрешностей временных сдвигов последующих вершин тока якоря в начале переходного процесса, коррекции начального значения апериодической составляющей тока якоря, введения оценки погрешности приближения с процедурами её минимизации, моделирования и других процедур).

Результаты обработки одной из фаз в опыте ВКЗ синхронной турбомашинны на 800 кВт, испытанной при напряжении статора  $0,75U_n$  (при  $U_n = 6000$  В) двумя методами (ВСМ экспресс-обработки и ГАМ), показали, что среднеквадратичная погрешность приближения  $\bar{\Delta}_{25}$  по 25 шагам смоделированного по (5) дискретного переходного процесса к опытным данным со второго шага (без первой вершины) при одном и том же установившемся значении (8,2 мм) составила 0,159 мм (ВСМ) и 0,621 мм (ГАМ)

Сравнительный анализ результатов подтверждает общепринятую модель переходного процесса для опыта ВКЗ, а меньшая погрешность приближения идентифицированного переходного процесса ВСМ экспресс-обработки к экспериментальным данным в опыте ВКЗ объясняется полным исключением графических операций и субъективных погрешностей в процессе обработки, присущих ГАМ.

Анализ показывает, что установившееся значение, используемое в ГАМ, вносит в результаты дальнейшей обработки систематическую погрешность, большую в 4,5 раза в сравнении с ВСМ экспресс-обработки.

Таким образом, систематическая погрешность обработки ГАМ составила 43,5 % (0,621 мм) от результирующей среднеквадратичной погрешности приближения с учетом значения тока

между огибающими процесса на первом шаге (1,0144 мм). Если предположить, что оставшаяся часть результирующей среднеквадратичной погрешности приближения приходится на случайные факторы, что составляет 56,5 %, которую ГАМ не в состоянии учесть совместно с систематической погрешностью в силу своей трудоёмкости и непригодности к оптимизационным и другим процедурам, то, естественно, возникают сомнения в достоверности результатов обработки ГАМ.

Исследования с учетом возможности ВСМ показали, что установленное значение тока якоря на осциллограмме занижено на 18–22 % (от оптимизированного 9,8 мм), коррекция сдвига значений тока между огибающими процесса на первом и третьем шагах составила 2,5 % и 4,5 %, таким образом, среднеквадратичная погрешность приближения была снижена до 0,0736 мм. Полученная ВСМ погрешность приближения модели к опытным данным, которая оказалась меньше в сравнении с ГАМ в 13,8 раз, свидетельствует о его высокой точности и возможностях дальнейшего развития.

### **Библиотический список**

1. Вольдек А.И. Электрические машины: учебник для студентов высш. техн. заведений. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.

2. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – 4-е изд., сокр. перераб. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1984. – 408 с.

3. Судаков А.И., Чабанов Е.А., Шулаков Н.В. Вероятностно-статистические методы исследования переходных процессов мощных синхронных машин // Электротехника. – 2010. – № 8. – С. 22–29.

4. Судаков А.И., Чабанов Е.А., Шулаков Н.В. Модернизация вероятностно-статистических методов исследования переходных процессов мощных синхронных машин // Электротехника. – 2010. – № 6. – С. 20–26.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВОЙ ЗАГОТОВКИ

**Аспирант М.В. Снигирева**

Научный руководитель – д-р техн. наук,  
профессор *Г.Л. Колмогоров*

Пермский государственный технический университет

В настоящее время актуальным является промышленное освоение принципиально новых источников энергии, к которым относится и термоядерная энергия. Для построения промышленных реакторов будущего реализуется проект ИТЕР (международный термоядерный экспериментальный реактор), в рамках которого ведутся научные исследования и организуется производство низкотемпературных сверхпроводящих (НТСП) материалов [1].

Особенностью сверхпроводников для ИТЕР является большая длина (до 30 км). Некоторые конструкции сверхпроводников представлены на рис. 1. В основе технологии производства лежит многопереходное волочение, которое должно обеспечивать их деформирование без обрыва. Особенно важно выполнение условия безобрывности на последних переходах при тонком волочении, когда стоимость заготовки многократно возрастает [2].

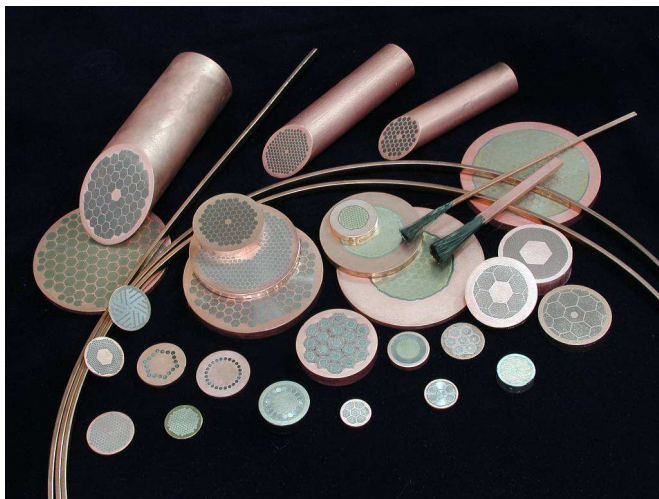


Рис. 1. Некоторые конструкции сверхпроводников

Работа направлена на решение фундаментальной проблемы создания основ производства композитных изделий для магнитной системы международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР, связанной с проведением комплексных теоретических исследований технологического цикла производства сверхпроводящих многоволоконных композитных материалов.

Процесс деформации протягиваемого металла в круглом волоочильном канале (рис. 2) состоит в следующем: к круглой заготовке, радиусом  $r_0$  приложена сила волочения, под воздействием которой заготовка протягивается через канал волокна с выходным радиусом  $r_1$ . Стенки канала давят на протягиваемую заготовку и обжимают ее по всей контактной поверхности в каждой ее точке. Вследствие движения металла в канале на контактной поверхности возникают силы трения, направленные по касательным к поверхности канала и действующие на металл в направлении, обратном его движению [3].

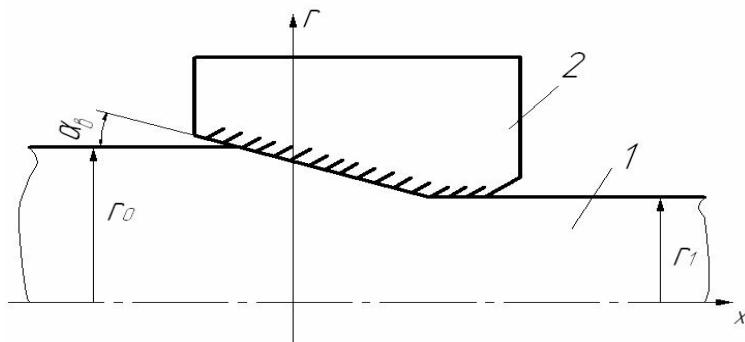


Рис. 2. Схема волочения: 1 – композиционная заготовка, 2 – матрица-волокна

Технология волочения, используемая при производстве сверхпроводниковых изделий, является наиболее опасной с точки зрения возможного нарушения сплошности сверхпроводниковых волокон.

Исследуем напряженно-деформированное состояние проволоки при ее движении сквозь матрицу-волокно. Рассчитаем напряжение в волокне.

Отметим принятые при решении задачи допущения:

- задача решается в квазистатической постановке;

- задача осесимметричная;
- между матрицей и проволокой возникает кулоновское трение с коэффициентом 0,05;
- материал моделировался с помощью билинейной модели с изотропным упрочнением, материал матрицы-волокни изотропно-упругий [4–5];
- деформации и напряжения, возникающие за счет нагрева проволоки и матрицы, при волочении не учитываются.

В результате решения задачи в пакете ANSYS определены радиальные и осевые напряжения проволоки и матрицы-волокни, возникающие в процессе волочения

На рис. 3 приведены напряжения вдоль оси симметрии в проволоке и матрице-волокни, возникающие в процессе волочения. Из расчетов следует, что в канале волокни по длине проволоки идет постепенное нарастание растягивающих напряжений. Локальное сжатие достигает максимального значения в зоне входа заготовки в инструмент, это обусловлено деформациями сдвига. Максимальные растягивающие напряжения – в зоне выхода из волокни, следовательно, в этом месте существует опасность обрыва сверхпроводящей заготовки.

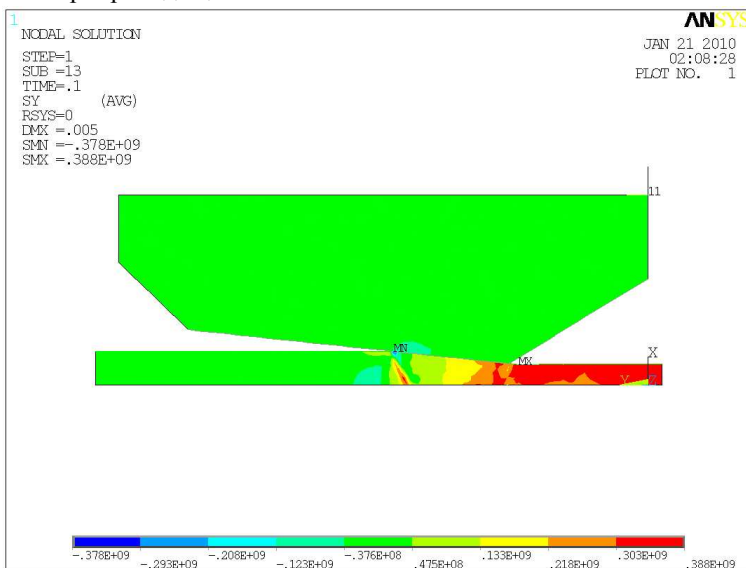


Рис. 3. Осевые напряжения при волочении

На рис. 4 приведены радиальные напряжения в проволоке и матрице-волоке, возникающие в процессе волочения.

Максимальное сжимающее напряжение в радиальном направлении находится в локальной зоне сжатия материала проволоки, то есть в зоне контакта материала инструмента и волокна. В зоне входа заготовки в матрицу существует вероятность повышенного износа инструмента.

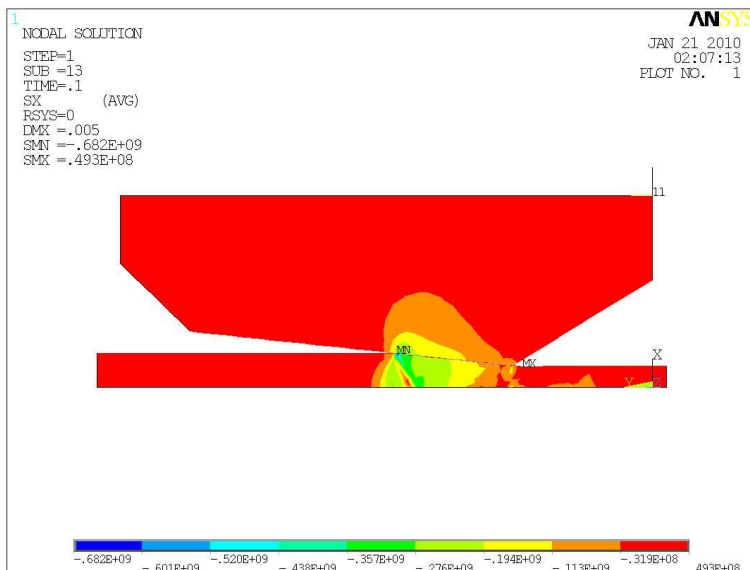


Рис. 4. Радиальные напряжения при волочении.

В результате решения задачи определены радиальные и осевые напряжения в проволоке и матрице-волоке, возникающие в процессе волочения. Анализ результатов конечно-элементного моделирования выявил наиболее напряженные зоны проволоки и волокна, позволил получить представление о поведении сверхпроводниковой заготовки в процессе волочения. Также можно сделать вывод, что необходима оптимизация процесса волочения с учетом критерия прочности из условия безобрывности при производстве сверхпроводниковых проводов.

### Библиографический список

1. Разработка сверхпроводников для магнитной системы ИТЭР в России / А.К. Шиков, А.Д. Никулин, А.Г. Силаев [и др.] // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2003. – № 1. – С. 36–43.
2. Колмогоров Г.Л., Чернова Т.В., Снигирева М.В. О предельных деформациях при производстве композиционных сверхпроводниковых изделий // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2010. – Т.16, № 2. – С. 191–196.
3. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. – М., 1972 – 176 с.
4. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / под общ. ред. Д.Г. Красковского. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.
5. Кристенсен Р. Введение в механику композитов: пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 334 с.

### ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Студентка гр. АТПП-05м Е.С. Мокроусова**

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент *А.В. Ромодин*  
Пермский государственный технический университет

Электроэнергия (ЭЭ) как продукт производства обладает одним принципиальным свойством – процесс потребления этого продукта не может быть отделен от процесса собственно производства, произведенный товар должен быть немедленно доставлен к потребителю и израсходован. В таких условиях и производитель, и потребитель ЭЭ заинтересованы в прогнозе электропотребления. Прогноз энергопотребления (ЭП) особенно важен в новых экономических условиях, в которых предполагается функционирование оптового рынка электроэнергии и мощности. На этом рынке будет оперировать множество экономических субъектов в условиях многообразия тарифных планов и схем [1, 2, 3]. Для производителей ЭЭ прогноз ЭП важен с точки зрения оптимизации операционных расходов, резервирования мощностей, удобства проведения профилактических

работ и обеспечения безопасности. Для потребителя такой прогноз необходим для осуществления минимизации своих издержек, связанных с простоем производства в случае нехватки необходимой мощности, либо с уплатой штрафов при превышении лимитов, либо с переплатой за заказанные, но не полностью израсходованные объемы ЭП.

Методам прогнозирования показателей электропотребления всегда уделялось большое внимание. Ряд теоретических идей, в основном базирующихся на линейных моделях, был выдвинут довольно давно. В этих работах [3, 4], как и во многих других, анализ опирается на разработанные в начале и середине прошлого столетия статистические методы:

- корреляционные, регрессионные и факторные;
- эконометрические и эвристические;
- временной и пространственной экстраполяции;
- моделирования процессов развития.

В последнее время значительный интерес проявляется к методам, основанным на нелинейных моделях. Большая часть таких методов принадлежит к разряду технологий искусственного интеллекта (ИИ) [1]. Это, в первую очередь, искусственные нейронные сети (ИНС) и новейшие средства оптимизации, к числу которых относятся, например, генетические алгоритмы, метод моделирования отжига и другие.

Для решения задачи оценки электропотребления необходим сбор статистической информации, обработка, последующее её накопление и хранение в течение всего срока эксплуатации объекта.

Так как математическая модель прогнозирования электропотребления создается для промышленных предприятий, то анализ методов прогнозирования будет касаться только тех методов, которые целесообразно применять в технических системах.

В общем случае требования, предъявляемые к прогнозным моделям, можно свести к следующему:

- а) рекурсивность – по мере поступления новых данных прогнозы должны соответствующим образом обновляться, но при этом не должно быть необходимости в использовании всей имеющейся предыстории для пересчета оценок каких-либо параметров модели;
- б) экономичность – минимальные ресурсы машинного времени и оперативной памяти ЭВМ;

в) робастность – модель может работать с частью временного ряда, для которой она не является оптимальной; тем не менее должны получаться разумные прогнозы.

Модель должна быть устойчива к ошибкам в исходных данных, а также к отсутствию части данных [5].

Эвристическое прогнозирование в историческом плане является наиболее ранним направлением прогнозирования, применяемым в повседневной жизни и технике. В широком смысле эвристическое прогнозирование заключается в интуитивном выборе из бесчисленного множества обстоятельств важнейших и решающих факторов. Основная процедура прогноза заключается в сравнении всех величин и вариантов, с помощью которого устраняется все маловажное и несущественное [4]. Несмотря на то, что эксперт, как правило, не осознает технологии эвристического прогнозирования, он дает в среднем неплохой прогноз. Эффективность методов эвристического прогнозирования повышается не за счет их внутренней структуры, а за счет внешнего оформления: подбора соответствующих по квалификации и количеству экспертов, а также совершенствования алгоритмов обработки результатов опроса. В соответствии с этим были разработаны методы индивидуальных экспертных оценок, как, например, интервью и аналитические оценки. Основные методы коллективных экспертных оценок включают в свой состав методы комиссий, коллективной генерации идей, матричный метод и другие.

Однако эвристические методы субъективны и пригодны только тогда, когда существуют эксперты, хорошо знакомые с прогнозируемой ситуацией. Кроме того, при прогнозировании характеристик сложных технических объектов методы эвристического прогнозирования становятся весьма сложными и трудоемкими.

Данное обстоятельство потребовало разработки математических методов прогнозирования. Основные достоинства таких методов состоят в объективности получаемой информации и в возможности автоматизации процесса прогнозирования с использованием ЭВМ.

В зависимости от используемого математического аппарата и целевой направленности математические методы временной экстраполяции можно условно разделить на три группы:

- методы аналитического прогнозирования;
- методы вероятностного прогнозирования;
- методы статистической классификации.

Предположим, что расход ЭЭ можно представить в виде функционала  $W(K)$ , который наблюдается в моменты времени  $t_0, t_1, \dots, t_m \in T_1$ .

Через  $K = [k_1, k_2 \dots k_n]$  обозначен вектор параметров, характеризующих состояние объекта. Вследствие наблюдаемости объекта известны значения этого функционала в моменты времени  $t_0, t_1, \dots, t_m \in T_1$ . Необходимо определить его значения в моменты времени  $t_{m+1}, t_{m+2}, \dots, t_{m+z} \in T_2$  [6].

Подобная постановка задачи справедлива в предположении, что значения  $W(K)$  при  $t_0, t_1, \dots, t_m \in T_1$  предопределяют величины, которые будут иметь место при  $t_{m+1}, t_{m+2}, \dots, t_{m+z} \in T_2$ . Иными словами, процесс изменения расхода ЭЭ «информативен» во времени. Идеальным случаем является получение аналитического выражения для функционала  $W(K, t)$ . Задачу прогнозирования в подобной постановке можно решить различными методами, называемыми методами аналитического прогнозирования и отличающимися применяемым математическим аппаратом.

Существует ряд методов аналитического прогнозирования, учитывающих производные изменений функции состояния. К числу таких методов относят операторный метод, метод суммирования производных и другие методы. Функция состояния в данных методах определяется зависимостью следующего вида [6]:

$$W(K, t_{m+1}) = F[W(K, t_m), \gamma, \nabla W(K, t_m)],$$

где  $\gamma > 0$  – параметр прогнозирования;  $\nabla$  – оператор, определяемый через производные функционала состояния.

Наиболее распространенным прогнозирующим аналитическим выражением является многочлен вида

$$W(t) = \sum_{r=1}^R A_r \cdot F_r(t), \quad (1)$$

где  $F_r(t)$  – базисные функции, составляющие основу прогнозирующей формулы;  $A_r$  – степенные адаптационные коэффициенты.

Выражение вида (1) подходит для описания монотонного и постепенного изменения параметров [7]. К недостаткам данного метода можно отнести сложность и трудоемкость вычислений,



связанных с необходимостью выбора и вычисления для каждого параметра прогнозирующего аналитического выражения. К общим недостаткам методов аналитического прогнозирования следует отнести большой объем вычислительных процедур при определении прогнозных значений параметров, а также неточность результатов прогнозирования при неправильно выбранной модели. Кроме того, приходится учитывать неточности исходных данных, полученных в период наблюдения.

Метод, использующий Байесов критерий, позволяет определить плотность распределения  $F(\nabla W)$  вектора градиента функции состояния  $W(K, t)$ . Для определения наиболее вероятного направления градиента в этом случае строится распределение приращений  $\Delta K$  по каждой координате вектора функции состояния.

Метод гипотез и фильтрации состоит в том, что вводится гипотеза о том или ином поведении функции  $W(K, t)$ , а затем все результаты контроля и прогнозирования, не удовлетворяющие принятой гипотезе, отфильтровываются. Недостатком метода является низкая оперативность из-за инерционности в получении результатов прогноза.

Для получения непрерывного прогноза используются оптимальные фильтры: фильтр Винера–Хопфа для прогнозирования стационарных процессов и фильтр Калмана для нестационарных процессов [6]. Принципиальными трудностями применения этих фильтров является громоздкость вычислительных процедур и необходимость наличия представительных статистических данных.

Метод статистической регрессии позволяет предсказать одну или несколько величин на основе информации о параметрах объекта  $k_1, \dots, k_n$ . Задача заключается в определении такой функции модели  $W(K)$ , зная которую можно с некоторой достоверностью судить об изменении прогнозируемой величины  $W$  в зависимости от аргументов  $k_s, s = 1, \dots, n$ .

Наиболее распространенной формой представления функций является линейное соотношение вида

$$\tilde{W} = a_1 \cdot k_1 + a_2 \cdot k_2 + \dots + a_d \cdot k_d + \varepsilon,$$

где  $a_s$  – неизвестные коэффициенты функции  $W, s = 1, \dots, d$ ;  $\varepsilon$  – некоторая случайная величина.

Функция  $W(K)$  и ее коэффициенты определяются из условия достижения экстремального значения некоторого выбранного критерия. В качестве такого условия широко используется минимум среднеквадратической ошибки (метод наименьших квадратов).

Данный метод объективен, но требует соблюдения ряда условий для успешного применения. Прежде всего, необходим достаточный большой объем статистических данных, полученных на участке наблюдения. Кроме того, необходимо знать вид детерминированной основы процесса или функции, описывающей процесс изменения параметров. Самым большим недостатком метода является невозможность предсказания качественного изменения характера динамики технического состояния объекта, т.е. скачка.

Необходимость наличия представительного объема статистических данных о процессах изменения параметров и невозможность прогноза резких изменений на участке прогнозирования можно отнести к общим недостаткам большинства вероятностных методов прогнозирования.

Модель временного ряда в общем виде описывается следующим выражением [6]:

$$W(t) = T(t) + N(t) + S(t) + A(t),$$

где  $T(t)$  – тренд, основная составляющая;  $N(t)$  – регулярные колебания около тренда;  $S(t)$  – сезонная составляющая;  $A(t)$  – случайная составляющая (аддитивная помеха).

Временной ряд электропотребления обладает свойством кумулятивности, т.е., например, годовое электропотребление можно представить как сумму кварталов, месяцев и т.д. Всякое усреднение сглаживает ряд. Иногда специально применяют экспоненциальное сглаживание – метод Бокса – Дженкинса. Модель Бокса – Дженкинса основана на обработке авторегрессионных рядов, в которых не делается никаких априорных допущений относительно дисконтирующих коэффициентов. При этом используется переход к разностям ряда и допускается коррелированность остатков с представлением их скользящим средним. Алгоритм прогнозирования представляет собой фильтр второго порядка.

Для моделирования различных процессов применяется метод Монте–Карло, основанный на использовании случайных чисел.

Обобщенный алгоритм реализации метода Монте–Карло обеспечивает прогнозирование работы объекта и вычисление статистических характеристик его функциональных параметров. Оценка точности полученных прогнозных значений производится двумя способами – априорным и апостериорным. Априорный способ основан на применении критерия Стьюдента, который дает интервальную оценку случайной величины для заданного уровня значимости. Апостериорный способ базируется на сравнении модельной оценки изучаемого процесса с эмпирическим процессом.

Представляют практический интерес анализ и синтез временных рядов, характеризующих динамику изменений суммарного электропотребления, с целью построения расчетных моделей этого процесса без привлечения информации о факторах внутренней структуры потребления. Сопоставление такой однофакторной модели с фактическими реализациями этого процесса может пролить свет на целесообразность учета дополнительной информации как о внутренних (структурных), так и о внешних (например, метеорологических) факторах с целью выяснения реальных возможностей дальнейшего уточнения заблаговременных расчетов суммарного электропотребления, предназначенных для текущего планирования режимов работы.

Сравнение значений выборок, составленных по величинам в течение квартала, позволяет сделать вывод, что изменение этих значений зависит от времени. Поэтому прогнозирование на один шаг вперед можно вести на основе регрессионной модели по методу наименьших квадратов (МНК).

Существенным недостатком всех методов прогнозирования на основе статистической классификации можно считать обязательное наличие априорной информации, на основе которой и осуществляется установление временных экстраполяционных связей. По сути, необходима выборка данных по объекту одного типа с объектом, показатели которого необходимо прогнозировать.

Нейросетевая модель прогноза способна к обобщению предыдущего опыта, выделению параметров, оказывающих наибольшее влияние, и способна к предобработке входных данных с целью повышения их достоверности. Это одна из нелинейных

моделей, прогнозирование с помощью которой сводится к получению модели зависимости потребления электроэнергии от внешних факторов, а также ретроспективных данных. Основными преимуществами нейронных сетей перед приведенными выше методами являются высокая точность прогноза, наличие возможности построения прогноза при некачественно собранных ретроспективных данных, меньшая сложность и трудоемкость задачи прогнозирования [7].

Эффективность нейросетевого подхода при прогнозировании ЭП обосновывается теоремой об универсальной аппроксимации, которая утверждает, что многослойного персептрона с одним скрытым слоем достаточно для построения равномерной аппроксимации с точностью  $\epsilon$  для любого обучающего множества, представленного набором входов и желаемых откликов. Тем не менее из теоремы не следует, что один скрытый слой является оптимальным относительно времени обучения, простоты реализации, а также качества обобщения.

Алгоритм построения нейросетевой модели прогноза ЭП:

1. Формулировка задачи в нейросетевом базисе.
2. Формирование выборки обучения.
3. Выбор архитектуры искусственной нейронной сети (ИНС), в том числе параметров элементов нейронной сети (идентификация структуры модели).
4. Обучение ИНС (оценивание параметров модели).
5. Тестирование ИНС с целью установления адекватности полученной модели исследуемому объекту.

Задача прогнозирования в нейросетевом базисе формулируется следующим образом: найти функцию зависимости между наблюдаемыми исходными данными, характеризующими состояние моделируемого объекта, и выходными расчётными параметрами в классе функций, реализуемых нейронной сетью, с последующим использованием построенной функции для отображения входных сигналов в выходные в рамках решения задачи

$$Y = f(X), \quad (2)$$

где  $X$  – вектор входных параметров;  $Y$  – вектор выходных параметров;  $f(X)$  – преобразующая вектор-функция.

Возможность прогнозирования ЭП обусловлена наличием объективных закономерностей процессов потребления ЭЭ, в частности, периодичностью изменения нагрузки (в недельном и месячном цикле) и инерционностью процессов изменения на малых интервалах времени. Это позволяет прогнозировать значения потребления по прошлым зафиксированным значениям. В таком случае нейросетевая модель прогнозирования вида (2) имеет в качестве входных переменных  $X$  уровни потребления за предшествующий период, а в качестве выходных переменных  $Y$  прогнозные уровни потребления на заданный интервал упреждения. Включение в вектор  $X$  различных дополнительных факторов, влияющих на поведение режимных параметров, в ряде случаев позволяет добиться большей адекватности модели динамическому процессу изменения нагрузки.

Основой модели является набор взаимосвязанных входных и выходных переменных, характеризующих моделируемый объект, образующий выборку обучения. От качества исходной обучающей выборки зависит не только адекватность формируемой модели реальному объекту, но и принципиальная возможность ее построения.

Основными минусами нейросетевой модели является сложность выбора архитектуры сети и определения количества необходимых данных для её обучения.

Таким образом, в работе проанализированы регрессионные и эвристические методы, методы экстраполяции, а также нелинейные методы прогнозирования ЭП. Обоснована эффективность применения нейросетевой модели для решения задачи прогнозирования ЭП.

### **Библиографический список**

1. Прогнозирование энергопотребления: современные подходы и пример исследования / Л.А. Большов, М.Ф. Каневский, Е.А. Савельева [и др.] // Известия РАН. Энергетика. – 2004. – № 6. – С. 74–92.

2. Головкин Б.Н., Пирогов В.Н., Старцев А.П. Прогноз электропотребления промышленного предприятия в условиях нестабильности экономики // Промышленная энергетика. – 1996. – № 2. – С. 8–12.

3. Арутюнян, Р.В. Прогноз электропотребления: анализ временных рядов, геостатистика, искусственные нейронные сети: препринт / Р.В. Арутюнян, В.И. Богданов, Л.А. Большое [и др.]. – М., 1999. – 45 с. (ИБРАЭ №99-05).

4. Закарюкин В.П. Моделирование и прогнозирование процессов электропотребления на железной дороге: дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2007. – 114 с.

5. Тюрин, Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. – М.: ИНФРА, 2003. – 544 с.

6. Мызин, А.П. Методы и модели прогнозирования для развития электроэнергетических систем в условиях неопределённости и многокритериальности: дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1994. – 307 с.

7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / пер. с англ. Н.Н. Куссуль, А.Ю. Шелестова. – 2-е изд., испр. – М.: Вильямс, 2008. – 1103 с.

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

**Студент гр. АТПП-05м В.А. Тарасов**

Научные руководители:

канд. техн. наук, доцент *Б.В. Кавалеров*,

канд. техн. наук, доцент *А.Б. Петроченков*

Пермский государственный технический университет

Промышленное предприятие (ПП) является сложной системой, которая обладает способностью к модернизации. Сложность ПП обуславливается следующими факторами:

- 1) вариативностью площадей ПП в широком диапазоне;
- 2) вариативностью ассортимента выпускаемой продукции;
- 3) вариативностью числа этапов производственного процесса от малого до полного цикла производства;
- 4) наличием большого числа структурных подразделений ПП, разнообразием их типов и т.д.;

Одним из факторов обеспечения функционирования такой системы является ее энергетическая система, в которую входит система электроснабжения (СЭ) предприятия. Описанные выше факторы обуславливают сложность СЭ. Сложность СЭ характеризуется:

- 1) большим разнообразием элементов схемы,
- 2) их большим количеством,
- 3) произвольной топологией сети.

Более того, на сеть накладывается ряд ограничений, таких как недопустимость даже кратковременной потери питания, трудоемкость замены неисправного и дороговизна доставки сменного оборудования и т. д.

Для экономически наиболее эффективной работы ПП необходимо производить анализ его СЭ, выявление и предупреждение неисправностей. Это достигается за счет расчета наиболее важных параметров СЭ и их анализом.

Ручной расчет при описанных выше ограничениях и особенностях является очень трудоемким и в некоторых случаях невозможным (при очень большой и сложной конфигурации сети), так как необходимо учитывать модели не только отдельно взятых элементов, но и модель взаимодействия между ними [1]. При модернизациях сети необходимо заново проводить процесс расчета, что очень накладно.

Также ситуация осложняется человеческим фактором – ошибками во время расчетов, которые приводят к росту затрачиваемого времени, а значит, и средств.

Особенно все вышеперечисленные проблемы проявляются при расчете переходных процессов.

Решением данной проблемы является автоматизация этого рутинного процесса на ЭВМ. Такие программные средства должны учитывать все вышеприведенные ограничения и условия для сложных СЭ, а также, поскольку невозможно учесть все возможные элементы сети, возможность добавления новых.

### **1. Задача программного обеспечения для расчета параметров систем электроснабжения**

В теории электрических цепей (ЭЦ) существуют две противоположные по исходным данным и по конечным данным задачи – задачи анализа и задачи синтеза ЭЦ.

Целью синтеза является задача отыскания структуры ЭЦ и характеристик ее элементов, при которых электрический процесс будет подчиняться заданным закономерностям.

Разрабатываемое программное обеспечение (ПО) должно решать задачу анализа. Целью задачи анализа является расчет электрических процессов в заданных электрических цепях, т.е. в цепях с заданной структурой и с заданными характеристиками всех элементов цепи [1].

Так как в СЭ возможны динамические процессы, то необходимо производить расчет переходных процессов.

## **2. Методы расчета переходных процессов**

В качестве подходов к решению переходных процессов рассмотрим три метода:

1. Классический метод.
2. Метод переменных состояния.
3. Метод синтетических схем.

Классический метод представляет собой реализацию общего подхода к решению в любой сколь угодно сложной электрической цепи. Составляются дифференциальные уравнения (ДУ) согласно первому и второму законам Кирхгоффа. Далее выбирается искомым ток (если заданными являются ЭДС источников) и, последовательно исключая токи из системы ДУ, получается одно ДУ с искомым током и его производными:

$$a_n \frac{d^n i_k}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} i_k}{dt^{n-1}} + \dots + a_2 \frac{d^2 i_k}{dt^2} + a_1 \frac{d i_k}{dt} + a_0 i_k = f_k(t). \quad (1)$$

Порядок  $n$  цепи определяется ее топологией, а функция  $f$  содержит в себе заданные ЭДС.

Полный интеграл этого уравнения равен сумме частного решения  $i_k'$ , определяемого видом функции  $f_k(t)$ , и полного решения  $i_k''$  однородного уравнения:

$$\sum_{s=0}^n a_s \frac{d^s i_k''}{dt^s} = 0. \quad (2)$$



Для определения  $i_k^n$  находятся  $n$  корней ДУ. Искомое уравнение имеет вид

$$i_k = i_k' + \sum_{s=1}^n A_{ks} e^{a_s t}, \quad (3)$$

где  $A_{ks}$  – произвольные постоянные интегрирования, определяемые из физических начальных условий.

Систему ДУ в этом методе также можно составлять согласно методу контурных токов (МКТ) или методу узловых напряжений (МУН) [2].

Основным недостатком данного метода, а следовательно, и его применения на ЭВМ является порядок ДУ  $n$  в общем случае больше 1 (то есть не в нормальной форме [3]), что приводит к невозможности использование стандартного математического обеспечения цифровых вычислительных машин [2].

Метод синтетических схем является одним из общих методов расчета переходных процессов в ЭЦ, ориентированным на использование компьютеров. Он заключается в определении искомых величин, определяющих энергетическое состояние ЭЦ, так как переходный процесс – процесс смены одного установившегося энергетического состояния другим. В линейных ЭЦ энергетическое состояние полностью определяется токами катушек индуктивностей и напряжениями конденсаторов – эти величины называются переменными состояния. Транспонированная матрица-столбец переменных состояния выглядит следующим образом:

$$X^T = \| x_1, x_2, \dots, x_n \|. \quad (4)$$

Система ДУ первого порядка в матричной форме имеет вид

$$\frac{d}{dt} X = A_1 X + B_1 V, \quad (5)$$

где  $A_1$  – матрица порядка  $n$ , определяются топологией ЭЦ и параметрами ее элементов;  $V$  – столбцовая матрица порядка  $p \times 1$ , определяется источниками ЭДС и токами в ветвях схемы – вектор входных величин;  $B_1$  – прямоугольная матрица порядка  $n \times p$ , определяющая вклад входных величин в баланс токов и напряжений.

Токи и напряжения на всех интересующих нас элементах могут быть выражены через переменные состояния. Связь выходных величин, входных величин и переменных состояния определяется по уравнению

$$Y = A_2 X + B_2 V, \quad (6)$$

здесь  $Y$  – вектор выходных величин.

Решение матричного ДУ можно записать как

$$X(t) = [\exp(A_1 t)] X_0 + \int_0^t \{[\exp(A_1(t - \tau))] B_1 V(\tau)\} d\tau, \quad (7)$$

где  $X_0$  – матрица-столбец начальных значений переменных состояния.

Совокупность системы ДУ 1-го порядка относительно переменных состояния и уравнения для выходных величин – уравнения состояния [2].

В общем случае расчет этим методом предполагает:

- 1) составление по законам Кирхгофа и уравнениям отдельных элементов цепей уравнений состояния;
- 2) аппроксимацию уравнений состояния на каждом шаге расчета разностными уравнениями;
- 3) численное решение полученных систем разностных уравнений.

Основным недостатком этого алгоритма является то, что он эффективен только для цепей невысокой размерности с преимущественно линейными двухполосными элементами. Расчет для высокоразмерных цепей с многополосными нелинейными элементами является затруднительным, так как отсутствуют универсальные алгоритмы формирования уравнений состояния. Разработка же для каждой ветви представляет собой трудную задачу. К тому же реализация подобных алгоритмов требует существенных вычислительных затрат.

Еще одним недостатком является то, что расчет цепи, в котором есть нелинейные резистивные элементы, может привести к неоднозначности решения, так как переменные состояния не могут быть выбраны из условия обеспечения однозначности решения задачи.

Поэтому при машинном расчете сложных ЭЦ предпочтение отдается такому пути, в котором процедура формирования уравнений наиболее проста и согласована с последующим их численным решением [3].

Метод синтетических схем является воплощением такого подхода. Этот алгоритм включает в себя:

- 1) аппроксимацию дифференциальных уравнений отдельных элементов цепи разностными уравнениями, с которыми сопоставляются чисто резистивные схемы замещения;
- 2) формирование на каждом шаге расчета систем алгебраических уравнений, соответствующих резистивным схемам замещения цепей;
- 3) последовательное решение получаемых систем алгебраических уравнений.

Основными плюсами такого подхода являются:

1. Сведение задачи расчета переходного процесса к последовательности задач расчета по постоянному току чисто резистивных цепей той же топологической структуры.
2. Используемые методы анализа чисто резистивных цепей отличаются простотой алгоритмов составления уравнений.

Катушки индуктивности и емкости заменяются, как показано на рис. 1.

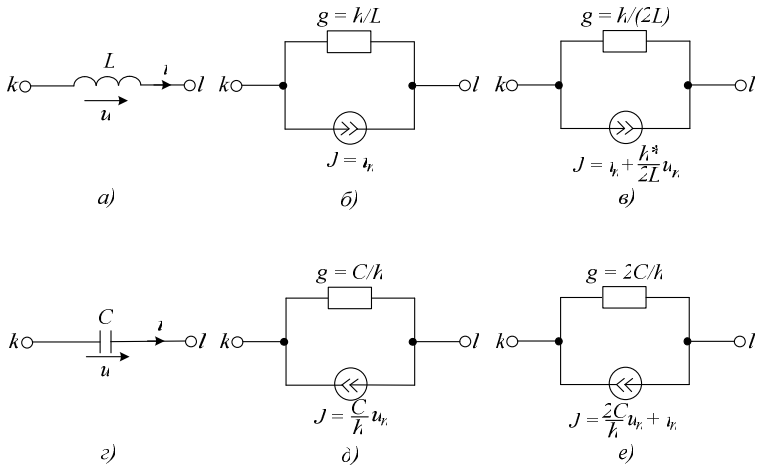


Рис. 1. Замена реактивных элементов на чисто резистивные цепи

Разностная аппроксимация ДУ накопительных элементов:

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L}u, \quad (8)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{C}i. \quad (9)$$

Согласно простейшему неявному методу численного интегрирования (неявному методу Эйлера):

$$i_{n+1} = i_n + \frac{h}{L}u_{n+1}, \quad (10)$$

$$u_{n+1} = u_n + \frac{h}{C}i_{n+1} \Rightarrow i_{n+1} = -\frac{C}{h}u_n + \frac{C}{h}u_{n+1}. \quad (11)$$

Эти уравнения показаны на рис. 1 под буквами *б* и *д*. При использовании для дискретизации метода трапеций:

$$i_{n+1} = i_n + \frac{h}{2}\left(\frac{u_{n+1}}{L} + \frac{u_n}{L}\right) \rightarrow i_{n+1} = \left(i_n + \frac{h}{2L}u_n\right) + \frac{h}{2L}u_{n+1}, \quad (12)$$

$$u_{n+1} = u_n + \frac{h}{2}\left(\frac{i_{n+1}}{C} + \frac{i_n}{C}\right) \rightarrow i_{n+1} = -\left(\frac{2C}{h}u_n + i_n\right) + \frac{2C}{h}u_{n+1}. \quad (13)$$

Эти уравнения показаны на рис. 1 под буквами *в* и *е*.

Сопоставив на  $n + 1$  шаге расчета цепи накопительные элементы и подобные схемы замещения, расчет токов и напряжения цепи в момент времени  $t = t_{n+1}$  можно сопоставить с расчетом чисто резистивной цепи той же топологической структуры [3].

Данный алгоритм является лишенным недостатка получения однозначности решения при наличии в ЭЦ резистивных элементов, обладающих нелинейными свойствами.

Анализируя вышеописанное, можно сделать вывод, что наиболее подходящим методом решения переходных процессов для машинных расчетов является метод синтетических схем замещения.

### 3. Методы расчета синтетических схем

Поскольку синтетическая схема представляет собой чисто резистивную схему с источниками постоянного тока, то для ее расчета может быть применен любой известный метод расчета.

Такими методами расчета могут быть [4]:

- 1) метод наложения;
- 2) метод эквивалентного источника;
- 3) метод уравнений Кирхгофа;
- 4) метод контурных токов (МКТ);
- 5) метод узловых напряжения (МУН).

Метод наложения базируется на справедливом только в линейных ЭЦ принципе суперпозиции: в линейной ЭЦ отклик (реакция) на сумму воздействий равен сумме откликов (реакций) на каждое воздействие.

Если в качестве воздействий принять источники тока и ЭДС, а в качестве отклика – ток или напряжения в одной из ветвей, то метод наложения можно сформулировать так: ток (напряжение)  $i$ -й ветви равен алгебраической сумме токов (напряжений) этой ветви, создаваемых каждым источником в отдельности при условии, что все остальные источники заменены своими внутренними сопротивлениями [4].

Этим принципом можно пользоваться для определения любых физических величин, которые связаны друг с другом линейной зависимостью [5].

Метод эквивалентного источника позволяет определить ток в одной из ветвей и базируется на возможности любой сложной цепи в произвольных точках подключения нагрузки  $a$  и  $b$  простой схемой эквивалентного источника напряжения или эквивалентного источника тока.

Сущность данного метода заключается в том, что к ветви, подключенной в точках  $a$  и  $b$  и в которой определяется ток (напряжение), подключается простая схема эквивалентного источника с заранее определенными параметрами, что позволяет использовать простые правила расчета [5].

Два рассмотренных метода являются простейшими и предназначены для линейных цепей с малым количеством ветвей, поэтому они не удовлетворяют условиям сложной СЭ.

Для расчета разветвленной цепи произвольного вида существенное значение имеет число ветвей и узлов. Режим такой ЭЦ полностью определяется первым и вторым законами Кирхгофа:

1. Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю.

2. В любом замкнутом контуре алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур, равна алгебраической сумме ЭДС.

Если известны параметры всех элементов цепи и ее конфигурация, то сначала выбираются направления токов во всех ветвях, затем составляются уравнения согласно первому закону Кирхгофа и потом согласно второму [5].

В матричной форме системы уравнений имеют вид:

$$\begin{pmatrix} -1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \times (i_1 \dots i_n)^T = \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \times (u_1 \dots u_n)^T = \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Основным недостатком данного метода является его избыточность, что очень существенно при машинном расчете.

Оставшиеся два метода являются алгоритмическими, что позволяет использовать их на ЭВМ для расчета цепей с большим числом ветвей. Кроме того, эти методы используют меньшее число уравнений, чем метод уравнений Кирхгофа, за счет использования меньшего числа неизвестных [4].

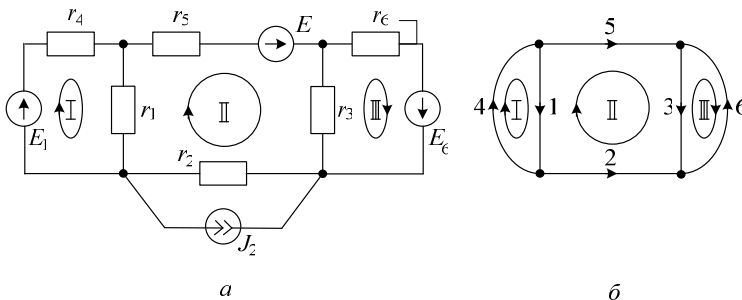


Рис. 2. Определение контурных токов

Первым таким методом является МКТ. Согласно этому методу в качестве независимых уравнений можно принять токи ветвей связи – контурные токи. Уравнения с контурными токами – кон-

турные уравнения – получают на основании 2-го закона Кирхгофа, и их число равно числу независимых уравнений, составляемых для контуров, т.е.  $b - y + 1$ , где  $b$  – число ветвей, а  $y$  – число узлов [6]. Определение контурных токов показано на рис. 2.

В матричной форме контурные уравнения могут быть представлены как

$$\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & r_{kk} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} I_1^{(k)} \\ I_2^{(k)} \\ \dots \\ I_k^{(k)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1^{(k)} \\ E_2^{(k)} \\ \dots \\ E_k^{(k)} \end{pmatrix}. \quad (16)$$

После решения контурных уравнений реальные токи в ветвях могут быть найдены по методу наложения [4].

Однако несмотря на все преимущества этого метода по сравнению с методом уравнений Кирхгофа, наиболее предпочтительным для расчета синтетических схем на ЭВМ является МУН, так как он обеспечивает наилучшим образом:

- 1) расчет многих (до тысяч и даже десятков тысяч) точек дискретизации;
- 2) вычислительную экономичность процедуры формирования уравнений;
- 3) устойчивость решения на каждом шаге дискретизации для того, чтобы обеспечивалась заданная точность расчета переходного процесса на длительных интервалах времени;
- 4) универсальность его использования при расчете цепей с невязимными, нелинейными и многополюсными элементами [3].

Данный метод вытекает из первого закона Кирхгофа. В качестве неизвестных принимаются потенциалы узлов, по найденным значениям которых с помощью закона Ома для участка цепи с источником ЭДС затем находят токи в ветвях. Потенциал любого из узлов принимается равным нулю. Таким образом, число неизвестных потенциалов, а следовательно, и число уравнений равно  $m - 1$ , т.е. числу ветвей дерева [7].

В матричной форме уравнения можно записать в виде

$$\begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1k} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{k1} & Y_{k2} & \dots & Y_{kk} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} U_1^{(y)} \\ U_2^{(y)} \\ \dots \\ U_k^{(y)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_1^{(y)} \\ J_2^{(y)} \\ \dots \\ J_k^{(y)} \end{pmatrix} \quad (17)$$

или

$$Y_y \times U = J_y, \quad (18)$$

где  $Y_y$  – матрица известных узловых проводимостей,  $U$  – матрица-столбец узловых напряжений,  $J_y$  – матрица-столбец известных задающих токов.

Основным вопросом для машинной реализации здесь является принцип формирования матриц узловых проводимостей и задающих токов.

#### **4. Принципы формирования матриц метода узловых напряжений**

Основным требованием к алгоритму является то, что он должен легко учитывать изменения в структуре электрической цепи. Первым подходом является расширение уравнения (18) до вида

$$AY \cdot A^T U = AJ - AY \cdot E, \quad (19)$$

где  $A$  – узловая матрица,  $Y$  – диагональная матрица проводимостей ветвей,  $J$  и  $E$  – матрицы источников токов и ЭДС [7].

Данный принцип обладает существенным недостатком – большие вычислительные затраты, так как приходится выполнять большое число расчетов над матрицами, размерности которых могут быть очень велики.

Этот недостаток может быть решен с помощью второго подхода – использования Т-списка, основанного на принципе поэлементного вклада.

Основным достоинством Т-списка также является отсутствие необходимости соблюдения порядка нумерации строк, т.е. ввести информацию, содержащуюся в каждой строке Т-списка, можно в любом порядке.

Выполнение требования, предъявляемого к алгоритму, реализуется следующим образом:

1. При добавлении новой ветви в Т-список вводят новую строку с информацией о ней.

2. При исключении некоторой ветви ее вычеркивают из списка.

Пример Т-списка для синтетических схем представлен в таблице.

Основное достоинство использования Т-списка, как было сказано выше, в его полном соответствии наиболее эффективному машинному формированию матрицы узловых проводимостей и задающих токов, основанному на принципе поэлементного вклада.



### Т-список для синтетических схем

№ ветви	№ узла		Проводимость, См	Источник ток, А
	Начало ветви	Конец ветви		
1	2	3	0	4
2	3	1	0,5	1
3	0	1	2	0
4	1	2	1	0
5	2	0	1	0,5

Суть этого принципа заключается в последовательном формировании коэффициентов матриц по мере построчной обработки Т-списка. При обработке каждой строки Т-списка проводимость ветви, соединяющей два узла, прибавляют со знаком «+» к соответствующему диагональному элементу матрицы  $Y$  и со знаком «-» к недиагональным. Ток источника тока ветви прибавляют к элементу матрицы  $J$ , соответствующему узлу, в который втекает ток, и вычитают из элемента, соответствующего узлу, из которого вытекает ток.

Простота формирования матриц по принципу поэлементного вклада, ее высокая алгоритмичность обеспечивают сведение к минимуму вычислительных затрат при составлении уравнений на ЭВМ. Именно это обстоятельство в значительной мере и обуславливает столь высокую эффективность применения МУН для расчета сложных ЭЦ [3].

#### **5. Расчет токов ветвей электрической цепи**

После отыскания узловых напряжений по МУН необходимо рассчитать токи ветвей. Поскольку синтетические схемы содержат резистивные элементы и источники постоянного тока, то для расчета токов в ветвях может быть применен закон Ома.

#### **6. Расчет остальных параметров электрической цепи**

Расчет остальных необходимых параметров СЭ определяется их элементами. К этому моменту уже посчитаны узловые напряжения и токи в ветвях, поэтому расчет оставшихся параметров зависит только от типа элемента и сложности его математической модели.

**Закключение.** В работе были рассмотрены основные подходы к расчету параметров СЭ в соответствии с их наибольшей эффективностью при использовании на ЭВМ. Были описаны основные положения, сильные и слабые стороны каждого из подходов.

В результате получилось следующее:

1. Расчет переходных процессов в СЭ производится с помощью синтетических схем замещения.
2. Для расчета синтетических схем используется метод узловых напряжений.
3. Формирование матриц МУН осуществляется за счет применения Т-списка.
4. Расчет токов производится согласно закону Ома.
5. Расчет оставшихся параметров полностью зависит от конкретных элементов схем – от их математических моделей и рассчитывается на основании их.

Разработанное ПО, реализующее эти принципы, будет производить расчет очень эффективно – с наименьшими затратами ресурсов ЭВМ, чем при использовании других методов, и полностью удовлетворять условиям, описанным в начале статьи.

### **Библиографический список**

1. Теоретические основы электротехники / К.С. Демирчан, А.Р. Нейман, Н.В. Коровкин [и др.]. – СПб.: Питер, 2006. – Т. 1.– 445 с.
2. Теоретические основы электротехники / К.С. Демирчан, А.Р. Нейман, Н.В. Коровкин [и др.]. – СПб.: Питер, 2006. – Т. 2.– 572 с.
3. Демирчан К.С., Бутырин П.А. Моделирование и машинный расчет электрических цепей. – М.: Высшая школа, 1988. – 334 с.
4. Запасный А.И. Основы теории цепей: учебное пособие. М.: Риор, 2006. – 336 с. – (Высшее образование).
5. Основы теории цепей: учебник для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил [и др.]. – 4-е изд., переработ. – М.: Энергия, 1975. – 752 с.
6. Теоретические основы электротехники. Т. 1: Основы теории линейных цепей: учебник для электротехн. вузов / под ред. П.А. Ионкина. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Высшая школа, 1976. – 544 с.
7. Голубев А.Н. Теоретические основы электротехники: учеб. пособие / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002.
8. Нефедова Н.В., Каменев П.М., Большунова О.М. Карманый справочник по электронике и электротехнике. – 3-е изд. – Ростов н/Д.: Феникс, 2008. – 283 с.

9. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: электрические цепи: учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. – 7-е изд., переработ. и доп. – М.: Высшая школа, 1978. – 528 с.

10. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.

## **РАЗРАБОТКА МАКЕТА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДОМА**

**Студенты гр. АСУ-06 И.А. Иванов, Н.А. Смирнова**

Научный руководитель – старший преподаватель *А.В. Кычкин*  
Пермский государственный технический университет

Генеральный план – это картина будущего города, которая предлагает наиболее эффективные пути решения городских проблем и помогает поставить цели городского развития с учетом реальных временных, финансовых, организационных, человеческих и других ресурсов города.

В апреле 2007 г. решением Ленинского районного суда города Перми был отменен Генеральный план города, составленный в 2004 г. Санкт-Петербургским НПИ пространственного планирования «ЭНКО» и специалистами департамента планирования.

Разработка нового Генерального плана ведется при широком общественном сопровождении, что позволяет осуществлять взаимодействие авторского коллектива с широкими слоями населения. Среди перечня основных задач нового Генерального плана Перми можно выделить:

- устойчивое поэтапное развитие городской среды, отвечающей современным нормам жизни и формирующей положительный психоэмоциональный климат в городе;
- формирование индивидуального облика города, отвечающего современным архитектурным и эстетическим требованиям;
- упорядочение застройки жилых зон;
- повышение уровня экологической безопасности проживания, в том числе планировочными методами [1].

По данным Пермстат, в Пермском крае наблюдается увеличение площадей застройки малоэтажными домами. Для того чтобы избежать увеличения размеров сегмента индивидуальных домов, строящихся физическими лицами в районах стихийной малоэтажной застройки, в Генеральном плане будет предусмотрено увеличение плотности застройки Перми в центральной части, в то время как периферийные районы будут застраиваться жильем малой и средней этажности.

В соответствии с новым Генеральным планом губернатором Пермского края Олегом Чиркуновым был одобрен проект, направленный на развитие деревянного домостроения в регионе. Пермский край станет первым из российских регионов, где появится единый стандарт деревянного домостроения.

Как следствие увеличения районов, застроенных малоэтажными домами, и введения стандарта на деревянное домостроение будут разрабатываться типовые решения малоэтажных домов и их энергетического снабжения.

23 ноября 2009 г. вышел Федеральный закон РФ №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В пункте 6 работы 14 приведен перечень мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, подлежащих включению в региональные, муниципальные программы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Среди общего перечня мероприятий представлены следующие:

- по энергосбережению и повышению энергетической эффективности жилищного фонда;
- энергосбережению и повышению энергетической эффективности систем коммунальной инфраструктуры;
- стимулированию производителей и потребителей энергетических ресурсов, организаций, осуществляющих передачу энергетических ресурсов, проводить мероприятия по энергосбережению, повышению энергетической эффективности и сокращению потерь энергетических ресурсов [2].

Таким образом, возникнет необходимость разработки и внедрения типовых решений по энергосбережению в малоэтажные дома. Как следствие, появится вопрос о качественной оценке показателей энергосбережения предлагаемых проектов.

В 2010 г. на кафедре ИТАС Пермского государственного технического университета начал свою работу проект по созданию макета автоматизированного дома с системой энергосбережения.

Стандарт ISO/CD 50001 устанавливает требования к системе энергоменеджмента по разработке и реализации энергетической политики, постановке целей, задач и плана действий, в которых учитываются правовые требования и информация, относящаяся к значительному использованию энергии [3].

Актуальность данного проекта состоит в том, что на данный момент не существует типовых решений автоматизированного дома. Все проекты индивидуальны. В связи с этим стоимость разработки каждого автоматизированного дома оказывается высокой, повышаются сложность и стоимость обслуживания каждого объекта.

Задача проекта состоит в создании макета типового автоматизированного дома, на основе которого возможно будет симулировать работу всех автоматизированных систем в доме. В процессе симуляции работы будут получены данные, на основе которых возможно будет рассчитать оптимальные режимы потребления энергетических ресурсов.

Работы ведутся в трех направлениях:

- создание программного симулятора;
- создание реального стенда;
- создание 3D-модели.

Программный симулятор позволяет разработать, создать, настроить и протестировать программное обеспечение.

Реальный стенд позволяет протестировать аппаратные средства, их комплекс, а также позволяет проверить работу программных средств в реальной физической среде, получить набор необходимых для анализа данных.

3D-модель позволяет наглядно оценить местоположения всех подсистем управления автоматизированным домом. Кроме того, это возможность представить работу всех подсистем в режиме ускоренного времени с учетом быстрой смены дня и ночи. 3D-модель на начальном этапе работы представлена на рисунке.

Первым этапом проекта стала автоматизация подсистемы внутреннего освещения. Задачи системы:

- удаленное управление;

- управление по таймеру;
- плавное включение;
- ручное управление;
- косвенный учет потребленной энергии.



Рис. 3D-модель на начальном этапе работ

Вторым этапом будет разработка подсистемы наружного освещения. В ее задачи входит:

- удаленное управление;
- управление по таймеру;
- управление с учетом естественного освещения (солнце, луна);
- косвенный учет потребления энергии.

Третьим этапом последуют разработка и создание подсистем отопления и вентиляции с учетом потребленной энергии. На данной стадии необходимо учесть все виды отопления типового автоматизированного дома. Основными факторами учета и регулирования являются температура и влажность. Немалую роль в потреблении тепловой энергии играет наружная температура.

Задачи системы:

- удаленное управление;
- поддержание заданных параметров;

- управление по таймеру;
- косвенный учет потребления энергоносителей.

Четвертым этапом проекта будет объединение всех подсистем в одну единую систему. В данную часть работы входят следующие задачи:

- разработка базы данных для хранения параметров объекта;
- создание удобного графического интерфейса для отображения параметров системы и регулирования элементов системы;
- веб-интерфейс для удаленного мониторинга и управления автоматизированным домом.

Завершающую стадию проекта представляет собой цикл анализа, в который последовательно войдут:

- тестирование режимов работы автоматизированного дома;
- сбор и первичная обработка данных при тестировании;
- анализ экспериментальных данных;
- оптимизация режимов работы автоматизированного дома.

В результате будут получены оптимальные режимы работы типового автоматизированного дома.

Полученные научно-практические результаты и рекомендации будут интересны и могут быть использованы представителями организаций, связанных с внедрением, оценкой и использованием систем энергоснабжения, таких как строительные компании, организации, осуществляющие контроль энергосбережения, управляющие компании и ТСЖ и т.д.

### **Библиографический список**

1. Генеральный план города Перми [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.permgenplan.ru/>.
2. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ. – URL: <http://www.energosovet.ru/fzakon.html>.
3. Международный стандарт ISO/CD 50001. – URL: <http://quality.ifolder.ru/19759421>.

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**

**Студент гр. АТПП-05м И.Н. Грибков**

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент *А.Н. Лыков*  
Пермский государственный технический университет

Отопление обеспечивает необходимый тепловой режим зданий в зимний период года с затратой около 25 % энергии в балансе страны. Поэтому в регионах с суровым и продолжительным отопительным сезоном, типичным для большей части территории нашей страны, эффективное использование энергии для отопления является определяющим моментом энергосбережения при теплоснабжении зданий. В условиях экономического кризиса энергосбережение является приоритетной государственной задачей, так как позволяет относительно простыми мерами значительно снизить нагрузку на бюджеты всех уровней, сдерживать рост энергетических тарифов, повысить конкурентоспособность экономики.

Основные элементы энергетической политики России сформулированы в Федеральном законе Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В концепции данного документа энергетическая эффективность и энергосбережение определены в качестве главных направлений экономической политики страны, как ее важнейшие стратегические ориентиры. Реализация концепции энергоэффективности и энергосбережения лежит в основе государственной энергетической политики и обеспечивается механизмами рационального пользования недрами и ростом внутренних рынков [1].

Реализация одного из направлений энергетической программы страны, направленной на эффективное использование и экономию энергии, в большей мере определяется энергоэкономичностью решений по использованию систем отопления.

Каждая из систем отопления предназначена для достижения общей цели – подачи в обогреваемые помещения необходимого количества теплоты в любой период отопительного сезона. При выборе той или иной системы, имея в виду эту цель, сравнивают



эффективность различных систем отопления. Выбор схемы присоединения абонента к тепловой сети осуществляют, прежде всего, по параметрам теплоносителя на вводе в здание и характеристикам внутренних систем абонента. Параметры теплоносителя на вводе указывают теплоснабжающие организации. Таковыми параметрами являются: давление в подающей и обратной магистрали тепловой сети, статическое давление, а также возможный диапазон колебания этих давлений, расчетный график температур в сети и т.п. Характеристики внутренних систем принимают по проекту либо по результатам натурных измерений.

Весьма желательным при выборе схемы присоединения абонента является рассмотрение ее работоспособности с учетом перспективных тенденций изменения гидравлического режима тепловой сети, с учетом возможной модернизации внутренних систем.

Практика подтвердила гигиенические и технические преимущества водяного отопления. При водяном отоплении отмечают (по сравнению с паровым) относительно невысокую температуру поверхности приборов и труб, равномерную температуру помещений, значительный срок службы, экономию тепловой энергии, бесшумность действия, простоту обслуживания и ремонта.

В водяных системах централизованного теплоснабжения принципиально можно использовать три метода централизованного регулирования.

**Качественный метод регулирования** заключается в регулировании отпуска теплоты за счет изменения температуры теплоносителя у абонентов при сохранении постоянного количества (расхода) теплоносителя в тепловой сети.

**Количественный метод регулирования** заключается в регулировании отпуска теплоты путем изменения расхода теплоносителя при постоянной температуре у абонентов.

**Количественно-качественный метод регулирования** заключается в регулировании отпуска теплоты посредством одновременного изменения расхода и температуры теплоносителя.

Применение конкретного метода регулирования определяется схемой присоединения системы отопления. Общая тенденция – использование комбинированных методов регулирования.

Схемы присоединения систем отопления делятся на зависимые без смешения воды, зависимые со смешением воды и независимые.

**Зависимое присоединение без смешения воды**, при котором теплоноситель из теплосети без снижения температуры (без смешения) подают потребителю, является наиболее простым и удобным в эксплуатации. Применяют его при совпадении температур теплоносителя в системе отопления  $t_r$  и в системе теплоснабжения  $T_1$ , как правило, не превышающих 95...105 °С. Такое присоединение зачастую реализуют в системах теплоснабжения от групповой котельной установки, предназначенной для зданий промпредприятия либо небольшого населенного пункта.

Недостатками зависимой прямоточной схемы являются невозможность местного регулирования температуры горячей воды и зависимость теплового режима здания от «обезличенной» температуры воды в наружном подающем теплопроводе.

Большинство зданий присоединено по **зависимой схеме со смешением теплоносителя** до температуры  $t_r < T_1$ . Ранее для смешения воды устанавливали водоструйные насосы (гидроэлеваторы) нерегулируемые и регулируемые, схема присоединения представлена на рис. 1.

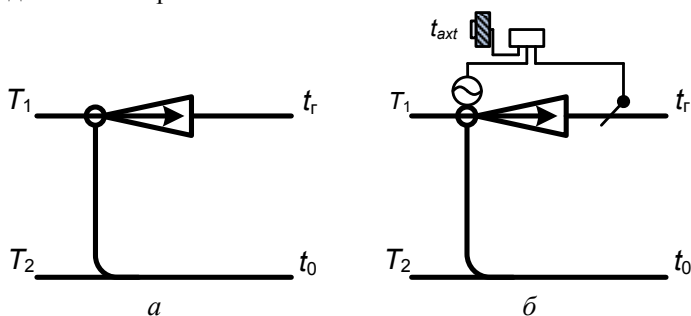


Рис. 1. Смешение теплоносителя в тепловом пункте при зависимом присоединении абонента: *a* – нерегулируемым гидроэлеватором; *б* – регулируемым гидроэлеватором

Вследствие неработоспособности первых и неэффективности вторых в двухтрубных системах отопления с терморегуляторами широкое распространение получили схемы с насосным смешением воды. Основными причинами невозможности применения гидроэлеваторов в двухтрубных системах является несовместимость гидравлических режимов оборудования и недостаточность напора для энергоэффективного сочетания клапанов (терморегуляторов

у отопительных приборов и автоматических балансировочных клапанов на стояках либо приборных ветках).

Гидроэлеватор работает при постоянном гидравлическом режиме, а терморегуляторы в двухтрубной системе создают переменный гидравлический режим. Поэтому при автоматическом регулировании системы ее следует присоединять к тепловой сети через смесительный насос, это требование соотносят не только к двухтрубной, но и к одноконтурной системе отопления. Обусловлено это тем, что в одноконтурной системе с терморегуляторами работа гидроэлеватора также неэффективна. При таком сочетании оборудования невозможно устранить колебания давления теплоносителя, создаваемые работой терморегуляторов. Эти колебания хотя и в значительно меньшей степени, чем в двухтрубной системе, все же приводят к перераспределению теплоносителя между стояками либо приборными ветками, снижая энергоэффективность системы. Недостатком гидроэлеватора является также его высокое гидравлическое сопротивление. Необходимость поддержания перед ним повышенного давления в теплосети не лучшим образом отражается на герметичности устаревших трубопроводов и оборудования, что приводит к повышенной аварийности.

Метод регулирования пропусками теплоносителя через гидроэлеватор (с полным отключением циркуляции) в современных зданиях снижает энергоэффективность систем. При каждом закрытии соленоидного клапана разрушается гидравлический баланс системы отопления и тепловой баланс здания, установленные автоматическими балансировочными клапанами на стояках либо приборных ветках и терморегуляторами у отопительных приборов.

Каждый раз при очередном открытии соленоидного клапана необходимо тратить время и энергию на восстановление этих балансов. Регулирование пропусками с позиционным регулированием не имеет преимуществ в экономии энергоресурсов. Кроме того, соленоидный клапан создает скачки давления теплоносителя как в теплосети, так и в системе отопления. Чем выше регулируемый расход теплоносителя, тем выше эти скачки и тем пагубнее последствия. Даже устанавливаемые регуляторы перепада давления на абонентских вводах соседних зданий и на стояках либо приборных ветках системы отопления не способны сглаживать резкие

скачки давления вследствие инерционности передачи импульсов давления в мембранные коробки этих регуляторов.

Использование насосов в схеме присоединения абонента позволяет применить наиболее энергосберегающие автоматизированные решения по регулированию систем абонента, учитывая погодные факторы по датчику температуры наружного воздуха, тепловые характеристики здания и теплогидравлические характеристики систем. Появляется возможность не только качественно, но и качественно-количественного регулирования системы отопления практически в любом диапазоне, учитывая специфику теплового режима здания и помещения при одновременном сокращении потребляемого теплоносителя.

Применение насосов за счет универсальности и гибкости управления позволяет решать любые задачи регулирования систем абонента.

Одним из вариантов является расположение насоса на перемычке между подающим и обратным трубопроводом при давлении в трубопроводах теплосети на вводе, превышающем статическое давление в системе отопления не менее чем на 0,05...0,1 МПа, но не более допустимого для нее предела. Такая схема считается наиболее экономичной, так как через перемычку проходит меньший расход воды, чем в подающем либо обратном трубопроводе. Следовательно, применяется меньший насос и меньше потребляется электроэнергии. Однако при таком расположении насоса на работу системы отопления влияют колебания давления в теплосети. Устраняют эти колебания дополнительным регулирующим клапаном стабилизации расхода в контуре системы отопления с постоянным гидравлическим режимом [2].

Расход на перемычке изменяется в зависимости от работы регулятора теплового потока, что требует применение насоса с регулируемой частотой вращения.

Наиболее применяемыми схемами смешения теплоносителя являются схемы с размещением насоса на подающем либо обратном трубопроводе, представленные на рис. 2. Необходимая температура теплоносителя в системе отопления устанавливается электронным регулятором по заданному температурному графику путем воздействия на трехходовой либо двухходовой клапан регулятора теплового потока (РТ). Чаще используют двухходовой

клапан вследствие лучшего обеспечения требуемого расхода теплоносителя в системе отопления с необходимой температурой.

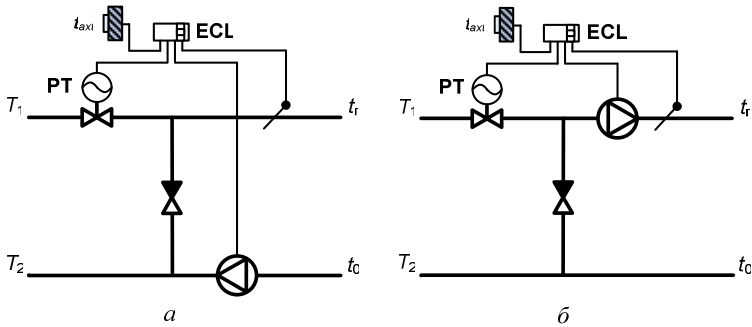


Рис. 2. Смещение теплоносителя в тепловом пункте при зависимом присоединении абонента: *a* – насосом на обратной магистрали и регулятором теплового потока с двухходовым клапаном; *б* – насосом на подающей магистрали и регулятором теплового потока с двухходовым клапаном

Трехходовой смешивающий клапан выбирают по большему значению пропускной способности из результатов расчета на входе и на выходе, поскольку различны температуры теплоносителя, а следовательно, различны и расходы теплоносителя при равенстве переносимой тепловой энергии. При централизованном теплоснабжении клапан выбирают по расходу в системе отопления. Результатом такого выбора смесительного трехходового клапана является неудовлетворительная их работа по стороне теплосети. Устраняют этот недостаток применением трехходового разделительного клапана на обратном трубопроводе. Но в том и в другом случаях при неправильном обеспечении внешних авторитетов клапана по обоим контурам циркуляции теплоносителя могут образовываться значительные отклонения от требуемого расхода, ухудшающие линейность регулирования температуры теплоносителя.

Значительно лучших результатов регулирования достигают при использовании двухходового регулятора теплового потока. Его располагают либо на подающем, либо на обратном трубопроводе. Зачастую регулятор теплового потока располагают на том же трубопроводе, что и смесительный насос. При высокой температуре теплоносителя в подающем трубопроводе перед клапаном

предпочтительным размещением клапана является обратный трубопровод. Клапан работает в более благоприятных условиях.

Расположение насоса на обратном либо на подающем трубопроводе обычно зависит от предпочтений проектировщиков и эксплуатационников. Размещением насоса на подающем трубопроводе уменьшают, например, вероятность засорения при заполнении и эксплуатации системы отопления. В то же время при пропадании электроэнергии в насос попадает высокотемпературный теплоноситель за счет незначительной циркуляции через него под разностью давлений в подающем и обратном трубопроводе теплосети, поскольку не всегда выполняются рекомендации о необходимости отсечения местной системы отопления в таких ситуациях. При расположении насоса на обратном трубопроводе устраняют влияние повышенного давления в обратной магистрали теплосети, часто наблюдаемое в концевых участках теплосети, и создают более благоприятные температурные условия для его работы.

Отключения электроэнергии требуют прогнозированного обеспечения поведения системы местных систем и разработки мер защиты от пагубных последствий. С этой целью на подмешивающей перемычке устанавливают обратный клапан, предотвращающий попадание теплоносителя из подающего в обратный трубопровод теплосети. Кроме того, учитывают пропуск теплоносителя через обесточенный насос. Пропускаемый расход зависит от этого перепада и от сопротивления системы отопления. Двухтрубные системы отопления, имея большее гидравлическое сопротивление, чем однетрубные, надежнее в таких ситуациях. Они пропускают меньший расход теплоносителя, ориентировочно 10...20 % от расчетного значения, но и этого может оказаться чрезмерно много для температурного удлинения трубопроводов, деструкции уплотнительных материалов и тому подобном при значительном превышении температуры теплоносителя в теплосети над расчетной температурой теплоносителя в системе отопления. Поэтому общим требованием является необходимость проектирования защиты местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя, например, применением регулятора теплового потока, закрывающегося при пропадании электричества.

Полное отсечение системы отопления современных зданий, имеющих большую тепловую инерцию, не приводит к ее замора-

живанию в течение нескольких дней. Более незащищенными являются системы отопления малоинерционных и неутепленных зданий. Воздействие перепада давления, развиваемого насосом, держит клапан в закрытом состоянии. При обесточенном насосе под противоположно направленной (относительно насоса) разностью давления в трубопроводах теплосети открывается обратный клапан и попадает теплоноситель в систему отопления.

Недостатком зависимой схемы присоединения со смешением является незащищенность системы от повышения в ней гидростатического давления, непосредственно передающегося через обратный теплопровод, до значения, опасного для целостности отопительных приборов и арматур [2].

**Независимое присоединение системы отопления** применяют для создания местного теплогидравлического режима при  $t_r < T_j$ . Гидравлическое разделение теплосети от системы отопления осуществляют поверхностным теплообменником. Принимают такое решение при превышении давления в теплосети над допустимым давлением для системы отопления либо, наоборот, когда статическое давление системы превышает допустимый предел для теплосети. Кроме того, обоснованием выбора независимого присоединения все чаще становятся эксплуатационные требования работоспособности современных систем отопления.

Преимуществом независимого подключения является тот факт, что система отопления в значительно меньшей мере подвержена влиянию изменения гидравлического режима теплосети со временем и меньше сама влияет на теплосеть. Независимое подключение способствует уменьшению объема теплоносителя в теплосети, а значит, снижению затрат на водоподготовку. Особо важным является уменьшение инерционности теплосети, что в итоге приводит к улучшению качества предоставляемой услуги по отоплению зданий за счет своевременного реагирования центрального качественного регулирования на изменение погодных условий. Имеется возможность сохранения циркуляции с использованием теплосодержания воды в течение некоторого времени, которого обычно бывает достаточно для устранения аварийного повреждения наружных теплопроводов. Поэтому независимое подключение является предпочтительным и перспективным техническим решением.

Наибольшее распространение получили схемы независимого подключения с одним теплообменником, представленные на рис. 3.

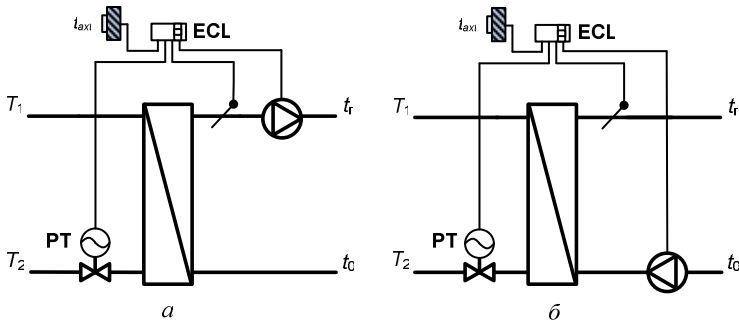


Рис. 3. Независимое присоединение системы отопления: *а* – с насосом на подающей магистрали; *б* – с насосом на обратной магистрали

Взаимное расположение насоса и теплообменника не имеет особого значения. Современные насосы способны эффективно работать как на подающем, так и на обратном трубопроводе. Однако у каждого размещения есть незначительные преимущества, которыми, как правило, пренебрегают. Насос на обратном трубопроводе имеет несколько больший кавитационный запас и лучший теплоотвод от двигателя с мокрым ротором. В то же время он перекачивает теплоноситель с большей плотностью, увеличивая потребляемую мощность на валу двигателя и, соответственно, энергопотребление по сравнению с насосом на подающем трубопроводе.

Кроме схем с одним теплообменником для системы отопления применяют схемы и с двумя теплообменниками. Два параллельно включенных теплообменника применяют также при независимом подключении системы отопления с пофасадным регулированием, представленным на рис. 4.

Управление фасадными ветвями осуществляют электронным регулятором по датчику температуры наружного воздуха  $t_{ext}$ . Корректируют работу системы по температурам внутреннего воздуха  $t_{in}$ , отслеживаемым датчиками в характерных по преобладающему тепловому режиму помещениях с разных фасадов здания. Альтернативным вариантом является применение двух электронных регуляторов на каждую фасадную ветвь. В любом



случае теплообменники рассчитывают в соответствии с тепловой мощностью каждой фасадной ветви.

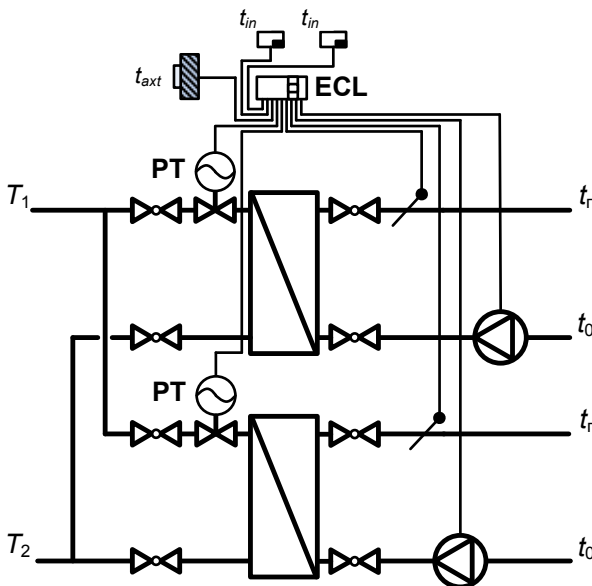


Рис. 4. Независимое присоединение системы отопления с двумя параллельно включенными теплообменниками

Следует заметить, что в вертикальных и горизонтальных системах отопления с терморегуляторами на отопительных приборах и автоматическими регуляторами перепада давления на двухтрубных стояках (или приборных ветках) либо автоматическими регуляторами расхода на однетрубных стояках (или приборных ветках) пофасадное регулирование является нецелесообразным. С этой задачей более эффективно справляются указанные клапаны, устраняя перетоки теплоносителя не только между фасадными ветвями системы отопления, но и между стояками или приборными ветками фасадной ветви.

Существенной экономии теплотрат в водяных системах теплоснабжения достигают, применяя автоматическое регулирование теплового потока, поступающего в систему отопления. Устойчивость работы повышается при приближении места проведения регулирования к теплопотребителю за счет более полного

учета различных факторов, определяющих теплотребность помещений отапливаемых зданий. При местном регулировании в тепловом пункте здания учитывают особенности режима его эксплуатации, ориентацию по сторонам горизонта, действие ветра и солнечной радиации.

Способы регулирования систем водяного отопления отличаются параметром, по которому оценивают требуемую теплоточаду в систему. Чаще всего таким параметром является температура наружного воздуха (регулирование «по возмущению»). Индивидуальное регулирование проводят, контролируя температуру внутреннего воздуха в отапливаемом помещении (регулирование «по отклонению»). Местное (пофасадное) регулирование осуществляется с применением того и другого способов. Возможен также способ изменения теплоточады в систему отопления в зависимости от температуры теплоносителя, возвращающегося из части системы или системы в целом. Как известно, эта температура – показатель изменения температурной обстановки в отапливаемых помещениях, и он может быть заранее рассчитан.

Большой экономический эффект достигают при прерывистом отоплении зданий с переменным режимом работы со снижением температуры внутреннего воздуха в нерабочий период времени (например, в учебных зданиях) или в ночные часы (в жилых зданиях). Регулирование при этом осуществляют, используя одну систему отопления или две системы (например, водяную и воздушную), когда одна из них действует постоянно, а другую выключают периодически [3].

Автоматизация и диспетчеризация работы систем отопления должны основываться на следующих принципах: автоматическое регулирование должно осуществляться для узлов, в которых требуется постоянное в данный момент времени поддержание регулируемой величины (температуры, давления), а также автоматическая защита от аварии (например, при возможности превышения рабочего давления для отопительных приборов). Дистанционное управление из диспетчерского пункта – для удаленных отопительных установок.

Наиболее полно реализуются перечисленные принципы при автоматизации работы систем водяного отопления и, прежде всего, с целью экономии тепловой энергии.

Кроме того, предусматривают контроль и автоматизацию работы следующих основных узлов систем отопления (применительно к водяному теплоснабжению зданий):

- измерения и регистрации температуры воды в основных магистралях системы отопления, температуры воздуха в контрольных помещениях;
- измерения и регистрации теплотрат на отопление;
- контроля и регулирования давления воды в наружных теплопроводах;
- управления работой циркуляционных и подпиточных насосов, в том числе с применением частотно регулируемых электроприводов;
- сигнализации на щит диспетчера работы насосов, агрегатов воздушного отопления, воздушно-тепловых завес и т.п.;
- совмещения реализации функций узла учета, регулирования, диспетчеризации в одном микропроцессорном контроллере.

Внедрение интеллектуальных методов автоматического управления для систем теплопотребления является наиболее перспективным энергетически и экономически выгодным способом реализации программы «комфортного тепла», которая обеспечивает гибкий и благоприятный тепловой режим здания.

Для решения данной задачи необходимо разработать новые алгоритмы микропроцессорного управления регулирующими клапанами и частотно регулируемые электроприводами насосов.

### **Библиографический список**

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: ФЗ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ // Российская газета. – 2009 . – 27 ноября.
2. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1991.
3. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление: учебник для вузов. – М.: Изд-во АСВ, 2002.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЯХ ДЛЯ СЛУЧАЯ АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА

Студентка гр. ДПМ-06м А.Ю. Полетаева

Научный руководитель – канд. техн. наук,

доцент *Е.В. Кузнецова*

Пермский государственный технический университет

В работе рассмотрены [1] условия формирования остаточных напряжений при волочении трубной заготовки, где предполагалось, что в процессе изготовления в трубе возникают остаточные напряжения, которые являются упругими после выхода трубной заготовки из зоны деформирования. При этом в основе решения лежит энергетический подход.

Результаты работы [1] показывают, что для циркониевых трубок, для оболочек ТВЭЛов (тепловыделяющий элемент) имеет место проявление анизотропии механических свойств после изготовления, поэтому целесообразно решить задачу определения остаточных напряжений для случая анизотропии механических свойств материала.

Под действием остаточных напряжений, возникающих после пластического деформирования, в осесимметричных изделиях большой длины реализуется схема плоского упругого деформированного состояния (отсутствие осевых деформаций  $\varepsilon_z = 0$ ).

При осевой симметрии напряжённого состояния, в условиях плоского деформированного состояния изделий большой длины имеем:

$$\frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} = 0, \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} = 0, \frac{\partial \sigma_{\theta}}{\partial \theta} = 0, \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} = 0, \tau_{r\theta} = 0;$$
$$\frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} = 0, \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0.$$

Тогда

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial r}(r\sigma_r) - \sigma_{\theta} = 0, \\ \frac{\partial}{\partial r}(r\tau_{rz}) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Можно задать радиальное напряжение в виде

$$\sigma_r = -a_0(R_1 - r)(r - R_2), \quad (2)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – внешний и внутренний радиус трубы.

Первое из уравнений равновесия дает

$$\sigma_\theta = a_0[(r - R_1)(r - R_2) + r(2r - R_1 - R_2)]. \quad (3)$$

Второе из дифференциальных уравнений равновесия (1) дает  $\tau_{rz} = C_1 / r$ . Для тонкостенных труб можно ожидать малых значений  $\tau_{rz}$ , поэтому полагаем  $C_1 = 0$  ( $C_1$  – постоянная интегрирования).

Из обобщенного закона Гука для материала, обладающего цилиндрической анизотропией, полагая, что  $\varepsilon_z = 0$ , получено осевое остаточное напряжение в следующем виде:

$$\begin{aligned} \sigma_z = & \frac{E_z}{E_r} \nu_{rz} a_0 (r - R_1)(r - R_2) + \\ & + \frac{E_z}{E_\theta} \nu_{\theta z} a_0 [(r - R_1)(r - R_2) + r(2r - R_1 - R_2)] \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, тензор остаточных напряжений отличается от представленных в работе [1] наличием постоянных, характеризующих анизотропию свойств материала.

В выражения (2)–(4) входит неизвестный параметр  $a_0$ , который определен из энергетического условия.

Используя обобщенный закон Гука для относительных деформаций с учетом уравнений (2)–(4), получено:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r = & \frac{a_0}{E_r} (r - R_1)(r - R_2)(1 - \nu_{rz} \nu_{zr}) - \\ & - \frac{a_0}{E_\theta} [(r - R_1)(r - R_2) + r(2r - R_1 - R_2)] (\nu_{\theta r} + \nu_{zr} \nu_{\theta z}), \\ \varepsilon_\theta = & \frac{-a_0}{E_r} (r - R_1)(r - R_2) (\nu_{r\theta} + \nu_{z\theta} \nu_{rz}) + \\ & + \frac{a_0}{E_\theta} [(r - R_1)(r - R_2) + r(2r - R_1 - R_2)] (1 - \nu_{z\theta} \nu_{\theta z}). \end{aligned} \quad (5)$$

Средняя по сечению трубы степень деформации определена выражением

$$\varepsilon_{cp} = 2 \ln d / d_{\text{д}} + \frac{4 \operatorname{tg} \alpha (1 - a^3)}{3\sqrt{3}(1 - a^2)}. \quad (6)$$

Согласно энергетическому условию получено значение неизвестного параметра  $a_0$ :

$$a_0 = \frac{1}{R_1^2} \sqrt{\frac{\psi 60 \cdot \sigma_{s_0} \cdot E_r E_{\theta} (1 - \bar{R}^2) \cdot \varepsilon_{cp} \left( 1 + \frac{m \varepsilon_{cp}^n}{(n+1)} \right)}{\bar{A}}}, \quad (7)$$

где  $\bar{R} = R_2 / R_1$ ;

$$\begin{aligned} \bar{A} = & E_{\theta} (1 - 4\bar{R} + 5\bar{R}^2 - 5\bar{R}^4 + 4\bar{R}^5 - \bar{R}^6) (1 - \nu_{rz} \nu_{zr}) + \\ & + E_r (6 - 14\bar{R} + 10\bar{R}^2 - 10\bar{R}^4 + 14\bar{R}^5 - 6\bar{R}^6) (1 - \nu_{z\theta} \nu_{\theta z}). \end{aligned}$$

При известном  $a_0$  найдены компоненты тензора остаточных напряжений.

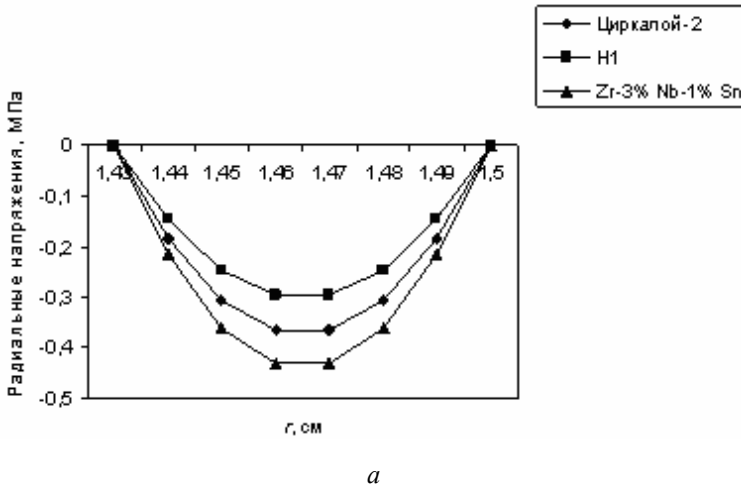
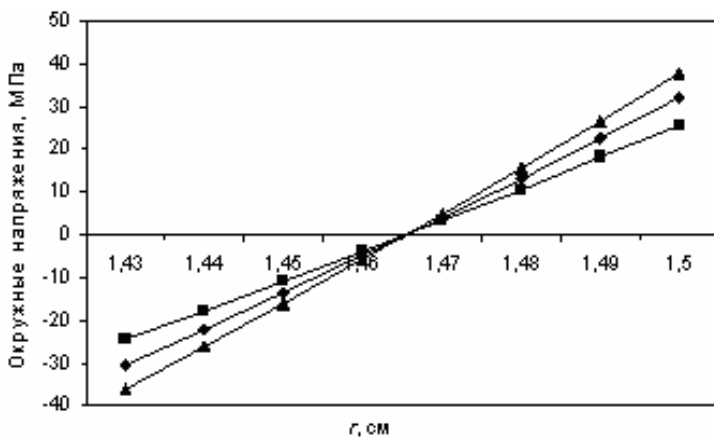
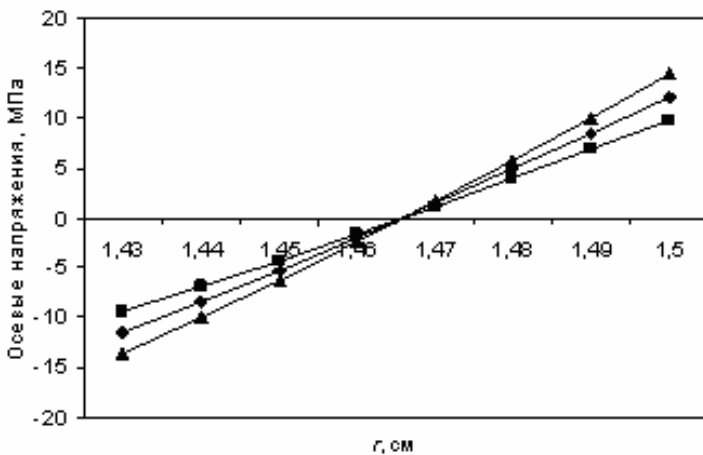


Рис. Проявление анизотропии упругих свойств циркониевых сплавов на величину:  $a$  – радиальных,  $b$  – окружных,  $c$  – осевых остаточных напряжений, МПа



б



б

Рис. Окончание

На рисунке представлена зависимость радиальных, окружных, осевых остаточных напряжений по объему оболочки ТВЭЛа из циркониевых сплавов, таких как Циркалой-2, Zr – 1 %, Cu – 0,6 % и Zr – 3 % Nb – 1 % Sn. Для величин коэффициент Пуассона  $\mu = 0,31$ ,  $\psi = 0,3 \cdot 10^{-4}$ ,  $\alpha = 10$ ,  $R_1 = 15$  мм,  $R_2 = 14,3$  мм, при обжатии  $D/d = 1,3$ .

Из рисунка видно, что влияние механических свойств циркониевых сплавов на уровень остаточных напряжений весьма велик, и значения для различных сплавов увеличиваются в 1,5–2 раза и могут достигать 40 МПа.

Эксплуатационные напряжения в оболочках варьируются в пределах 80–120 МПа, поэтому остаточные напряжения в 40 МПа – это существенное уменьшение запаса прочности, что для прецизионных деталей недопустимо.

Рассчитаны технологические остаточные напряжения в тонкостенных трубках для оболочек ТВЭЛов. Результаты расчетов показали, что величина обжата в большей степени влияет на изменение остаточных напряжений, чем угол раствора матрицы, а также в материалах с большим сопротивлением деформации неравномерность пластической деформации будет больше, а значит, и уровень остаточных напряжений выше.

Выраженная ортотропия упругих свойств существенно влияет на повышение величин остаточных напряжений. Меньшие напряжения наблюдаются в случае, если модули упругости в продольном и поперечном направлениях имеют одинаковые значения.

Таким образом, разработана и протестирована методика учета анизотропии материала при определении остаточных напряжений в трубах после осесимметричного пластического деформирования.

### **Библиографический список**

1. Кузнецова Е.В. Остаточные напряжения и технологическая прочность осесимметричных металлоизделий, полученных пластическим деформированием: дис. ... канд. техн. наук / Перм. гос. техн. у-т. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2002.
2. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – 2-е изд., доп. – М.: Наука, 1977.



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА ОТ БОРТОВОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ**

**Канд. техн. наук, доцент В.А. Шаряков,  
канд. техн. наук, доцент О.Л. Шарякова**  
Санкт-Петербургский институт машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ)

Возможность использования асинхронного двигателя (АД) в автоматизированном электроприводе (АЭП) является актуальной задачей. АД, как известно, по сравнению с двигателем постоянного тока при одной и той же мощности и номинальной угловой скорости в 1,5–2 раза легче, момент инерции ротора более чем в 2 раза меньше и стоимость его ниже – примерно в 3 раза. АД, будучи бесконтактной машиной, является более надежным в сравнении с машиной постоянного тока, имеющей коллектор, который осложняет эксплуатацию и ограничивает по условиям коммутации динамические нагрузки.

К основным и наиболее сложным проблемам современного градостроительства относятся вопросы создания и развития городской транспортной системы. Комплексное решение городской транспортной проблемы невозможно без создания скоростных видов пассажирского транспорта.

Городской электротранспорт в основном оборудован электроприводами постоянного тока. Анализ эксплуатации подвижного состава (ПС), оснащенного тяговыми асинхронными двигателями (ТАД), показал двойное сокращение необходимого времени на техническое обслуживание тягового электрооборудования по сравнению с оборудованием контактно-реостатного вагона. В процессе эксплуатации подтверждена экономия электроэнергии (в среднем около 26 %) [1].

При эксплуатации подвижного состава городского электротранспорта встречается проблема: преодоление обесточенных участков контактной сети (КС), которые могут быть вызваны как оперативной ситуацией на тяговой подстанции (необходимость обесточивания участка КС, вызванная срабатыванием защитных аппаратов или эксплуатационной необходимостью), так и конструкцией КС (стрелки, пересечения с троллейбусными проводами,

разъединители участков КС). Применение современного подвижного состава с тяговыми преобразователями позволяет организовать питание тяговых двигателей от аккумуляторной батареи 16...28 В для преодоления обесточенного участка с ограниченными эксплуатационными характеристиками.

При питании ТАД напряжением, намного меньшим, чем номинальное, главными требованиями к его работе будут следующие:

– реализация электромагнитного момента, превышающего силу сопротивления;

– потребляемый ток тяговым преобразователем не должен превышать допустимого тока разряда аккумуляторной батареи (АБ).

Таким образом, от системы управления ТАД требуется развить необходимый электромагнитный момент, не потребляя при этом ток больше допустимого. Тогда принцип управления будет заключаться в реализации баланса между допустимой электрической мощностью (определяемой характеристиками АБ) и максимальной механической мощностью (определяемой силами сопротивления),

$$P_{\text{мех}} \leq P_{\text{АБ}}. \quad (1)$$

При движении в режиме питания ТАД от АБ низковольтные потребители, не отвечающие за безопасность движения и не используемые для управления ПС, должны быть выключены.

Если взять за отправную точку требования ПТЭ трамвая [2], что напряжение на АБ не должно быть меньше 18 В при токе 200 А, получим максимальную мощность потребления каждым тяговым преобразователем (ТП):

$$P_{\text{ТП}} = U_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{ТП}} \leq \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 200, \quad (2)$$

где  $P_{\text{ТП}}$  – потребляемая мощность одним тяговым преобразователем;  $U_{\text{ТП}}$  – минимальное напряжение на входе ТП с учетом потерь в проводах;  $I_{\text{ТП}}$  – допустимый максимальный ток ТП.

Определим максимальный момент сопротивления движению для каждого ТАД:

$$M_c = \frac{F_c \cdot D}{2n_{\text{ТАД}} \cdot i_p} \cdot 18 \cdot 200, \quad (3)$$

где  $F_c$  – сила сопротивления при движении по грязным рельсам в кривой радиусом  $R = 14$  м для трамвая с полной загрузкой 30 т,  $F_c = 14\,400$  Н;  $D$  – диаметр бандажа (колеса) трамвая,  $D = 0,7$  м;  $n$  – число ТАД на трамвае,  $n_{ТАД} = 4$ ;  $i_p$  – коэффициент передачи редуктора,  $i_p = 7,13$ .

С учетом выражений (1) и (2) получим значение требуемой частоты вращения ТАД:

$$\omega_d = \frac{P_{ТП} \cdot \eta_d \cdot \eta_{ТП}}{n_{ТАД\,ТП} \cdot M_c}, \quad (4)$$

где  $n_{ТАД\,ТП}$  – число ТАД, питаемых одним тяговым преобразователем (ТП),  $n_{ТАД\,ТП} = 2$ ;  $\eta_d \cdot \eta_{ТП}$  – КПД ТАД и ТП.

Скорость движения трамвая

$$V_T = \frac{\omega_d \cdot D}{i_p \cdot 2}. \quad (5)$$

Следовательно, для трамвайного вагона ЛМ2008 скорость движения в режиме автономного хода в кривой на грязных рельсах с номинальной нагрузкой составит 7 см/с или 200 м/ч, а на прямой участке и чистых рельсах будет 0,5 м/с или 2 км/ч.

Относительная частота статора и относительное напряжение для такого режима будут определяться следующими выражениями

$$\alpha = \frac{P_{II} \cdot \omega_d}{\omega_H}, \quad \gamma = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ТП}}{3 \cdot U_H}. \quad (6)$$

Таким образом, при движении от АБ ТП должен подавать напряжение и частоту, соответствующую (6).

Результаты моделирования движения вагона при питании от АБ с разной степенью зарядки и при движении по разным путям (рис. 1–3) демонстрируют, что при различном напряжении заряда АБ трамвай трогается в кривой и уверенно двигается. При этом потребляемый ток одним преобразователем незначительно превышает 100 А, а потребляемая мощность при этом 1600...2800 Вт.

Результаты моделирования представлены на рис. 4, из которых видно, что в зависимости от состояния участка пути и напряжения аккумуляторной батареи трамвайный вагон может развивать скорость от 0,2 до 0,5 км/ч.

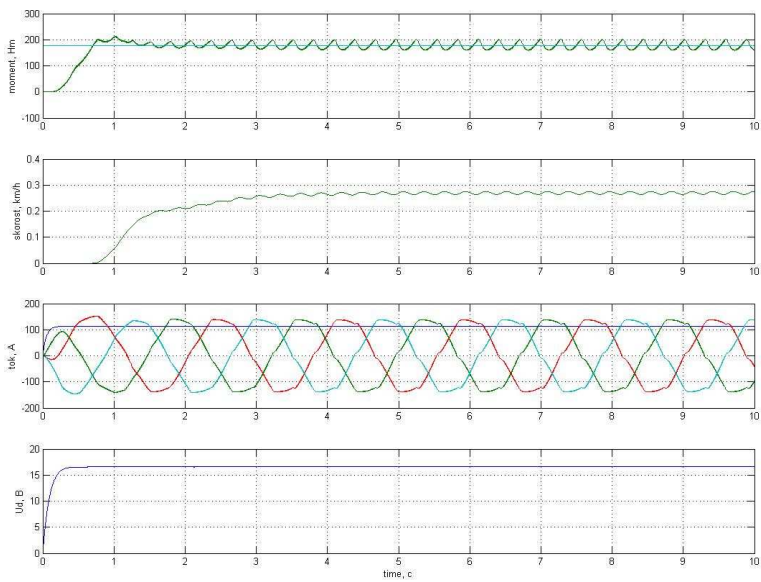


Рис. 1. Движение вагона в кривой  $R = 14$  м (грязные рельсы) при напряжении на АБ – 16 В

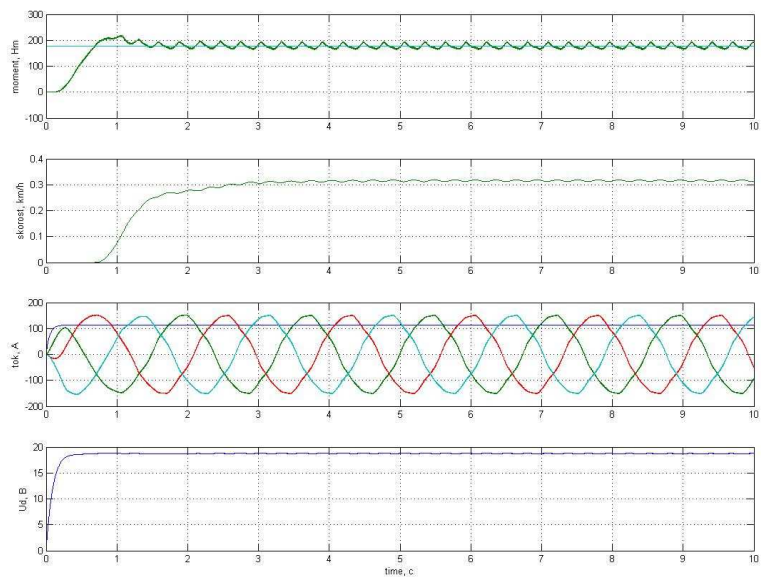


Рис. 2. Движение вагона в кривой  $R = 14$  м (грязные рельсы) при напряжении на АБ – 18 В

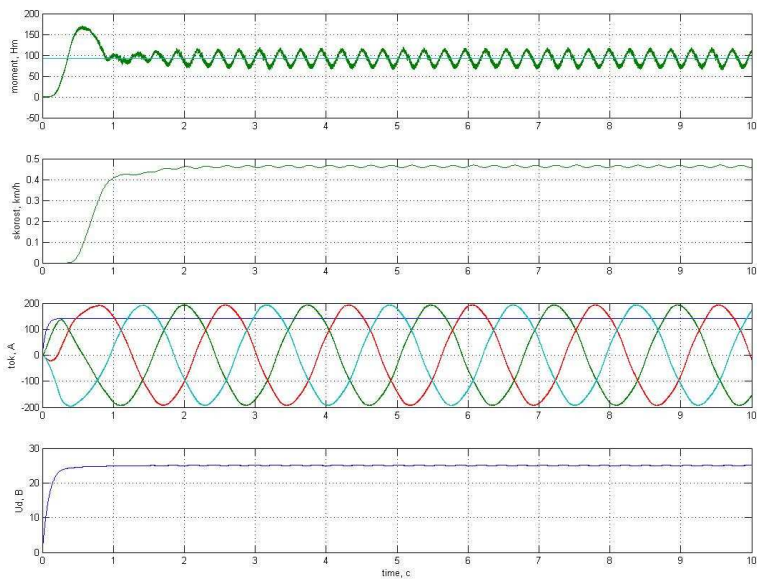


Рис. 3. Движение вагона в кривой  $R=14$  м (грязные рельсы) при напряжении на АБ – 22 В

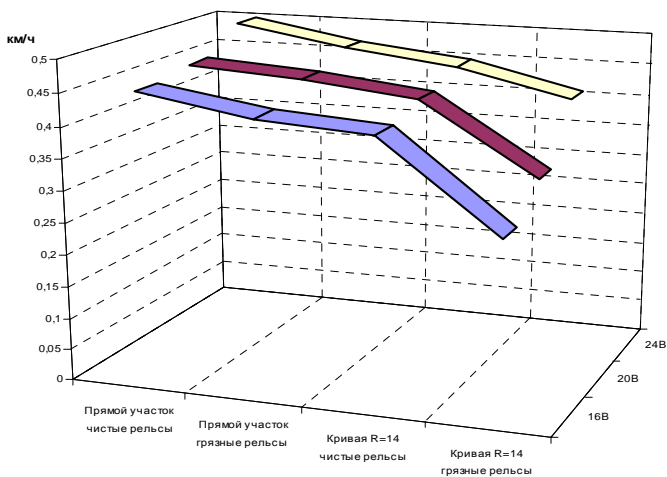


Рис. 4. Результаты моделирования движения трамвайного вагона при разных напряжениях на АБ и разных участках пути

## Библиографический список

1. Транспортный электропривод-2001: тез. докл. науч.-практ. конф., 26–28 сентября 2001 г. /АО «Электросила». – М., 2001.

2. Правила технической эксплуатации трамвая / Министерство транспорта РФ. – М., 2001.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ РАВНОКАНАЛЬНЫМ РАДИАЛЬНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

**Студент гр. ДПМ-07 В.А. Трушков**

Научный руководитель – д-р техн. наук,  
профессор *Г.Л. Колмогоров*

Пермский государственный технический университет

В настоящее время все возрастающий интерес специалистов привлекают задачи, связанные с технологиями получения наноструктурных материалов, обладающих уникальными структурами и свойствами [1].

Одним из известных способов получения наноструктурных материалов является применение интенсивной пластической деформации (ИПД), в процессе которой происходит формирование наноструктур в заготовках путем измельчения их микроструктур до наноразмеров. Из опыта обработки металлов давлением известно, что большие пластические деформации в холодном состоянии приводят к значительному измельчению структуры металлов. Большие пластические деформации в холодном состоянии металлов без разрушения становятся возможными за счет применения технологических схем деформирования с преобладающими сжимающими напряжениями в условиях высоких гидростатических давлений в процессе обработки металлов давлением. Схема объемного напряженного состояния при действии сжимающих напряжений обеспечивает высокие пластические свойства обрабатываемого металла. Для оценки предельных пластических деформаций с точки зрения опасности разрушения возможно использование существующей при обработке металлов давлением теории разрушения [2].

Одной из технологических схем ИПД является равноканальное угловое прессование, при котором заготовка продавливается в специальной технологической оснастке через два канала с равным поперечным сечением, пересекающихся под некоторым углом (рис. 1). Каждый проход обеспечивает определенную степень деформации, в результате которой происходит измельчение зерна металла заготовки.

Учитывая благоприятную схему напряженного состояния, прессованию могут подвергаться малопластичные труднодеформируемые металлы и сплавы.

В качестве другой схемы равноканального углового прессования предлагается схема равноканального радиального прессования (рис. 2). Прессование через равноканальную радиальную матрицу может быть более технологичным с точки зрения обеспечения монотонного изменения степени деформации.

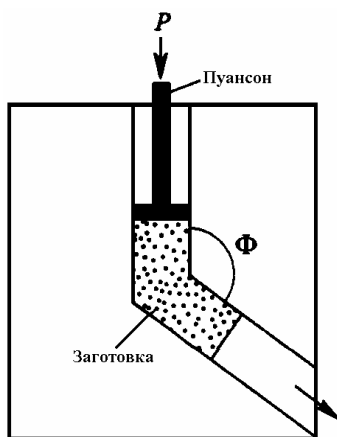


Рис. 1. Схема равноканального углового прессования

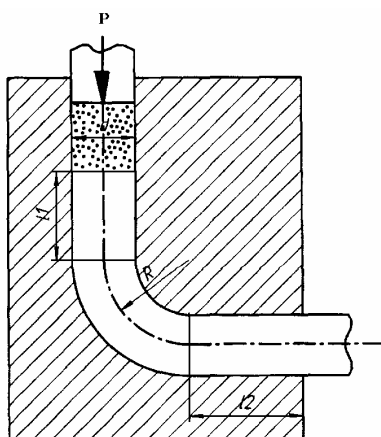


Рис. 2. Схема равноканального радиального прессования

При равноканальном угловом и радиальном прессовании под действием осевого усилия прессования заготовка деформируется пластическим изгибом, при этом одна половина заготовки подвергается пластической деформации растяжением, а другая половина заготовки подвергается пластической деформации сжатием.

Пластической деформации при входе в радиальный участок канала предшествует упругое состояние заготовки. При упругом

изгибе в сечениях заготовки действует нормальное напряжение, определяемое по формуле

$$\sigma = \frac{M}{I_x} \cdot y, \quad (1)$$

где  $M$  – изгибающий момент,  $I_x$  – осевой момент инерции сечения заготовки,  $y$  – расстояние до оси заготовки.

Нормальные напряжения равны нулю на оси заготовки и линейно возрастают по мере удаления от оси заготовки, причем в зависимости от знака  $y$  одна часть заготовки растягивается, а другая сжимается. Максимальные нормальные напряжения действуют в поверхностных слоях заготовки  $\left( y = \pm \frac{d}{2} \right)$ .

Началу пластической деформации при изгибе соответствует  $\sigma_{\max} = \sigma_s$  ( $\sigma_s$  – предел текучести заготовки или сопротивление материала пластическому деформированию).

При дальнейшем продвижении заготовки в радиальном канале пластическая область распространяется к оси заготовки и в предельном случае занимает все сечение заготовки. Такое распределение нормальных напряжений приводит к появлению пластического шарнира. В основу последующего энергосилового расчета примем, что усилие прессования определяется условием образования пластического шарнира.

Предельный момент, соответствующий пластическому шарниру, определяется интегральной суммой изгибающих моментов относительно оси  $x$  от нормальных напряжений, равных  $\sigma_s$ , действующих на половине сечения заготовки (рис. 3),

$$M_s^* = \int_0^{\pi} \sigma_s R_0^3 \cos^3 \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi, \quad (2)$$

где  $R_0$  – радиус заготовки  $\left( R_0 = \frac{d}{2} \right)$ .

После выполнения интегрирования и преобразований получим

$$M_s^* = \frac{2}{3} \sigma_s R_0^3. \quad (3)$$



Соответственно предельный изгибающий момент с учетом допущения о единой кривой для всего сечения определяется по формуле

$$M_s = 2M_s^* = \frac{4}{3} \sigma_s R_0^3. \quad (4)$$

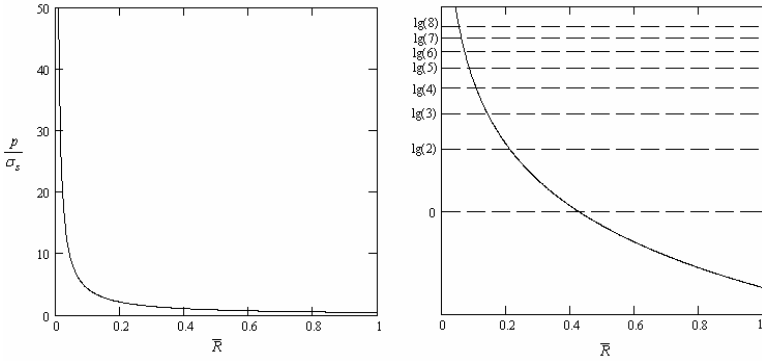


Рис. 3. Зависимость  $p / \sigma_s$  от  $\bar{R}$  в декартовой и логарифмической системе координат

Таким образом, пластический шарнир в заготовке круглого поперечного сечения образуется при моменте, определяемом соотношением (4). Знание предельного момента позволяет выполнить энергосиловой расчет процесса равноканального углового прессования.

Полагая, что в установившейся стадии процесса прессования работа усилия прессования равняется работе пластического момента, имеем

$$P \cdot \Delta = M_s \cdot \frac{\pi}{2}, \quad (5)$$

где  $\Delta$  – перемещение торца заготовки при полном прохождении радиального участка канала ( $\Delta = \pi R / 2$ ),  $R$  – радиус радиального участка канала.

После подстановки соотношения (4) в соотношение (5) получим усилие прессования в следующем виде:

$$P = \frac{4}{3} \sigma_s \frac{R_0^3}{R}. \quad (6)$$

На рис. 3 представлены расчетные зависимости относительно удельного давления прессования:

$$\frac{p}{\sigma_s} = \frac{4}{3\pi\bar{R}}, \quad (7)$$

где  $p$  – удельное давление прессования,  $p = \frac{P}{\pi R_0^2}$ ,  $\bar{R} = \frac{R}{R_0}$ .

Из рис. 3 следует, что при уменьшении величины  $\bar{R}$  удельное давление прессования растет, при  $\bar{R} \rightarrow 0$ , что соответствует равноканальному угловому прессованию, удельное давление становится бесконечно большим.

Следует отметить, что соотношение (6) не учитывает работу сил трения при прессовании. Схема радиального прессования благоприятна для создания условий жидкостного трения, поскольку есть возможность заполнения зазора между каналом и наружной поверхностью заготовки эффективной технологической смазкой и, обеспечив уплотнение объема смазки, реализовать разделение трущихся поверхностей. В общем же случае силы трения на участках соответственно следующие:

$$\begin{cases} F_1 = 2\pi R_0 l_1 \tau_1, \\ F_2 = \pi^2 R_0 R \tau_2, \\ F_3 = 2\pi R_0 l_2 \tau_3, \end{cases} \quad (8)$$

где  $\tau$  – силы трения по участкам рабочего канала при прессовании,  $l_1$  и  $l_2$  – длины вертикального и горизонтального участка канала соответственно.

Соотношения (8) дополняют выражение (6) в случае прессования в граничном режиме трения:

$$P = \frac{4}{3} \sigma_s \frac{R_0^3}{R} + \pi R_0 (2l_1 \tau_1 + \pi R \tau_2 + 2l_2 \tau_3). \quad (9)$$

В случае достаточно хороших условий смазки усилие прессования будет определяться первым членом соотношения (9).

При интенсивной пластической деформации необходимо оценивать реализуемую деформацию, поскольку деформация определяет величину зерна при наноструктурировании металла. Выполним оценочный расчет реализуемой деформации.

При интенсивной пластической деформации радиальным прессованием совершается работа

$$A = M_s \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{2}{3} \pi \sigma_s R_0^3. \quad (10)$$

Для единицы объема заготовки удельная работа при этом определяется как

$$A_0 = \frac{A}{V}, \quad (11)$$

где  $V$  – объем заготовки, находящейся в условиях пластической деформации.

$$A_0 = \frac{4}{3} \sigma_s \frac{R_0}{R}. \quad (12)$$

Ранее мы допускали, что материал является жестко пластическим. Тогда удельная энергия пластической деформации

$$A_0 = \sigma_s \varepsilon. \quad (13)$$

Приравнявая выражения (12) и (13), получим деформацию, реализуемую в процессе интенсивной пластической деформации в радиальном канале,

$$\varepsilon = \frac{4}{3} \frac{R_0}{R}. \quad (14)$$

В случае многократного прессования суммарная деформация

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{4}{3} \frac{R_0}{R} n. \quad (15)$$

Таким образом, для равноканального прессования через радиальную матрицу определены энергосиловые параметры и реализуемая пластическая деформация.

### Библиографический список

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 271 с.
2. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением: учебник для вузов. – Екатеринбург: Изд-во УПИ, 2001. – 836 с.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ МЕТОДОМ К-СРЕДНИХ (K-MEANS)

**Студенты гр. АСУ-06м Д.О. Меньшиков, А.А. Ходжамбердиев**  
Научный руководитель – старший преподаватель *А.В. Кычкин*  
Пермский государственный технический университет

Кластерный анализ (англ. Dataclustering) – задача разбиения заданной выборки объектов (ситуаций) на подмножества, называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличались. Задача кластеризации относится к статистической обработке, а также к широкому классу задач обучения без учителя [1].

Задача кластеризации актуальна в настоящее время, она находит свое применение в различных областях науки. Например, в биологии, социологии, информатике и т.д. Кластеризация в информатике широко применяется в следующих задачах:

**1. Группирование результатов поиска:** кластеризация используется для «интеллектуального» группирования результатов при поиске файлов, веб-сайтов, других объектов, предоставляя пользователю возможность быстрой навигации, выбора заведомо более релевантного подмножества и исключения заведомо менее релевантного, что может повысить удобство интерфейса по сравнению с выводом в виде простого сортированного по релевантности списка:

– Clusty – кластеризующая поисковая машина компании Vivísimo;

– Nigma – российская поисковая система с автоматической кластеризацией результатов;

– Quintura – визуальная кластеризация в виде облака ключевых слов.

**2. Сегментация изображений (imagesegmentation):** кластеризация может быть использована для разбиения цифрового изображения на отдельные области с целью обнаружения границ (edgedetection) или распознавания объектов.

**3. Интеллектуальный анализ данных (datamining):** кластеризация в DataMining приобретает ценность тогда, когда она выступает одним из этапов анализа данных, построения закончен-

ного аналитического решения. Аналитику часто легче выделить группы схожих объектов, изучить их особенности и построить для каждой группы отдельную модель, чем создавать одну общую модель для всех данных. Таким приемом постоянно пользуются в маркетинге, выделяя группы клиентов, покупателей, товаров и разрабатывая для каждой из них отдельную стратегию.

**Постановка задачи.** Пусть  $X$  – множество объектов,  $y$  – множество номеров (имён, меток) кластеров. Задана функция расстояния между объектами  $p(x, x')$ . Имеется конечная обучающая выборка объектов  $X^m = \{x_1, \dots, x_m\} \subset X$ . Требуется разбить выборку на непересекающиеся подмножества, называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из объектов, близких по метрике  $p$ , а объекты разных кластеров существенно отличались. При этом каждому объекту  $x_i \in X^m$  приписывается номер кластера  $y_i$ .

Алгоритм кластеризации – это функция  $a: X \rightarrow Y$ , которая любому объекту  $x \in X$  ставит в соответствие номер кластера  $y \in Y$ . Множество  $Y$  в некоторых случаях известно заранее, однако чаще ставится задача определить оптимальное число кластеров с точки зрения того или иного критерия качества кластеризации [2].

Кластеризация (обучение без учителя) отличается от классификации (обучения с учителем) тем, что метки исходных объектов  $y_i$  изначально не заданы, и даже может быть неизвестно само множество  $Y$ .

**Решение.** Алгоритм представляет собой модификацию EM-алгоритма для разделения смеси гауссиан. Он разбивает множество элементов векторного пространства на заранее известное число кластеров  $k$ . Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать дисперсию на точках каждого кластера:

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2,$$

где  $k$  – число кластеров,  $S_i$  – полученные кластеры,  $i = 1, 2, \dots, k$  и  $\mu_i$  – центры масс векторов  $x_j \in S_i$ .

Основная идея заключается в том, что на каждой итерации пересчитывается центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается, когда на какой-то итерации не происходит изменения кластеров [3].

На рис. 1 приведен пример работы программы с ограничением количества кластеров до 2.

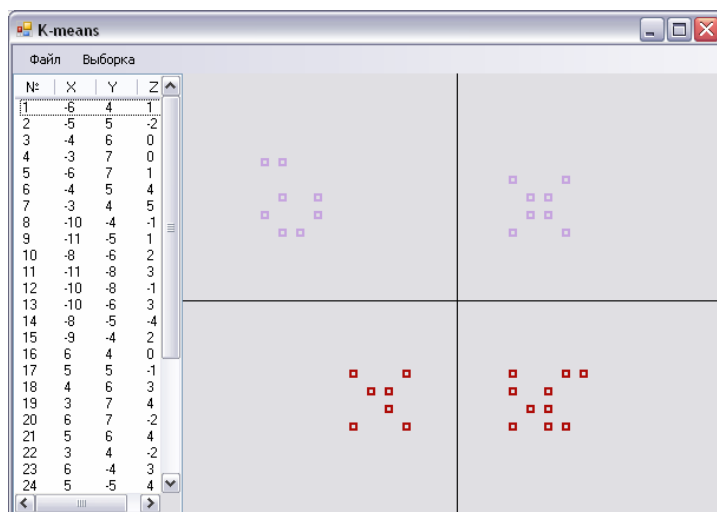


Рис. 1. Визуализация результатов работы метода  $k$ -средних с ограничением количества кластеров до 2

### Сравнение результатов

На рис. 2 приведен пример работы программы с ограничением количества кластеров до 4.

Алгоритм  $k$ -средних ( $k$ -meansclustering) – очень быстрый, простой и достаточно точный метод кластеризации объектов. Однако у метода  $k$ -средних есть три серьезных недостатка:

1. Необходимо заранее знать точное число кластеров. Можно предложить метод определения количества кластеров, который основывался на нахождении кластеров, распределенных по некоему закону (например, к нормальному закону). После этого выполняется классический алгоритм  $k$ -means, который дает более точные результаты.

2. Качество результата сильно зависит от выбора начального разбиения. Классический вариант подразумевает случайный выбор кластеров, что очень часто являлось источником погрешности. Как вариант решения необходимо проводить исследования объекта для более точного определения центров начальных кластеров. В моем случае на начальном этапе предлагается принимать в качестве центров самые отдаленные точки кластеров.

3. Плохо справляется с задачей, когда объект принадлежит к разным кластерам в равной степени или не принадлежит ни одному.

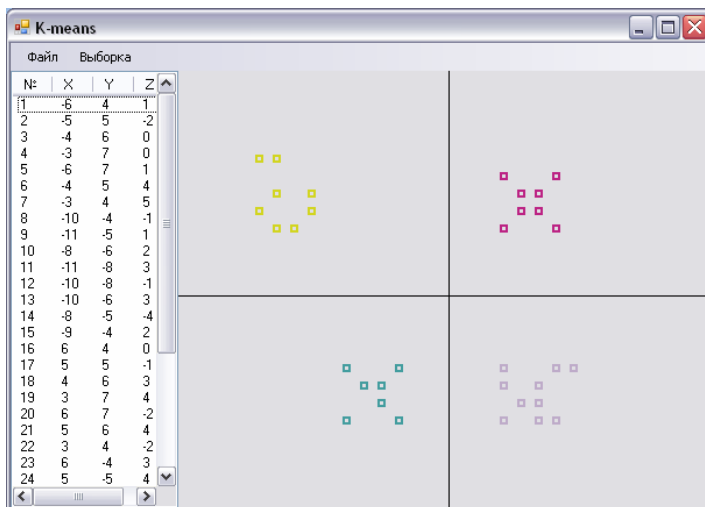


Рис.2. Визуализация результатов работы метода  $k$ -средних с ограничением с размера количества кластеров до 4

Поэтому обычно сначала применяют какой-либо другой метод кластеризации (например, PrincipalDirectionDivisivePartitioning) для определения числа кластеров и получения начального разбиения.

### Библиографический список

1. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
2. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / ИМ СО РАН. – Новосибирск, 1999. – 266 с.
3. Котов А., Красильников Н. Кластеризация данных. (2006). – URL: <http://logic.pdmi.ras.ru/~yura/internet/02ia-seminar-note.pdf>.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЭВОЛЮЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Студент гр. АСУ-06м В.С. Шилов

Научный руководитель – старший преподаватель А.В. Кычкин  
Пермский государственный технический университет

Кластеризация – это автоматическое разбиение элементов некоторого множества на группы в зависимости от их схожести. Элементами множества может быть что угодно, например, данные или векторные характеристики. Сами же группы принято также называть кластерами [1]. Кластерный анализ имеет много приложений. Самые распространенные из них: анализ данных, извлечение и поиск информации, группировка и распознавание объектов.

Существует множество различных методов решения этой задачи, однако не существует никаких универсальных алгоритмов. В зависимости от особенностей конкретной задачи, вычислительных мощностей и преследуемых целей могут быть использованы различные подходы. Существенным недостатком многих методов является то, что они ищут локальный оптимум. Одним из подходов, применимых для глобальной оптимизации, являются эволюционные методы. Важным преимуществом этого подхода является возможность эффективного использования параллельных вычислений, что особенно важно сейчас, когда все современные компьютеры имеют несколько виртуальных процессоров. Самым популярным эволюционным методом является генетический алгоритм. Именно он и выбран для решения задачи кластеризации.

Для представления задачи кластеризации как задачи оптимизации необходимо выбрать целевую функцию. Целевая функция выбирается, исходя из цели задачи кластеризации. Итак, нам надо минимизировать среднее внутрикластерное расстояние  $F_1$  и максимизировать межкластерное расстояние  $F_2$ . В таком случае целевую функцию можно представить в виде  $F = F_1 / F_2$  и исследовать ее на минимум.

Для оценки различий между двумя объектами выбрано евклидово расстояние:

$$d_{i,j} = \sqrt{\sum_k (x_{i,k} - x_{j,k})^2},$$

где  $x_{ik}$  –  $i$ -я характеристика  $k$ -го объекта.



Генетический алгоритм включает в себя следующие этапы:

1. Генерация начальной популяции.
2. Селекция хромосом.
3. Применение генетических операторов.
4. Формирование новой популяции.
5. Если условие завершения выполнено, перейти к этапу б, иначе – к этапу 2.
6. Выбор наилучшей хромосомы.

Генерация начальной популяции предполагает хромосом случайными элементами с соблюдением ограничений задачи. Например, если размер кластера ограничен сверху, должна производиться проверка количества элементов в каждом кластере. Хромосома представляет собой массив чисел. Каждый элемент этого массива соответствует определенному объекту, а хранимое в этом элементе значение указывает на кластер, которому принадлежит данный объект. Например, массив  $\{1,1,0,0,0,1\}$  говорит о том, что объекты 1, 2, 6 принадлежат кластеру 1, а объекты 3, 4, 5 кластеру 2.

Селекция хромосом заключается в выборе тех хромосом, которые будут участвовать в создании потомков для следующей популяции, т.е. для очередного поколения [2]. В качестве метода селекции выбран самый распространенный метод, основанный на принципе колеса рулетки. При его использовании каждому элементу в популяции соответствует зона на колесе рулетки, пропорционально соразмерная с величиной целевой функции. Тогда при повороте колеса рулетки каждый элемент имеет некоторую вероятность выбора для селекции, причем элемент с большим значением ЦФ имеет большую вероятность для выбора [3].

Генетические операторы направлены на поиск новых решений. Существуют два наиболее распространенных генетических оператора: скрещивание и селекция. При выполнении оператора скрещивания родительский пул разбивается на пары, и для каждой пары выполняется обмен частью генов между хромосомами. Это происходит следующим образом:

1. Случайным образом выбираются две точки скрещивания  $s$  и  $e$ .
2. Создается первый потомок, который содержит гены первого родителя, расположенные на позициях от 1 до  $s$  и от  $e + 1$  до  $n$  ( $n$  — размер хромосомы) и гены второго родителя, расположенные на позициях от  $s + 1$  до  $e$ .
3. Создается второй потомок, который содержит гены второго родителя, расположенные на позициях от 1 до  $s$  и от  $e + 1$  до  $n$  и гены первого родителя, расположенные на позициях от  $s + 1$  до  $e$ .

Если задано ограничение размера кластера, после выполнения операции скрещивания оно может быть нарушено, поэтому может потребоваться выполнять корректировку хромосомы. Эту корректировку предлагается проводить следующим образом:

1. Для каждого объекта, принадлежащего «переполненному» кластеру, вычисляется отношение среднего расстояния до объектов в данном кластере к среднему расстоянию до объектов, не принадлежащих данному кластеру.

2. Объект, для которого характеристика, вычисленная в пункте 1, оказалась наибольшей, переносится в не полностью заполненный кластер, который выбирается случайно.

3. Процесс продолжается, пока есть «переполненные» кластеры.

Оператор мутации необходим, чтобы решение не «свалилось» в локальный оптимум. Как правило, вероятность применения оператора мутации выбирается маленькой (<10 %). Можно выделить 4 наиболее распространенных оператора мутации:

1. *Одноточечный*. Случайным образом выбирается позиция  $i$  ( $i < n$ ) в хромосоме, и происходит обмен значениями, стоящих на  $i$  и  $i + 1$  местах.

2. *Двухточечный*. Случайным образом выбираются две позиции в хромосоме, и происходит обмен значений, стоящих на этих позициях.

3. *Оператор инверсии*. Случайным образом выбираются две позиции в хромосоме, и выполняется инверсия части хромосомы, расположенной между этими позициями.

4. *Оператор удаления и вставки*. Удаляется часть на хромосоме и на ее место записываются новые случайно сгенерированные значения. При этом, как и при создании начальной популяции, необходимо следить, чтобы не произошло переполнения кластера.

Для формирования новой популяции представляется наиболее целесообразным использование конкурентного подхода элитарной стратегии с глобальным состязанием. Этот подход заключается в том, что в отборе в новую популяцию участвуют как родители, так и потомки, при этом и те, и другие имеют абсолютно равные шансы. В новую популяцию отбираются особи с наилучшей функцией приспособленности.

В качестве условия завершения обычно используют выполнение определенного числа итераций. Однако это условие целесообразно модифицировать таким образом, чтобы завершение работы

алгоритма происходило после выполнения определенного числа итераций *без улучшения решения*. Благодаря этой модификации алгоритм не завершить, когда решение еще может быть улучшено.

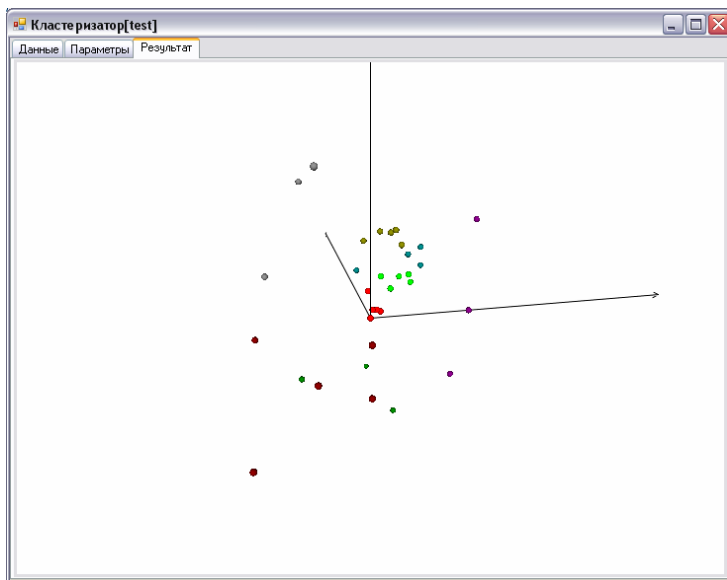


Рис. 1. Визуализация результатов работы генетического алгоритма с ограничением размера кластера до 5 объектов

Используя описанные стратегии, была разработана программа, решающая задачу кластеризации. При разбиении на кластеры в ней учитываются ограничения либо на размер кластера (максимальное количество объектов, включенных в один кластер), либо на количество кластеров. Для оценки корректности разбиения в программе предусмотрена визуализация результатов расчетов. Для этого параметры объектов интерпретируются как координаты, и происходит их отображение в трехмерном пространстве, причем каждый объект имеет цвет, соответствующий его кластеру. Очевидно, что визуализация корректно работает только для объектов, имеющих не более трех параметров, однако и этого достаточно, чтобы оценить корректность работы алгоритма. На рис. 1 приведен пример работы программы с ограничением размера кластера до 5 объектов.

На рис. 2 приведен пример работы программы с ограничением количества кластеров до 7.

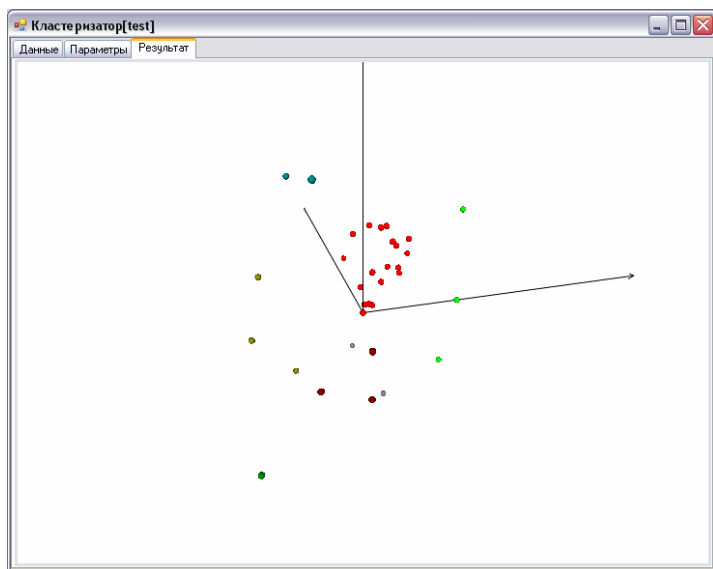


Рис. 2. Визуализация результатов работы генетического алгоритма с ограничением количества кластеров до 7

Таким образом, задача кластеризации может быть представлена как задача оптимизации и решена с помощью генетического алгоритма. Описанные в данной работе стратегии являются наиболее предпочтительными для решения задачи кластеризации. Стоит также отметить, что результат работы генетического алгоритма сильно зависит от размера популяции и количества итераций. Эти параметры имеет смысл выбирать, учитывая количество объектов, для которых решается задача кластеризации.

### Библиографический список

1. Котов А., Красильников Н. Кластеризация данных. 2006. – URL: <http://logic.pdmi.ras.ru/~yura/internet/02ia-seminar-note.pdf>.
2. Рутковская Д., Пилюнский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / пер. с пол. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.: ил.
3. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Физматлит, 2003. – 432 с.

**Секция 3**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ  
И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

# ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЭКОНОМИЧНОГО ПУСКА НЕСТАЦИОНАРНОЙ ВИБРОУСТАНОВКИ

**Канд. техн. наук, доцент В.А. Шаряков,  
канд. техн. наук, доцент О.Л. Шарякова**

Санкт-Петербургский институт машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ)

В настоящее время большое теоретическое и практическое значение приобретают вибрационные установки (ВУ), оснащенные электромеханическими вибровозбудителями, выполненными на основе приводимых во вращение электроприводом несбалансированных роторов (дебалансов), управление которыми осуществляется с использованием обратных связей. Это позволяет снизить массу, габариты и энергопотребление, а также повысить точность и быстродействие системы. На процесс функционирования вибрационных установок для грохочения сыпучих материалов влияют многие параметры: вид нагружения установки; срок функционирования, обуславливающий износ; точность изготовления отдельных деталей и узлов.

Уменьшение требуемой мощности в таких системах достигается с помощью специальных алгоритмов пуска, основанных на раскатке дебалансного вибровозбудителя (ДВ) и работающих до момента первого выхода ДВ в верхнее вертикальное положение, после чего начинается режим вращения.

При синтезе алгоритмов пуска предлагается подход, основанный на методе скоростного градиента с использованием энергетического целевого функционала. Синтез производится по нелинейной динамической модели ДВ, которая может быть описана как математический маятник,

$$\begin{aligned} J_B \ddot{\phi}_B(t) + k_C \dot{\phi}_B(t) + m_B g \rho_B \sin \phi_B(t) &= k_m I(t), \\ T_T I(t) + I(t) &= k_T u(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $J$ ,  $m$  – момент инерции и масса ДВ;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho$  – эксцентриситет;  $\dot{\phi}(t)$ ,  $\ddot{\phi}(t)$  – угол поворота и угловая скорость ДВ;  $I(t)$  – ток якоря двигателя;  $T_T$  – эквивалентная постоянная времени токового контура;  $k_m$  – коэффициент момента;  $k_T$  – коэффициент передачи токового контура. При синтезе предполагается, что система консервативна.

Целью управления при пуске ВУ путем раскачивания неуровновешенного ротора является достижение определенного уровня энергии системы  $H(t) = H^*$ , где  $H^*$  – определяется заданной угловой скоростью дебаланса [1, 2].

Уравнение для момента двигателя  $M_d(t)$ , соответствующее алгоритму скоростного градиента, имеет вид

$$M_d(t) = -\gamma(H(t) - H^*)\dot{\varphi}(t), \quad (2)$$

где  $\gamma$  – положительный весовой коэффициент. Полная энергия ДВ определяется как

$$H(t) = 0,5J\dot{\varphi}^2(t) + mg\rho(1 - \cos \varphi(t)).$$

Реализация алгоритмов управления в замкнутой системе управления электроприводом (ЭП) ДВ предполагает наличие информации о значении полного вектора состояния установки. Но установка всех датчиков для ВУ не всегда целесообразна. Однако возможно восстановление неизмеряемых переменных (скорости и тока) по данным датчика положения. Для восстановления всего вектора состояния ДВ применим нелинейный наблюдатель полного порядка.

Алгоритмы пуска ДВ для двигателя постоянного тока могут быть реализованы в двухконтурной структуре подчиненного регулирования. На первом этапе пуска (при раскачке) стабилизирующий контур скорости размыкается, и сигнал управления подается на вход замкнутого контура тока. Контур тока в системах подчиненного регулирования настраивается на оптимум по модулю [3, 4].

При синтезе наблюдателя исходные уравнения (1) преобразуются к виду

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t), \\ \dot{x}_2(t) = -a_{21} \sin x_1(t) + a_{23}x_3(t), \\ \dot{x}_3(t) = -a_{33}x_3(t) + bu(t), \end{cases} \quad (3)$$

где  $x_1 = \varphi_B$ ,  $x_2 = \dot{\varphi}_B$ ,  $x_3 = I$ ,  $a_{21} = \frac{m_B g \rho_B}{J_B}$ ,  $a_{23} = k_m = k\Phi$ ,

$a_{33} = \frac{1}{T_r}$ ,  $b = \frac{k_r}{T_r}$ ,  $k_r = \frac{1}{k_{OT}}$ ;  $u(t)$  – сигнал управления.

Структура наблюдателя для системы третьего порядка при условии, что измеряется только  $x_1(t)$ , следующая:

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{x}}_1(t) \\ \dot{\hat{x}}_2(t) \\ \dot{\hat{x}}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_2(t) + k_1(x_1(t) - \hat{x}_1(t)) \\ -a_{21} \sin \hat{x}_1(t) + a_{23} \hat{x}_3(t) + k_2(x_1(t) - \hat{x}_1(t)) \\ -a_{33} \hat{x}_3(t) + bu(t) + \left( k_1 \frac{a_{21}}{a_{23}} \cos \hat{x}_1(t) + \frac{k_3}{a_{23}} \right) (x_1(t) - \hat{x}_1(t)) \end{bmatrix} \quad (4)$$

где  $k_i > 0$ ,  $i = 1, 2, 3$  – коэффициенты усиления наблюдателя [2].

Электромеханическую систему обычно рассматривают как одномассовую, однако при наличии достаточно длинных валов в передачах существенное влияние на поведении системы оказывают упругие деформации механических узлов. Поэтому нужно рассматривать двухмассовую структуру. В ней учитываем отдельно массу ротора двигателя и массу механизма, связанные между собой упругим звеном [4].

Синтез алгоритма управления ДВ и нелинейного наблюдателя полного порядка проводился по модели жесткой системы. Исследования системы управления пуском дебаланса, замкнутой через нелинейный наблюдатель, проводились с учетом упругости карданного вала между двигателем постоянного тока и ДВ. Так как установка датчика положения на ротор ДВ невозможна из-за ряда вредных факторов (пыль, вибрации, случайные нагрузки), то сигнал, поступающей в наблюдатель, снимается с датчика положения ротора двигателя. Компьютерное моделирование проводилось в приложении SIMULINK пакета MatLab для нестационарной ВУ.

Исследования работоспособности системы управления велись при варьировании частоты упругих колебаний карданного вала двигателя и случайном нагружении платформы. Результаты исследования системы управления пуска ВУ представлены в таблице и на рис. 1.



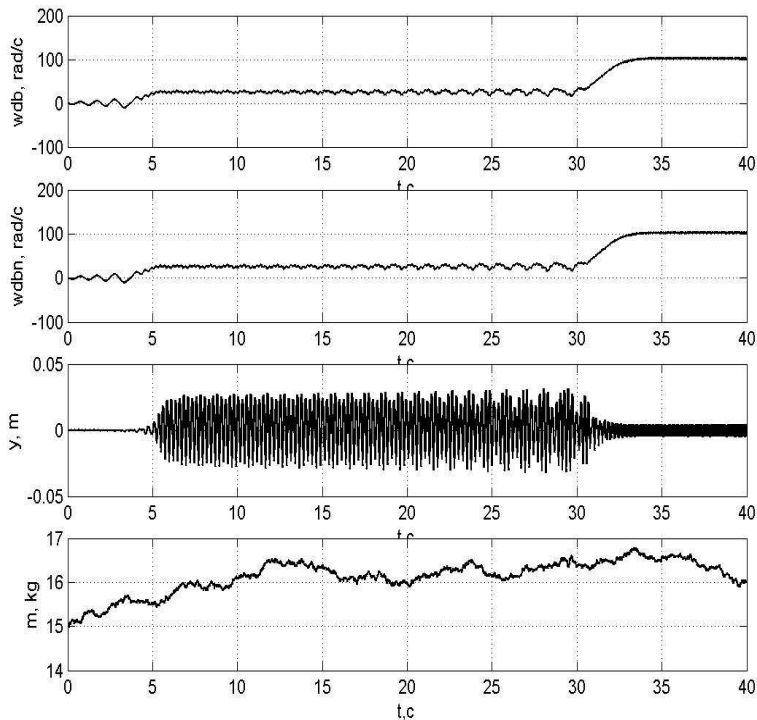


Рис. 1. Переходные процессы в нестационарной системе:  
wdb – скорость дебаланса; wdbn – оценка скорости дебаланса;  
y – положение платформы; m – масса системы

### Показатели работы системы

$$\gamma=0,0011$$

Показатель	$\omega_y, \text{c}^{-1}$				
	100	200	300	500	700
$t_k$	3,8	3,7	3,7	3,7	3,7
$t_{p1}$	5	5	5,2	5,2	5,2
$t_{p2}$	25	28	26	27	27,5
$t_{np}$	29,5	32,5	31,5	33	33
$e_{шт}, \text{рад}$	0,4	0,40	0,39	0,39	0,39
$e_{нс}, \%$	0,85	0,8	0,5	0,41	0,4

В таблице приведены следующие показатели работы системы управления: время раскочки  $t_k$ ; время выхода на резонанс  $t_{p1}$ ; время выхода из резонанс  $t_{p2}$ ; время переходного процесса  $t_{np}$

(выход во вращение с заданной средней скоростью); абсолютная ошибка наблюдения по положению  $e_{\text{нп}}$ ; относительная ошибка наблюдения по скорости  $e_{\text{нс}}$  в установившемся режиме.

По результатам моделирования были построены графики зависимости ошибки наблюдения по скорости от частоты упругих колебаний при различных коэффициентах усиления в алгоритме управления  $\gamma$ , представленные на рис. 2.

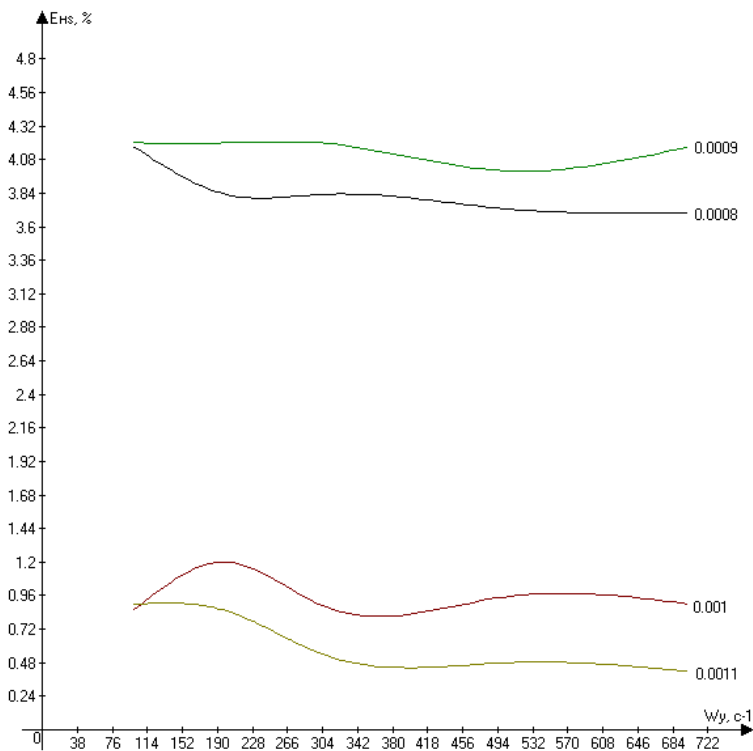


Рис. 2. Номограммы ошибки наблюдения по скорости

Как видно из таблицы и номограмм, время раскочки и время регулирования мало зависят от частоты упругих колебаний. В большинстве случаев с уменьшением частоты упругих колебаний передачи между двигателем и дебалансом увеличиваются ошибка наблюдения по положению и относительная ошибка наблюдения по

скорости. Но во всех случаях относительная ошибка наблюдения по скорости не превышала 5 %. То есть наличие упругой передачи между двигателем и дебалансом оказывает незначительное влияние на работоспособность системы управления и наблюдателя.

Сравнительные исследования стационарной и нестационарной систем продемонстрировали следующий результат: применение системы экономичного пуска в нестационарной системе позволяет пройти резонанс даже в тех случаях, когда стационарная система застревала на резонансе.

Таким образом, исследования продемонстрировали высокую эффективность применению алгоритмов экономичного пуска нестационарной виброустановки.

### **Библиографический список**

1. Control of oscillations in electromechanical systems / I.I. Blekhman, O.L. Nagibina, O.P. Tomchina, K.S. Yakimova // Proc. Intern. Conf. On Informatics and Control. – St-Petersburg, 1997. – P. 972–979.

2. Управление мехатронными вибрационными установками / Б.Р. Андриевский, И.И. Блехман, Ю.А. Борцов, С.В. Гаврилов, В.А. Коноплев, Б.П. Лавров, Н.Д. Поляхов, О.П. Томчина, А.Л. Фрадков, В.М. Шестаков; под ред. И.И. Блехмана и А.Л. Фрадкова. – СПб.: Наука, 2001. – 278 с.

3. Шестаков В.М., Епишкин А.Е. Динамика автоматизированных электромеханических систем вибрационных установок / под общ. ред. проф. В.М. Шестакова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005.

4. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 288 с.

## РАЗРАБОТКА КРОССПЛАТФОРМЕННОГО ДРАЙВЕРА SERCOS-ИНТЕРФЕЙСА

**Студент гр. М-9-15 А.И. Бондаренко**

Научный руководитель – д-р техн. наук,

профессор *Г.М. Мартинов*

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

SERCOS (слово-акроним для словосочетания Serial Realtime Communication System) является шиной управления движением, соединяющей устройство управления, двигатели, модули ввода/вывода и датчики. SERCOS-интерфейс – единственный открытый цифровой интерфейс, являющийся международным стандартом для систем управления движением и модулями ввода/вывода, с исполнением, требуемым для синхронизации высокопроизводительных многокоординатных систем управления движением на языке, независимом от какого-то конкретного производителя [1].

Решение проблемы разработки и отладки систем управления движением на базе SERCOS-интерфейса возможно при использовании программного драйвера интерфейса. Основной идеей проекта было создание программного кода драйвера, допускающего произвольную обработку больших объемов данных (как внутренних SERCOS-данных, так и пользовательских) в реальном времени. Весьма перспективным представляется создание кроссплатформенного кода, компилируемого на различных платформах, (например, Win32, Linux и т.д.). На текущий момент времени подобный код недоступен, может быть написан фирмами-разработчиками SERCOS-устройств для отдельных конкретных применений.

Драйвер отвечает за создание единой коммуникационной и информационной среды между операционной системой и, в конечном счете цифровым приводом. Для реализации этого необходимо решить следующие задачи:

- коммуникационную (подразумевается совокупность программно-аппаратных средств для создания связей в системе);
- инициализации (под инициализацией понимается обнаружение наличия SERCOS-кольца, устройств в нем, инициализация переменных и т.д.);

- формирования команд управления;
- мониторинга параметров.

Взаимодействие между программным драйвером и контроллером привода осуществляется при помощи PCI-карты SERCANS, устанавливаемой в стандартный разъем персонального компьютера, организующей интерфейс обращения к памяти, который позволяет управлять всеми функциями, поддерживаемыми конкретным типом карты. Таковыми функциями могут быть передача циклических данных и текущих значений в реальном времени; обработка параметров привода или SERCANS-карты; прием диагностических сообщений (как от привода, так и от PCI-карты). Предлагаемая архитектура системы представлена на рис.1.



Рис. 1. Основные элементы рассматриваемого решения

Выделяются следующие ключевые блоки:

- общий код;
- набор драйверов под различные платформы;
- класс-обертка функций взаимодействия с драйвером;
- класс-обертка функций приложения.

Общий код содержит в себе универсальные алгоритмы, написанные без использования функций API конкретной операционной системы, т.е. основываясь исключительно на стандартной библиотеке C-*Runtime*. В этом случае драйвера будут состоять только из специфичных для каждой платформы функций (поиск устройства, нахождение базового адреса, отображение памяти и т.д.). Такой подход позволяет все остальные функции (т.е. любые действия с данными в процедуре обработки прерываний, математические вычисления, реализацию произвольных регуляторов и коррекций параметров привода), а также основные блоки данных (например, структуры для работы с SERCOS-устройствами) содержать в общем коде, который пишется на языке C/C++.

Класс-обертка функций взаимодействия с драйвером реализует специфичное поведение для различных платформ. Одним из методов, при помощи которых достигается возможность компиляции приложений под разными платформами, является использование условной компиляции; следует отметить, что годится любой способ достижения мультиплатформенности программного кода. Он может включать в себя описание логики работы таких функций, как поиск устройств PCI, подписка на прерывания, выполнение команд для работы драйвера (прочитать, записать) и т.д. Например, поиск устройства SERCANS выглядит следующим образом: после загрузки драйвера сканируется шина PCI, по известным параметрам VendorID и DeviceID SERCANS-карты определяются значения базового адреса ввода-вывода и номера прерывания, которые в дальнейшем можно использовать в качестве параметров для функций из общего кода, таких как Write/ReadCycleData.

Опишем схему работы драйвера (рис. 2). «Сердцем» драйвера является процедура обработки прерываний (Interrupt Service Routine, ISR). Для создания этой процедуры используется функция-обертка AttachInterrupt, позволяющая скоординировать работу потока процедуры прерывания (Interrupt Service Thread, IST) и самой процедуры прерывания (ISR), являющейся также функцией общего кода.

Непосредственно код процедуры обработки прерывания довольно-таки прост: всякий раз проверяется причина возникновения пришедшего прерывания. Если причиной прерывания является

приход так называемой АТ-телеграммы (Axis Telegram, АТ) [2], которая передает ведущему узлу данные своего привода, тогда последовательно вызывается функции чтения циклических данных и записи информации в циклические данные. Прерывания, вызванные другими причинами, не рассматриваются. Функция чтения циклических данных ReadCycleData() считывает данные, полученные из ведомых приводов, в специальную структуру DRIVE\_DATA\_T. Функция записи циклических данных WriteCycleData() записывает заданные значения команд в ведущие привода. Обработка значений происходит в функции HandleCycleData(). При помощи трех этих функций организуется комплексное взаимодействие в цикле обработки прерываний.

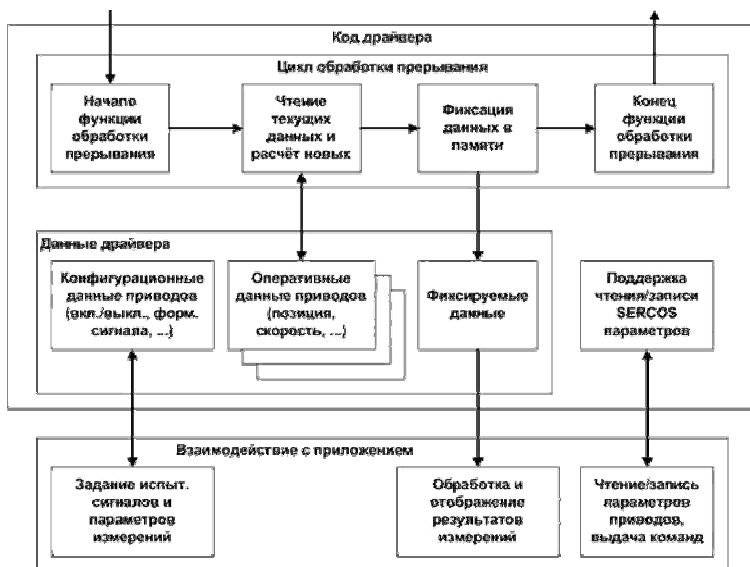


Рис. 2. Блок-схема работы драйвера

В схеме на рис. 2 процедура обработки прерываний занимает верхнюю часть. В ней выделены следующие функциональные блоки: начало функции обработки прерывания, чтение текущих данных и расчет новых, фиксация данных в памяти и конец функции обработки прерывания. Чтение текущих данных и расчет новых подразумевают как обработку оперативных данных,

так и конфигурационных, к которым можно отнести состояние привода (вкл/выкл, способ формирования сигнала и другие). Под фиксацией данных подразумевается реализации функции осциллографирования с дальнейшей возможностью просмотра и графического отображения записанных данных [3].

*Работа выполнена по госконтракту № 02.740.11.0488 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.*

### **Библиографический список**

1. IEC 61491, EN 61491 Sercos interface Technical short description.
2. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Архитектоника цифровых следящих приводов подач технологических машин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 10. – С. 24–30.
3. Мартинов Г.М., Бондаренко А.И. Использование SERCOS-интерфейса для управления двигателями в компьютерных системах управления // VI региональная научно-практич. конференция студентов и аспирантов: сборник трудов / СТИ НИТУ МИСИС. – Старый Оскол, 2010. – С. 63–66.

## **УПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯМИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ УНИКАЛЬНОЙ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ**

### **Аспирантка А.В. Бунакова**

Научный руководитель – д-р экон. наук,  
канд. физ.-мат. наук, доцент *С.В. Кортюв*  
Уральский федеральный университет  
им. первого президента России Б.Н. Ельцина

На современном российском рынке все заметнее становятся важные структурные изменения: предприятия переходят от автоматизации разрозненных участков конструкторско-технологической подготовки производства к созданию единого информационного пространства (ЕИП). Использование информационных технологий – один из немногих технологически и экономически выгодных способов повышения эффективности подготовки производства.



На начальном этапе работ по созданию наукоемкого, уникального продукта возникает серьезная проблема, связанная с неопределенностью требований к продукту и по мере продвижения по этапам создания продукта в условиях изменений, корректировок, уточнений требований необходимо вовремя и правильно управлять ими с целью создания качественного продукта, соответствующего требованиям. Для этого необходимы разработка и внедрение системы, позволяющей оперативно, системно, рационально учитывать, анализировать, применять требования потребителей к продукции. И одной из немаловажных частей такой системы является управление изменениями разрабатываемой документации на продукцию, так как:

- раньше основное внимание уделялось контролю результатов техпроцессов с помощью различных вариантов статистических методов контроля, которые дают эффективные способы контроля технологического процесса, но малоэффективны на стадии подготовки производства. Современные методы обеспечения качества подразумевают, что требуемое качество закладывается еще на стадии проектирования, т.е. вместо обнаружения дефектов в продукции ставится задача их предупреждения;

- в процессе создания продукции происходит постоянное уточнение характеристик, доработка и опубликование документации. Для избежания возможных несоответствий (применения для дальнейшей разработки и производства неактуальных версий документации) необходимо внедрение системы управления конструкторской документацией.

Поэтому одно из центральных мест в системе управления качеством занимает информационная поддержка, которая собирает и предоставляет удобным образом информацию о качестве выпускаемой продукции всем заинтересованным подразделениям предприятия.

Основным инструментом автоматизации конструкторских и технологических подразделений по-прежнему остаются системы автоматизированного проектирования (САПР), которые дают на выходе цифровую модель и все необходимые данные. Но огромный массив цифровой информации не только приносит пользу, но и доставляет значительные хлопоты. К тому же в процесс разработки и подготовки производства сложной, высокотехнологичной

продукции вовлечено множество специалистов. Задачи управления электронной информацией и организованного доступа разных групп сотрудников к актуальной документации можно решить за счет создания ЕИП предприятия. Итак, задачи, которые необходимо решить при организации ЕИП:

- создание электронного архива технической документации;
- создание ЕИП для всех участников жизненного цикла изделия.

Для реализации поставленных задач есть несколько возможностей.

Один из вариантов – внедрение нового класса систем, нацеленных на решение задач организации и координации работ инженерного персонала, – систем управления данными об изделии, PDM (Product Data Management, рис. 1).

Конструкторы, технологи и другие специалисты не только получают информацию об изделии из системы, но и дополняют ее, формируя состав изделия, который будет актуальным для разных служб предприятия [1].



Рис. 1. Развитие систем промышленной автоматизации

Другой путь практической реализации информационной поддержки системы управления качеством – разработка силами предприятия («под себя») программного и методического обеспечения решения задач автоматизации документооборота и разработки технологического проекта изготовления продукции на основе объектно-ориентированного подхода [2; 3; 4].

Но важно заметить, что для небольших исследовательских предприятий, производящих наукоемкую уникальную продукцию

(а не серийную), внедрение PDM или разработка и внедрение собственного программного обеспечения зачастую невыгодно, так как:

- требует существенных финансовых затрат и нет гарантии, что окупится, а также длительных временных ресурсов;

- требует большой вовлеченности сотрудников – создание рабочих групп по разработке и внедрению PDM, обучение сотрудников работе в PDM, а также высокой компетентности для разработки собственного программного обеспечения;

- в силу специфики продукции каждый технологический процесс создания уникален, и поэтому нет потребности в унификации.

Поэтому для решения задачи по созданию оптимальной, несложной, доступной всем заинтересованным сторонам системы управления информацией предлагается использовать более простой и доступный во всех отношениях путь: использовать возможности операционных систем Microsoft семейства Windows NT, которые нельзя представить без файловой системы NTFS – одной из самых сложных и удачных из существующих на данный момент файловых систем [5].

Для решения поставленной задачи были проведены исследования взаимодействия разных пользователей (разработчиков, производства, сервисной службы и др.) с базой конструкторских документов, анализ различных схем классификаций конструкторских документов и возможностей файловой системы NTFS, разработана и внедрена информационная модель структуры хранения информации.

Цели создания структуры каталогов файлового сервера (СФС) следующие:

- обеспечить понятную (поддающуюся логическому описанию) иерархическую структуру каталогов;

- избежать дублирования информации;

- снять необходимость разработчиков выкладывать информацию более чем в одно предназначенное для этого место;

- снять необходимость пользователям (сервис, производство, менеджеры) извлекать информацию из различных мест, если информация относится к одной единственной задаче;

- снять проблемы: «куда положить новую информацию», «где найти существующую информацию».

Основной методологический подход, используемый в процессе разработки модели СФС, – выстраивание структуры «сверху вниз», от корневых, делимых сущностей к конечным, неделимым атрибутам, т.е. в первую очередь определяются направления деятельности предприятия и связанные с этой деятельностью конечные продукты. Определив весь спектр направлений, мы получаем карту деятельности компании. Сущности (направления и продукты) при этом могут быть связаны (пересекаться, ссылаться друг на друга), а могут быть и независимыми. Первой задачей является выделение сущностей, следующей – получение их атрибутов (то, на что делится сущность, из чего состоит) и уже конечной – выстраивание связей.

Важным условием организации СФС является организация символических ссылок (symlinkов), которые поддерживаются в файловой системе NTFS. Символическая ссылка – специальный файл, для которого в файловой системе не хранится никакой информации, кроме одной текстовой строки. Эта строка трактуется как путь к файлу, который должен быть открыт при попытке обратиться к данной ссылке. В концепции СФС активно используется организация символических ссылок с целью минимизации объемов информации (физически каталог/файл лежит в одном месте, а символические ссылки на него – во многих) и оптимизации структуры хранения.

Выделены основные этапы работ по разработке и внедрению СФС:

1. Определение и согласование сущностей предметной области.
2. Детализация сущностей – формирование списка атрибутов.
3. Согласование «деревьев» сущностей-атрибутов и их имен.
4. Формирование и согласование списка отношений (связей).
5. Проецирование взаимосвязанных списков сущностей и атрибутов на плоскость структуры каталогов с применением «мягких» и «символических» ссылок, согласование реляционной структуры каталогов.
6. Реализация согласованной структуры каталогов – структуризация файлового сервера компании, внедрение, коррекция.

Основными и важными сущностями СФС являются «Разработка» и «Продукты», в которых располагается база конструкторской документации. В рамках СФС кроме разработки струк-

туры хранения предусмотрены и возможности управления изменениями конструкторской документации, и унификация проектных решений (для заимствования конструкторских проектных решений с целью сокращения сроков проектирования и номенклатуры изделий). Для обеспечения заимствования также используется классификатор деталей ЕСКД [6]. При этом физически вся информация выкладывается разработчиками в сущность «Разработка» по направлениям проектирования, и за счет заложенных в СФС системы символических ссылок информация сразу появляется в сущности «Продукты» в представлении, удобном для внутренних потребителей (производство, сервис и другие, рис. 2).

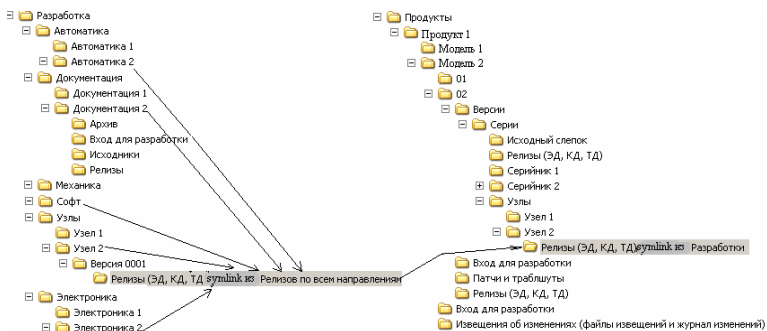


Рис. 2. Информационная модель сущностей «Разработка» и «Продукты» структуры файлового сервера

Таким образом, за счет встроенных возможностей файловой системы NTFS предложен экономичный и эффективный способ организации единого информационного пространства предприятия. С помощью предложенной методики решаются задачи управления электронной информацией и организованного доступа разных групп сотрудников к актуальной документации, что является необходимым условием информационной поддержки управления качеством при производстве наукоемкого уникального продукта.

### Библиографический список

1 Зыков О. Промышленная автоматизация: движение от САПР к PLM // IT News. – 2005. – № 05.

2 Анцев В.Ю. Информационная поддержка системы управления качеством в машиностроительном производстве: дис ... д-ра техн. наук / Тул-ГУ. – Тула, 2009. – 416 с.

3 Гельфонд М.В., Троицкий Д.И. Электронный банк конструкторских документов // Автоматизация и управление в машиностроении. – 2001. – № 16.

4 Гельфонд М.В., Григорьева Н.С. Электронный архив конструкторской документации // XXVII Гагаринские чтения. Тез. докл. Международ. молодеж. науч. конф. – М.: ЛАТМЭС, 2001. – Т. 3. – 152 с.

5 Касперски К. Файловая система NTFS извне и изнутри // Системный администратор. – 2004. – Ноябрь.

6 ОК 012-93. Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов (классификатор ЕСКД). Класс 30. Сборочные единицы общемашиностроительные. (Введ. .1.07.04). – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 68 с.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

**Студент гр. 2691 Д.С. Головин**

Научный руководитель – старший преподаватель *М.А. Шапченко*  
Санкт-Петербургский государственный  
инженерно-экономический университет

*Знаменитый фантаст Айзек Азимов сказал: «Мы уже достигли такой стадии развития, когда проблемы, которые мы должны решать, становятся практически неразрешимыми без компьютеров. Я не боюсь компьютеризации. Я боюсь ее недостатка».*

Эта фраза А. Азимова относилась к освоению Космоса, но то же самое можно было бы сказать и об освоении недр.

Развитие информационных технологий (ИТ) на предприятиях топливно-энергетического комплекса (ТЭК) идет высокими темпами, быстрее, чем в большинстве отраслей отечественной экономики. С одной стороны, это является следствием объединения нефтяных компаний в холдинги, которое обуславливает введение единых стандартов управления, отчетности, документо-

оборота. С другой стороны, данный процесс связан с географической спецификой предприятий: как правило, они расположены на большом расстоянии друг от друга, что сильно затрудняет традиционное «бумажное» делопроизводство. Кроме того, нефтяным холдингам приходится работать с иностранными партнерами, которые часто требуют определенного уровня автоматизации. Многие компании также озадачились подготовкой к выходу на IPO (публичные фондовые рынки), для чего тоже необходимы инвестиции в собственные ИТ-службы.

Трудно представить сегодня нефтегазовые компании без развитых средств геологического и гидродинамического моделирования пластов, банков данных по всему спектру работ в нефтедобыче. Можно довольно быстро подсчитать, какие риски в добыче, при наличии высокодебитных горизонтальных скважин с дебитом 200–1000 т, несет бизнес при отсутствии развитых средств не только мониторинга состояния работы фонда, но и управления параметрами работы добычного оборудования. На передний план выходят вопросы повышения эффективности производства в сфере управления финансами, планирования, бюджетирования и т.д. [1].

Усложнение структуры сырьевых активов, развитие технологических процессов, повышение требований к качеству управления производственной информацией требуют внедрения на предприятиях ТЭК современных решений на базе информационных технологий, обеспечивающих интеграцию производственных и управленческих задач.

**Автоматизация в нефтяной промышленности.** Предприятия нефтяной промышленности относятся к классу объектов с повышенной техногенной опасностью, поэтому важнейшим требованием к системам автоматизации является повышенная надежность (здесь недопустимы даже мелкие аварии из-за возможного значительного экологического и материального ущерба). На выполнение этого требования ориентируются при выборе программно-аппаратных средств, используемых на всех уровнях автоматизации.

Автоматизированные системы управления отдельными технологическими процессами предназначены для повышения эффективности управления и учета нефтепродуктов; сокращения

количества аварийных ситуаций и времени простоя оборудования для достижения его оптимальной загрузки; снижения затрат на ремонт оборудования за счет оперативного выявления его неисправностей и уменьшения трудоемкости эксплуатации оборудования; повышения производительности и улучшения условий труда персонала, занятого управлением, сбором и анализом информации; оперативной передачи данных технологического процесса в экономические процессы организации производства.

Будущее в автоматизации нефтяной промышленности, безусловно, за системами класса ERP, представляющими собой интегрированную автоматизированную систему управления производственно-хозяйственной деятельностью [2]. В настоящее время разработаны системы, поддерживающие идеологию гибких универсальных цепочек процесса производства. Такие системы позволяют оптимизировать основные бизнес-процессы предприятия, получать информацию стратегического управления на всех уровнях компании, помогают приспособиться к постоянно изменяющейся ситуации на рынке.

**Информационные технологии автоматизации ТЭК.** Топливо-энергетический комплекс России является лидером и «двигателем» экономики страны. На предприятиях ТЭК всегда применялись новейшие технологии в цикле добычи и переработки углеводородного сырья.

Условия рыночной конкуренции выдвигают на первый план задачу использования современных информационных технологий с целью:

- повышения эффективности технологических процессов всего производственного цикла (от добычи до сбыта готовой продукции);

- повышения эффективности управления компанией в целом [3].

Предприятия ТЭК характеризуются территориальной удаленностью дочерних структур и нуждаются, прежде всего, в информационной поддержке оперативного обмена информацией, управления и документооборота. Задачи консолидированного управления территориально-распределенной структурой могут быть решены с помощью корпоративных информационных порталов, являющихся единым хранилищем корпоративной информации и обеспечивающих персонализированный доступ к ним пользователей.



Прогрессивные информационные технологии, в частности CRM-системы (CRM – Corporate Performance Management), не заменяют собой программы учета или производственные системы планирования ресурсов (АРМы, ИСУП, ERP). Напротив, они дополняют используемые компаниями программы, интегрируя их в единый комплекс. Данные решения автоматизируют финансовый, бухгалтерский и налоговый учет, управление материально-техническим обеспечением, учет основных средств, управление дебиторской и кредиторской задолженностью, финансовый анализ, управление персоналом и расчет заработной платы, управление договорными отношениями и др.

Расходы на IT-услуги в нефтегазовой отрасли, по данным аналитиков, сегодня составляют порядка 10 млрд рублей в год [4]. Предприятия нефтяной, газовой и нефтеперерабатывающей промышленности особенно заинтересованы в IT-системах, которые обеспечивают высокую производительность, достоверность получаемых данных и способны обрабатывать большие массивы информации. Чаще всего компании отдают предпочтение различным комплексным решениям для автоматизации производства.

Сегодня, по мнению специалистов, перспективными решениями для нефтегазовой отрасли являются специализированные системы для визуализации, интерпретации и анализа геологической информации мест будущих месторождений нефти и газа. Эти системы помогают оптимизировать расходы на управление разведыванием ресурсов и их добычу. При создании цифровых постоянно действующих моделей месторождений применяются технологии 3D-системы визуализации недр. Для нефтегазовых компаний такие системы выгодны как с экономической, так и с практической точки зрения. Затраты на такой тип визуализации относительно небольшие. Стоимость комплексной системы для визуализации геолого-геофизической информации – около 200 тыс. евро [5].

**Заключение.** Достижения в компьютерной индустрии оказали сильное влияние на нефтяную индустрию в прошлом, и такая тенденция сохранится в будущем. Тесное сотрудничество между ведущими в своей отрасли поставщиками программного и компьютерного обеспечения (например, AMD, SIS и HP в России) является решающим фактором, гарантирующим высокопроизводительные и надежные решения для конечных пользователей нефтяной и газовой отрасли.

## Библиографический список

1. Высокопроизводительные вычисления в нефтяной индустрии // Нефтяное хозяйство. – 2005. – № 10.
2. URL: <http://www.ot.ru/press20071014.html>.
3. URL: [http://www.avacco.ru/page.asp?code=avtomatizacia\\_tek](http://www.avacco.ru/page.asp?code=avtomatizacia_tek)
4. В энергетике началась гонка IT-вооружений // Деловой Петербург. – 22 сентября 2008.
5. Круглый стол: Нефтегазовый комплекс в регионах // Connect! Мир связи. – 2005. – № 7.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ УДАЛЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СИСТЕМОЙ ЧПУ

**Студент гр. КС-11-10 И.А. Дубровин**

Научный руководитель – преподаватель *С.В. Евстафиева*  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

Современная система автоматизированного управления высокотехнологическим производством не ограничивается только базовыми функциями – обработкой инструкции специализированного языка программирования. После отладки основного механизма работы необходимо проанализировать подходы к интеграции возможностей оперативного контроля над производственным комплексом и объединению проекта в распределенную компьютерную систему.

Актуальность разработки программных интерфейсов для удаленной работы с системой ЧПУ обусловлена несколькими причинами. Во-первых, производство в настоящее время характеризуется как непрерывный процесс, когда простой оборудования недопустим или негативно влияет на рентабельность технологического процесса. Эту проблему можно решить доступом к функциям автоматизированной системы управления не только из цеха, но и с других компетентных терминалов, находящихся в рамках распределенной системы, что позволит оперативно рассчитывать рабочее время оборудования, эффективно планировать выполнение множественных заказов для исключения простоев

или задержек, распределять мощности производства в случае необходимости [1].

Кроме того, для поддержания непрерывного процесса производственный комплекс нуждается в высоком показателе отказоустойчивости. Для исключения ошибок и отказов в производстве важную роль играют средства систематической оценки технического состояния оборудования. В составе распределенной компьютерной системы средства и данные диагностики становятся легкодоступны большому числу специалистов для обработки и мониторинга. Кроме того, внедрение распределенных систем позволяет использование на отдельных мощностях широкого спектра программных решений, направленных на диагностику и мониторинг. Такой подход выгодно отличается высокой гибкостью анализа и повышает надежность по сравнению с применением только встроенных в автоматизированный производственный комплекс решений, поскольку большое количество дополнительного программного обеспечения, установленного на компьютере с автоматизированной системой управления локально, будет уменьшать надежность производственного комплекса в силу потребления ресурсов основной системы, накопления и передачи больших объемов данных или даже возникновения ошибок.

Целью проекта является создание программных интерфейсов для внедрения системы ЧПУ в распределенную компьютерную систему. Создаваемый интерфейс должны обеспечивать работу следующих компонентов:

- 1) средства удаленных взаимодействий для реализации системы мониторинга, диагностики и управления производственной системой;
- 2) средства интерактивной среды – компоненты взаимодействия обслуживающего персонала децентрализованного производства, а также различных сервисов для разработки и обработки информации.

Прежде чем приступить к написанию интерфейсов программного обеспечения для распределенной компьютерной системы, необходимо разработать базовую программно-аппаратную архитектуру. Распределенная компьютерная система условно разделена на три группы независимых, взаимодействующих компонентов.

Первая группа – это сервер ЧПУ, включающий ядро на компьютере реально времени, терминальную часть и управляемое станочное оборудование. Эта группа выполняет свои функции в условиях жесткого или мягкого реального времени, отвечает высоким требованиям надежности и точности. Система ЧПУ работает независимо и является поставщиком данных для остальных участников проекта, в случае необходимости может принимать управляющие воздействия извне.

Вторая группа – это компоненты удаленного взаимодействия узлов распределенной компьютерной системы, размещенные на отдельном веб-сервере. Для подключения и работы с системой ЧПУ на веб-сервере установлено клиентское приложение, отвечающее за прослушивание данных от станочного комплекса и передачи их остальным участникам проекта, а также интерпретацию и передачу команд в систему автоматизированного управления. Для хранения данных и технической информации на веб-сервере предусмотрена база данных. Кроме того, на веб-сервере установлен комплекс программных приложений, в том числе веб-сайт, обеспечивающий работу недостающих механизмов, для включения конечных пользователей в распределенную систему.

В третью группу входят удаленные пользователи распределенной компьютерной системы – клиенты веб-сервера, расположенные в локальной или глобальной сети и имеющие доступ к его ресурсам и сервисам через веб-сайт. В свою очередь, удаленные клиенты веб-ресурсов распределенной системы подразделяются на несколько категорий пользователей. Это могут быть не только инженеры, отвечающие за управление и диагностику, но и специалисты других направлений технических разработок и исследований, кроме того, это могут быть обучающиеся пользователи, проходящие курсы удаленного повышения квалификации.

Все участники аппаратной архитектуры находятся на отдельных компьютерах и объединены между собой в сеть. Общая схема аппаратно-программной архитектуры представлена на рис. 1.

Требования при разработке территориально распределённых проектов существенно отличаются от задач, решаемых в ходе создания систем локального взаимодействия, в том числе в режиме реального времени. Прежде всего возникают вопросы, связанные с использованием существующих каналов передачи данных как от поставщиков данных к потребителям, разделенным большими рас-

стояниями, так и между локальными компонентами системы. Как правило, существующие физические каналы связи не отличаются качеством и надёжностью, а создание новых нецелесообразно. Это подразумевает, что программное обеспечение, отвечающее за обмен информацией между объектами системы, должно уметь устойчиво передавать достаточно большие объёмы информации по низкоскоростным линиям, автоматически реагировать на часто возникающие коллизии и разрывы связи, использовать все доступные механизмы оптимизации доставки пакетов данных. Затем нужно решить вопрос о выборе интерфейса передачи данных или его создании. В условиях негарантированной доставки пакетов данных в глобальной или локальной сети допустимо использовать простой механизм клиент-серверного взаимодействия, не требующий высокой квалификации разработчиков и отладчиков при создании, а следовательно, и низкую стоимость.

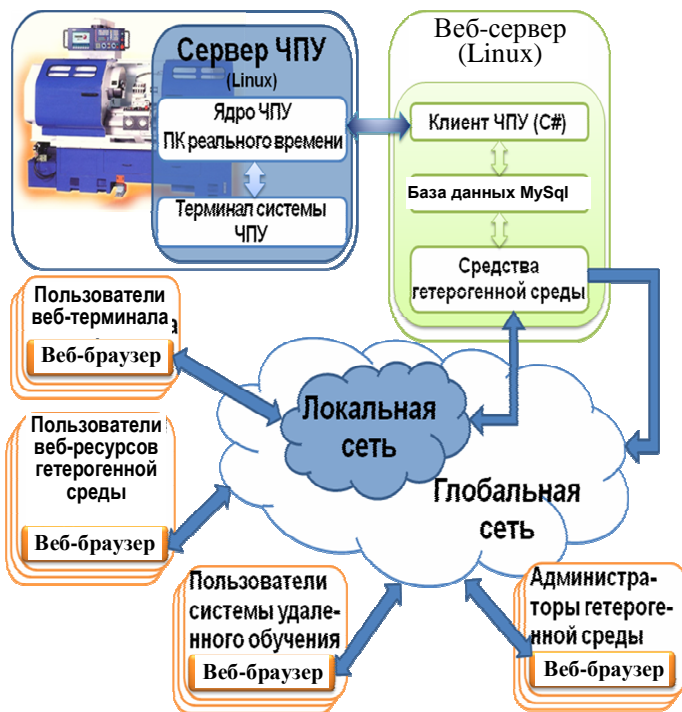


Рис. 1. Базовая аппаратно-программная структура распределенной компьютерной системы

Связь между ядром реального времени и терминальной частью сервера системы ЧПУ осуществляется с помощью сокетов. Использование низкоуровневой клиент-серверной модели взаимодействия посредством сокетов обусловлено требованиями к быстрдействию и возможностями конфигурирования создаваемого соединения, но требует высокой квалификации программиста и значительных временных затрат при разработке, что оправданно при создании системы реального времени.

Для быстрой интеграции клиентского приложения веб-сервера с ядром реального времени был наследован механизм обмена данными терминальной части основной системы. В данном проекте ядро системы ЧПУ уже поддерживает многопользовательскую работу, что позволяет терминальным приложениям одновременно подключаться к системе и подписываться на поставку данных, а также посылать управляющие воздействия. Для этого предусмотрен интерфейс работы на разных каналах связи. Собранные клиентом данные поставляются в базу данных.

Рассмотрим разработанный интерфейс взаимодействия удаленных пользователей и веб-сервера. Базовым сервисом, который должен обслуживать и хранить передаваемую информацию, выбрана база данных под управлением программного обеспечения MySQL. MySQL – является решением для малых и средних проектов, что оправданно для данного проекта, поскольку узкая специализация и ограниченный круг компетентных пользователей не подразумевают широкого распространения доступа к ресурсам базы данных. Обе задачи взаимодействия (мониторинг и управление) между службами веб-сервера и удаленными пользователями решаются с помощью базы данных, поскольку использование сокетов (аналогично взаимодействию узлов системы ЧПУ) в данном случае становится очень трудоемкой задачей, в том числе потому, что алгоритмы взаимодействия в веб-пространстве разработаны средствами скриптовых клиентских и серверных языков программирования, не имеющих широкой поддержки сокетов.

Используя функции стандартной библиотеки для работы с MySQL, на языке php запрограммирован механизм sql-запросов в базу данных, что позволяет нам пользоваться двусторонней связью между клиентами и сервером. На рис. 2 изображена обобщенная структура базы данных веб-сервера, представлены табли-

цы базы данных, обеспечивающие работу веб-терминала системы ЧПУ. Браузер пользователя, отображающий веб-терминал, циклически обращается с запросами к базе данных для получения информации о параметрах работы системы ЧПУ. Клиентское приложение ядра системы ЧПУ, работающее напрямую с ядром системы управления, производит обновление данных в соответствующих таблицах. Также на рисунке можно увидеть обобщенную схему SQL запросов [2–3].

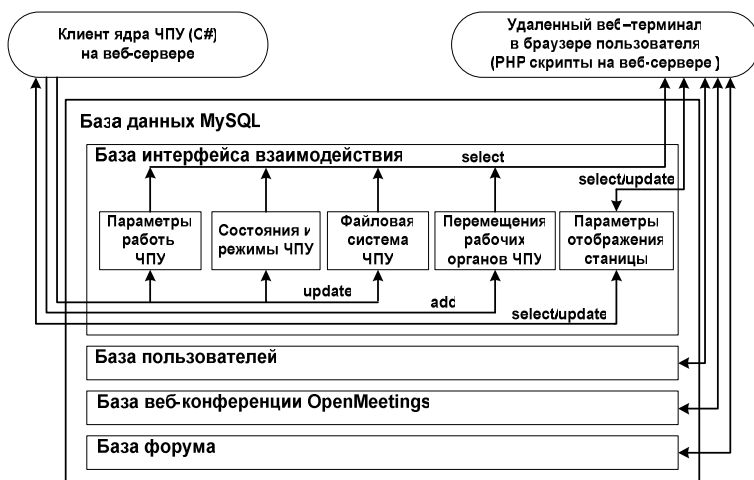


Рис. 2. Структура базы данных интерфейсной части веб-сервера

Задача удаленного управления решается с помощью специальных таблиц, в которых уведомления о наступлении событий кодируются полями-флагами. Такой подход имеет недостатки, связанные с частыми обращениями клиента ЧПУ и удаленных пользователей к базе, что может вызывать задержки связи, если к распределенной системе будет обращаться большое число пользователей одновременно. Но на данный момент это наиболее простой, предсказуемый и надежный механизм взаимодействия, с учетом отказа от работы в режиме реального времени.

Единственным программным средством, требующимся для участия компетентных пользователей в проекте, является веб-браузер.

*Работа выполнена по госконтракту №П693 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.*

## Библиографический список

1. Баталин Г., Васютинский В. Программное обеспечение/распределённые системы управления. – М., 2005. (СТА). – URL: <http://www.cta.ru>.
2. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.. Системы числового программного управления. – М.: ИКД ЛогосЦ, 2005. – 332 с.
3. Разработка на .NET / Microsoft Corporation. (Библиотека MSDN). – USA, 2009.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФНЧ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

**Студенты гр. АТ-06 Е.С. Каширина, М.Ю. Тонких**  
Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент *В.А. Панов*  
Пермский государственный технический университет

**Актуальность темы.** Методика расчета фильтров низкой частоты на основе прототипа получила широкое распространение прежде всего благодаря своей простоте и универсальности. Также распространено моделирование в одном из пакетов прикладных программ для решения задач технических вычислений. Чаще всего для моделирования используют, например, среды MatLab или Mathcad. Однако в существующих методиках используются либо расчет, либо моделирование цифровых фильтров. В нашей работе мы воспользуемся методикой сквозного проектирования, которая позволяет объединить обе эти методики в единый процесс.

В данной работе будем рассматривать фильтры низкой частоты: фильтры Баттерворта.

**Нормирование исходных данных для расчета фильтров.** С целью унификации процесса расчета фильтров различного класса существует единая методика, в соответствии с которой первым этапом синтеза фильтра является нормирование исходных данных для его расчета [1].

Правило нормировки требует, чтобы все АЧХ ФНЧ пересекли уровень затухания 3 дБ на нормированной частоте  $\omega_{\text{среза}} = 1$  рад. Такой фильтр и его АЧХ называются нормированными к 1 рад. Поэтому общим элементом расчета любого фильт-



ра является, в первую очередь, преобразование его исходных данных к виду, позволяющему воспользоваться нормированными АЧХ ФНЧ. Это достигается с помощью нормирования исходных данных, характеризующих АЧХ искомого фильтра к 1 рад.

**Техническое задание.** Разработать ФНЧ на функциональном уровне при заданных параметрах:

1. Значение  $a_3$  – параметра, характеризующего ослабление в полосе задерживания (в дБ).

2.  $\Omega_3$  – некоторая частота, на которой обеспечивается определенное ослабление  $a_3$ .

Требуется определить порядок и передаточную функцию фильтра.

**Ход работы:**

1. Параметр  $a_3$  переводим из дБ в разы по формуле  $20 \lg a_3 = a_3$  (дБ);

2. Находим порядок фильтра:  $n = \text{int} \left\{ \frac{\lg(a_3^2 - 1)}{2 \lg(\Omega_3)} \right\}$ , где  $\text{int}\{\}$  –

наименьшее целое число, не меньшее, чем  $N$ ;

3. Находим полюсы передаточной функции по формуле [2]

$$p_{pk} = \exp \left\{ \frac{j\pi}{2} \left[ 1 + \frac{2k-1}{n} \right] \right\}, \quad k = \overline{1, n}$$

– полюсы передаточной функции, расположенные в левой полуплоскости равномерно на окружности единичного радиуса. Расчет полюсов передаточной функции произведем с помощью программы, написанной нами в Mathcad.

4. Записываем передаточную функцию фильтра:

$$H(p) = \frac{k_0}{\prod_{k=1}^n (p - p_{pk})},$$

где  $k_0$  – константа нормирования;

$$H(p) = \frac{k_0}{\Sigma_0(p)} \prod_{k=1}^r \frac{1}{p^2 + B_{1k}p + B_{0k}},$$

$$\Sigma_0(p) = \begin{cases} p, & -n - \text{четное}, \\ p + 1, & -n - \text{нечетное}, \end{cases}$$

$$r = \begin{cases} \frac{n+1}{2}, & -n - \text{нечетное}, \\ \frac{n}{2}, & -n - \text{четное}, \end{cases}$$

$$B_{1k} = -(p_{pk} + p_{pk}^*) = -2\text{Re}\{p_{pk}\}, \quad (2)$$

$$B_{0k} = p_{pk} \cdot p_{pk}^* = |p_{pk}|^2.$$

Нормирующий множитель  $k_0$  можно найти из условия нормировки:

$$H(p)|_{p=0} = 1; k_0 = \prod_{k=1}^r B_{0k}. \quad (3)$$

5. После того как определили передаточную функцию, промоделируем в пакете MatLab для получения вида АЧХ нормированного фильтра Баттерворта. В соответствии с методикой сквозного проектирования после построения АЧХ проведем верификацию данных, полученных путем снятия их с графика, со значениями исходных данных. Форма полученной АЧХ должна быть идентична идеальной и показана на рис. 1. Значение АЧХ на частоте среза, равной 1, должно соответствовать значению коэффициента усиления  $\sqrt{2}/2$  по оси  $|H(j\Omega)|^2$ , а значение частоты  $\Omega_3$  – значению  $1/a_3^2$ .

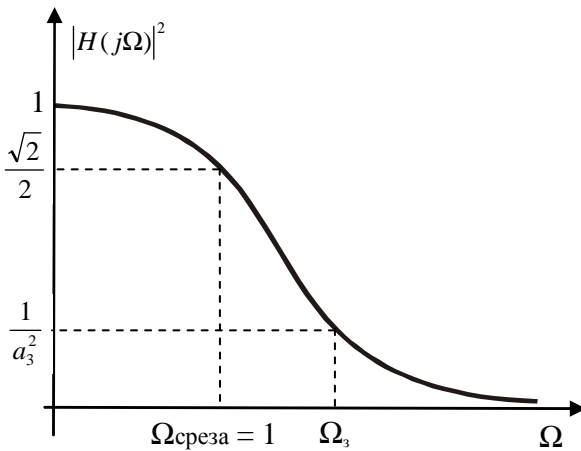


Рис. 1. Идеальная АЧХ-фильтра Баттерворта

Рассмотрим пример.

Дано:  $a_3 = 40$  дБ;  $\Omega_3 = 3$ ;  $a_3$  переводим из дБ в разы:  
 $20\lg a_3 = 40$ ;  $a_3 = 100$ ;

$$n = \text{int} \left\{ \frac{\lg(100^2 - 1)}{2\lg(3)} \right\} = \text{int}(4,19) = 5.$$

Полюсы передаточной функции [3]:

$$p_{p1} = \exp \left( j \frac{\pi}{2} \left[ 1 + \frac{2-1}{5} \right] \right) = \exp \{ j0,6\pi \} = -0,309077 + j0,951057;$$

$$p_{p2} = \exp \left( j \frac{\pi}{2} \left[ 1 + \frac{4-1}{5} \right] \right) = \exp \{ j0,8\pi \} = -0,809017 + j0,587785;$$

$$p_{p3} = \exp \{ j\pi \} = -1;$$

$$p_{p4} = \exp \left( j \frac{\pi}{2} \left[ 1 + \frac{3-1}{5} \right] \right) = \exp \{ j1,2\pi \} = -0,809017 + j0,587785;$$

$$p_{p5} = \exp \left( j \frac{\pi}{2} \left[ 1 + \frac{5-1}{5} \right] \right) = \exp \{ j1,4\pi \} = -0,309077 - j0,951057.$$

Данные расчеты можно, например, произвести с помощью программы, записанной в Mathcad, показанной на рис. 2.

Тогда передаточная функция имеет вид

$$H(p) = \frac{k_0}{(p + p_{p0})(p + p_{p2})(p + p_{p3})(p + p_{p4})(p + p_{p5})};$$

при  $p = 0$ ,  $H(p) = H(0) = k_0 = 1$ , так как  $H(p)|_{p=0} = 1$ ;

$$H(p) = \frac{k_0}{(p+1)(p^2 + 0,618034p + 1)(p^2 + 1,618034p + 1)};$$

$$H(p) = \frac{1}{(p^5 + 3,23p^4 + 5,23p^3 + 5,23p^2 + 3,23p + 1)}.$$

Проведем моделирование работы фильтра в MatLab.

Открываем MatLab и задаем в рабочем поле свою передаточную функцию (рис. 3).

$$\begin{aligned} \varepsilon &:= 0 & a &:= 40 & j &:= \sqrt{-1} \\ \Omega &:= 3 \\ a_1 &:= 10^{\frac{40}{20}} \\ n &:= \text{round}\left[\left(\frac{\log(a_1^2 - 1)}{2\log(\Omega)}\right), 0\right] + 1 \\ k &:= 1..n & n &= 5 \\ H(p) &:= \frac{1}{\prod_{k=1}^n (p - p_k)} \\ p_k &:= \exp\left[\frac{j \cdot \pi}{2} \cdot \left(1 + \frac{2k - 1}{n}\right)\right] \\ p_1 &= -0.309 + 0.951i \end{aligned}$$

Рис. 2. Программа для определения полюсов передаточной функции

```
>> num=[1]
num =
    1
>> dem=[1 3.23 5.23 5.23 3.23 1]
dem =
    1.0000    3.2300    5.2300    5.2300    3.2300    1.0000
>> h=tf(num,dem)
Transfer function:
                    1
-----
s^5 + 3.23 s^4 + 5.23 s^3 + 5.23 s^2 + 3.23 s + 1
>> freqs(num,dem)
```

Рис. 3. Задание передаточной функции в рабочее поле MatLab

Переменные num и dem – это вектор коэффициентов числителя и знаменателя соответственно заданной ПФ. Порядок написания коэффициентов идет в порядке убывания степени  $s$ . Строчка  $h = tf(num, dem)$  создает передаточную функцию  $h$  с числителем num и знаменателем dem. Построение АЧХ и ФЧХ – функция freqs(num, dem). Набрав её в рабочем поле, увидим АЧХ, показанную на рис. 4.

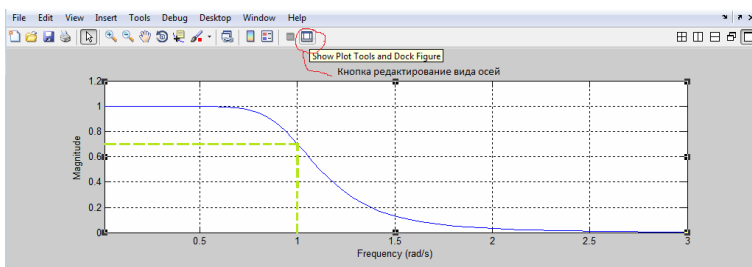


Рис. 4. Вид полученной АЧХ

По умолчанию MatLab делает формат осей логарифмическим, сменим его на линейный в настройках осей (Show Plot Tools and Dock Figure) (рис. 5).

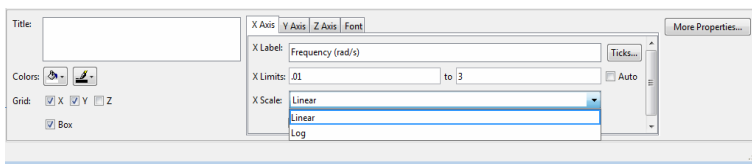


Рис. 5. Настройка осей

По рис. 4 проведем верификацию:

- форма АЧХ получилась идеальной;
- значение АЧХ на частоте среза, равной 1, соответствует

значению коэффициента усиления  $\frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,707$ ;

– значение частоты  $\Omega_3 = 3$  соответствует значению  $1/a_3^2 = 0,000625$  (это можно посмотреть, увеличив график).

**Выводы.** В ходе проделанной работы, воспользовавшись методикой сквозного проектирования, мы осуществили слияние

расчета фильтра Баттерворта на основе прототипа и моделирования в среде MatLab. У нас получилось успешно провести верификацию, это означает, что по проведенным нами расчетам моделирование проведено верно.

### **Библиографический список**

1. Проектирование электронных фильтров: метод. указания по курсов. проектированию для студентов, обучающихся по направлению 5515 / сост. И.П. Ефимов; УГТУ. – Екатеринбург, 1999. – 33 с.

2. Справочник по активным фильтрам: пер. с англ. / Д. Джонсон, Дж. Джонсон, Г. Мур. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 128 с.

3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002.

## **АНАЛИЗ СВОЙСТВ, ХАРАКТЕРИСТИК И ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ CAN-ПРОТОКОЛА**

**Студент гр. М-9-15 И.А. Ковалев**

Научный руководитель – канд. техн. наук,  
доцент *Р.А. Нежметдинов*

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

Исходной потребностью появления сетевого протокола CAN (англ. Controller Area Network) явилась острая потребность необходимости замены громоздких пучков проводов (до 7,5 см в диаметре) одним кабелем, призванным соединить все основные компоненты управления автомобилем: аварийные сигналы, подушки безопасности, фары, электроприводы стекол, дверные замки и пр. С этой целью в первоначальной версии в 1983 г. компанией Robert Bosch GmbH был разработан новый стандарт промышленной сети CAN (Controller Area Network – сеть контроллеров) для упрощения процесса проводки кабелей в автомобилях Mercedes .

---

\*

Шемелин В.К., Хазанова О.В. Управление системами и процессами: учебник для вузов. – Старый оскол: ТНТ, 2007. – 320 с.

В настоящее время CAN-контроллеры и трансиверы широко распространены в промышленной автоматизации, технологиях «умного дома», очень широко применяются в автомобильной промышленности и многих других областях.

Основное преимущество технологии CAN – очень высокая степень надежности: сеть выживает в самых суровых условиях, причем статистическая вероятность отказа составляет менее одного случая на десять лет.

В указанном контексте применение протокола CAN актуально в самых широких приложениях, где требуется применение распределенной системы контроллеров.

Если рассмотреть структуру семиуровневой модели ISO OSI, то CAN охватывает только два уровня – физический и канальный. Стандарт не предусматривает никакого протокола прикладного уровня для работы с CAN. Для его воплощения в жизнь некоторые фирмы разрабатывают его сами: CANopen (организация CiA), DeviceNet (Allen-Bradley), CAN Kingdom (Kvaser), SDS (Honeywell Micro Switch Division), J1939.

Канальный уровень сети CAN имеет два подуровня: подуровень CAN LLC (Logical Link Control), где происходит подтверждение фильтрации, уведомление о перегрузке, управление восстановлением данных, и подуровень CAN MAC (Medium Access Control), в котором происходит формирование пакетов данных, кодирование, управление доступом, обнаружение ошибок, сигнализация об ошибках, подтверждение приема, преобразование из последовательной формы в параллельную и обратно.

На физическом уровне происходит обеспечение надежной передачи на уровне байтов, устанавливаются требования к линии передачи.

CAN является последовательной синхронной шиной с типом доступа Collision Resolution (CR), который в отличие от Collision Detect (CD) сетей (Ethernet – это CD) детерминированно (приоритетно) обеспечивает доступ на передачу сообщения, что особо ценно для промышленных сетей управления (fieldbus). Это обеспечивает поддержку режима реального времени. Передача ведётся кадрами (фреймами), и сообщение посылается сразу всем узлам сети, так как в CAN-сети ни один из узлов не имеет адреса. Полезная информация в кадре состоит из идентификатора длиной 11 бит

(стандартный формат) или 29 бит (расширенный формат, надмножество предыдущего) и поля данных длиной от 0 до 8 байт. Идентификатор говорит о содержимом пакета и служит для определения приоритета при попытке одновременной передачи данных несколькими сетевыми узлами. Назначение приоритетов может происходить следующим образом: один – для параметра скорости, другой – для частоты вращения коленчатого вала двигателя и т.п. Каждый узел-приемник в сети CANbus сам выбирает предназначенные для него сообщения. Возможные коллизии, связанные с одновременным запросом шины, разрешаются на основе приоритетности сообщений; право на работу с шиной получит тот узел, который передает сообщение с наивысшим приоритетом.

Существуют следующие типы фреймов:

- DATA FRAME (фрейм данных) служит для передачи данных;
- REMOTE FRAME (дистанционный фрейм, фрейм вызова) служит для передачи одним из устройств с последующим получением от другого в формате DATA FRAME с тем же идентификатором;
- ERROR FRAME (фрейм ошибок) передается узлом, обнаружившим в сети ошибку;
- OVERLOAD FRAME (фрейм перегрузки) обеспечивает промежуток между кадрами данных или запроса. На рис. 1 представлена схема формата фрейма.

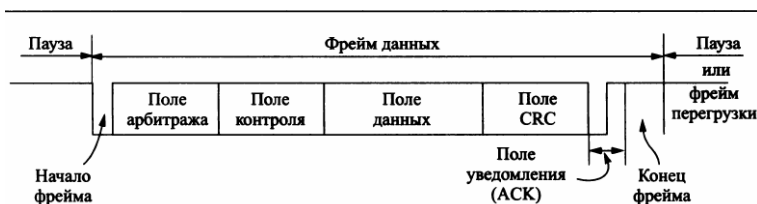


Рис. 1. Формат фрейма

Фрейм данных состоит из следующих полей (рис.1): начало фрейма (Start Of Frame), поле арбитража (Arbitration Field), поле контроля (Control Field), поле данных (Data Field), поле циклического избыточного кода (CRC Field), поле уведомлений о приеме (ACKnowledgement Field) и поле конца фрейма (End Of Frame). Поле данных может иметь нулевую длину.



Формат кадра данных имеет вид, представленный на рис. 2.

Большим преимуществом является то, что протокол CAN обладает развитой системой обнаружения и сигнализации ошибок. Для этих целей используется поразрядный контроль, прямое заполнение битового потока, проверка пакета сообщения CRC-полиномом, контроль формы пакета сообщений, подтверждение правильного приема пакета данных. При этом интервал кода Хемминга  $d = 6$ . Общая вероятность необнаруженной ошибки  $4,7 \times 10^{-11}$ . Если сообщение доставлено с ошибкой, то происходит автоматический повтор передачи, как только сеть станет свободной.

Байт данных в сообщении CAN	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Формат технологического протокола	Команда технологического протокола	Адрес параметра		Значение параметра			

Рис. 2. Формат сообщения технологического протокола

Если говорить о скорости передачи, то все узлы сети должны работать с одной скоростью. Стандарт CAN сам как таковой не определяет скоростей работы, но большинство адаптеров позволяют плавно менять скорость в диапазоне от 10 до 1024 Кбит/с.

Схема передачи сообщений представлена на рис. 3.

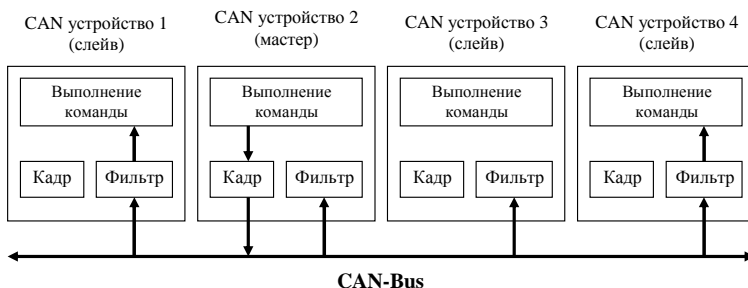


Рис. 3. Схема передачи сообщений в протоколе CAN-bus

В CAN-сети ни один из узлов не имеет адреса. Вместо этого сообщения посылаются «всем», но содержат идентификатор, который описывает смысл посылаемых данных. Сообщение принимается узлом, если его идентификатор проходит через фильтр сообщений, имеющийся в каждом узле.

Как уже было сказано выше, разработка CAN закончилась на первых двух уровнях модели OSI, что и привело к появлению разных, не совместимых между собой протоколов прикладного уровня.

Самым распространенным является протокол CANopen.

CANopen определяет протокол для распределенных промышленных автоматизированных систем на базе CAN. CANopen разработан организацией CAN in Automation (CiA) и стандартизирован CENELEC EN 50325/4.

Семейство CANopen профилей базируется на «Communication Profile» (профиль связи), который определяет базовые механизмы связи и множество различных профилей устройств или приложений, содержащих описание основных типов устройств, таких как цифровые и аналоговые I/O модули, приводы, программируемые контроллеры и кодирующие устройства. В профилях устройств содержатся функциональность, параметры и доступ к данным процесса стандартных устройств соответствующих типов.

Главным элементом CANopen стандарта является описание функциональности устройства через словарь объектов. Каждая точка входа словаря объектов обозначается через 16-битный индекс и 8-битный субиндекс. Некоторые точки входа словаря объектов представляют собой базис для стандартизированного доступа к сети «Объектам приложения» устройства, например, входные и выходные сигналы, параметры устройства, функции устройства или переменные сети, а также «Объектам связи», которые описывают функциональность связи устройства.

Аналогично с известными системами с полевой шиной CANopen имеет два базовых механизма передачи данных:

- высокоскоростной обмен небольшими объемами данных процесса через так называемые Process Data Objects – PDO (объекты данных процесса);

- доступ к точкам входа в словаре объектов через Service Data Objects – SDO (объекты данных сервиса).

PDO могут использоваться для передачи до 8 байтов данных. Передача и прием PDO могут быть синхронизированными по всей сети с помощью синхронизирующих сообщений (Синхронные PDO). Назначение объектов приложения PDO (Объект передачи)

настраивается с помощью структуры данных (PDO-отображение) в словаре объектов.

Передача SDO выполняется с подтверждением посредством двух CAN-объектов, аналогично логическому соединению «точка–точка» между двумя устройствами сети. Адресация к соответствующим точкам входа словаря объектов выполняется с помощью заданного индекса и субиндекса точки входа в поле данных указанных CAN-кадров. Передаваемые данные имеют произвольную длину. Передача SDO-сообщений содержит дополнительные служебные данные протокола.

Таким образом, несмотря на имеющиеся недостатки технологии CAN: сравнительно высокая стоимость CAN-устройств; зависимость скорости передачи данных от длины кабеля и отсутствие единого протокола прикладного, CAN-стандарт сети предоставляет широкие возможности для практически безошибочной передачи данных между узлами, оставляя разработчику возможность вложить в этот стандарт всё, что туда сможет поместиться.

*Работа выполнена по Госконтракту №П1368 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**Студент гр. М-9-15 П.Н. Кожевникова**

Научный руководитель – канд. техн. наук *Л.И. Мартинова*

Московский государственный технологический

университет «СТАНКИН»

В настоящее время дистанционное обучение представляет собой одно из наиболее эффективных средств организации процесса обучения специалистов в области систем управления и автоматизации технологических процессов в машиностроении. Это подтверждает тот факт, что в последние годы подъем производства

в ряде отраслей российской промышленности вызвал необходимость коренной перестройки производства ввиду морального износа существующего оборудования. Однако без специалистов, квалификация которых отвечает уровню современной техники, нельзя осуществить перевооружение производства [1].

Актуальность дистанционного обучения в области машиностроения обусловлена тем, что появившиеся новые промышленные технологии проектирования и производства, программные и аппаратные средства имеют очень высокие темпы обновления. Это приводит к тому, что знаний, полученных в институтах и других учебных заведениях всего несколько лет назад, оказывается недостаточно для работы с новым оборудованием и технологиями. Современный специалист в области автоматизации производств должен хорошо ориентироваться во всем многообразии технических и программных средств, уметь ставить и решать задачи создания, внедрения и сопровождения систем автоматизации [2].

Обучение техническим специальностям предусматривает большое количество практических работ с использованием специального оборудования, так как именно практическая компонента во многом определяет качество подготовки инженера. Чтобы подготовить инженера, отвечающего современным запросам, нужна мощная современная, часто дорогостоящая лабораторная база. Не каждое современное предприятие допустит неподготовленных лиц к дорогостоящим стендам и диагностической технике. Поэтому очевидно, что применение дистанционного обучения в сфере автоматизации технологических процессов, а именно создание виртуальных обучающих курсов и программ – одно из решений проблемы.

Дистанционное обучение, осуществляемое с помощью современных компьютерных технологий, в области управления технологическими системами может производиться по различным принципам:

1. Обучение с полной поставкой необходимого оборудования, программного обеспечения и методических материалов (рис. 1). У этого вида обучения есть основной недостаток – высокая стоимость оборудования и программного обеспечения, которое мало применимо вне процесса обучения.

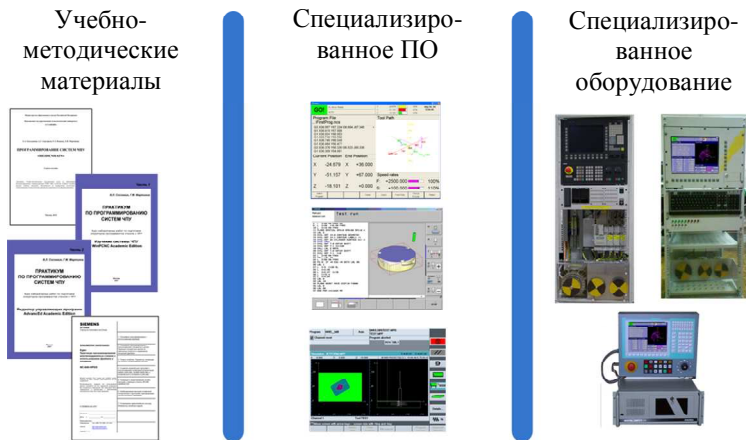


Рис. 1. Концепция обучения с полной поставкой оборудования и методических материалов

2. Обучение с поставкой методических материалов и программного обеспечения, которое эмулирует работу систем ЧПУ (рис. 2).

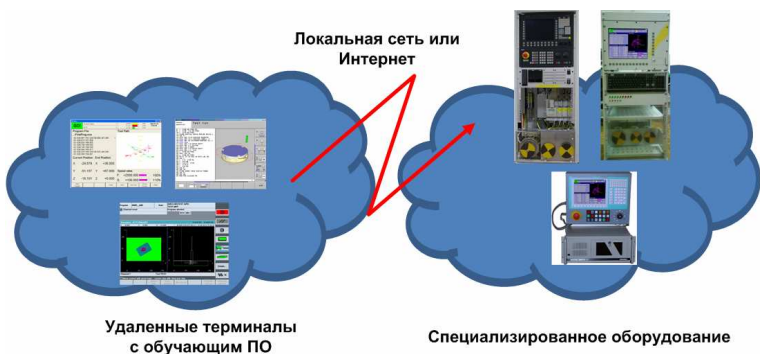


Рис. 2. Концепция обучения с поставкой методических материалов и программного обеспечения, которое эмулирует работу систем ЧПУ

Такое программное обеспечение также не дешево, однако существенно дешевле, чем полная поставка оборудования. Однако здесь проявляется другой недостаток – эмуляция работы системы ЧПУ без использования оборудования не позволяет полностью оценить результаты выполняемых заданий.

3. Обучение с поставкой методических материалов и терминального программного обеспечения для подключения к удаленному оборудованию и принятия сигнала с веб-камеры (рис. 3). Обучаемый подключается к учебному оборудованию (станку) в обучающем центре и при помощи веб-камеры наблюдает за выполнением операций.



Рис. 3. Концепция обучения с поставкой методических материалов и терминального программного обеспечения для подключения к удаленному оборудованию и принятия сигнала с веб-камеры

В МГТУ «СТАНКИН» на кафедре «Компьютерные системы управления» создается Центр дистанционного обучения для специалистов в области систем числового программного управления, структура информационно-образовательной среды которого представлена на рис. 4.

Программа дистанционного обучения кафедры «Компьютерные системы управления» строится на базе качественного и детально проработанного методического материала и включает следующие разделы (рис. 5):

1) мультимедийные лекции, разработанные по главным темам курса; в них используются следующие форматы данных: текст, фотографии, анимация, звуковые эффекты;

2) практикум, содержащий два блока: индивидуальные задания и тесты. Индивидуальные задания выполняются обучающимися самостоятельно с обеспечением необходимых консультаций по отдельным вопросам со стороны преподавателя. Тесты проводятся с целью выявления результата усвоения учебного материала по окончании видеолекции.

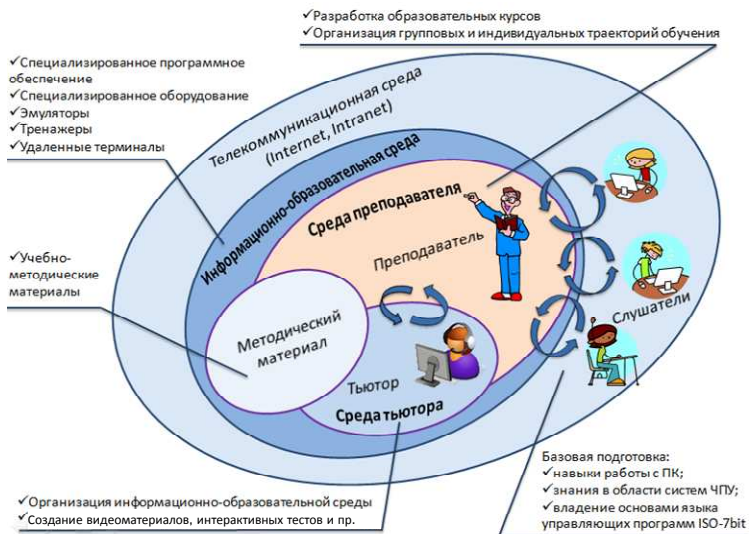


Рис. 4. Организация информационно-образовательной среды Центра дистанционной подготовки специалистов по системам числового программного управления



Рис. 5. Программа курсов дистанционного обучения по программированию систем ЧПУ

Реализация дистанционного обучения в сфере систем управления требует существенных вычислительных ресурсов, которые не всегда имеются у обучаемого, и надо исходить из того, что обучаемый имеет минимальные конфигурации оборудования, достаточные для работы в Интернете. При этом целесообразна

клиент-серверная архитектура, когда моделирование траектории обучения (или конкретного курса) осуществляется на серверном компьютере учебного центра дистанционного обучения, отображение результатов моделирования производится на клиентском компьютере обучаемого. Связь между сервером и клиентом осуществляется Интернета.

Полностью разработан курс лабораторных работ по теме «Программирование систем ЧПУ» на базе редактора управляющих программ AdvancEd. Данный лабораторный практикум носит динамичный характер, имеется возможность доработки имеющегося учебного материала в связи с быстрой сменой и модернизацией современной техники [3]. При появлении нового типа оборудования появляется необходимость модернизации старого или создания нового курса.

Часть уже созданных лабораторных работ проходит апробацию в рамках учебной дисциплины «Структура и математическое обеспечение систем управления», работы размещены на сервисе «youtube» (рис. 6).

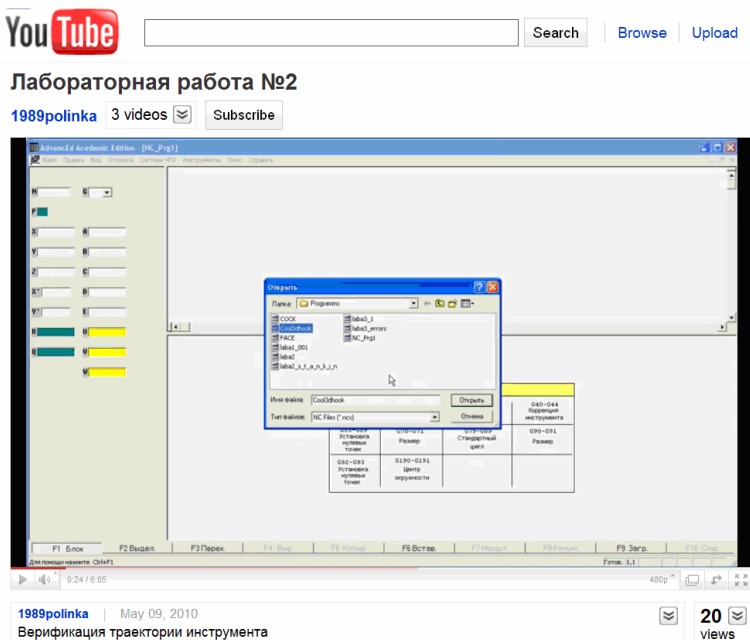


Рис. 6. Апробация обучающих программ на сервисе «youtube»



Текущий контроль и промежуточная аттестация обучающихся могут осуществляться традиционными методами или с использованием электронных средств (электронное тестирование и прочее), обеспечивающих идентификацию личности. Обязательная итоговая аттестация выпускников осуществляется традиционными методами.

Таким образом, применение новых технологий в организации обучения позволяют интегрировать накопленный научный и преподавательский опыт и придать инновационную и мощную практическую направленность образовательному процессу, переводя его на новый уровень.

*Работа выполнена по Госконтракту №П901 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.*

### **Библиографический список**

1. Круглый стол «О подготовке специалистов по автоматизации производства: проблемы и пути их решения» / Г.М. Мартинов [и др.] // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 12. – С. 36–44.

2. Мартинова Л.И. Специфика внедрения дистанционного обучения для подготовки специалистов для распределенных машиностроительных производств // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: матер. междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. Т. 1. – Севастополь, 6–10 сентября 2010 г. – С. 84–85.

3. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Пушков Р.Л. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. Ч. 1: Числовое программное управление: учебное пособие по подготовке специалистов с высшим профессиональным образованием для кадрового перевооружения машиностроительного комплекса России. – М.: Изд-во МГТУ «СТАНКИН», 2010. – 203 с.

## МОДУЛЬ ОТЛАДКИ МЕХАНИЗМОВ ЛОГИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ В ЯДРЕ СИСТЕМЫ ЧПУ

**Студент Р.А. Абдуллаев**

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент *Н.В. Козак*  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

Как правило, логическая задача в системах ЧПУ реализуется с помощью программируемых контроллеров [1]. Однако не всегда у разработчиков есть возможность работы с реальным ПЛК. Выполнение некоторых вспомогательных М-функций требует наличия подключенного контроллера электроавтоматики. В противном случае его отсутствие может привести к неполной или неправильной работе программных модулей ядра системы ЧПУ\*.

В другом аспекте, при обучении операторов системы ЧПУ использование для каждого учебного места программируемого контроллера является дорогостоящим и не всегда целесообразным. Для выхода из этой ситуации можно использовать программный эмулятор контроллера электроавтоматики.

Можно выделить следующие направления использования эмулятора ПЛК:

1. Отладка механизмов работы с ПЛК в ядре системы ЧПУ.
2. Эмуляция работы функций электроавтоматики системы ЧПУ в учебных целях.
3. Демонстрация возможностей системы ЧПУ без аппаратных средств электроавтоматики.

Целью работы была поставлена разработка концепции и программного модуля – эмулятора контроллера электроавтоматики, реализующего необходимые функции для отладки механизмов логической задачи ядра системы ЧПУ.

Для того чтобы ядро системы ЧПУ не зависело от работы эмулятора, оно реализуется в виде отдельного процесса. По этой причине возникает задача организации межпроцессорного взаи-

---

\* Работа выполнена по Госконтракту № 16.740.11.0267 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

модействия. Для этого требуется работа с механизмом разделяемой памяти, что, в свою очередь, влечет за собой неизбежное применение именованных системных объектов синхронизации (мьютексов или семафоров).

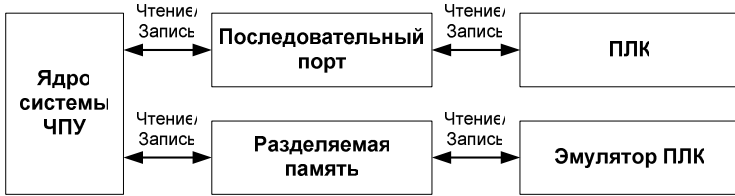


Рис. 1. Общее представление механизма взаимодействия с эмулятором ПЛК

Для реализации обмена данными между программируемым контроллером и ядром системы ЧПУ используется последовательный порт (рис. 1). В случае работы ядра с эмулятором ПЛК в качестве последовательного порта выступает разделяемая память. Запросы от ядра системы ЧПУ передаются в эмулятор программируемого контроллера через разделяемую память, которая является связующим звеном между двумя различными процессами.

Эмулятор контроллера реализован в виде отдельной библиотеки, которая может быть подключена как к консольному, так и к графическому интерфейсу. Для реализации именованной разделяемой памяти используется оболочка `CSharedMemoryWrapper`, в которой осуществляется непосредственное создание и открытие системных объектов (рис. 3).

Также в объекте этого класса происходит распределение разделяемой памяти на участки запроса и ответа эмулятора контроллера электроавтоматики (рис. 2). Первые четыре байта отведены под состояние запроса и ответа эмулятора программируемого контроллера. И область запроса, и область ответа начинаются с размера в байтах содержимого соответствующих полей.

От базовой оболочки именуемой разделяемой памяти унаследованы два класса. Один из них представляет собой объект устройства, то есть он посылает запросы и считывает ответы. Исходя из этой особенности, объект класса `CMasterSharedMemoryWrapper` обладает функциональной возможностью записывать данные в область запроса и считывать данные из области ответа.

И напротив, объект класса CSlaveSharedMemroyWrapper считывает запросы, обрабатывает их и записывает ответ.

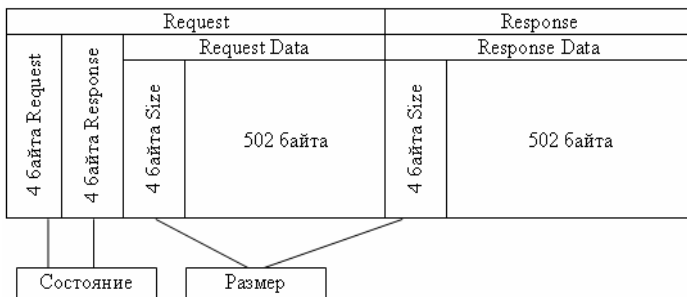


Рис. 2. Распределение разделяемой памяти

В ядре системы ЧПУ класс порта, который работает с именованной разделяемой памятью, унаследован от класса последовательного порта SerialPort и переопределяет соответствующие методы чтения и записи данных. Внутри этих методов вызываются функции записи запроса и считывания ответа класса CMasterSharedWrapper. Класс PortManagerExt переопределен таким образом, что при возвращении указателя на класс последовательного порта возвращается объект унаследованного класса для работы с именованной разделяемой памятью CSharedMemoryPort.

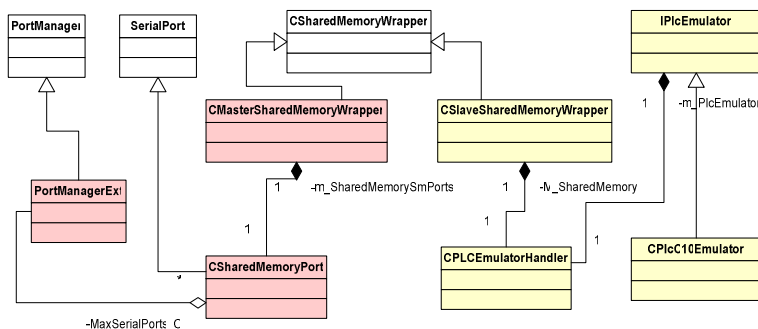


Рис. 3. Структура классов для работы с разделяемой памятью и объекты эмулятора ПИК

Ниже показан пример обработки запроса от master-устройства (рис. 4), в большинстве случаев которым является ядро системы

ЧПУ. Переопределенный метод Write (вызов 1) записывает запрос в разделяемую память (вызов 2). Межпроцессорная синхронизация заключается в том, что после записи данных в разделяемую память (вызов 3) именованный межпроцессорный семафор, который является частью базового класса оболочки CSharedMemryWrapper, а значит, содержится и в master-, и в slave-устройствах, освобождается (вызов 4).

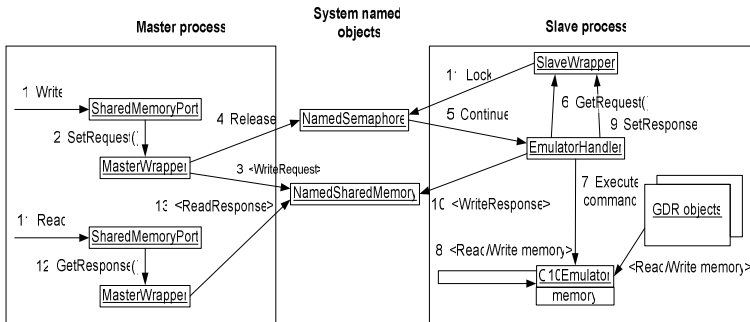


Рис. 4. Выполнение операции записи в память эмулятора ПЛК

Slave-устройство, которым является эмулятор программируемого контроллера, после освобождения именованного семафора возобновляет свою работу (вызов 5). Класс-обработчик запросов эмулятора EmulatorHandler считывает запрос (вызов 6) и передает его на исполнение (вызов 7) через интерфейс IPICEmulator непосредственно эмулятору выбранного контроллера. При выполнении запроса происходит запись или чтение данных в памяти или из памяти эмулируемого контроллера (вызов 8). Для удобства отладки работы вспомогательных M-команд, обрабатываемых программируемым контроллером, графический интерфейс показывает состояние памяти эмулятора ПЛК [2].

После обработки запроса данные от эмулятора контроллера электроавтоматики помещаются в разделяемую память в области ответа (вызов 9) через оболочку CSlaveSharedMemroyWrapper (вызов 8). После этого именованный семафор, используемый для межпроцессорной синхронизации, блокируется (вызов 11) до поступления нового запроса. Записанный ответ от эмулятора ПЛК считывается в переопределенном методе Read с помощью вызова метода GetResponse.

Эмулятор ПЛК является отдельной динамически подключаемой библиотекой, реализованной на высокоуровневом языке C++. На уровне программных компонентов эмулятор ПЛК взаимодействует с библиотекой KernelPortManager. В ней определены классы для работы с последовательными портами и их менеджером. Для переориентации работы библиотеки KernelPortManager на взаимодействие с эмулятором программируемого контроллера реализованы классы CSharedMemoryPort и PortManagerExt (см. рис. 3), унаследованные от соответствующих базовых классов.

В результате проведенных исследований и разработки были получены следующие результаты:

1. Разработана концепция построения программного модуля – эмулятора ПЛК – для логической задачи ядра системы ЧПУ в виде отдельного приложения.

2. Предложен оригинальный механизм взаимодействия компонентов ядра системы ЧПУ с эмулятором ПЛК посредством разделяемой памяти и ее представления в виде виртуального порта (SharedMemoryPort).

3. Разработаны структура и алгоритмы взаимодействия компонентов логической задачи системы ЧПУ, эмулятора ПЛК через механизм виртуального порта.

### **Библиографический список**

1. Сосонкин В.Л. Мартинов Г.М. Системы числового программного управления. – М.: Логос, 2005. – 296 с.

2. Мартинов Г.М., Козак Н.В. Декомпозиция и синтез программных компонентов электроавтоматики // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 12. – С. 4–11.

3. Козак Н.В. Основы интеграции компонентов электроавтоматики на примере графического редактора 3D-сцены визуализации // Информационные средства и технологии: тр. междунар. науч.-техн. конф. 16–18 октября 2007 г.: в 3 т. Т. 3. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – С. 132–135.

## РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКОЙ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ 16А20Ф3 НА БАЗЕ ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

**Студент гр. КС-11-10 А.У. Кулиев**

Научный руководитель – канд. техн. наук,  
доцент *Р.А. Нежметдинов*

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

Архитектура систем ЧПУ на прикладном уровне определяется количеством и составом прикладных разделов, называемых задачами управления. К их числу относятся:

- геометрическая (управление формообразованием);
- технологическая (управление параметрами технологического процесса);
- логическая (управление электроавтоматикой);
- терминальная (диалог с оператором);
- диагностическая (оптимизация использования вычислительных ресурсов) [1].

Данная работа представляет один из вариантов построения системы управления электроавтоматикой станка 16А20Ф3.

Токарный станок 16А20Ф3 предназначен для токарной обработки в полуавтоматическом режиме наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем различной сложности в мелкосерийном и серийном производстве.

На рис. 1 представлены объекты управления станка 16А20Ф3: 1 – защитное ограждение; 2 – шпиндель; 3 – резцедержатель; 4 – педали продольного перемещения пиноли; 5 – задняя бабка.

Система цикловой электроавтоматики (СЦЭА) станка выполняет вспомогательные операции, среди которых: автоматическая смена инструмента, подача смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), продольное перемещение центра пиноли задней бабки в ручном режиме управления и другие [2]. Задача логического управления решена с применением программируемого логического контроллера (ПЛК) С10М производства АвтоВАЗа.

Для быстрой и эффективной обработки деталей различной конфигурации и сложности с выполнением различных токарных

операций станок оснащен восьмипозиционной инструментальной головкой. Цикл автоматической смены инструмента включает в себя поворот головки (поиск требуемого инструмента) и фиксацию ее положения (требуемый инструмент найден). Алгоритм управления представлен на рис. 2.

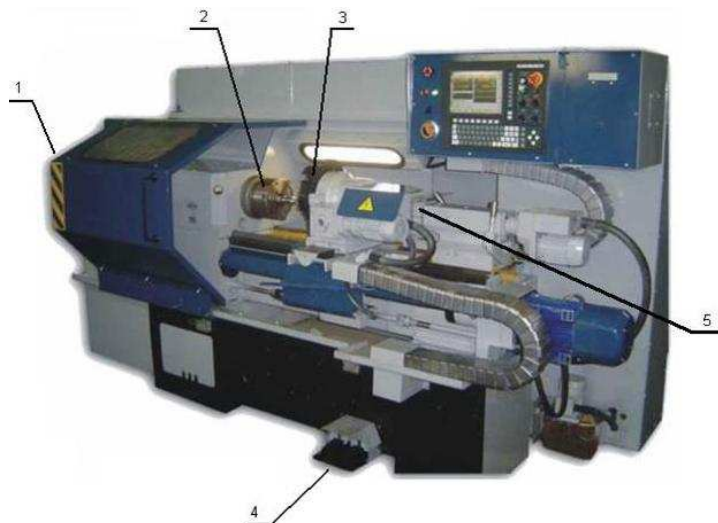


Рис. 1. Общий вид станка

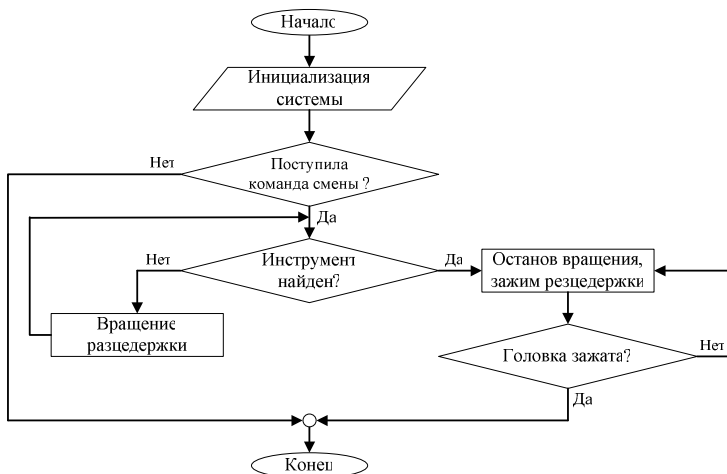


Рис. 2. Алгоритм автоматической смены инструмента



Система управления выполняет смену инструмента в режиме автоматического управления технологическим процессом по заданному алгоритму. Это позволяет повысить производительность оборудования за счет значительного сокращения вспомогательного времени обработки деталей.

Смазочно-охлаждающие жидкости – неотъемлемая часть процесса металлообработки. Их применение обеспечивает эффективную эксплуатацию металлорежущего оборудования и повышает качество обрабатываемой поверхности при соблюдении заданной точности.

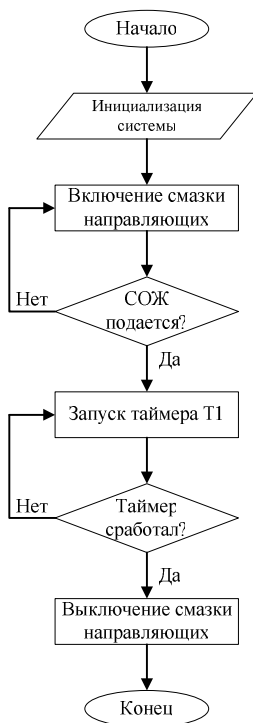


Рис. 3. Алгоритм подачи СОЖ на направляющие

В комплектацию станка входят система централизованной смазки направляющих (уменьшение трения соприкасающихся поверхностей) и система подачи СОЖ в зону резания (охлаждение режущего инструмента и обрабатываемой заготовки). Алгоритмы управления представлены на рис 3 и 4 соответственно.

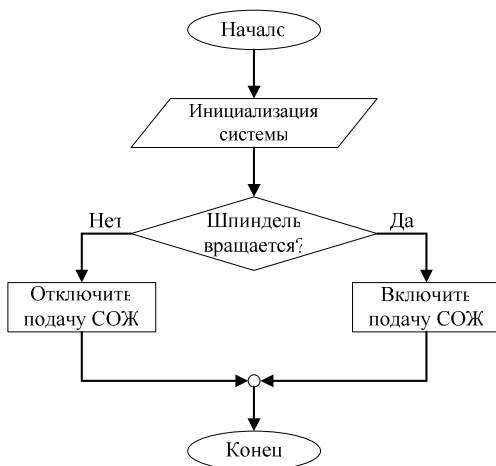


Рис. 4. Алгоритм подачи СОЖ в зону резания

Для обработки габаритных деталей на станке применяется центр для поддержания, вставляемый в пиноль задней бабки. В режиме ручного управления заготовку закрепляют с помощью выдвижения центра пинולי. Его продольное перемещение осуществляется с помощью 2 педалей (левой и правой). При одновременном нажатии обеих педалей центр пинולי не перемещается (рис. 5).

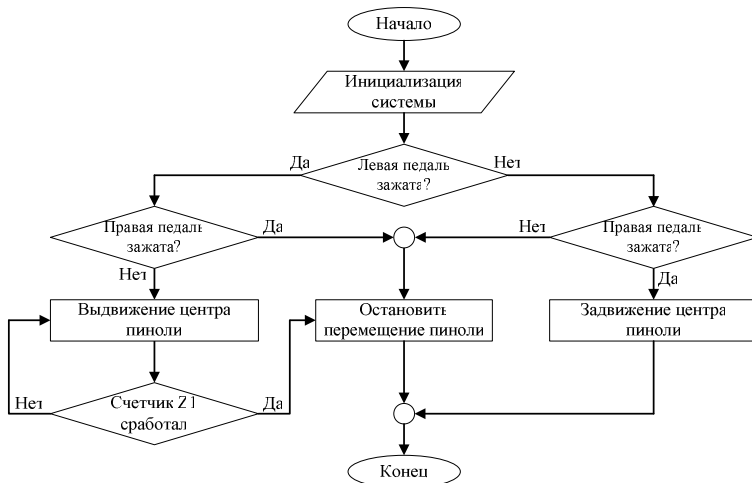


Рис. 5. Алгоритм продольного перемещения центра пинולי

В работе рассмотрен вариант реализации управления электроавтоматикой токарного станка 16A20Ф3 на базе интегрированного в систему ЧПУ программируемого логического контроллера. Данный вариант решения логической задачи является широко применяемым в системах управления и позволяет создать гибкую, надежную и эффективную рабочую среду.

*Работа выполнена по Госконтракту №П1313 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.*

### **Библиографический список**

1. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: учебное пособие. – М.: Логос, 2005.
2. Техническая документация станка 16A20Ф3.

## **РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ПЕРЕДАЧИ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМАНД В СИСТЕМУ ЧПУ**

**Студент гр. М-11-15 П.А. Никишечкин**

Научный руководитель – старший преподаватель *Р.Л. Пушков*  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

В современном автоматизированном производстве все действия оператора и его органы чувств заменяет чувствительная контрольно-измерительная аппаратура. Анализ информации, поступающей из зоны обработки, вместо оператора выполняет персональный компьютер. С его помощью логически распознаются повреждения в элементах технологической системы и принимаются решения по управлению или прекращению работы [1].

На сегодняшний день существует множество диагностических систем, отвечающих за надежность и контроль процесса механической обработки изделий в автоматизированном производстве, такие как СТМ, PROMETEC, NORDMANN, OMATIVE и др. Все они позволяют с определенной точностью фиксировать и определять:

- холостой проход инструмента;
- контакт инструмента с деталью;
- поломку инструмента;
- износ инструмента;

Системы имеют функциональность для визуализации, а также диагностики и оптимизации операций обработки, что означает:

- расширенное предупреждение поломки инструмента благодаря своевременной автоматической смене инструмента;
- повреждения на инструменте или детали минимизируются, последующие повреждения предотвращаются;
- увеличение производительности без привлечения дополнительного персонала.

Задачей диагностирования является не только определение технического состояния, в котором находится объект в данный момент времени, но и прогнозирование технического состояния, в котором объект окажется в следующий отрезок времени [2]. На данный момент существует очень небольшое количество систем, позволяющих производить как диагностику режущего инструмента, так и прогнозирование его остаточной стойкости. Все это приводит к необходимости поиска более совершенных методов диагностики и контроля, а также разработки новых аппаратно-программных комплексов, включающих в себя элементы мониторинга текущего состояния режущего инструмента, а также возможность прогнозирования его остаточной стойкости.

На сегодняшний день в МГТУ «СТАНКИН» ведутся разработки универсальной подсистемы диагностики, способной определять текущее состояние режущего инструмента, а также осуществлять прогнозирование его остаточной стойкости. На данный момент реализована внешняя система диагностики по отношению к системе ЧПУ, т.е. выполненная в виде приложения на персональном компьютере, которая принимает и анализирует данные с датчиков, находящихся в зоне резания. Архитектура подсистемы представлена на рис. 1. Важнейшей задачей является интегрируемость данной подсистемы в системы ЧПУ.

Представленная архитектура отображает последовательность действий, необходимых для правильного сбора и обработки сигналов с датчиков и дальнейшего использования их в различных алгоритмах диагностики режущего инструмента.

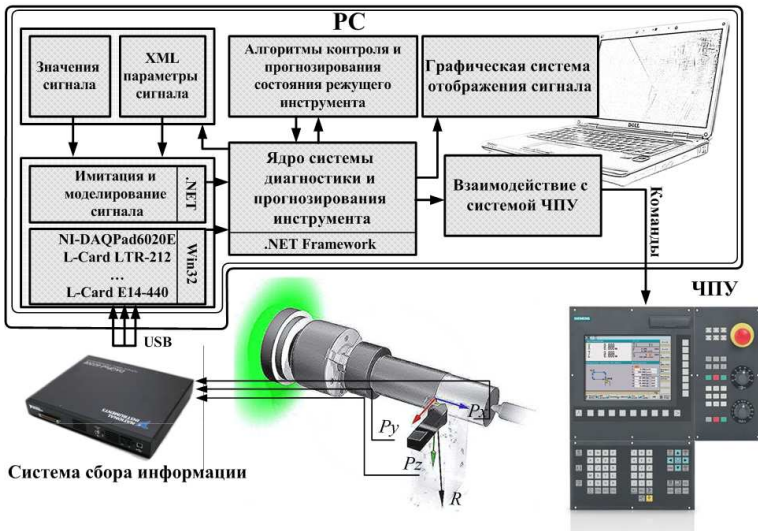


Рис. 1. Архитектура подсистемы диагностики

Первым этапом является снятие и обработка сигналов, поступающих из зоны резания с датчиков различных типов (тензометрический датчик, вибродатчик, магнитный, датчик акустической эмиссии, и т.д.). Полученные сигналы путем аналого-цифрового преобразования отправляются в ядро программы, а именно в блок сбора и обработки информационного сигнала. Данный блок предназначен для приема данных в виде сигнала и последующего преобразования его в информацию, понятную системе, а также для загрузки имитационных файлов, т.е. заранее сохраненных пакетов данных, поступивших из зоны резания, хранящихся в текстовом файле.

Для прогнозирования состояния режущего инструмента полученная информация поступает в ядро системы для ожидания дальнейшей обработки. С помощью использования разработанного алгоритма прогнозирования программой определяются управляющие сигналы, которые в дальнейшем подаются на систему ЧПУ. Основными командами, передаваемыми в систему ЧПУ, являются: подналадка станка, сигналы остановки, смены инструмента, сигналы коррекции режимов обработки.

В процессе обработки можно выделить основные периоды: холостого хода, врезания, выхода и рабочего периода. Под рабочим

периодом понимается информация, полученная с датчиков из зоны резания станка, в период полного контакта режущей части инструмента с заготовкой (рис. 2).

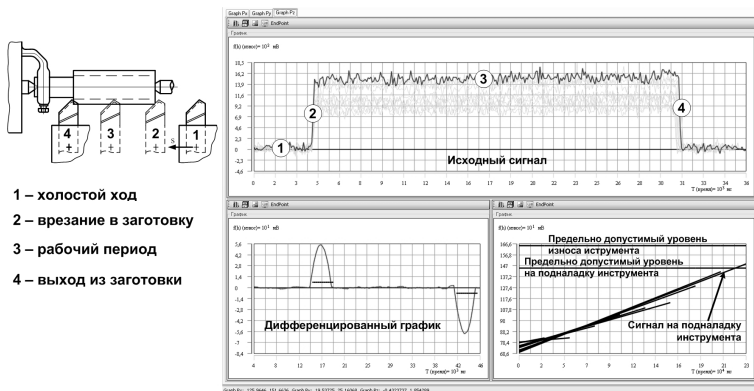


Рис. 2. Обработка данных

Разработанный алгоритм прогнозирования осуществляет нахождение рабочего периода резания и выполняет его анализ. Для определения рабочего периода резания необходимо выделить зоны изменения состояния инструмента. Для этого сигнал фильтруется от помех и случайных скачков по методу усреднения средних значений, а затем производится дифференцирование полученного сглаженного графика. В дальнейшем система получает из базы данных уставку в виде положительного и отрицательного минимального уровня относительно нулевого положения. При выходе за границы этих уровней фиксируется начальное и конечное положения выхода и соответственно входа в заданный диапазон значений уровня сигнала. За полученный период времени выхода и входа определяется максимальный и минимальный уровень сигнала в соответствии от врезания или выхода инструмента. При выходе и определении максимального и минимального уровня сигнала происходит операция разделения на составляющие, в которые входят холостой ход, врезание, выход, рабочий период резца [4].

Рабочий период резца по алгоритму прогнозирования аппроксимируется с помощью метода наименьших квадратов, где находится общее уравнение прямой. По углу наклона данной

прямой и времени обработки одной детали находится остаточная стойкость резца как для уровня подналадки инструмента, так и для уровня предельно допустимого износа. При превышении уровня предельно допустимого значения, заданного заранее, исходя из текущих параметров обработки и типа режущего инструмента, производится команда на смену инструмента. Подналадка инструмента осуществляется, если прогноз на следующую деталь находится выше, чем заданный уровень подналадки инструмента.

На данный момент на базе станда SINUMERIK 840D разработан механизм, позволяющий производить подключение подсистемы диагностики к системе ЧПУ. При получении сигнала на смену инструмента от подсистемы прогнозирования система ЧПУ прекращает обработку детали и запрещает дальнейший запуск обработки до момента подтверждения оператором смены инструмента (подтверждение производится через диалог подсистемы диагностики).

Сигнал смены инструмента подается подсистемой диагностики путем выставления уровня логического «1» на вывод D2 параллельного порта LPT персонального компьютера. Далее сигнал поступает на вход контроллера электроавтоматики Siemens S7-300 системы ЧПУ SINUMERIK (рис. 3).

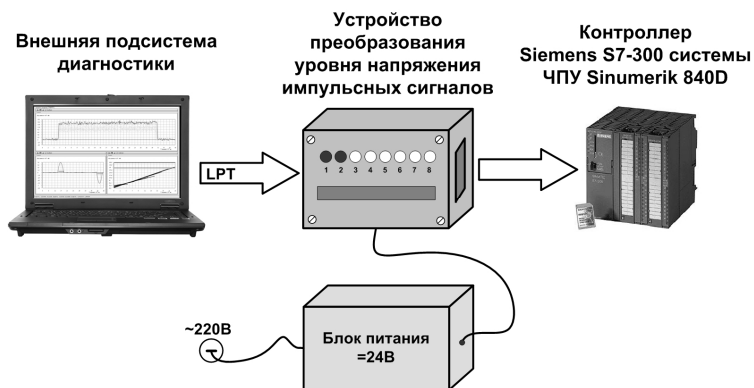


Рис. 3. Подключение к системе ЧПУ

Появление логического «0» на выводе D2 параллельного порта LPT означает готовность системы к дальнейшей обработке деталей.

На данный момент это является единственным реализованным способом подключения внешней подсистемы к системе ЧПУ. Несомненно, такой метод интеграции имеет много минусов и является далеко несовершенным, что говорит об актуальности задачи по ее усовершенствованию и полного интегрирования подсистемы диагностики в систему ЧПУ.

*Работа выполнена по Госконтракту №14.740.11.0336 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.*

### **Библиографический список**

1. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надежность и диагностика технологических систем: учебник. – М.: Высшая школа, 2005. – 343 с.: ил.
2. Синопальников В.А. Контроль и прогнозирование состояния инструмента при чистовой обработке // Комплект: ИТО № 9. – 2007. – С. 60–63.
3. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: учеб. пособие. – М.: Логос, 2005. – 296 с.
4. Прогнозирование стойкости инструмента при чистовой обработке / С.А. Киселев, А.С. Григорьев, А.В. Геранюшкин, Р.Л. Пушков // Вестник МГТУ «СТАНКИН». Научный рецензируемый журнал. – М.: Изд-во МГТУ «СТАНКИН», 2008. – № 4. – С. 23–32.

## **ПРИНЦИП РЕАЛИЗАЦИИ СПЛАЙНОВОГО ИНТЕРПОЛЯТОРА СИСТЕМЫ ЧПУ**

**Аспирант А.И. Обухов**

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

Многие системы ЧПУ позволяют описывать траекторию перемещения инструмента только в виде последовательности отрезков прямых и дуг окружностей. Это имеет ряд недостатков, а именно:

– жесткая динамика движения из-за резких изменений направления и, как следствие, ухудшение качества обрабатываемой поверхности и износ станка;



– отклонение от требуемой геометрии поверхности вследствие использования линейных перемещений на криволинейных участках;

– уменьшение производительности (уменьшение средней скорости и увеличение пути, проходимого инструментом).

Выходом из ситуации является использование интерполяции движения по осям с помощью сплайнов. Сплайн представляет собой метод математического описания кривой. Наиболее простые типы сплайнов описываются кубическими многочленами. Это Акіта-сплайны, натуральные кубические сплайны [1]. В системах CAD/CAM для описания кривых и плоскостей используются NURBS-сплайны [2]. Такой способ описания кривых и плоскостей также используется в стандарте STEP для обмена данными математических моделей. Реализация сплайновых интерполяторов в дорогих системах ЧПУ общего назначения является закрытой, и зачастую многие производители дешевых отечественных систем ЧПУ (как коммерческих, так и учебных) сталкиваются с трудностями при реализации поддержки сплайнов. Таким образом, весьма актуальной является задача описания методики реализации интерполяторов данного типа. На решение этой задачи направлена данная работа.

В качестве примера рассмотрим реализацию интерполятора, обрабатывающего Акіта-сплайны. А-сплайн представляет собой простейший вид кубического сплайна, описываемого следующим выражением:

$$y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D. \quad (1)$$

Коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  определяются следующими условиями:

$$\begin{cases} y_i = Ax_i^3 + Bx_i^2 + Cx_i + D, \\ y_{i+1} = Ax_{i+1}^3 + Bx_{i+1}^2 + Cx_{i+1} + D, \\ 3Ax_i^2 + 2Bx_i + C = \frac{1}{d_{i-1} + d_i} \left( \frac{(y_i - y_{i-1})d_i}{d_{i-1}} + \frac{(y_{i+1} - y_i)d_{i-1}}{d_i} \right), \\ 3Ax_{i+1}^2 + 2Bx_{i+1} + C = \frac{1}{d_i + d_{i+1}} \left( \frac{(y_{i+1} - y_i)d_{i+1}}{d_i} + \frac{(y_{i+2} - y_{i+1})d_i}{d_{i+1}} \right), \end{cases} \quad (2)$$

где  $d_{i-1} = x_i - x_{i-1}$ ,  $d_i = x_{i+1} - x_i$ ,  $d_{i+1} = x_{i+2} - x_{i+1}$ .

В параметрическом виде сплайн представляется группой выражений (1) и (2), где  $x$  заменяется на параметр  $t$ , а  $y$  – на координату по каждой оси. Параметрическое представление позволяет использовать А-сплайн для описания не только плоских, но и пространственных кривых.

Как следует из приведенного выражения (2), Акіма-сплайн обеспечивает непрерывность только первой производной в точках, что несколько ограничивает применение данного типа интерполяции. Существуют другие типы кубических сплайнов, для которых параметры  $A, B, C, D$  определяются так, чтобы обеспечить непрерывность производных высших порядков [3].

Интерполятор системы ЧПУ выполняет две функции – подготовку данных для интерполяции и собственно интерполяцию траектории (то есть циклическое вычисление приращений координат по осям на основе заданного блоком разгона-торможения приращения пути).

Подготовка данных для интерполяции перемещения по кубическому сплайну (и вообще, для любых типов траекторий, заданных в параметрическом виде) состоит из двух этапов:

1. Нахождение всех неизвестных коэффициентов кривой (в данном случае  $A, B, C, D$ ).

2. Нахождение длины кривой, начальных и конечных производных, максимальной кривизны (эти параметры нужно вычислять до интерполяции для того, чтобы блок разгона-торможения мог соблюсти условия на предельные ускорения по осям при задании начальной, максимальной и конечной скорости в кадре).

Коэффициенты, производные и кривизна находятся элементарно из выражений (1) и (2) (о нахождении кривизны кривой [4]). Однако длина сегмента кубической кривой не может быть выражена в элементарных функциях, так как ее выражение представляет собой эллиптический интеграл (3):

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} dt. \quad (3)$$

Подставив выражение кубического сплайна в параметрическом виде и его производные в (3), можно убедиться, что получившийся интеграл не берется в элементарных функциях.

Таким образом, длину сегмента сплайна необходимо находить с помощью численного интегрирования. Для кубических кривых достаточно эффективно используется формула парабол (Симпсона). Следует заметить, что для задачи управления движением длину нужно находить с заданной точностью (не более 1 дискреты), что требует использования методов оценки точности численного интегрирования. Априорные методы оценок не подходят из-за сложности нахождения экстремумов для производных высших порядков выражения (3) и других проблем. Ввиду этого для оценки и коррекции результата численного интегрирования в нашем случае применяется апостериорный метод Рунге [3]. Данный метод, как оказалось, достаточно удобен для программной реализации. Состоит метод Рунге в последовательном двукратном наращивании количества узлов, по которым вычисляется интеграл (то есть увеличение «густоты» сетки), и оценке погрешности на основе полученных данных. В простейшем случае это выглядит так: два значения интеграла, полученные при количестве узлов  $n$  и  $2n$ , используются для оценки погрешности интегрирования и коррекции полученного значения по формуле (4).

$$z = z_{2n} + \frac{z_{2n} - z_n}{2^p - 1}, \quad (4)$$

где  $p$  – порядок точности метода интегрирования ( $p = 4$  для формулы парабол),  $z_{2n}$  и  $z_n$  – значения интеграла, полученные при количестве узлов  $2n$  и  $n$  соответственно,  $z$  – уточненное значение интеграла. Второе слагаемое в правой части (4) представляет собой апостериорную оценку погрешности результата. Если погрешность меньше заданной, то  $z$  принимается за окончательное значение интеграла, в противном случае количество узлов увеличивается в два раза и погрешность считается уже по значениям при количестве узлов  $2n$  и  $4n$ , и т.д.

Алгоритм интерполяции (расчета приращений координат при заданном приращении пути) тесно связан с вычислением длины сплайна. Чтобы найти координаты точки сплайна, в которую надо переместиться за такт интерполяции, требуется вычислить, какая точка отстоит от текущей по длине сплайна на заданный путь перемещения за такт. Следовательно, если задан путь, требуется определить, в какую точку мы попадем при пересечении этого

пути по сплайновой кривой. В случае параметрического представления эта задача сводится к поиску приращения параметра, соответствующего требуемому приращению пути. В ходе практической реализации сплайнового интерполятора для системы ЧПУ WinPCNC [5] был сделан вывод, что наилучшим способом решения данной задачи является применение алгоритма итеративного приближения к заданной точке, схема которого показана на рис. 1.

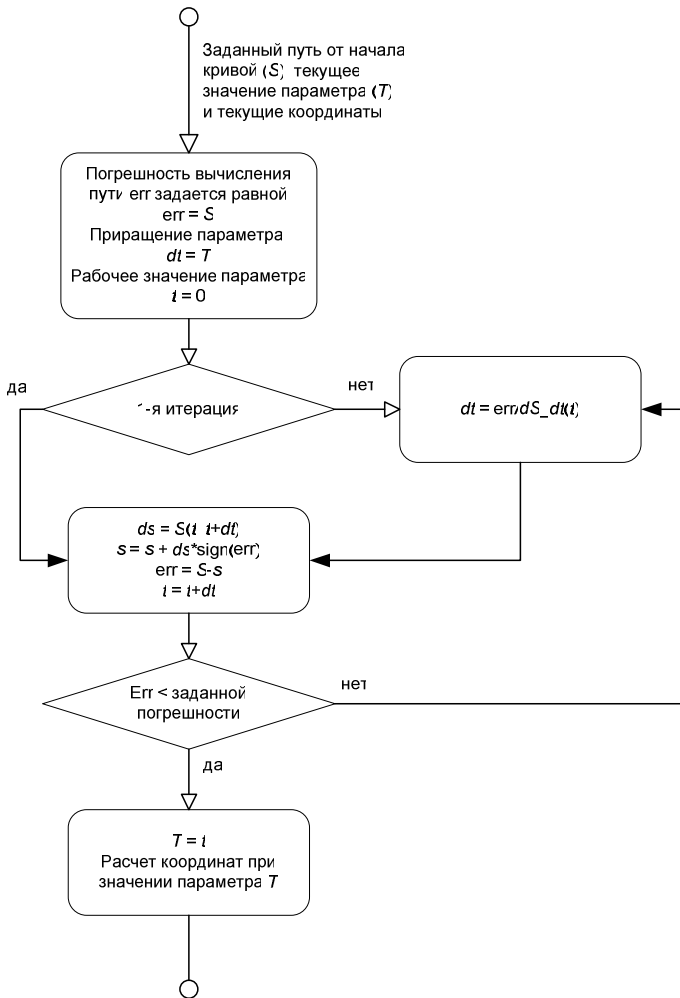


Рис. 1. Алгоритм интерполяции для параметрических кривых

Вначале задается путь  $S$  от начала кадра, который должен быть пройден к моменту завершения текущего такта интерполяции, текущее значение параметра  $T$  (соответствующее точке начала текущего такта) и текущие координаты. Задача состоит в поиске точки, соответствующей перемещению  $S$  по заданной кривой от начала кадра. В каждом такте положение заданной точки ищется именно относительно начала кадра, чтобы избежать накопления ошибки (а при миллионах тактов интерполяции на кадр никакая точность вычислений не позволит избежать появления ошибок к концу кадра).

Расчет координат заданной точки выглядит следующим образом:

1. Задается несколько переменных:
  - $s$  – путь от начала кадра до точки, приближенной к заданной;
  - переменная  $\text{err} = S - s$ , которая определяет разность между требуемой длиной пути  $S$  и полученной в ходе поиска  $s$  ( $s = 0$  в начале алгоритма).
  - приращение параметра  $dt$  (задается равным  $T$  вначале);
  - значение параметра  $t$ , соответствующее значению длины  $s$ .
2. Вычисляется приращение параметра  $dt$ , приблизительно соответствующее приращению, равному ошибке пути  $\text{err}$ .  $dt$  вычисляется как отношение  $\text{err}$  к производной пути по параметру в точке  $t$ .
3. Вычисляется:
  - приращение пути  $ds$ , соответствующее приращению параметра  $dt$ ;
  - путь  $s$ ;
  - ошибка пути  $\text{err}$ .
4. Если  $\text{err}$  меньше заданной погрешности, текущее значение параметра принимается равным  $t$  и координаты конца такта интерполяции вычисляются, исходя из этого значения. В противном случае происходит переход к пункту 2.

Таким образом, итеративно значение  $t$  приближается к такому, которое соответствует длине кривой от начала кадра, равной заданной длине  $S$  с допустимой погрешностью. Как правило, для достижения заданной точности достаточно 2–3 итераций.

Описанный алгоритм подходит для реализации интерполятора, использующего не только сплайны, но и любые гладкие кривые, заданные в параметрическом виде.

*Работа выполнена по Госконтракту № 14.740.11.0541 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.*

### **Библиографический список**

1. Мартинов Г.М., Сосонкин В.Л. Проблемы использования сплайновой интерполяции в системах ЧПУ при обработке скульптурных поверхностей // Автоматизация в промышленности. – 2006. – № 11. – С. 3–9.
2. Ли Кунву. Основы САПР(CAD/CAM/CAE). – СПб.: Питер, 2004.
3. Киреев В.И., Пантелеев А.В. Численные методы в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2004.
4. Кудрявцев Л.Д. Математический анализ. – М.: Дрофа, 2006. – 351 с.
5. URL: <http://www.ncsystems.ru>

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ ПРЕСС-ФОРМ (НА ПРИМЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ PRO/ENGINEER)**

**Канд. техн. наук А.А. Окунькова**

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

На сегодняшний день в связи с общей ориентацией на инновационные технологии как никогда актуален вопрос подготовки молодых специалистов машиностроительных специальностей. Потребность в знаниях и владении навыками сквозного проектирования в CAD/CAM-системах на этапе технологической подготовки производства является для таких специалистов очень важной. Одной из наиболее развитых систем автоматизированного проектирования сегодня можно назвать Pro/Engineer.

Наиболее сложные производственные процессы, связанные с повышенными требованиями к качеству изготовления деталей, на сегодняшний день можно встретить в инструментальном производстве, например, при изготовлении пресс-форм для литья пластмасс.

Только комплексная автоматизация процессов проектирования, технологической подготовки производства и изготовления деталей пресс-форм дает качественный и конкурентоспособный продукт. Использование современных программных сред на каждом этапе воплощения пресс-формы в реальность дает конструктору, технологу и оператору оборудования с ЧПУ преимущества по времени выпуска и качеству конечного изделия.

Рассмотрим пример проектирования четырехкоординатной электроэрозионной вырезки формообразующих полостей деталей пресс-формы на изделие «Зажим хирургический» (рис. 1).

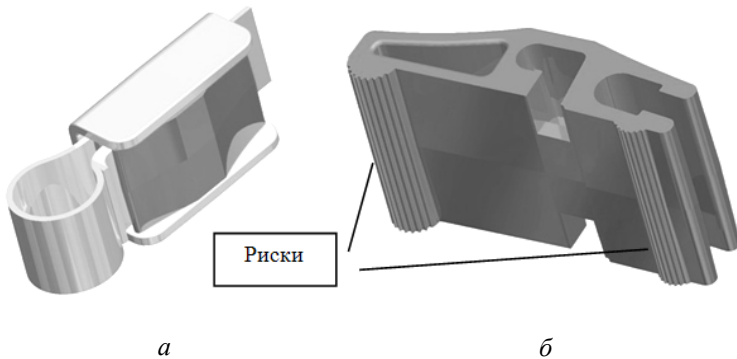


Рис. 1. 3D-модель изделия «Зажим хирургический»: *а* – изделие в сборе; *б* – пластмассовая деталь (отливка), на которую необходимо спроектировать и изготовить пресс-форму

**Проектирование пресс-формы.** Представленное изделие характеризуется наличием рисков, которые могут осложнить работы (радиус выпуклой части рисков 0,30 мм, радиус впадины рисков 0,40 мм, расстояние между рисками 0,50 мм, угол наклона рисков  $0^\circ$ , угол наклона по контуру изделия (технологический уклон)  $0,7^\circ$ , высота изделия 23,60 мм). На основе данных, предоставленных заказчиком, была спроектирована отливка пластмассового изделия. Далее спроектировано несколько вариантов исполнения формообразующих деталей пресс-формы (рис. 2).

Варианты были направлены в цех на проработку технологичности их изготовления. Анализ показал, что для традиционного выполнения формообразующих частей согласно проекту с глухой полостью (см. рис. 2, *a*), потребуется выполнить около 70 электродов для операции электроэрозионной прошивки, большинство из которых будут использоваться единожды. С экономической точки зрения такой подход трудоемок и малоэффективен.

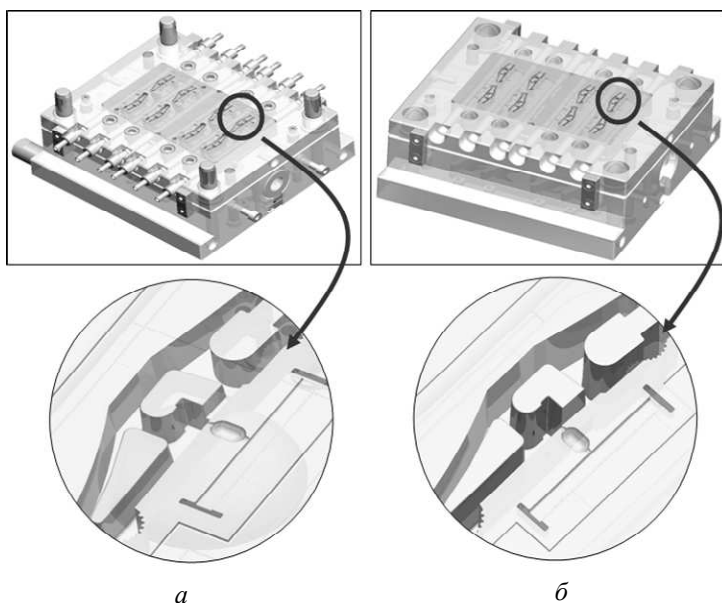


Рис. 2. Варианты исполнения формообразующих деталей пресс-формы (вид на неподвижную часть пресс-формы со стороны плоскости разреза):  
*a* – вариант исполнения с монолитной матрицей (глухая полость); *б* – вариант исполнения с матрицей, выполненной со вставкой (сквозная полость)

По проекту исполнения пресс-формы со сквозной полостью (см. рис. 2, *б*) большую часть работ можно выполнить на фрезерном станке, а вертикальную стенку внутренней полости матрицы и пуансона с переменным углом наклона по контуру – методом электроэрозионной вырезки непрофильным электродом  $\varnothing 0,25$  мм. При подробном анализе выяснилось, что к данной зоне обработки невозможно применить ни один из существующих способов представления зоны обработки детали в компьютерной среде (рис. 3). Для того



чтобы реализовать проект по второму варианту (см. рис. 2, б), необходимо предварительно сформировать новую поверхность обработки детали [1].

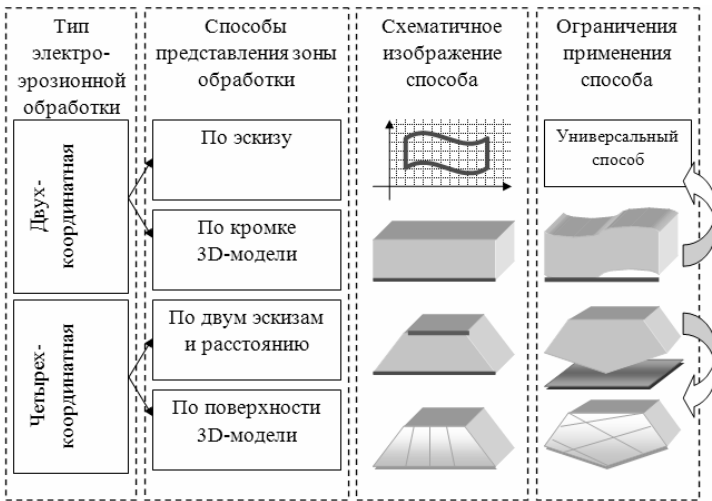


Рис. 3. Способы представления поверхности электроэрозионной обработки в компьютерной среде (на примере универсальной CAD/CAM- системы Pro/Engineer)

**Формирование зоны обработки.** На основе твердотельной 3D-модели матрицы создадим поверхностную модель зоны обработки детали. Расположим две дополнительные плоскости (основную и вспомогательную), которые бы обрамляли зону обработки детали сверху и снизу. Параллельно одной из них построим еще одну плоскость, которую используем для обрезки участка, не отвечающего условиям применения ни одного из способов представления зоны обработки в компьютерной среде (см. рис. 3). Получившийся срез «наростим» с помощью инструмента «протяжка» до первоначальной высоты зоны обработки (23,60 мм) [2].

После того как зона обработки окончательно сформирована, расположим в основной плоскости, которая соответствует рабочему столу станка или параллельна ему, точку захода проволоки на контур и локальную систему координат детали. Прделаем те же действия для остальных трех зон обработок детали, так как по проекту каждая матрица и пуансон пресс-формы четырехгнездные.

**Выбор технологических режимов обработки.** При помощи руководства по эксплуатации электроэрозионного станка подберем технологические параметры обработки. Входные данные: материал заготовки – сталь средней твердости; толщина заготовки  $S = 23,60$  мм; требуемая шероховатость поверхности  $0,4 Ra$ ; материал электрода-проволоки – латунь; диаметр электрода-проволоки  $\varnothing 0,25$  мм. Электроэрозионная обработка будет осуществляться за три прохода электрода-проволоки. Значения коррекции инструмента для каждого прохода соответственно равны  $0,210$ ,  $0,145$  и  $0,130$  мм.

**Моделирование движений электрода-проволоки.** Смоделируем движение электрода-проволоки в зоне обработки при помощи Pro/Engineer. Для этого сначала необходимо загрузить 3D-модель детали с предварительно сформированной зоной обработки детали и 3D-модель заготовки. Затем создаем технологическую операцию, где указываем тип станка «WEDM 4 axis» и расположение локальной системы координат. После этого создаем технологический переход: тип электроэрозионной обработки – «XY-UV». Вводим значения параметров инструмента и значения технологических параметров перехода: расчетная скорость обработки «CUTFEED» –  $0,8$  мм/мин; точность обработки «TOLERANCE» –  $0,001$  мм; количество чистовых проходов «NUM\_PROF\_PASSES» –  $2$ ; величина перекрытия контура по окончании реза «END\_OVERTRAVEL» –  $2$  мм; дистанция до конца реза, когда будет подан сигнал останова на электроэрозионный станок, –  $0,5$  мм; остальные параметры оставляем без изменений «по умолчанию».

Формируем траекторию перехода в зоне обработки «Automatic Cut» – «Insert». Выбираем тип обработки: черновой проход «Rough» и чистовые «Finish», способ представления зоны обработки – через два контура «Two Contour». Выбираем точку захода проволоки. Эскизируем траекторию движения инструмента в каждой из двух плоскостей. Выбираем направление коррекции инструмента. Завершаем формирование траектории «Automatic Cut», нажав «Done». Создадим аналогично «Automatic Cut» оставшиеся три зоны обработки матрицы. Просматриваем сформированный переход «Play Path». Завершаем формирование технологического перехода «Done» и выводим управляющую про-

грамму. При нажатии «CL Data» появляется возможность выбрать конкретный переход или операцию, на основе которых необходимо сформировать управляющую программу. Выбираем сформированный переход «NC Sequence» – «1: Conturing». Далее выбираем вывод CL-данных через файл «File». В появившемся списке постпроцессоров выбираем соответствующий оборудованию. В директории, указанной системе для сохранения файлов управляющих программ, можно найти файл с разрешением «.TAP». В общей сложности текст данной управляющей программы содержит 6182 строки, что соответствует примерно 220 страницам машинописного текста.

**Изготовление деталей «матрица» и «пуансон».** Реализация чистовой четырехкоординатной электроэрозионной обработки формообразующих поверхностей деталей «матрица» и «пуансон» проводилась на электроэрозионном станке «Chmer CW850HS» (Тайвань).

Все станочные работы по изготовлению формообразующих деталей успешно завершены к данному моменту. В настоящее время пресс-форма находится на этапе окончательной сборки. Качество конечного изделия будет проанализировано после запуска пресс-формы в работу.

**Выводы.** Проведены анализ экономической эффективности проекта по выполненным работам и сравнение эффективности двух вариантов исполнения проекта (таблица).

Очевидно, что электроэрозионная обработка непрофильным электродом с использованием представленной методики имеет преимущество перед традиционным подходом. Это преимущество вытекает из того, что:

- при реализации электроэрозионной обработки не требуется изготавливать дополнительный инструмент (отсюда экономия материала и времени на проектирование и изготовление инструмента второго порядка);
- при электроэрозионной обработке не возникает как такового износа инструмента (так как инструмент – бесконечно перематываемая электрод-проволока постоянного сечения);
- предложенная методика позволяет реализовать данный метод обработки максимально эффективно (за счет предварительного моделирования зоны обработки и подбора технологических параметров обработки).

Сравнение эффективности применения методов  
формирования полости детали «матрица» в зависимости  
от ее конструктивного исполнения

Вариант исполнения	Метод обработки	Дополнительное изготовление инструмента 2-го порядка	Дополнительный расход материала	Время изготовления ФОП детали
С глухой полостью	Механический + электроэрозионная прошивка (традиционный подход)	Требуется	Требуется	2-3 месяца на изготовление электродов и формирование ФОП
Со сквозной полостью	Механический + электроэрозионная обработка	Не требуется	Не требуется	1,5 суток работы электроэрозионного станка
<b>Сокращение времени на изготовление формообразующих поверхностей</b>				<b>До 97 %</b>

Примечание:

1) Подсвеченная область имеет преимущество при реализации детали в производственных условиях.

2) В таблице использованы следующие сокращения: ФОП – формообразующие поверхности.

### Библиографический список

1. Окунькова А.А. Управление технологической подготовкой производства деталей на электроэрозионном оборудовании с ЧПУ (на примере обработки деталей пресс-форм): дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – М.: Изд-во МГТУ «СТАНКИН», 2009. – 136 с.

2. Рыбаков А.В., Окунькова А.А. Решение задач технологической подготовки производства деталей, получаемых методом электроэрозионной проволочной обработки (на примере деталей пресс-форм в PRO/ENGINEER) // Вестник Брянского государственного технического университета. – Брянск: Изд-во Брян. гос. техн. ун-та, 2009. – № 1(21). – С. 20–28.

# КОНТРОЛЬ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПОМОЩИ ПОДСИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ

**Студент гр. М-11-15 П.Ю. Сероухов**

Научный руководитель – старший преподаватель *Р.Л. Пушков*  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

На современном автоматизированном оборудовании контроль над параметрами обрабатываемой детали очень сложен, так как затруднен доступ к рабочей зоне и к участкам вероятностного повреждения станка. Поэтому контроль и надежность процесса механической обработки становятся важнейшей проблемой автоматизированного производства. В связи с этим решаются задачи повышения надежности технологических система за счет технической диагностики. Для этого используются различные системы диагностирования, которые позволяют следить за состоянием оборудования, режущего инструмента и предотвращать его поломку [1].

Диагностирование режущего инструмента позволяет определять его состояние, остаточную стойкость, что позволяет использовать его более эффективно. Для повышения качества изготавливаемой детали и улучшения эффективности использования режущего инструмента необходимо не только диагностировать его текущее состояние, но и прогнозировать его остаточный износ.

Для этих целей в МГТУ «СТАНКИН» ведется разработка универсальной подсистемы диагностики, способной определять износ инструмента и прогнозировать его остаточную стойкость.

Данная подсистема является универсальной, что позволяет ее встраивать в различные системы. Это достигается тем, что она представлена отдельным модулем (рис. 1) [2].

Подсистема диагностики представляет собой модули, отвечающие за различные задачи, и оболочку для них, обеспечивающую их работоспособность. Какие именно модули загружать, оболочка понимает из файла конфигурации, в котором хранятся параметры загрузки модуля и дополнительные параметры.

Каждый модуль отвечает за определенную задачу. Модуль сбора информации получает данные с датчиков, подготавливает

в понятный системе их вид и передает их в следующий модуль. Модуль обработки информации анализирует полученные данные, определяет износ инструмента и прогнозирует остаточную стойкость, и в случае необходимости выдает команду на подналадку, аварийный останов. Все обработанные данные поступают в модуль вывода, который подготавливает информацию к выдаче в систему ЧПУ (рис. 2). За определение остаточной стойкости инструмента отвечают различные алгоритмы. Поступившие данные в модуль обработки информации после анализа сравниваются с эталонными данными, которые хранятся в базе данных [3].



Рис. 1. Диагностическая система

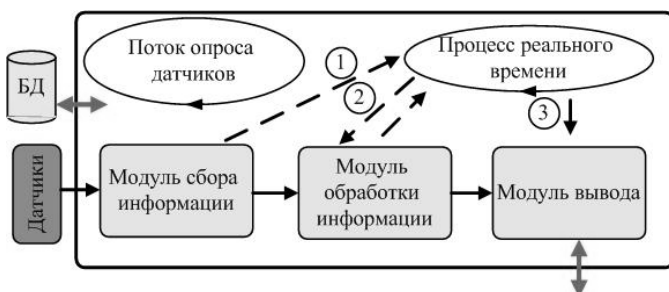


Рис. 2. Работа подсистемы диагностики

Подсистема диагностики запускается в качестве отдельной задачи по команде из системы ЧПУ и работает параллельно с ней. Управляющая программа после обработки интерполятором передается на контроллер управления приводами, который рассчитывает и выдает задание на привод. С двигателей снимаются данные о силе тока, который пропорционален моменту. Полученная информация передается через контроллер RS 422 в систему ЧПУ в контроллер управления приводами. Эти данные используются в цикле работы с приводами. При данной схеме подключения подсистема диагностики получает данные не напрямую с датчиков, а через систему ЧПУ, которая параллельно с обработкой информации передает их и подсистеме диагностики. Таким образом, идут обработка данных, полученных с приводов, и их дальнейшая интерпретация (рис. 3).

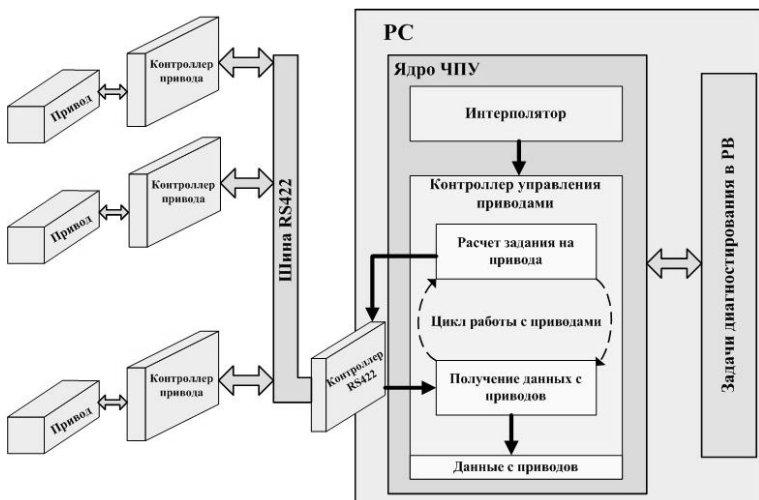


Рис. 3. Схема подключения диагностики

В терминальной части системы ЧПУ имеется дополнительный экран для визуализации процесса диагностирования. Взаимодействие с терминальной частью происходит через ядро системы ЧПУ. Таким образом, все обработанные данные выводятся в терминальной части для повышения удобства работы оператора и визуализации процесса диагностирования (рис. 4).

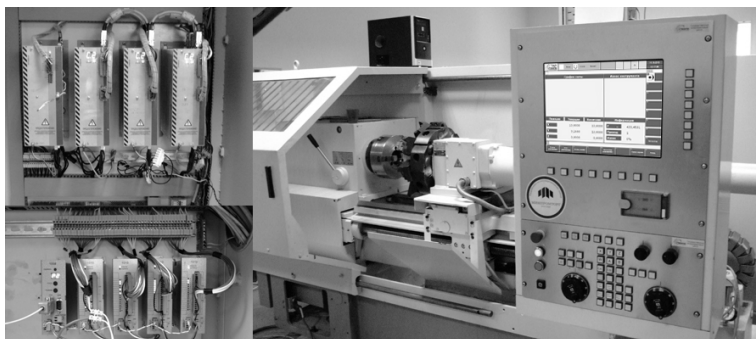


Рис. 4. Станок с системой ЧПУ и диагностикой

Визуализация данных наглядно показывает процесс обработки и износа инструмента, что повышает удобство оператора.

Использование подсистемы диагностики позволяет более эффективно использовать рабочий инструмент, избежать его поломки во время работы, что исключает брак в изделии, повышает качество обрабатываемых деталей, снижается процент брака и уменьшается время на обработку за счет своевременной замены инструмента.

*Работа выполнена по Госконтракту №П858 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.*

### **Библиографический список**

1. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надежность и диагностика технологических систем: учебник. – М.: Высшая школа, 2005. – 343 с.: ил.
2. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: учеб. пособие. – М.: Логос, 2005. – 296 с.
3. Прогнозирование стойкости инструмента при чистовой обработке / С.А. Киселев, А.С. Григорьев, А.В. Геранюшкин, Р.Л. Пушков // Вестник МГТУ «СТАНКИН». Научный рецензируемый журнал. – М.: Изд-во МГТУ «СТАНКИН», 2008. – № 4(4). – 208 с.: ил.



## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОКОЛА PROFIBUS В СИСТЕМАХ ЧПУ КЛАССА PCNC**

**Студент гр. М-9-15 А.Е. Сорокоумов**

Научный руководитель – старший преподаватель *Р.Л. Пушков*  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

Анализ современного рынка систем ЧПУ показывает, что среди представленных архитектурных решений наиболее уверенные позиции занимает концепция PCNC, при этом по мере роста вычислительной мощности процессоров всё чаще отдают предпочтение однокомпьютерному варианту. В качестве операционной системы обычно используется Windows NT или Linux с расширением реального времени. Программируемые контроллеры реализуют программным путём в рамках единой вычислительной среды для ядра ЧПУ, а терминал системы ЧПУ используют для программирования электроавтоматики.

Наиболее значительная тенденция состоит в развитии идей открытой архитектуры, предоставляющей конечному пользователю широкие возможности для реализации собственных функций. Периферия систем ЧПУ становится сетевой, причём всё чаще единая сеть используется как для приводов подачи, так и для системы управления электроавтоматикой [1].

Примером такой сети может служить PROFIBUS (PROcess Field BUS) – промышленная сеть для технологических процессов, разработанная Siemens AG.

В сети PROFIBUS устройства разных производителей могут работать друг с другом без каких-либо специальных интерфейсов. Семейство PROFIBUS состоит из трех совместимых друг с другом версий: PROFIBUS-DP, PROFIBUS-PA, PROFIBUS-FMS.

### **PROFIBUS-DP**

В системах ЧПУ класса PCNC обычно применяются средства коммуникации, основанные на версии протокола PROFIBUS-DP. В такой сети могут находиться ПЛК, устройства программирования ПЛК или ПК, устройства человеко-машинного интерфейса, привода (рис. 1).

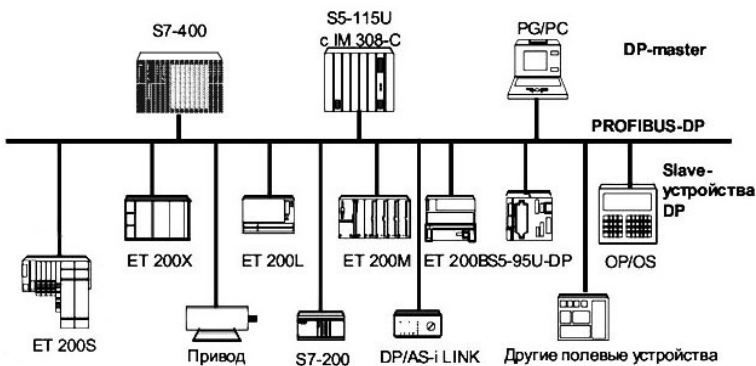


Рис. 1. Типичная структура сети Profibus-DP

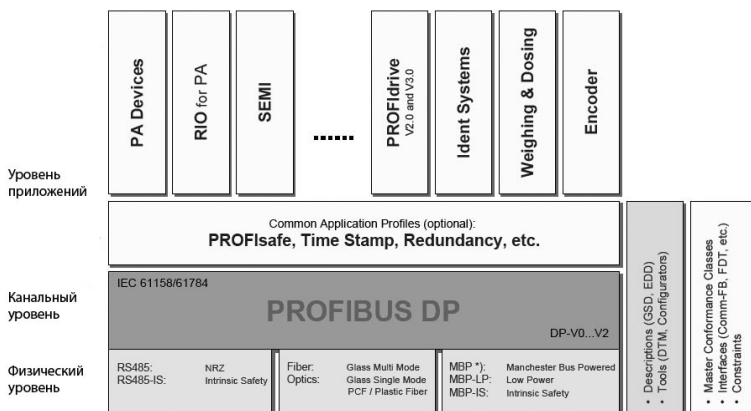


Рис. 2. Структура технической системы PROFIBUS

Сеть PROFIBUS построена в соответствии с семиуровневой сетевой моделью ISO OSI, в которой используются только 2 из них и профили приложений (рис. 2) и предлагает целый спектр коммуникационных технологий, многочисленных приложений и системных профилей, а также инструментов управления устройством.

Все устройства сети объединяются в логическое маркерное кольцо и делятся на ведущие и ведомые. Каждое ведущее устройство получает доступ к сети только при получении маркера. По истечении определённого времени это устройство должно передать маркер следующему ведущему устройству, которое получа-

ет доступ к шине так же на определённый, точно заданный интервал времени, пока маркер находится у него. Интервал может быть установлен при конфигурировании системы.

Каждому мастеру в сети назначаются свои ведомые устройства (рис. 3). В методе «ведущий/ведомый» процедуру коммуникации с ведомыми устройствами выполняет мастер, который обладает маркером. На время обладания маркером мастер становится ведущим также по отношению к другим мастерам и может осуществлять коммуникацию типа «мастер–мастер».



Рис. 3. Принцип работы многомастерной сети

Уровень приложений отвечает за прикладные функции и представляется профилями.

Профиль – это набор правил работы и поведения устройств и систем, формирующих интерфейс программного приложения, предлагающих различные службы для организации синхронного и асинхронного обмена информацией.

Существует несколько типов различных профилей, гарантирующих полную совместимость оборудования различных фирм-производителей. Для систем ЧПУ наиболее интересным является профиль для приводов с изменяемым числом оборотов (3,072) или PROFIdrive – профиль, разработанный ведущими производителями приводной техники.

Профиль содержит необходимые установки для вида работы регуляторов числа оборотов и позиционирования, а также

устанавливает основные функции приводов и пользовательские расширения. Профиль PROFIdrive определяет поведение устройств и метод доступа к данным электрических приводов по шине PROFIBUS, от простых частотных преобразователей до высокопроизводительных сервоприводов.

Профиль содержит подробное описание таких коммуникационных функций, как «прямой обмен данными», «эквидистантность» и «тактовая синхронизация».

Кроме того, он указывает все характеристики устройства, которые влияют на интерфейсы подключения к контроллерам по PROFIBUS. Сюда входят: состояние машины, интерфейс датчика положения, нормирование значений, определение стандартных телеграмм, доступ к параметрам привода. При этом профиль PROFIdrive поддерживает как централизованную, так и децентрализованную концепцию управления движением.

PROFIBUS поддерживает передачу сообщений двумя способами: циклически и ациклически.

Для передачи данных используется NRZ-кодирование и 11-битный формат (рис. 4), включающий стартовый бит (0), 8 бит, данных младшими разрядами вперёд, бит паритета (чётный) и стоп-бит (1). Телеграмма может содержать до 256 байтов, из них 244 плюс 11 служебных байтов (заголовок телеграммы) [2].

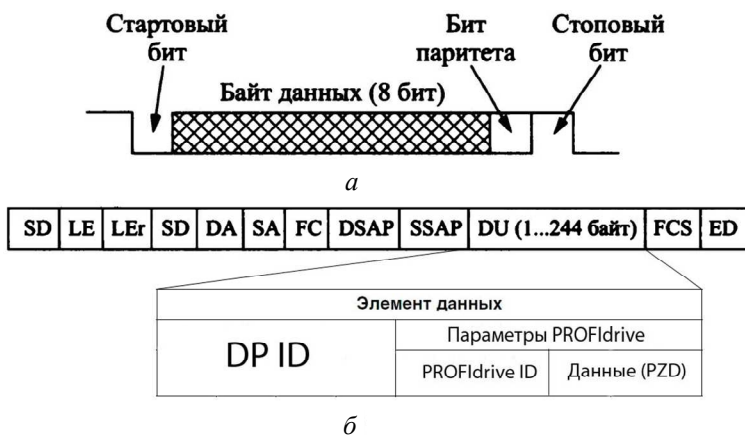


Рис. 4. Структура слова (а) структура телеграммы PROFIBUS (б)

Содержание телеграммы, представленной на рис. 4: SD – стартовый разделитель. Используется для указания начала телеграммы и её формата. Имеются четыре типа разделителей для телеграмм запроса и ответа и один тип для короткого уведомления; LE – длина передаваемых данных (DA+SA+FC+DSAP+SSAP+DU); LEr – повторение поля LE с целью его резервирования; DA – адрес устройства-получателя телеграммы; SA – адрес отправителя; FC – код типа телеграммы (запрос, уведомление, ответ, диагностические данные, тип устройства – master или slave, приоритет, уведомление); DSAP – устройство-получатель, использующее это поле, чтобы определить, какой тип сервиса нужно выполнить; SSAP – COM-порт отправителя; DU – данные длиной от 1 до 244 байт; FCS – контрольная сумма телеграммы (сумма значений полей DA + SA +FC + DU по модулю 255); ED – признак конца.

Данные (DU) профиля PROFIdrive представлены двумя составляющими: DP ID и блок параметров PROFIdrive, который содержит PROFIdrive ID и данные процесса (PZD – Process Data).

В PROFIdrive существует порядка 20 стандартных телеграмм, реализующих базовые функции, такие как установка скорости и позиции электропривода, и ещё большее количество специальных функций, разработанных компаниями–изготовителями приводной техники. Телеграммы для задания и считывания параметров приводов различны по своей структуре.

Пример стандартной телеграммы, позволяющей задавать и считывать текущие значения скорости, приведён в табл. 1.

Таблица 1

Пример PROFIdrive-телеграммы № 3

№	Описание	DP ID		PROFIdrive ID
		Установка параметра привода	Считывание текущего значения	
3	Задание/считывание скорости, 32 бит с энкодером позиции 1	1110 0100 = 0xE4	1101 1000 = 0xD8	0xC3 0xC3 0xC3 0xFD 0x00 0x02

Данные процесса (PZD) установки и считывания параметров телеграммы № 3 представлены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

Данные PROFIdrive для задания скорости привода

PZD1	PZD2	PZD3	PZD4
STW1	NSOLL_B	STW2	G1_STW

Примечание: STW1 – управляющее слово 1; STW2 – управляющее слово 2; NSOLL\_B – установка скорости В (32-bit); G1\_STW – управляющее слово энкодера 1.

Таблица 3

Данные PROFIdrive для считывания информации о скорости привода

PZD1	PZD2	PZD3	PZD4	PZD5	PZD6	PZD7	PZD8	PZD9
ZSW1	NIST_B		ZSW2	G1_ZSW	G1_XIST1		G1_XIST2	

Примечание: ZSW1 – статусное слово 1; ZSW2 – статусное слово 2; NIST\_B – установка скорости В (32-bit); G1\_ZSW – энкодер 1, статусное слово; G1\_XIST1 – энкодер 1, значение текущей позиции 1; G1\_XIST2 – энкодер 1, значение текущей позиции 2.

**Заключение.** PROFIBUS – самый распространенный в мире промышленный сетевой стандарт. Высокое быстродействие, надёжность, открытость, гибкость, реализуемая за счёт применения профилей, таких как PROFIdrive, а также поддержка работы в режиме реального времени обеспечивают популярность и востребованность этого сетевого протокола среди производителей систем числового программного управления.

*Работа выполнена по Госконтракту №П1978 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.*

### Библиографический список

1. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: учеб. пособие. – М.: Логос, 2005. – 296 с.
2. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, инструментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.

# УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ УНИФИЦИРОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

**Ассистент С.И. Сташков**

Научный руководитель – д-р техн. наук,  
профессор *А.Г.Шумихин*

Пермский государственный технический университет

Внедрение на крупных предприятиях химической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности информационных технологий на базе современных компьютерных средств привело к созданию множества прикладных систем (CAE, CAD, MES и др.).

Способность приложений к взаимодействию (интероперабельность) обеспечивается на аппаратном и программном уровнях, а также на уровне данных<sup>\*</sup>.

Нижний уровень интероперабельности – аппаратный. Интероперабельность в программной части может обеспечиваться специальными технологиями типа OLE, COR BA и т.д., смысл которых в том, что одна система (приложение) может обращаться непосредственно к вычислительным ресурсам другой системы.

В настоящее время обмен данными прикладных систем организован в основном по принципу прямого обмена информацией между приложениями, который требует от конкретного приложения уметь готовить данные для другого приложения и понимать его файлы. На рис. 1 проиллюстрирован принцип «прямого интерфейса». В прямом интерфейсе для пар приложений есть свои преимущества. Но картина усложняется с ростом числа приложений.

В предлагаемой работе рассматривается и экспериментально обосновывается целесообразность альтернативы прямому интерфейсу между прикладными системами, основанной на применении принципа «унифицированного представления данных», в соответствии с которым обмен информацией между приложениями осуществляется, например, в формате ISO 10303 STEP через PDM-систему (система интеграции и управления данными

---

<sup>\*</sup> Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников, А.Ф. Стрекалов, С.В. Сумароков. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.

и рабочая среда пользователя), при создании единого технического информационного пространства на промышленном предприятии химического профиля.

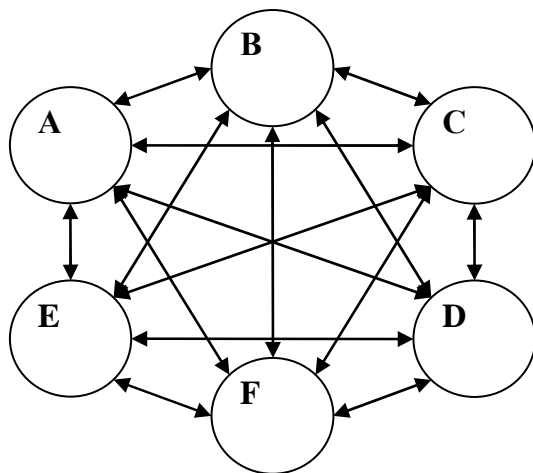


Рис. 1. Организация прямого обмена информацией между приложениями

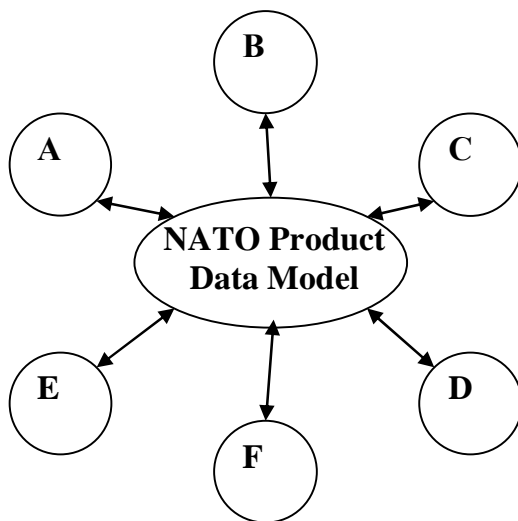


Рис. 2. Обмен информацией между приложениями с применением унифицированного представления данных



На рис. 2 проиллюстрирована организация такого обмена. «Унифицированное представление данных» имеет подробное описание, специальную функцию конвертации (преобразования) данных, с ними может работать большое количество приложений.

Использование на крупных промышленных предприятиях PDM-технологии дает ряд преимуществ, главным из которых является возможность минимизировать число горизонтальных информационных связей между подразделениями производства. Все обращения при работе с необходимыми документами прикладных систем осуществляются только через PDM-систему, что упрощает и ускоряет электронный технический документооборот.

На рис. 3 представлен фрагмент структурной схемы интегрированной информационно-управляющей системы (ИИУС), нижний уровень которой включает в себя ряд АСУТП отдельных производств, технологических установок, цехов и т.д.

Автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУТП) осуществляется непосредственное управление отдельными процессами и координация их функционирования в рамках конкретного ТОУ (производства). В состав АСУТП включаются человек-оператор, квитирующий, например, в реальном времени, рассчитанный подсистемой координации функционирования отдельных процессов, технологический режим, а также берущий на себя управление процессами по неалгоритмизированным правилам во внештатных ситуациях, и технолог производства (ЛПР), принимающий окончательное решение по управлению производством, т.е. координации функционирования технологических процессов данного производства (ТОУ).

Комплексно нижний уровень управления реализуется, как правило, средствами SCADA-систем. Для реализации иерархической интегрированной информационно-управляющей системы необходимо организовать передачу данных из SCADA-системы в систему верхнего уровня – PDM-систему, имеющую собственную БД и предоставляющую данные из АСУТП для поддержки, например, САЕ, принятия решения на уровне руководства подразделения (предприятия), а также обмена ими для взаимодействия с другими АСУТП.

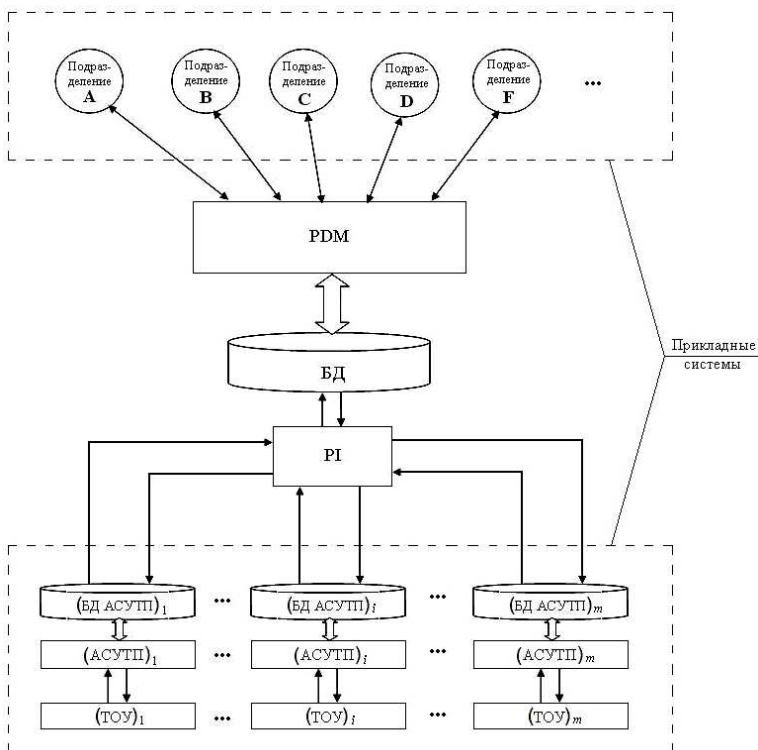


Рис. 3. Структурная схема интегрированной информационно-управляющей системы на промышленном предприятии:  $i = \overline{1, m}$ ;  
 $m$  – количество автоматизированных производств или технологических установок в составе ИИУС

Целью предпринятого исследования являлось создание учебного комплекса, наглядно демонстрирующего способы получения данных о технологическом процессе с систем нижнего уровня и их дальнейшей передачи в PDM-системы. Данный комплекс является учебным примером интеграции систем управления различных уровней для создания единого электронного технического информационного пространства на основе принципа унифицированного представления данных.

Лабораторный комплекс представляет собой имитацию промышленного комплекса ИИУС и предназначен для обучения сту-

дентов химико-технологических специальностей и повышения квалификации специалистов. Структурная схема лабораторного комплекса представлена на рис. 4. Система имеет три уровня передачи данных.

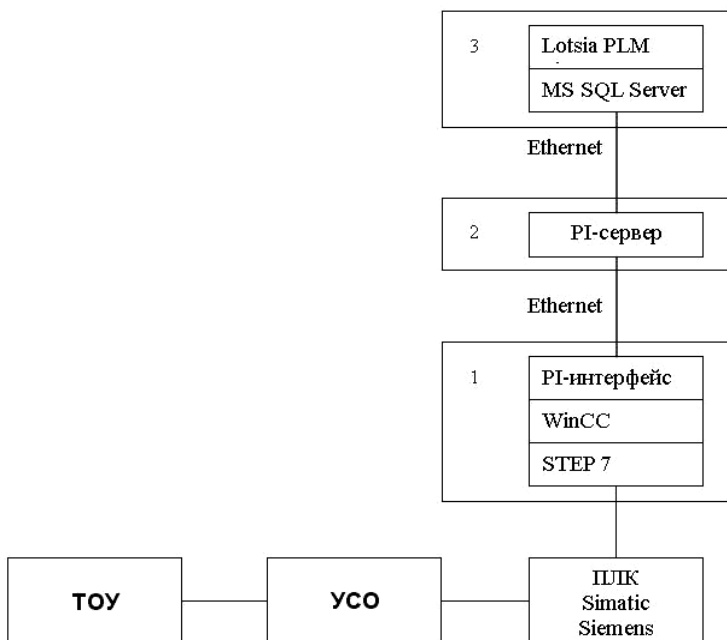


Рис. 4. Структурная схема лабораторного комплекса

Технологический объект управления – лабораторный стенд Festo Didactic, структурная схема которого представлена на рис. 5, физически имитирует автоматизированную станцию розлива жидкости. При помощи электронасоса центробежного действия P401 жидкость из резервуара В401 перекачивается в резервуар В402 до определенного уровня, который определяется объемом дозы в одну дозируемую емкость и количеством емкостей. Измерение уровня в резервуаре В402 осуществляется при помощи ультразвукового уровнемера 4В1. В резервуаре В402 находится поплавковый контактор 4В10 системы блокировки по превышению верхней критической отметки уровня в резервуаре, реализуемой отключением насоса P401. Для сигнализации превышения уровня в резервуаре

В401 по нижнему и верхнему пределам установлены емкостные уровнемеры 4В3 и 4В2 соответственно. Поплавковый контактор 4В11 системы блокировки по превышению верхней критической отметки уровня в резервуаре установлен также в резервуаре В401.

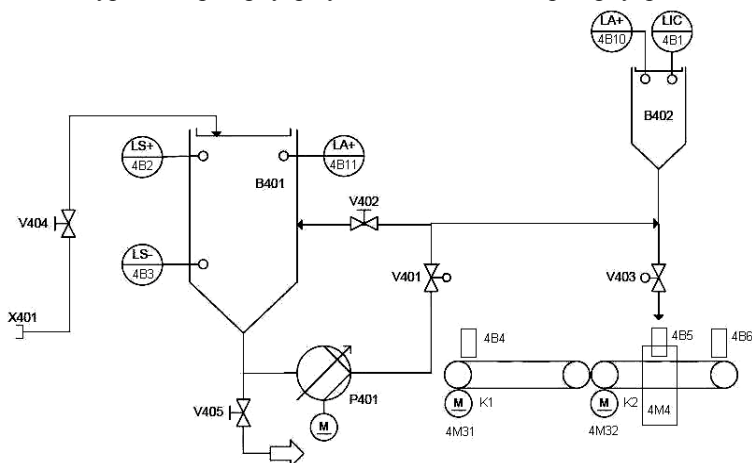


Рис. 5. Структурная схема лабораторного стенда Festo Didactic

Стенд имеет два конвейера К1 и К2 с нереверсивными электроприводами постоянного напряжения 4М31 и 4М32 соответственно. В начале конвейера К1 установлен датчик положения дозируемой емкости 4В4. При фиксации датчиком 4В4 емкости автоматически осуществляется запуск конвейеров К1 и К2. При прохождении емкости на конвейере К2 мимо датчика положения 4В5 срабатывает пневматический механизм 4М4, фиксирующий положение емкости, и при помощи пневматического клапана V304 происходит дозирование жидкости из резервуара В402 в емкость. По завершении дозирования пневматический механизм 4М4 возвращает емкость на конвейер К2, и емкость продолжает движение по конвейеру К2 до датчика положения 4В6. По сигналу датчика 4В6, фиксирующего положение емкости, конвейеры К1 и К2 останавливаются. При этом дозирование жидкости в следующую емкость осуществлено не будет до тех пор, пока наполненная емкость не будет удалена с конвейера К2.

Нижний уровень выполнен на базе лабораторного комплекса Festo Didactic, представляющего собой лабораторную установку

имитации технологического процесса станции розлива (является технологическим объектом управления) с АСУ на базе ПЛК Simatec S7-300, работающего в комплекте со станцией оператора, предусматривающей среду программирования ПЛК STEP7 и SCADA-систему WinCC.

Данные с технологической установки поступают в SCADA-систему WinCC, являющуюся системой человеко-машинного интерфейса и обеспечивающую функции, позволяющие выполнять событийно управляемую сигнализацию, архивирование результатов измерений, регистрацию технологических данных и параметров настройки конфигурации, управления и визуализации.

Передача данных из систем нижнего уровня в систему верхнего уровня осуществляется PI-системой. Через сетевой протокол TCP/IP PI-система принимает и отправляет данные со SCADA-системы (связь с базой данных SCADA-системы возможна с помощью встроенного в PI-system модуля UDA). Для этого в PI-системе предусмотрен стандартный PI-интерфейс, устанавливаемый на SCADA-систему.

Интерфейс PI – это программа, предназначенная для связи с конкретными источниками данных и сервером PI. Интерфейсы PI обеспечивают двухсторонний обмен данными между PI Server и различными DCS, SCADA, PLC, а также с бизнес-системами: SAP R/3, Oracle Application, Maximo, Vaan и др. При отсутствии специализированного интерфейса обмен данными может быть осуществлен через OPC, DDE или ODBC. Один сервер PI может принимать данные от множества интерфейсов, которые, в свою очередь, могут взаимодействовать с системами разных поколений и различных производителей.

Мнемосхема АСУ процессом розлива, выполненная в WinCC, представлена на рис. 6.

Уровень передачи данных представляет собой специализированный PI-сервер, установленный на серверной операционной системе Windows 2003 Server. PI-сервер реализует сбор и хранение данных с различных SCADA-систем. Для передачи данных от SCADA-системы WinCC в базу данных PI-сервера был сконфигурирован bat-файл PI-интерфейса.

Верхний уровень представляет собой вычислительную сеть на базе учебного комплекса с установленным программным обеспечением MS SQL Server и Lotsia PDM Plus.

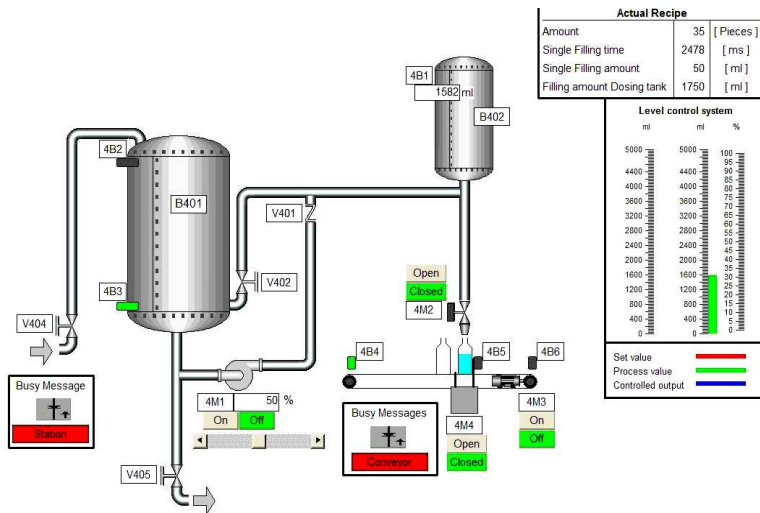


Рис. 6. Мнемосхема АСУТП, выполненная в WinCC

Окно Lotsia с данными из БД PI, полученными по протоколу ODBC, представлено на рис. 7.

**Lotsia PDM Plus - [Расширенный импорт (PI\_3)]**

Файл Расширенный импорт Настройки Окно Помощь

№	value	time
> 1:	0	27-05-2010 00:00:00.000000
2:	0	27-05-2010 01:00:00.000000
3:	0	27-05-2010 02:00:00.000000
4:	0	27-05-2010 03:00:00.000000
5:	0	27-05-2010 04:00:00.000000
6:	0	27-05-2010 05:00:00.000000
7:	0	27-05-2010 06:00:00.000000
8:	0	27-05-2010 07:00:00.000000
9:	0	27-05-2010 08:00:00.000000
10:	0	27-05-2010 09:00:00.000000
11:	0	27-05-2010 10:00:00.000000
12:	0	27-05-2010 11:00:00.000000
13:	-72,28704071044922368	27-05-2010 12:00:00.000000
14:	-72,28704071044922368	27-05-2010 13:00:00.000000
15:	170,2677154541015552	27-05-2010 14:00:00.000000
16:	1029,842285156249984	27-05-2010 15:00:00.000000
17:	658,6692504882812928	27-05-2010 16:00:00.000000
18:	682,0884399414062080	27-05-2010 17:00:00.000000

Готов

Рис. 7. Импорт данных из PI в Lotsia

Связь с системой верхнего уровня, в качестве которой выбрана PDM Lotsia PLUS, осуществляется через протокол ODBC. Интеграция через этот протокол PI-системы с MS SQL Server позволяет осуществлять дальнейшую передачу данных на верхний уровень. Интеграция Lotsia PDM с системами нижнего уровня возможна двумя способами: через MS SQL Server и непосредственно с PI-system через протокол ODBC.

Данные о технологическом процессе с лабораторной технологической установки передаются в PDM-систему. На основании их обработки в прикладной, например CAE, системе ЛПП принимается решение о технологическом режиме. Принятое решение передается в PDM-систему, формализуется на язык систем нижнего уровня и используется ими как пользователями PDM-системы, обеспечивая единое информационное пространство. Таким образом, учебный комплекс наглядно демонстрирует способы интеграции систем управления различных уровней.

В Lotsia PDM была настроена также система внутрисистемных сообщений, позволяющая организовать передачу с верхнего уровня, например, плана работ на день каждому оператору.

Все уровни данной системы, реализованные на персональных компьютерах, соединены между собой интерфейсом Ethernet.

Созданный учебно-технологический комплекс, являющийся физической имитацией промышленного комплекса интегрированной информационно-управляющей системы, структурная схема которого представлена на рис. 3, предназначен для внедрения в учебный процесс подготовки специалистов в области автоматизации и управления технологическими процессами и производствами в химической и смежных отраслях промышленности, а также студентов химико-технологических специальностей, с разработкой в процессе его внедрения соответствующего учебно-методического обеспечения.

Перспективным направлением в дальнейшей развитии комплекса как учебного является разработка варианта передачи данных через OPC.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ В РЕЖИМЕ MASTER-SLAVE ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОАТОМАТИКОЙ

Студентка гр. КС11-10 Н.Ю. Червонова

Научный руководитель – канд. техн. наук,  
доцент *Р.А. Нежметдинов*

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

Применение логических контроллеров электроавтоматики, работающих в режиме «master-slave» (ведущий-ведомый), организует распределённое управление электроавтоматикой крупногабаритных станков или автоматических линий, в которых исполнительные органы разнесены в пространстве (рис. 1, 2, 3). Структура распределенной системы организована на базе сети Ethernet и работает по протоколу ModBUS (RS485).

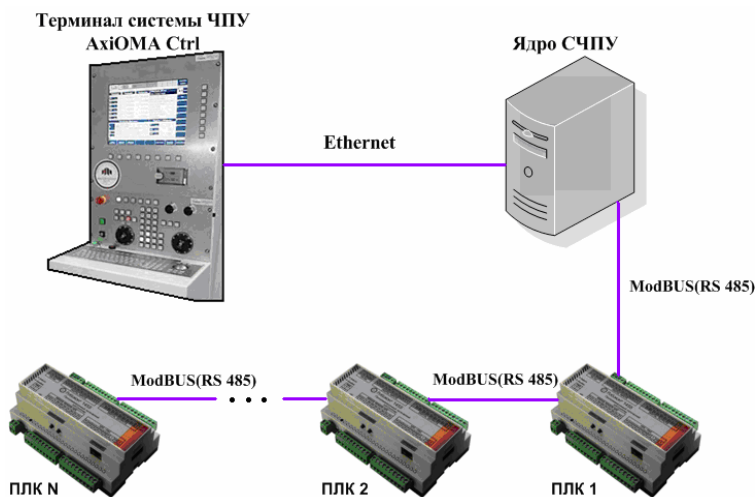


Рис. 1. Последовательная организация «master-slave» в СЧПУ AxiOMA Ctrl

Протокол ModBUS разработан фирмой Gould Inc. для построения промышленных распределенных систем управления. Специальный физический интерфейс для него не определен. Эта возможность предоставлена самому пользователю: RS-232C,



RS-422, RS-485 или же токовая петля 20 мА. Протокол MODBUS работает по принципу MASTER-SLAVE, или «ведущий-ведомый». Конфигурация на основе этого протокола предполагает наличие одного MASTER-узла и до 247 SLAVE-узлов.

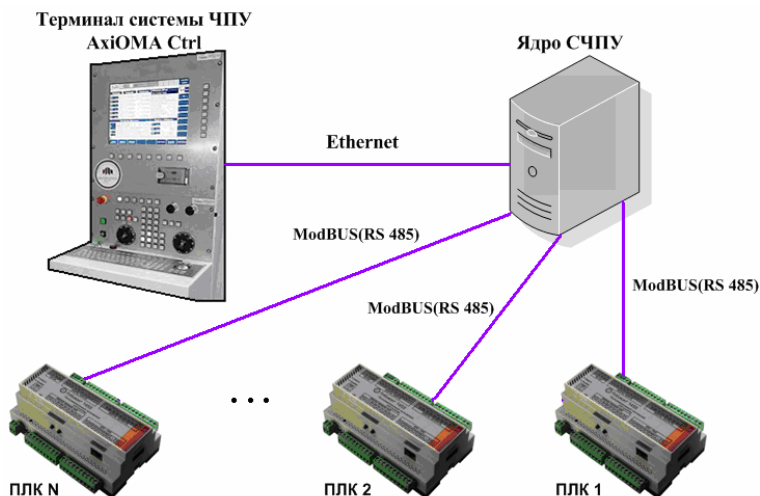


Рис. 2. Параллельная организация «master-slave» в СЧПУ AxiOMA Ctrl

Только MASTER инициирует циклы обмена данными. Существуют два типа запросов:

- запрос/ответ (адресуется только один из SLAVE-узлов);
- широковещательная передача (MASTER через выставление адреса 0 обращается ко всем остальным узлам сети одновременно без квитирования).

Протокол ModBUS описывает фиксированный формат команд, последовательность полей в команде, обработку ошибок и исключительных состояний, коды функций [1].

RS-485 (RS-485 – англ. Recommended Standard 485, EIA-485 – англ. Electronic Industries Alliance-485) – это стандарт передачи данных по двухпроводному полудуплексному многоточечному последовательному каналу связи. Стандарт RS-485 совместно разработан двумя ассоциациями: Ассоциацией электронной промышленности (EIA – Electronic Industries Association) и Ассоциацией промышленности средств связи (TIA – Telecommunications

Industry Association). В стандарте RS-485 для передачи и приёма данных часто используется единственная витая пара проводов. Передача данных осуществляется с помощью дифференциальных сигналов. По одному проводу (условно А) идет оригинальный сигнал, а по-другому (условно В) – его инверсная копия. Другими словами, если на одном проводе «1», то на другом «0», и наоборот. Таким образом, между проводниками витой пары всегда есть разность потенциалов: при «1» она положительна, при «0» – отрицательна [2].

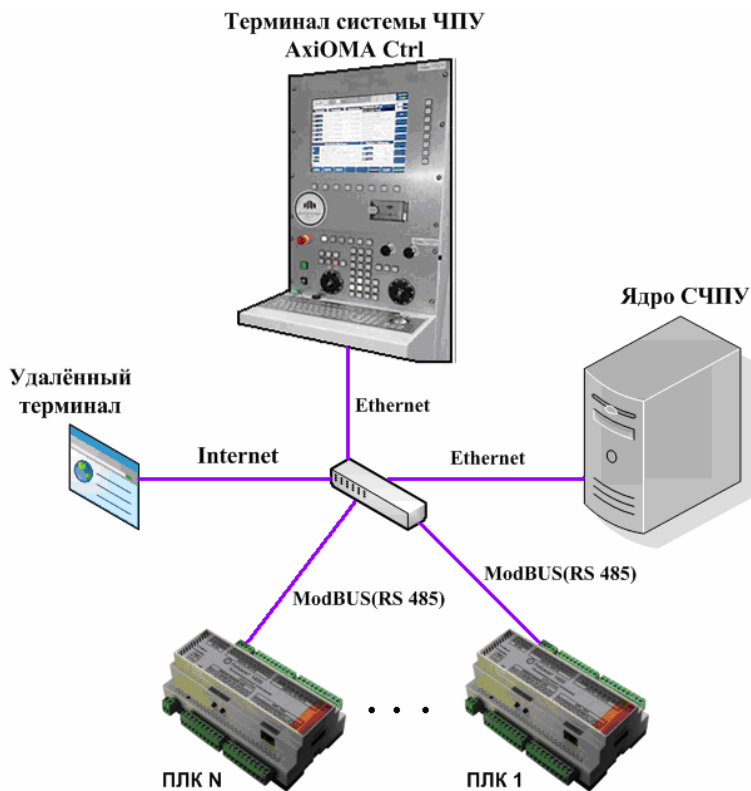


Рис. 3. Организация распределённого управления в СЧПУ AxiOMA Ctrl

Принцип работы в режиме «master-slave» состоит в том, что один из узлов назначается «master-устройством», т.е. ведущим и отвечает за согласованную работу всех элементов распределён-

ной системы управления. Только ведущее устройство может инициировать передачу данных и определяет порядок доступа к сети. А другой узел назначается «slave-устройством», т.е. ведомым (рис. 4). Ведущий контроллер посылает сообщение в регистр ведомого контроллера, там информация обрабатывается, затем ведущий считывает данные из регистра ведомого и выполняет необходимое действие.

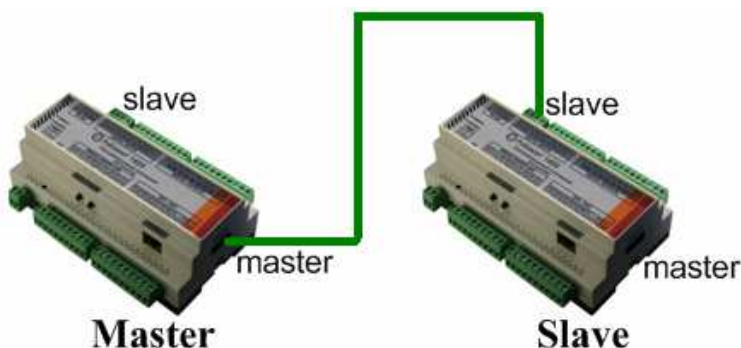


Рис. 4. Один контроллер ведущий, другой – ведомый

В одной сети может быть несколько ведущих устройств, тогда сеть называется многомастерной. Многомастерную технологию используют сети Profibus. Многомастерная система требует определения порядка доступа мастеров к сети.

Например, в сетях Profibus используется метод передачи маркера (англ. token), по идее аналогичный применяемому в сетях Token ring, но зависящий не от топологического расположения мастеров в сети, а от сетевого адреса мастера. Одно ведомое устройство в сети с несколькими мастерами должно иметь только одного конкретного мастера. Технологию обмена Master-Slave поддерживают многие сетевые протоколы, в частности: Profibus DP; Profibus PA; Modbus; INTERBUS; PROFINET IO; SERCOS III.

Если оба контроллера являются ведущими (рис. 5), существуют 3 варианта их работы:

- первый посылает сообщение в регистр второго, информация обрабатывается, и первый считывает из регистра второго действие, которое необходимо совершить;

– первый в свой регистр посылает сообщение, сам его обрабатывает и посылает на второй контроллер, который выполняет необходимое действие;

– второй в свой регистр записывает сообщение, обрабатывает информацию и посылает данные на первый контроллер, который выполняет необходимое действие.

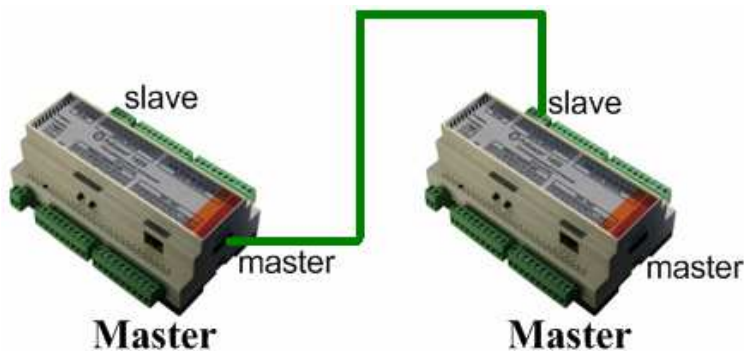


Рис. 5. Оба контроллера являются ведущими

Работа в режиме «master-slave» находит свое применение как на контроллерном уровне, так и на уровне датчиков и исполнительных механизмов. Право инициировать циклы чтения/записи на шине имеет только Master, он адресует каждого пассивного участника (Slave), обеспечивает их данными и запрашивает у них данные. В рамках протокола решаются такие задачи, как защита данных, обнаружение ошибок при передаче, восстановление данных.

*Работа выполнена по Госконтракту №16.740.11.0228 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.*

### **Библиографический список:**

1. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: учебное пособие. – М.: Логос, 2005.
2. Шемелин В.К., Хазанова О.В. Управление системами и процессами: учебник для вузов. – Старый Оскол: ТНТ, 2007. – 320 с.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ЯЗЫКА GPSS

Студент гр. АТ-05м А.В. Антинескул

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент *В.А. Панов*  
Пермский государственный технический университет

Имитационное моделирование – один из распространенных способов исследования сложных систем, для исследования которых, по ряду причин, не используют их точного математического описания [1]. Результаты моделирования могут быть использованы для различных целей: начиная с фундаментальных исследований и заканчивая решением сугубо прикладных задач, таких как, например, проектирование [2]. В данной работе мы рассмотрим методику структурного проектирования информационно-измерительной системы при помощи языка GPSS. Для имитационного моделирования используется целый спектр языков, но поскольку одним из наиболее популярных является язык GPSS в его последней версии – GPSS World, для моделирования мы используем именно его.

Информационно-измерительная система, сокращенно ИИС, представляет собой неотъемлемое звено любой автоматической или автоматизированной системы управления. Структурная схема ИИС приведена на рис. 1.

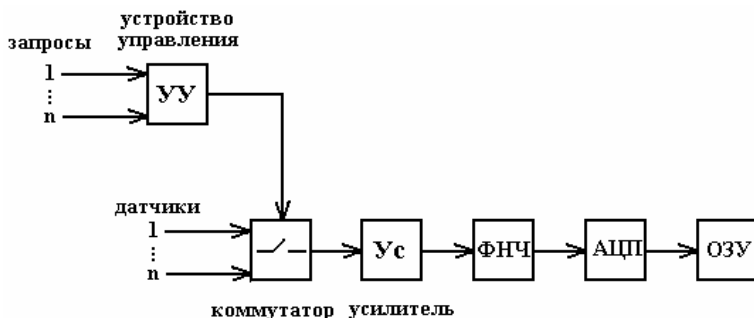


Рис. 1. Структурная схема ИИС

Как видно из рисунка, типовая ИИС состоит из множества датчиков, снимающих данные с объекта управления; коммутатора, подключающего эти датчики (в соответствии с дисциплиной обслуживания, задаваемой устройством управления) к остальной части системы: усилителя сигналов, фильтра низких частот; аналого-цифрового преобразователя и памяти. Подобную систему можно описать как систему массового обслуживания (СМО). Преимущества подобного подхода заключаются в существенном упрощении и ускорении процесса проектирования ИИС, поскольку модели, описанные на языке GPSS, отличаются простотой, а процесс моделирования (и, соответственно, верификации разработанной модели) – быстротой и малым потреблением вычислительных ресурсов ЭВМ. При этом адекватность полученной модели и ее точность полностью сохраняются. Таким образом, задача проектировщика состоит в том, чтобы перейти от описания ИИС в терминах естественного языка к модели, описанной в терминах СМО и впоследствии GPSS. Однако методики такого перехода и того, как можно использовать этот переход при проектировании, до сих пор предложено не было.

Концептуально модель СМО, положенная в основу языка, представляет собой следующее. Имеется система, состоящая из одноканальных и многоканальных устройств, которые осуществляют обслуживание заявок, или транзакций. Заявки перемещаются по системе, занимая обслуживающие устройства, т.е. задерживаясь в этих устройствах на обслуживание. Траектория движения заявок по системе может быть разной, в зависимости от вида заявок и от значений случайных и расчетных параметров, которые рассчитываются заявками в процессе их движения по системе. В принципе заявки вводятся в систему специальными блоками через заданные промежутки времени, которые могут быть и случайными. Заявки рано или поздно должны быть удалены из системы. Процесс моделирования завершается в тот момент, когда последняя заявка покинет систему.

Заявки конкурируют между собой за ресурсы системы и в первую очередь за устройства. Поэтому в системе возникают очереди из заявок, претендующих на один и тот же ресурс. Появление очередей, изменение их длины и другие события фиксируются системой моделирования автоматически, а при окончании

моделирования выводятся в едином отчете, позволяющем оценить статистические параметры функционирования системы и на основании их оценить, подходит ли получившаяся система под заданные в техническом задании условия или нет.

В общем виде система массового обслуживания может быть представлена так (рис. 2).

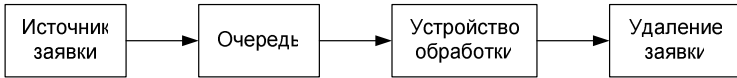


Рис. 2. Представление ИИС в виде СМО

Процесс проектирования ИИС чаще всего включает в себя четыре этапа:

- разработка ТЗ на проектирование в терминах GPSS;
- собственно моделирование;
- верификация модели (проверка на выполнение условий ТЗ);
- если нужна коррекция модели.

На этапе разработки ТЗ необходимо разработать детальное описание задачи и сформулировать ее, используя понятия языка GPSS, а также указать назначение всех объектов модели. Здесь же нужно указать, что принято за единицу модельного времени. Этот пункт является самым важным, и не всегда удастся сразу перейти от описания задачи на естественном языке к описанию на языке СМО.

В качестве исходных данных обычно задается интенсивность входного потока заявок, который представляет собой пуассоновский простейший поток, интенсивность обслуживания так же в виде потока заявок с заданной частотой и законом распределения (в данном случае закон равномерный), максимальная частота в спектре входного сигнала, максимальная амплитуда сигнала на выходе датчиков, разрядность АЦП и время переходного процесса фильтра. Ограничениями модели будут максимальное число обслуживающих устройств, максимальная длина очереди, вероятность обслуживания заявки и время пребывания заявки в системе. Только та модель, которая будет удовлетворять всем этим требованиям наилучшим образом, может считаться пригодной. О том, что значит «наилучшим образом», будет сказано далее.

Рассмотрим пример моделирования многоканальной информационно-измерительной системы [3].

Пусть данные пересчитаны и модель подобрана. Пример программы, пригодной для решения подобной задачи моделирования, приведен ниже

```

nac STORAGE 3
GENERATE (POISSON(1,0.5))
QUEUE alfa1
ENTER nac
DEPART alfa1
ADVANCE 1.2
LEAVE nac
TERMINATE
GENERATE 10000
TERMINATE 1
START 1

```

Результаты моделирования представлены ниже:

GPSS World Simulation Report - Untitled Model 1.20.1

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	10000.000	9	0	1

NAME	VALUE
ALFA1	10001.000
NAC	10000.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	19966	0	0
	2	QUEUE	19966	0	0
	3	ENTER	19966	0	0
	4	DEPART	19966	0	0
	5	ADVANCE	19966	1	0
	6	LEAVE	19965	0	0
	7	TERMINATE	19965	0	0
	8	GENERATE	1	0	0
	9	TERMINATE	1	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
ALFA1	46	0	19966	5146	3.397	1.702	2.292	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
NAC	3	2	0	3	19966	1	2.396	0.799	0	0

Наименование обслуживающего устройства – nac. Количество каналов в нем задается оператором STORAGE и является той величиной, которую мы подбираем при моделировании. Функция GENERATE создает заявки с заданным законом распределения



(подробнее об этой функции и других можно узнать в справке GPSS World, здесь мы этого описывать не будем).

Блок QUEUE обеспечивает сбор статистических данных об очереди `alfa1`, возникающей перед блоком входа (ENTER) в обслуживающее устройство `pas`, так как хотя очереди и формируются в системе автоматически и отключить их нельзя, включения блока для сбора статистики по очередям – задача программиста. Если этого блока нет, то данных по блоку `alfa1` в отчете не будет.

Блок DEPART тоже вносит изменения в отчет при выходе заявки из очереди, т.е. поступлении на обслуживание. Этот блок, как и блок QUEUE, не влияет на функционирование системы. Блок ADVANCE имитирует обработку заявки в обслуживающем устройстве, хотя фактически он просто задерживает ее на время, определяемое интенсивностью обслуживания.

Блок LEAVE обслуживает уход заявки из обслуживающего прибора, а блок TERMINATE – уход заявки из системы. Повторный ввод операторов GENERATE и TERMINATE задает время моделирования – оно, в принципе, может быть любым, главное, чтобы было сгенерировано достаточное число заявок. Команда START запускает процесс моделирования.

На этапе верификации производится обратный пересчет полученных статистических данных, сравнение их с ограничениями, и принимается решение о том, нужна ли корректировка модели. Если расчетные характеристики не удовлетворяют заданным параметрам, то происходит изменение структуры системы. Увеличить производительность системы при заданной интенсивности обслуживания можно двумя способами: с помощью увеличения числа обслуживающих устройств и за счет увеличения длины очереди. Причем увеличивать количество каналов обслуживания следует в последнюю очередь, так как данный подход ведет к значительному удорожанию системы. В свою очередь, следует помнить, что повышение емкости очереди ведет к увеличению времени нахождения заявки в системе.

Для того чтобы понимать, какие изменения необходимо внести в систему, следует проанализировать следующие параметры:

- коэффициент использования канала обслуживания – UTIL;
- максимальная длина очереди – MAX (максимальная);
- средняя длина (содержимое) очереди – AVE.CONT.

Например, если коэффициент использования канала обслуживания близок к единице, то это значит, что необходимо обязательно увеличить число обслуживаемых устройств, причем увеличение можно осуществлять на несколько единиц. Если в результате значения максимальной длины очереди MAX и средней длины очереди AVE.CONT близки друг к другу, то можно увеличить длину очереди. Однако стоит отметить, что при увеличении какого-либо из структурных параметров больше чем на единицу и в случае дальнейшего удовлетворения результатам моделирования, надо производить снижение размерности структуры. Таким образом, моделирование ведется до тех пор, пока изменение какого-либо структурного параметра на единицу не приводило бы к нарушению требований исходного задания.

Таким образом, процесс выполнения лабораторной работы является итерационным и продолжается до тех пор, пока не будут выполнены требования технического задания.

### **Библиографический список**

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1998. – 320 с.
2. Алтаев А.А. Имитационное моделирование на языке GPSS. – Улан-Уде: Изд-во ВСГТУ, 2002. – 77 с.
3. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS: пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

**Аспирант Д.Ю. Рязанов**

Научный руководитель – д-р техн. наук,  
профессор *В.П. Вороненко*

Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

В данной работе доказана возможность интеграции адаптивной системы управления процессом резания на базе искусственных нейронных сетей.

Системы управления, так или иначе использующие искусственные нейронные сети, являются одной из возможных альтернатив классическим методам управления. Возможность использования нейронной сети для решения задач управления во многом основывается на том, что НС, состоящая из 2 слоев и имеющая в скрытом слое произвольное большое количество узлов, может аппроксимировать любую функцию действительных чисел с заданной степенью точности. Таким образом, для решения задач идентификации управления могут быть использованы НС даже с одним скрытым слоем [1].

В разработанной методике построения системы адаптивного оптимального управления на базе искусственных нейронных сетей и их обучения были использованы нейроматематика, теория нейронных сетей, методы цифрового моделирования в средах MatLab-Simulink. Предложена система адаптивного оптимального управления для системы ЧПУ типа PCNC в виде подключаемого программного компонента, работающая по следующему алгоритму.

На вход искусственного нейрона поступает некоторое множество сигналов, каждый из которых является выходом другого нейрона. Для оценки числа нейронов в многослойной сети можно воспользоваться формулой

$$mN / (1 + \log_2 N) \leq L_w \leq m(N / m + 1)(n + m + 1) + m, \quad (1)$$

где  $n$  – размерность входного сигнала,  $m$  – размерность выходного сигнала,  $N$  – число обучающей выборки,  $L_w$  – необходимое число синаптических весов.

Оценив необходимое число весов, можно рассчитать число нейронов в скрытых слоях для двухслойной сети по формуле

$$L = L_w / n. \quad (2)$$

При обработке на станке необходимые данные о фактически получаемых размерах деталей для нейронных сетей можно получать автоматически с помощью лазерных измерительных приборов или вводить вручную. Получая данные и отслеживая их, нейронная сеть будет самостоятельно принимать решение о необходимости размерной и кинематической поднастройки станка и производить необходимые коррекции управляющих программ для станков с ЧПУ [2].

В случае сложной динамики, которая характерна для нашего объекта, необходимо строить систему управления по двухсетевой схеме. Схема нейронного управления с эмулятором и контроллером представляет собой фактически интегрированный и модифицированный вариант схемы инверсного прямого управления. Такая схема, использующая многослойные сети прямого распространения, обеспечивает более точное обучение НК, так как ошибка может распространяться через НЭ в обратном направлении с целью получения эквивалентной ошибки на выходе нейроконтроллера. Кроме того, в такой схеме НЭ может использоваться и для идентификации объекта управления [3].

Анализ работ показал, что задача адаптивной системы управления и оптимизации процесса резания по экономическим критериям, критериям качества и максимальной производительности в конечном итоге сводится к задаче стабилизации температурно-силовых параметров процесса. Изменения данных параметров в процессе обработки вызывают необходимость занижать режимы резания и приводят к ухудшению качества обработки. Поэтому важнейшей задачей являются разработка математических моделей и синтез системы стабилизации, позволяющей по заранее измеренным точностным параметрам обработанных деталей принимать последующие оперативные решения по дальнейшей обработке заготовок на данном станке.

С целью повышения эффективности процесса обработки предлагается структура адаптивной нейросетевой системы стабилизации режимов процесса резания. Система стабилизации строится по двухсетевой схеме с нейроэмулятором и нейроконтроллером (рис. 1).

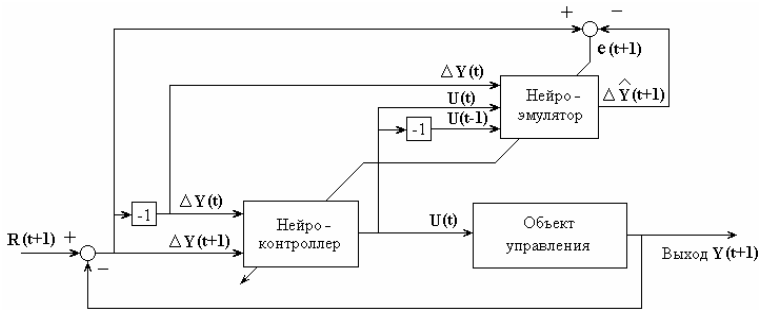


Рис. 1. Система стабилизации

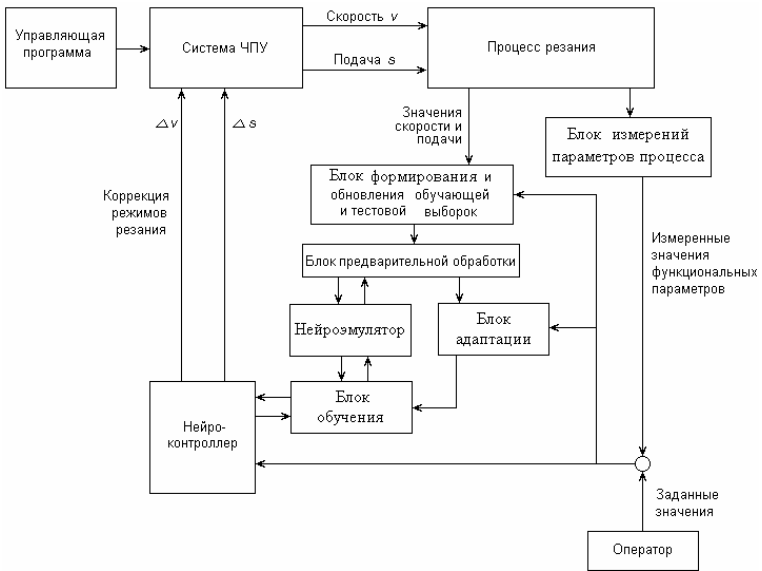


Рис. 2. Стабилизация режимов резания

На вход НЭ подаются управляющие сигналы  $U$  и их задержанные на один такт значения, а также задержанные на один и более тактов сигналы  $\Delta Y = R - Y$ , где  $R$  – начальные уставки,  $Y$  – сигналы объекта управления. НЭ обучается на объекте управления; при этом ошибка сети вычисляется как разность между выходным сигналом НЭ и отклонением  $\Delta Y$  реальных сигналов от заданных значений.

На вход НК подаются сигналы, представляющие собой отклонения  $\Delta Y$  реальных сигналов от заданных значений, а также задержанные на один или несколько тактов значения отклонений.

Если новый НК ухудшает качество управления, происходит возврат к старой модели НК и повторное обучение нового НК. Следующее обучение НК начнется после 20 % обновления обучающей выборки с момента неудачного обучения регулятора.

В вертикальном сечении РС – подсистема системы ЧПУ WinPCNC имеет многоуровневую структуру и построена по типу виртуальной машины [3].

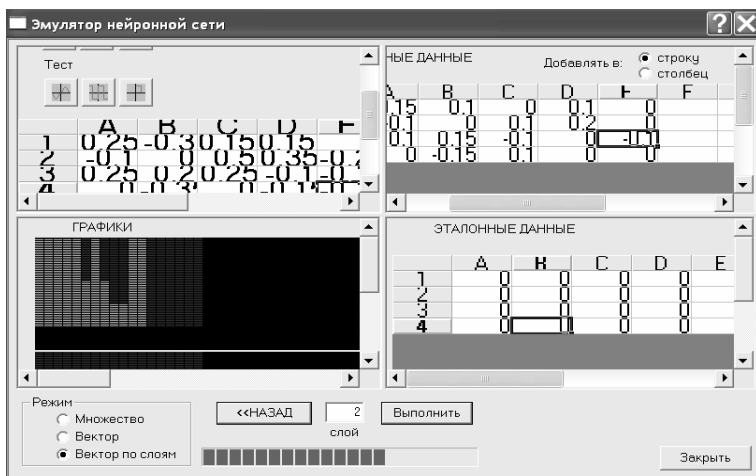


Рис. 3. Принтскрины работы эмулятора NeuroEmulator, версия 1.0

Нижний уровень составляет компьютерная аппаратура, выше размещается операционная система WindowsNT вместе с драйверами виртуальных устройств, обеспечивающими управление внешними устройствами, например контроллером панели оператора. Доступ к операционной системе и её службам осуществляется посредством API-слоя (прикладной интерфейс), который поддерживан Win32-функциями и NC-функциями, обеспечивающими вход в подсистемы WindowsNT и NC. Функции реализованы в виде DLL. Поверх API-слоя расположен объектно-ориентированный сервер, служащий фундаментом для приложений в системе PCNC [2].

На рис. 3 представлена работа эмулятора нейронных сетей, где проводилось компьютерное моделирование и расчёт результатов исследования.

В результате нейропрогнозирования были получены кривые отклонений размеров в партии из трех штук гладкого вала, в различных сечениях в зависимости от времени работы станка 16К20Ф3 (рис. 4).

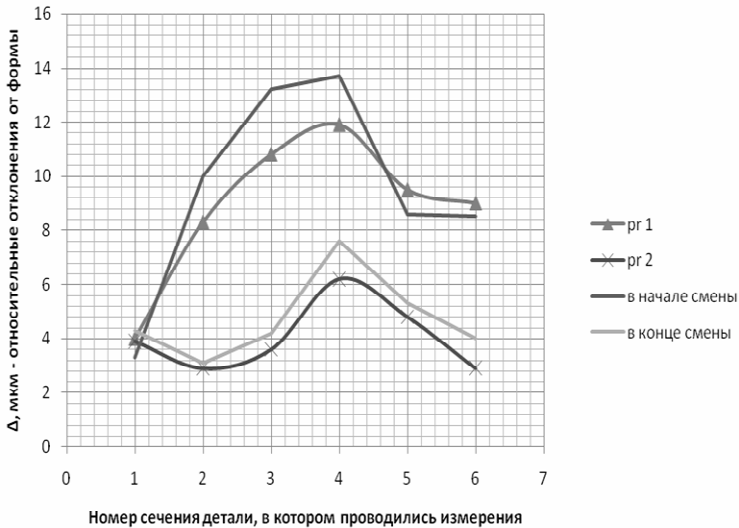


Рис. 4. Нейропрогнозирование изменения формы и размеров деталей

Изменение размеров и формы деталей в партии из трёх штук, полученных в начале смены (кривая 1) и после 6 часов непрерывной работы станка (кривая 2), объясняется изменением его жестко-стойкой характеристики и температурными деформациями станка. Кривые 1 и 2 были получены на основании математической обработки экспериментальных данных. Обработка велась с постоянными режимами резания ( $S = 0,3$  мм/об;  $n = 630$  мин – 1;  $t = 0,5$  мм). Нейропрогноз по разработанному алгоритму вычислений изменения формы и размеров (кривые – pr1 и pr2) показал идентичность характера кривых, причём после одной смены непрерывной работы прогноз оказался точнее (кривая pr2), что объясняется автоматической корректировкой нейронной сети в ходе введения в неё новых данных по результатам контроля готовых валов [4].

Использование нейросетевых моделей в составе автоматизированной системы проектирования операции токарной обработки позволяет решать задачу выбора рациональных технологических режимов и конструктивно-геометрических параметров режущего инструмента для достижения заданных показателей качества изготавливаемых деталей. Кроме того, применение нейросетевых технологий позволяет не только повысить производительность механической обработки за счет использования баз параметров технологических процессов, находящихся в ассоциативной памяти нейронной сети, но и обеспечить применение инновационных технологических решений, направленных на повышение эффективности процесса обработки заготовок из различных видов материала.

### **Библиографический список**

1. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. – М.: Горячая линия–Телеком, 2003. – 94 с.
2. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно М.. Прикладные нечёткие системы (пер. с япон. к.т.н. Ю.Н. Чернышова) // Сб. научных трудов. – М.: Мир, 1993. – 361 с.
3. Никишечкин А.П. Повышение качества процесса адаптации при изменении технологических параметров с помощью аппарата нейронных сетей: дис. канд. техн. наук: 05.13.06. – М., 2002. – 110 с.
4. Вороненко В.П., Рязанов Д.Ю., Горский С.С. Повышение эффективности изготовления деталей типа тел вращения при нейросетевом управлении // Технология машиностроения (ВАК). – 2010. – № 3. – С. 49– 52.



# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СВЯЗИ СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ИХ КОНТРОЛЕ ИК-СПЕКТРОФОТОМЕТРОМ

**Аспирант А.Е. Примак**

Научный руководитель – д-р техн. наук,  
профессор *А.Г. Шумихин*

Пермский государственный технический университет

Определение состава и свойств многокомпонентных смесей традиционно является задачей, которую решают при производстве нефтепродуктов. Необходимость соблюдать жесткие требования к качеству продукции, а также непрерывность процесса производства требуют использования потоковых (непрерывных) методов анализа.

В производстве нефтепродуктов для анализа свойств смеси чаще всего используется исследование спектров поглощения ИК-излучения. Приоритет этого метода обусловлен тем, что характеристики ИК-спектра напрямую связаны с природой (структурой и химическим составом) поглощающего вещества, а также зависят от агрегатного состояния вещества, температуры, давления и др. Однозначность связи между молекулярным строением вещества и его ИК-спектром позволяет определить состав смеси.

В отличие от количественного анализа определение показателей качества является более сложной задачей, так как зависимости показателей качества от состава смеси являются нелинейными.

Для решения задачи определения значений показателей качества по характеристикам ИК-спектра, получаемого с помощью ИК-спектрофотометра, установленного на потоке, был применен хемометрический подход, в основе которого находится метод главных компонент (МГК). МГК позволяет разложить исходный набор данных на действительную структуру и шум – информацию, не оказывающую влияния на интересующий нас показатель, случайные ошибки.

Метод главных компонент позволяет существенно понизить размерность данных (пространства факторов). Исходная матрица входных переменных, соответствующая спектрам, заменяется

двумя новыми матрицами: матрицей счетов и матрицей нагрузок, размерность которых  $A$  меньше, чем число переменных (столбцов)  $J_y$  исходной матрицы  $X$ . Схема декомпозиции матрицы  $X$  представлена на рис. 1.

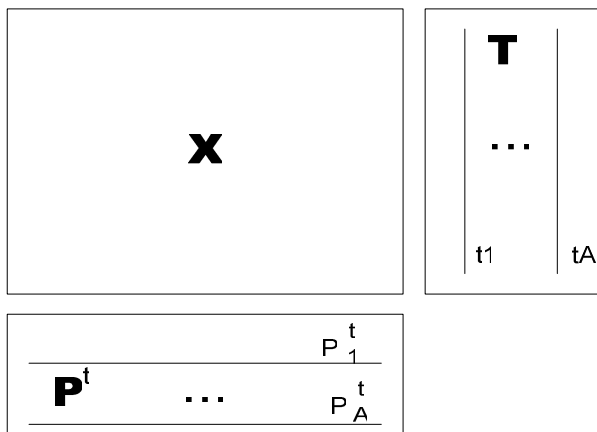


Рис. 1. Декомпозиция матрицы  $X$

МГК-модель имеет вид

$$X = TP^T + E,$$

где  $T$  – матрица счетов;  $P$  – матрица нагрузок;  $E$  – матрица ошибок.

Для построения модели, прогнозирующей показатели качества смеси, использован алгоритм проекций на латентные (скрытые) структуры (ПЛС). Алгоритм заключается в совместной декомпозиции матриц  $X$  и  $Y$ , что позволяет усилить влияние в модели переменных, коррелирующих с  $Y$  матрицей показателей качества.

Общий вид ПЛС-модели

$$X = TP^T + E;$$

$$Y = TQ^T + F,$$

где  $Q$  – матрица нагрузок, соответствующая матрице  $Y$ ;  $F$  – матрица ошибок, соответствующая матрице  $Y$ .

Обучение велось с использованием данных спектров и лабораторного анализа за год измерений. Модель была разработана в пакете The Unscrambler.

Результаты прогнозирования октанового числа бензинов представлены на рис. 2. На рисунке ось абсцисс соответствует значениям октанового числа, полученным в результате лабораторного анализа соответствующих проб, ось ординат – значениям октанового числа, прогнозируемым для тех же проб по моделям.

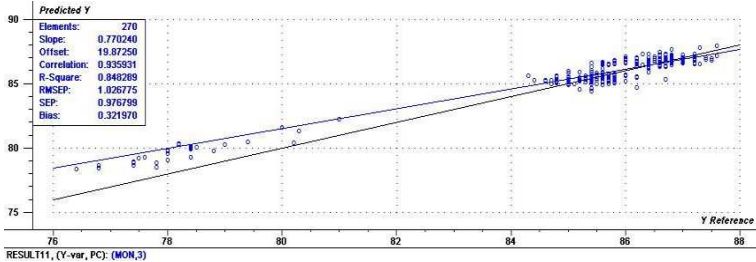


Рис. 2. Результаты работы ПЛС-модели

Коэффициент корреляции между значениями, вычисленными по модели, и результатами лабораторного анализа составил 0,93, что является приемлемым результатом. Однако достаточно большой оказалась средняя ошибка прогнозирования значений показателя качества.

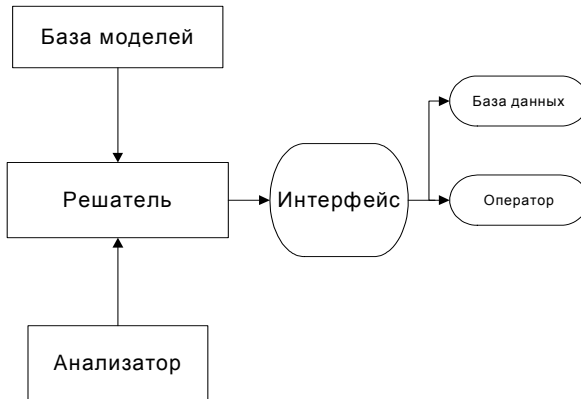


Рис. 3. Структурная схема экспертной системы

Для решения задачи уменьшения ошибки массив данных разделили на группы по использовавшимся рецептурам, а также времени года. В результате была сформирована база моделей,

отвечающих требованиям по средней ошибке предсказания для условий, близких условиям получения обучающей выборки.

Для оперативного определения условий и выбора наиболее адекватной условиям модели используется управляющая подсистема класса экспертных систем (ЭС) на основе нечеткой логики (рис. 3).

Введение ЭС позволило снизить среднюю ошибку предсказания октанового числа бензинов до значения 0,33 пункта при коэффициенте корреляции данных лабораторного анализа и прогноза по модели, равном 0,94. Полученные результаты отвечают требованиям производства.

Введение подобных систем непрерывного измерения показателей качества открывает дополнительные возможности для разработки эффективных систем управления качеством нефтепродуктов.

### **Библиографический список**

1. Использование Camo Unscrambler для разработки многомерных моделей [Электронный ресурс]. – URL: <http://guided-wave.com/products/software/unscrambler/>

2. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2006.

3. Хосдкульдсон А. ПЛС-регрессия и ковариация Editorial, July 2004 Agnar Hoskuldsson IPL, DTU, Bldg 358, 2800 Kgs. Lyngby. – Denmark, 2004.

4. Главные компоненты и факторный анализ. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.iki.rssi.ru/magbase/REFMAN/STATTEXT/modules/stfacan.html>.

## ПРОЕКТ ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТРУКТУРИРОВАННЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Студент гр. КТЭИ-05д И.В. Гранёв

Научный руководитель – доцент *Т.В. Костыгова*  
Пермский государственный технический университет

Причиной разработки данного проекта является совокупность нескольких факторов. Объединяет эти факторы одна из главных тенденций развития современного общества – информатизация [1]. Это политика и процессы, направленные на построение и развитие телекоммуникационной инфраструктуры, объединяющей территориально распределенные информационные ресурсы.

Всё большее количество человек становятся потребителями информационных услуг. И как потребитель любого другого товара человек хочет получать данный вид продукта наиболее безопасным, быстрым, качественным и удобным способом. Высокая требовательность потребительского сектора привела к развитию и модернизации стандартов передачи связи. А это соответственно привело к развитию технической базы мероприятий данного вида, в том числе и кабелей связи.

Современное техническое обеспечение в РФ в большом объёме включает в себя коаксиальные сегменты и сегменты на основе витых пар 3-й и 4-й категорий, которые не поддерживают современных технологий. В мире только витая пара 5-й и более высоких категорий и оптическое волокно соответствуют новым техническим требованиям. Анализ внутреннего рынка России [2] показал, что он заполнен продукцией китайских производителей, которая крайне низкого качества. Эксплуатация такого оборудования чаще всего не позволяет добиться желаемого результата. Потребительский потенциал именно качественного товара на нашем рынке очень высок. Даже во время кризиса рост потребления остался на прежнем уровне.

Номенклатура проектируемого производства включает в себя кабели 2-парные Utp 2 cat 5 и 4-парные Utp 4 cat 5e, Ftp 4 cat 5e, Utp 4 cat 6. Изготавливается продукция по ТУ 16.К03-39-2004. Кабели предназначены для организации локальных сетей с различной топологией, подсистем рабочих групп. Cat 5 (полоса

частот 100 МГц) – 4-парный кабель, используется при построении локальных сетей 100BASE-TX и для прокладки телефонных линий, поддерживает скорость передачи данных до 100 Мбит/с. Cat 5e (полоса частот 125 МГц) – 4-парный кабель, усовершенствованная категория 5. Скорость передач данных до 100 Мбит/с при использовании 2 пар и до 1000 Мбит/с при использовании 4 пар. Кабель категории 5e является самым распространённым и используется для построения компьютерных сетей. Cat 6 (полоса частот 250 МГц) применяется в сетях Fast Ethernet и Gigabit Ethernet, состоит из 4 пар проводников и способен передавать данные на скорости до 1000 Мбит/с. Добавлен в стандарт в июне 2002 г. [3]. По данным IEEE, в 70 % установленных сетей в 2004 г. использовали кабель категории CAT6.

Кабели в оболочках различного исполнения, в большинстве своём отвечают современным требованиям безопасности [4]. 75 % производимой продукции может использоваться для общей прокладки и как пленумные (разрешённые для прокладки в вентиляционных шахтах) для прокладки в общественных местах, могут применяться на атомных станциях (очень актуально в свете вновь возродившегося интереса к технологиям «мирного атома» [5]) и на других объектах с высокой степенью ответственности. Активно развивающийся сектор возобновляемых источников энергии отдал предпочтение структурированным кабелям связи (LAN) [6]. 10 % от общего числа производства кабелей может применяться для внешней прокладки. Более 50 % производимой продукции поддерживают экологические тенденции развития ассортимента пластмасс во всём мире, это кабели с индексом HF (Halogen Free) или LSZH (Low Smoke Zero Halogen). Они не только не поддерживают и не распространяют горение, но и не выделяют вредных веществ при воздействии высоких температур [7].

Основные элементы кабеля изображены на рис. 1. Главный элемент – витая пара, каждая пара скручивается с разным шагом (в малом диапазоне от 5 до 30 мм) для уменьшения взаимного влияния между ними. Каждая пара включает в себя один окрашенный проводник и один натурального цвета, делается это для удобства монтажа. Затем кабели скручиваются в пучок с большим шагом. На пучок из 4 пар накладывается ПЭТ-лента для неслипания сердечника с оболочкой. В кабеле Ftp поверх ПЭТ накладываются

дренажная жила и экран из алюмополимера, кабель экранируется для защиты от воздействия внешних помех – повышения надёжности передачи данных. В кабеле шестой категории пары разделены сепарирующим элементом – крестовым профилем, так как он предназначен для передачи более высоких частот и чувствителен к структурной деформации.



Рис. 1. Основные элементы конструкции LAN-кабеля

При проектировании цеха был учтён мировой опыт производства данного типа кабельной продукции. Именно это определило выбор используемых полуфабрикатов и используемого оборудования. Такой подход позволяет контролировать качество продукции на каждой стадии производства. Правильный выбор оборудования даёт гарантию комфортного и безопасного труда, что указывает на заинтересованность предприятия не только в клиентской базе, а в первую очередь в собственном персонале. В качестве поставщика прессового оборудования был выбран швейцарский производитель «Mailliefer», который уже выбрали многие мировые лидеры в данной отрасли. Оборудование максимально автоматизированно и полностью компьютеризированно, а системы контроля не допускают возникновения брака. Для наиболее ответственной части производства, а именно скрутки в пары и пар в пучок, было выбрано оборудование французской фирмы «Setic», одного из двух мировых лидеров производства в данном сегменте, основным плюсом которого помимо качества, конечно, является прямая последовательность двух разных операций скрутки, исключая промежуточное участие человека, а именно человеческий фактор

становится наиболее часто причиной получения некачественного продукта. Организованное предприятие при необходимости способно производить кабели LAN и 7-й категории.

Технологическая цепочка производства представлена на рис. 2.

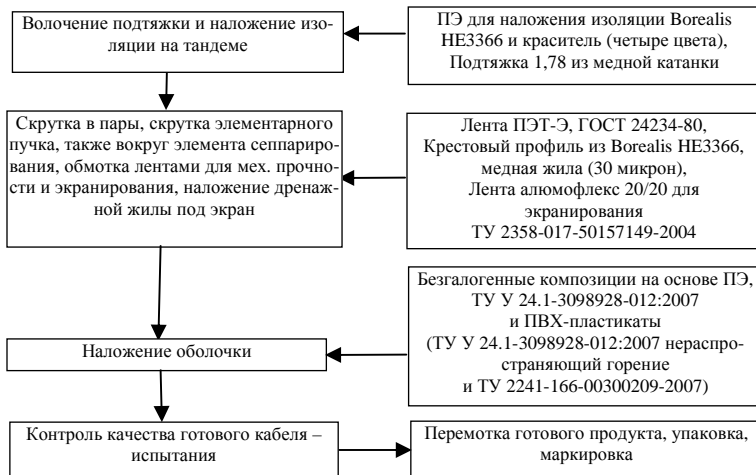


Рис. 2. Блок-схема технологических операций

Для организации данного производства необходимо 14 единиц оборудования для создания основных рабочих центров, что обеспечит 110 рабочих мест. Ежегодно цех будет производить 80 000 км кабеля четырёх видов.

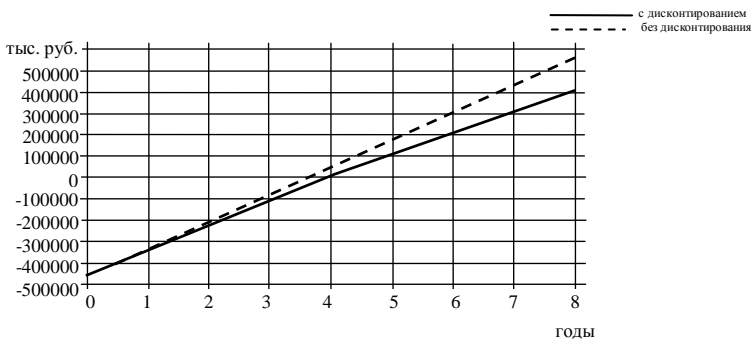


Рис. 3. График окупаемости проекта



*Экономический расчёт полного возмещения капиталовложений.* Расчёт был произведён с учётом дисконтирования и без него. В первом случае срок окупаемости составит 4 года, во втором – 3 года и 6 месяцев. Динамика расчёта представлена на диаграмме (рис. 3), при расчёте был учтён среднегодовой темп инфляции – 10 %. Достаточно продолжительный срок окупаемости обусловлен низкой ценой конечного продукта. Но совокупность причин создания данного проекта указывает на его оправданность. Индекс доходности составил 1,87.

### **Библиографический список**

1. Коротков А.В., Кристальный Б.В., Курносков И.Н. Государственная политика Российской Федерации в области развития информационного общества. – М.: Трейн, 2007.
2. Маркетинговое исследование. Рынок кабельной продукции России. Перспективы развития сегмента кабеля витая пара 5-й, 6-й и 7-й категорий / Компания «ПКР». – М., 2009.
3. Томаси У. Электронные системы связи. – М.: Техносфера, 2007. – 1360 с.
4. Материалы конференции Cables 2009. – Кёльн, 2009, (Германия).
5. Проект энергетической стратегии России. – М., 2010.
6. Cables in renewable energy systems (кабели для систем возобновляемых источников энергии) (CRU) // ICF News. – Juli 2008. – Issue 61.
7. Инновации в кабельной промышленности – ключ к прогрессу в важнейших отраслях народного хозяйства», посвященной 60-летию образования ОАО «ВНИИ КП»: матер. сб. тез. докл. науч.-техн. конф. Москва, 15–16 ноября 2007. – М., 2007.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ НАЛОЖЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ И РЕОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Студент гр. КТЭИ-05-2 А.В. Зенков

Научный руководитель – старший преподаватель *А.В. Казаков*  
Пермский государственный технический университет

При промышленном производстве проводов и кабелей возможно изменение свойств материалов от партии к партии. Поэтому при проектировании кабельной головки необходимо учитывать возможность использования материалов с отличающимися свойствами.

В работе рассмотрен расчет течения и теплообмена сшиваемого полиэтилена в канале кабельной головки при различных значениях начальной вязкости и плотности.

Конфигурация исследуемого канала истечения полимера была взята из [1, 2], внешний вид и геометрия которого представлены на рис. 1.

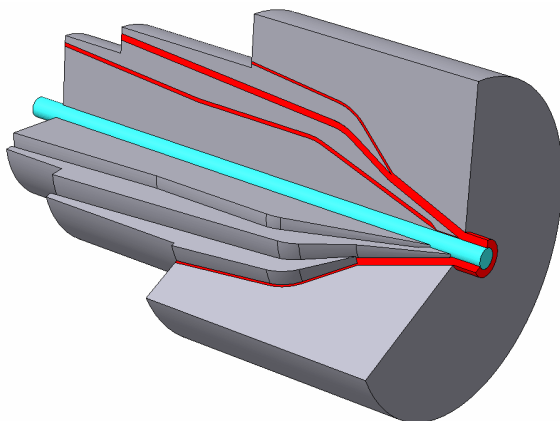


Рис. 1. Трехмерная модель канала истечения кабельной головки

Граничные условия определяются заданными параметрами технологического процесса экструзии (рис. 2).

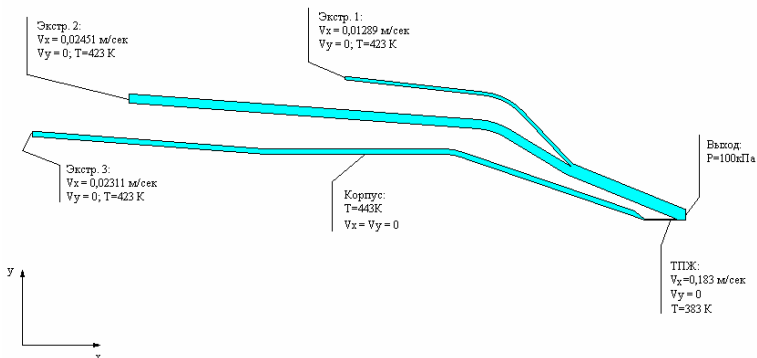


Рис. 2. Вид канала истечения и граничные условия

С целью упрощения модели вводится ряд допущений:

- процесс стационарный;
- пренебрегаем гравитационными и инерционными силами;
- на границах модели, образованных формирующим инструментом, задаются условия прилипания;
- расплав полимера несжимаем;
- теплоемкость и теплопроводность материала постоянны.

Математическая модель формулируется на основе совместного решения уравнений сохранения массы, количества движения, энергии и реологических уравнений состояния, дополненных граничными условиями. Данную задачу можно рассматривать в рамках двумерной. В декартовой системе координат математическая модель будет выглядеть следующим образом:

- уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0;$$

- уравнения движения:

$$\rho \left( V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \right);$$

$$\rho \left( V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \right);$$

– уравнение энергии:

$$\operatorname{ср}\left(V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y}\right) = \lambda \Delta T + q_v;$$

– реологические уравнения состояния:

$$\tau_{xx} = 2\eta \frac{\partial V_x}{\partial x}; \quad \tau_{yy} = 2\eta \frac{\partial V_y}{\partial y}; \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} = \eta \left( \frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right),$$

где  $\eta$  – эффективная вязкость, зависящая как от скорости сдвига, так и от температуры;  $V_x, V_y$  – компоненты вектора скорости;  $\tau_{i,j}$  ( $i, j = x, y$ ) – компоненты тензора напряжений;  $\rho$  – плотность полимера;  $q_v$  – энергия от внутренних источников тепла;  $T$  – температура;  $p$  – давление,

$$\eta = e^{-\beta(T-T_0)} \eta_0 \left( \frac{I_2}{2} \right)^{\frac{n-1}{2}},$$

где  $\eta_0$  – начальная вязкость;  $I_2$  – второй инвариант тензора скоростей деформации;  $n$  – показатель аномалии;  $\beta$  – температурный коэффициент вязкости.

Полиэтилен имеет следующие реологические и теплофизические свойства:

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	400–1400
Вязкость, Па · с	7000–52 000
Теплоемкость, Дж/кг · К	2500
Теплопроводность, Вт/м · К	0,182
Коэффициент аномалии	0,44
Температурный коэффициент вязкости $\beta$ , 1/К	0,007

Диапазон плотности и начальной вязкости был выбран, исходя из типичных для полиэтилена значений.

Данную задачу необходимо решать численно при помощи метода конечных элементов (МКЭ). Численное решение описанной задачи методом МКЭ происходило в среде инженерных расчетов Ansys с использованием библиотеки FLOTRAN CFD и  $h$ -метода решения.

В результате численного решения были получены средние значения температуры на выходе при различных величинах вязкости и плотности. Средняя температура на выходе – это один

из критериев качества получаемой продукции, так как позволяет отслеживать возможные перегревы изоляции на стадии ее наложения (рис. 3).

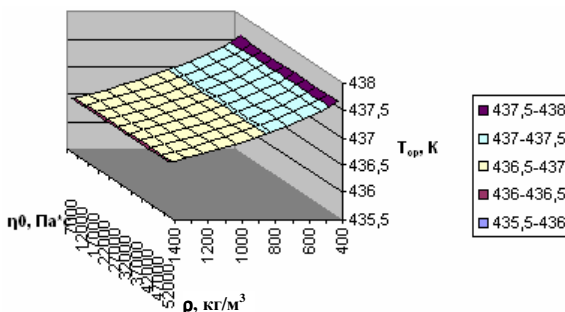


Рис. 3. Зависимость средней температуры на выходе от начальной вязкости и плотности

При уменьшении плотности материала наблюдается рост средней температуры на выходе из расчетной области, при этом максимальная разность средней температуры на выходе составляет 1–2 градуса. А при изменении вязкости средняя температура на выходе практически не изменяется.

Анализ результатов, полученных в ходе численного расчета рассмотренной математической модели, показывает, что при изменении значений как вязкости, так и плотности колебание средней температуры на выходе лежит в пределах допустимых значений. Небольшое изменение температуры на качество изоляции не повлияет.

В итоге проведенных исследований можно сделать вывод о применимости данной модели при колебании теплофизических и реологических свойств материала в некотором диапазоне (для вязкости 7000–52 000 Па·с, для плотности 400–1400 кг/м<sup>3</sup>).

### Библиографический список

1. Казаков А.В., Труфанова Н.М. // Вестник ПГТУ. Электроника, информационные технологии, системы управления. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – № 3. – 110 с.
2. Казаков А.В. Автоматизированные системы управления и информационные технологии. – Пермь, 2008. – 153 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СШИТОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ НА СРЕДНЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ «High Volt»

Студент гр. КТЭИ-05-1 С.С. Логинов

Научный руководитель – д-р техн. наук,

профессор *Л.А. Ковригин*

Пермский государственный технический университет

Кабели со сшитой полиэтиленовой изоляцией в настоящее время активно замещают кабели с бумажной изоляцией в классах среднего и высокого напряжения и предназначены для передачи и распределения электроэнергии на объектах с чрезвычайно высокими уровнями энергопотребления и плотностью нагрузки. Срок службы таких кабелей не менее 30 лет, а гарантийный срок службы 5 лет.

Воздушные или газовые включения являются одним из наиболее распространенных типов сосредоточенных дефектов изоляции. Поскольку диэлектрическая проницаемость воздуха в несколько раз меньше диэлектрической проницаемости окружающего его твердого диэлектрика, напряженность поля в газовой полости может значительно превышать среднюю напряженность поля в изоляции. Поэтому в полости возникают ионизационные процессы (частичный разряд), даже при рабочем напряжении.

Частичный разряд – это электрический разряд, длительность которого составляет единицы-десятки наносекунд. Он частично шунтирует изоляцию кабельной линии. Частичные разряды приводят к постепенному развитию дефекта и разрушению изоляции.

Существует целый ряд причин возникновения частичных разрядов:

- 1) расслаивание изоляции;
- 2) примеси (проводящие и непроводящие);
- 3) выпячивание полупроводящих слоев;
- 4) пустоты и микропустоты;
- 5) водные триинги.

Под воздействием электрического поля полярные молекулы воды образуют древовидные структуры, направленные вдоль силовых линий электрического поля, – водные триинги.

Различают два вида триингов: «бант» – триинги, которые зарождаются в объеме изоляции, заполненном водой, или на включениях инородных материалов; «веер» – триинги, развивающиеся с поверхности электропроводящих экранов.

Кабели на напряжение 6, 10 и 35 кВ проверяются на испытательной станции фирмы «High Volt» на уровень частичных разрядов. Испытательная станция предназначена для испытания кабельной продукции напряжением до 350 кВ переменного однофазного тока частотой 50 Гц и измерения уровня частичных разрядов при напряжении до 350 кВ.

Испытательная станция состоит: из испытательной камеры, пульта оператора, электрооборудования для подачи повышенного напряжения на испытуемый объект, делителей напряжения, системы измерения частичных разрядов, кабельных концевых накопителей, станции ионизированной воды. Испытательная камера представляет собой экранированную комнату с выделенным местом работы оператора.

С пульта производится управление подачей напряжения на испытуемый объект и измерение величин, необходимых для данного вида испытаний. В пульте стационарно установлены пиковый вольтметр, система измерения частичных разрядов и компьютер с монитором.

Электрооборудование для подачи повышенного напряжения на испытуемый объект состоит из возбуждающего трансформатора и резонансного реактора. Возбуждающий трансформатор представляет собой однофазный испытательный трансформатор с медными обмотками. Резонансный реактор представляет собой катушку с подвижным сердечником, обладающим индуктивным сопротивлением, необходимым для компенсации емкости изоляции испытуемого образца.

Делители напряжения преобразуют высокое переменное напряжение в низкое напряжение, пригодное для измерения вольтметром. Конструктивно делители состоят из плеча высокого напряжения, представляющего собой газонаполненный конденсатор, плеча низкого напряжения, состоящего из набора конденсаторов. Система измерения частичных разрядов предназначена для измерения уровня частичных разрядов и работает на принципе цифровой обработки напряжений, поступающих через делитель.

Кабельные концевые наконечники на номинальное напряжение 350 кВ представляют собой двухтрубную систему, в которой циркулирует вода, подаваемая станцией ионизированной воды.

Резонансная испытательная система работает как последовательный резонансный контур, образуемый вместе с испытываемым кабелем. Величина испытательного напряжения устанавливается изменением индуктивности резонансного реактора. Резонансная испытательная система управляется оператором через компьютер с пульта управления.

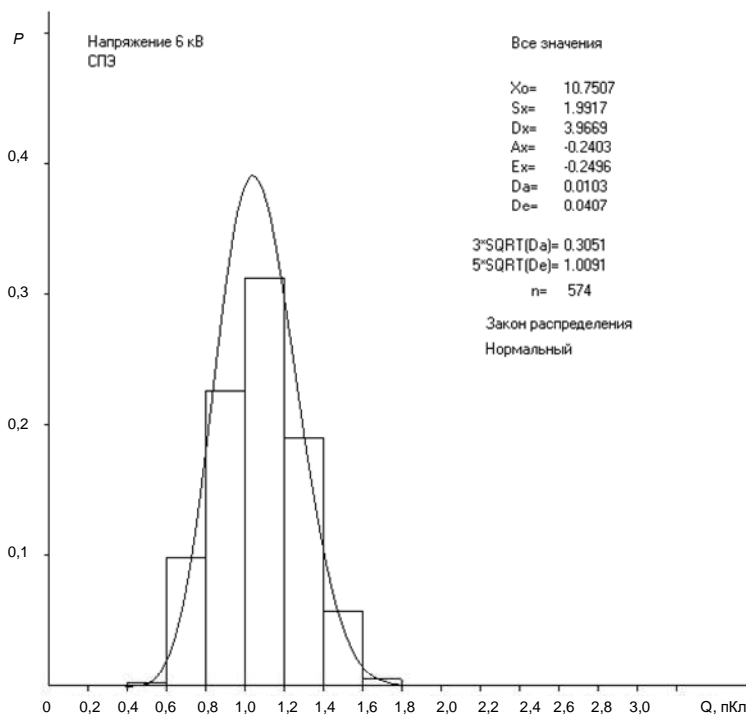


Рис. Кривая распределения и гистограмма интенсивности частичных разрядов для кабеля на напряжение 6 кВ со сшитой полиэтиленовой изоляцией

Статистическая обработка экспериментальных результатов производилась по следующим формулам [1–3].



Среднее арифметическое значение  $\bar{x}$ , дисперсия  $D$  и среднее квадратичное отклонение  $S$  определяются по формулам:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad D = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad S = \sqrt{D}, \quad (1)$$

где  $n$  – число измерений,  $x_i$  – значения измеряемых величин.

Асимметрия  $A$  и эксцесс  $E$ :

$$A = \frac{1}{S^3(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3, \quad E = \frac{1}{S^4(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4. \quad (2)$$

Собственная дисперсия асимметрии  $D_A$  и эксцесса  $D_E$ :

$$D_A = \frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}, \quad D_E = \frac{24(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}. \quad (3)$$

На рисунке представлены кривая распределения и гистограмма интенсивности частичных разрядов для кабеля на напряжение 6 кВ со сшитой полиэтиленовой изоляцией. Всего было проведено 574 измерения. Средние значения 1,07 пКл; среднее квадратичное отклонение выборки 1,99; асимметрия по модулю 0,24 и эксцесс по модулю 0,24, а это меньше, чем 0,31 и 1,0 соответственно, что по критериям Чебышева говорит о нормальности распределения.

Норма для интенсивности равняется 10 пКл, все значения укладываются в эти рамки. Таким образом, можно сделать вывод: статистическая обработка результатов измерений интенсивности частичных разрядов показала, что все значения укладываются в норму, т.е. качество продукции соответствует нормативной документации.

### Библиографический список

1. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1984. – 248 с.
2. Козлов М.В., Прохоров А.В. Введение в математическую статистику. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 264 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, – 1978. – 832 с.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПЛАВА ПОЛИЭТИЛЕНА НА ПРИБОРЕ ИИРТ**

**Студент гр. КТЭИ-05-1 И.К. Назаров**

Научный руководитель – д-р техн. наук,  
профессор *А.Г. Щербинин*

Пермский государственный технический университет

В настоящее время все большее распространение во всех областях производства, в том числе и в кабельной промышленности, получили искусственные полимерные материалы. Реология полимеров решает задачи течения расплавов полимеров, которые являются вязкими неньютоновскими жидкостями. Реологические свойства необходимы для проектирования технологических процессов и оборудования для переработки этих полимерных материалов.

Переработка полимерных материалов – это совокупность технологических приемов, методов и процессов, посредством которых полимер превращается в различные изделия с заданными характеристиками. Процесс переработки полимерного материала всегда сопровождается его пластической деформацией, которой могут сопутствовать химические реакции и в ряде случаев необратимые изменения физических свойств, приводящие к возникновению принципиального отличия между характеристиками исходного материала и характеристиками готового изделия.

Проведение экспериментальных исследований реального процесса переработки полимера, даже осуществленных с применением современных методов, превращается в дорогостоящую и продолжительную работу. Поэтому целесообразно изучать особенность каждого конкретного процесса, рассматривая вначале его теоретическое описание, т.е. математическую модель.

В настоящее время на кабельных предприятиях определение технологичности полимерных материалов осуществляется на основании показателя текучести расплава, измеряемого на приборе ИИРТ. Этот параметр не дает необходимой информации для выбора технологического режима изготовления пластмассовой изоляции на экструзионном оборудовании. Для повышения производительности прессов и качества готовых изделий необходимо знать

реологические свойства расплавов полимеров. Использование реологических характеристик полимеров в математических моделях, описывающих процесс изготовления полимерной изоляции на экструзионных агрегатах, позволит усовершенствовать технологические режимы с наименьшими затратами.

Методика обработки экспериментальных данных построена на математическом описании течения полимера в калибре прибора ИИРТ-АМ на основании законов сохранения.

Рассмотрим изотермическое стационарное, установившееся течение без проскальзывания несжимаемой неньютоновской жидкости в цилиндрическом калибре радиусом  $R_k$  (рис. 1) под действием перепада давления.

Процесс движения жидкости в калибре описывается следующими уравнениями [1, 2]:

$$\tau_{rz} = \frac{r}{2} \cdot \frac{dP}{dz}, \quad (1)$$

$$\tau_{rz} = \mu_3 \dot{\gamma}_{rz}, \quad (2)$$

$$\mu_3 = \mu_0 \left( \frac{I_2}{2} \right)^{\frac{n-1}{2}} = \mu_0 \left( \frac{I_2}{2} \right)^{\frac{1-s}{2s}}, \quad (3)$$

где  $\mu_0$  – коэффициент консистенции расплава полимера;  $I_2$  – второй инвариант тензора скоростей деформации,  $I_2 = 2 \left( \frac{d\mathbf{v}}{dr} \right)^2$ ;

$\dot{\gamma}_{rz}$  – скорость сдвига,  $\dot{\gamma}_{rz} = \frac{dv_z}{dr}$ ;  $v_z$  – скорость движения полимера;  $n$  – показатель аномалии вязкости;  $s$  – коэффициент аномалии,  $s = 1/n$ .

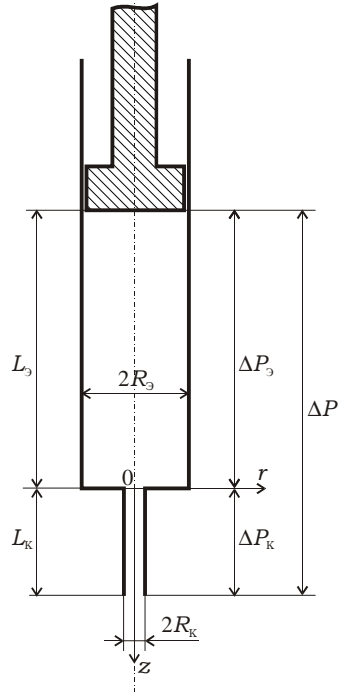


Рис. 1. Схема рабочей камеры прибора ИИРТ-АМ

После преобразования уравнений (1)–(3) получим выражение, связывающее объемный расход с градиентом давления в калибре,

$$Q = \frac{\pi \cdot R_{\kappa}^{s+3}}{2^s \cdot \mu_0^s (s+3)} \left( \frac{dP}{dz} \right)^s. \quad (4)$$

Уравнение, связывающее начальную вязкость и температуру, имеет вид [1]

$$\mu_0(T) = \mu_0(T_0) \exp(-\beta(T - T_0)). \quad (5)$$

По установленному на приборе ИИРТ грузу при фиксированной температуре определяется перепад давления в калибре  $\Delta P_{\kappa}$ , который связан с градиентом давления выражением

$$\frac{dP}{dz} = \frac{\Delta P_{\kappa}}{l_{\kappa}}, \quad (6)$$

где  $l_{\kappa}$  – длина калибра.

Зная массу вытекающего материала  $m$ , плотность полимера  $\rho$  и время истечения  $t$ , объемный расход полимера  $Q$  определится по формуле

$$Q = \frac{m}{t \cdot \rho}. \quad (7)$$

Из уравнения (4) видно, что  $\ln(Q)$  связан с  $\ln(\Delta P_{\kappa})$  линейным уравнением

$$\ln(Q) = b_0 + n \cdot \ln(\Delta P_{\kappa}). \quad (8)$$

После обработки экспериментальных данных для  $Q$  и  $\Delta P_{\kappa}$  методом наименьших квадратов определяется показатель аномалии вязкости  $n$  и параметр  $b_0$ .

После потенцирования уравнения (8) получаем расходно-напорную характеристику калибра:

$$Q = \exp(b_0) \Delta P_{\kappa}^n. \quad (9)$$

Далее эксперимент повторяется при других значениях температуры. После логарифмирования уравнения (5) получаем уравнение прямой

$$\ln(\mu_0(T)) = c_0 + c_1 \cdot T, \quad (10)$$

где  $c_0$  и  $c_1$  определяются методом наименьших квадратов. При этом  $\beta = c_1$ .

Были проведены исследования реологических характеристик двух марок полиэтиленов, применяемых для изготовления изоляции и оболочки кабелей.

В таблице представлены реологические характеристики расплава пероксидсшиваемого полиэтилена марки LE 4205 R производства Vorealis и полиэтилена марки ПЭ 273-81 К, полученные на приборе ИИРТ-АМ 1 с помощью представленной методики. На рис. 2 и 3 в логарифмических координатах показано изменение эффективной вязкости от скорости сдвига. С увеличением скорости сдвига вязкость исследуемых материалов падает, поэтому эти материалы относятся к псевдопластическим жидкостям [1, 2]. Из рис. 2 видно, что для полиэтилена марки LE 4205 R реологические свойства при температуре 130°C существенно изменяются, что можно объяснить распадом пероксида и частичной сшивкой полиэтилена.

#### Реологические характеристики

Исследуемый материал	$\mu_0$ при $T_0$ , Па·с <sup>n</sup>	$T_0$ , °C	$\beta$ , °C	$n$
LE 4205R	24262,26	120	-0,0074	1,83
ПЭ 273 -81 К	36239	170	-0,006	2,08

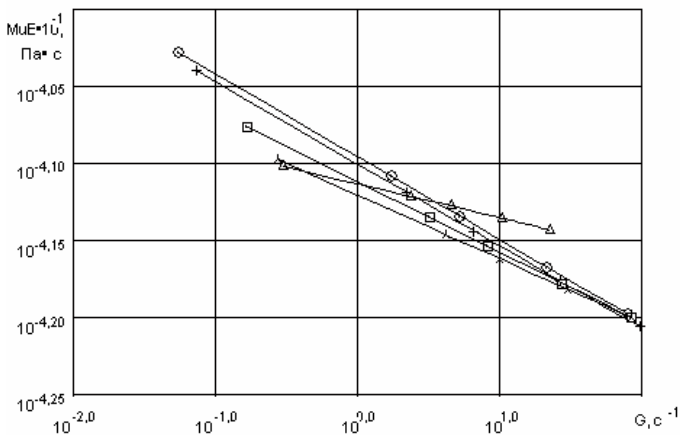


Рис. 2. Зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига для LE 4205R (o – 110 °C; + – 115 °C; □ – 120 °C; λ – 125 °C; Δ – 130 °C)

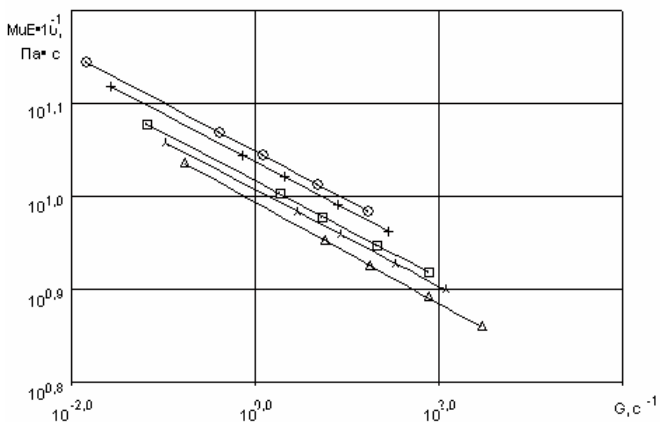


Рис. 3. Зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига для ПЭ 273-81 К (o – 170 °С; + – 190 °С; □ – 210 °С; \* – 230 °С; Δ – 250 °С)

На рис. 4, 5 показаны экспериментальные данные и расчетные кривые изменения коэффициента консистенции расплавов полимера от температуры. Следует отметить, что уравнение (5) достаточно хорошо описывает изменение вязкости от температуры расплава полиэтилена марки 273-81 К (см. рис. 5). Для полиэтилена марки LE 4205R при температурах от 130 °С и выше процесс кристаллизации нарушает экспоненциальный характер зависимости (см. рис. 4).

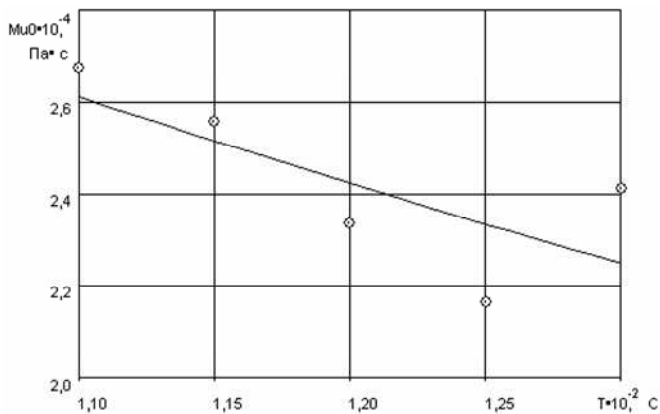


Рис. 4. Зависимость вязкости от температуры для LE 4205R

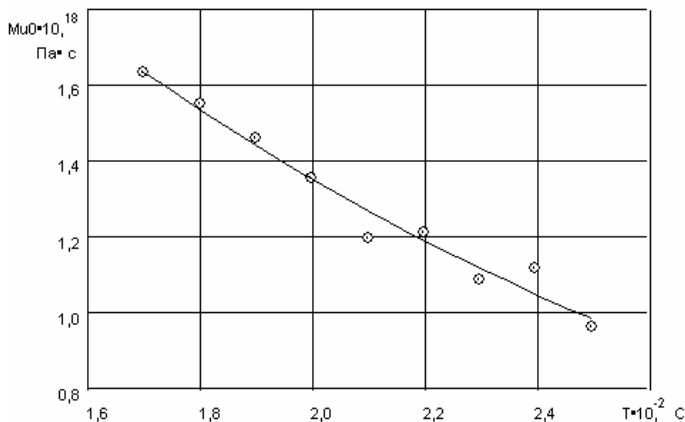


Рис. 5. Зависимость вязкости от температуры для ПЭ 273-81 К

Полученные результаты дают более полную картину о технологичности применяемых материалов и могут быть использованы при выборе рациональных режимов переработки их на шнековых прессах. Особенно эти исследования актуальны при переходе на новые полимерные материалы, такие как пероксидосшиваемый полиэтилен марки LE 4205 R производства Borealis.

### Библиографический список

1. Тадмор З., Гогос К. Теоритические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984.
2. Труфанова Н.М. Переработка полимеров. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ АУДИТА СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ НАДЕЖНОСТИ

**Студенты гр. АТ-07 М.И. Меньшиков, В.И. Пьянкова**  
Научный руководитель – старший преподаватель *М.М. Кулагина*  
Пермский государственный технический университет

В теории надежности технические системы делятся на восстанавливаемые и невосстанавливаемые. Большинство систем является восстанавливаемым. Невосстанавливаемыми являются системы, расположенные вне доступа ремонтников (в космическом полете) или в тех местах, доступ к которым затруднен (удаленные точки в районах Крайнего Севера). В связи с этим надежность невосстанавливаемых систем обычно должна быть значительно выше, чем восстанавливаемых.

Надежность технической системы обычно повышается за счет введения в систему избыточных элементов, т.е. различных видов резервирования, в том числе и функционального.

Методика расчета сложных систем при постоянно включенном резерве использует структурно-логические схемы надежности (СЛСН) и структурно-логические функции надежности (СЛФН), которые строятся по структурной или структурно-функциональной схеме системы [1]. В расчетах будет допускаться, что элементы системы в смысле надежности независимы, то есть отказы одних элементов не изменяют надежности других.

Методику расчета сложных систем с постоянно включенным резервом удобнее всего изложить, используя конкретные примеры. Рассмотрим как одну из возможных структурную схему технической системы, приведенную на рис. 1.

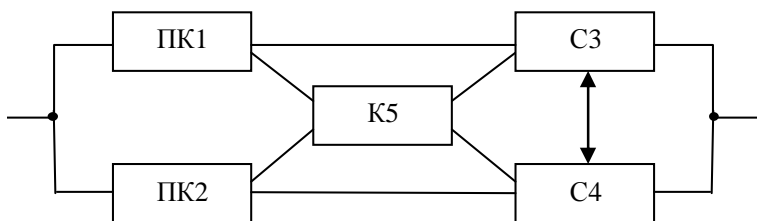


Рис. 1. Система с функциональным резервированием



Это вариант системы с функциональным резервированием. Собственно система состоит из сервера и удаленного персонального компьютера. Для повышения надежности сервер задублирован (блоки  $C_3$  и  $C_4$  рис. 1), персональный компьютер также (блоки ПК<sub>1</sub> и ПК<sub>2</sub> рис. 1).

Кроме того, благодаря коммутатору  $K_5$  возможен доступ от любого персонального компьютера к любому серверу. Покажем, как для данной системы использовать логико-вероятностный метод расчета надежности.

Алгоритм будет выглядеть следующим образом:

1. На первом этапе строим СЛСН. Она приведена на рис. 2. Основными являются блоки 1 и 3. Блоки 2 и 4 их дублируют. Блок 5 позволяет подключить ПК<sub>2</sub> к  $C_3$  либо ПК<sub>1</sub> к  $C_4$ .

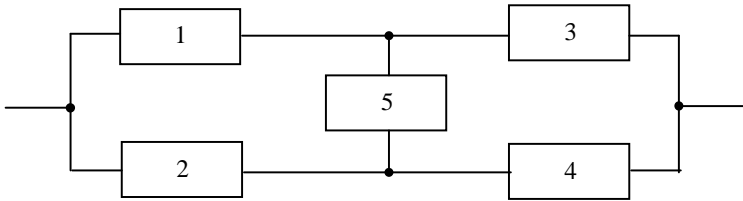


Рис. 2. Структурно-логическая схема надежности

2. На втором этапе по СЛСН строим СЛФН. Введем понятие истока – точка, в которой сигнал поступает в схему, и стока – точка выхода сигнала из схемы. Для построения СЛФН необходимо включить в нее все возможные пути от истока до стока.

3. Для рассматриваемой схемы (см. рис. 2) словесная формулировка работоспособности будет записана следующим образом: объект работоспособен, если исправны блоки 1 и 3 или блоки 2 и 4, или блоки 1, 5 и 4, или блоки 2, 5 и 3.

4. Записываем структурно-логическую функцию надежности:

$$F_{л} = a_1 \cdot a_3 \vee a_2 \cdot a_4 \vee a_1 \cdot a_5 \cdot a_4 \vee a_2 \cdot a_5 \cdot a_3 \vee a_1 \cdot a_3 \cdot a_2 \cdot a_4 \vee a_1 \cdot a_3 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5.$$

Минимизируем логическую функцию. После минимизации функция примет вид

$$F_{л} = a_1 \cdot a_3 \vee a_2 \cdot a_4 \vee a_1 \cdot a_5 \cdot a_4 \vee a_2 \cdot a_5 \cdot a_3.$$

5. Упрощение логической функции. Функцию стараются привести к такому виду, чтобы в каждую функцию входило не больше двух членов

$$\begin{aligned} F_{\text{л}} &= a_1 \cdot a_3 \vee a_2 \cdot a_4 \vee a_1 \cdot a_5 \cdot a_4 \vee a_2 \cdot a_5 \cdot a_3 = \\ &= a_5(a_1 \cdot a_3 \vee a_2 \cdot a_4 \vee a_1 \cdot a_4 \vee a_2 \cdot a_3) \vee \overline{a_5}(a_1 \cdot a_3 \vee a_2 \cdot a_4) = \\ &= a_5[(a_1 \vee a_2)(a_3 \vee a_4)] \vee \overline{a_5}(a_1 \cdot a_3 \vee a_2 \cdot a_4). \end{aligned}$$

6. Арифметизация булевой функции. Правила арифметической функции следующие:

$$\begin{aligned} F_a &= a_5[a_1 + a_2 - a_2 \cdot a_1](a_3 + a_4 - a_3 \cdot a_4) + (1 - a_5)(a_1 \cdot a_3 + a_2 \cdot a_4 - \\ &- a_1 \cdot a_3 \cdot a_2 \cdot a_4) - a_5(1 - a_5)(a_1 + a_2 - a_2 \cdot a_1)(a_3 + a_1 - a_3 \cdot a_4)(a_1 \cdot a_3 \\ &\quad + a_2 \cdot a_4 - a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4). \end{aligned}$$

7. Замена событий их вероятностями:

$$\begin{aligned} P_c &= P_5(P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2) + (1 + P_5)(P_1 \cdot P_3 + P_2 \cdot P_4 - \\ &- P_1 \cdot P_3 \cdot P_2 \cdot P_4) - P_5(1 - P_5)(P_1 + P_2 - P_2 \cdot P_1)(P_1 \cdot P_3 + \\ &\quad + P_2 \cdot P_4 - P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4). \end{aligned}$$

8. Расчет надежности.

Пусть

$$\begin{aligned} P_1 = P_2 = 0,9; \quad P_3 = P_4 = P_5 = 0,8; \quad P_c = 0,8(0,9 + 0,9 + \\ + 0,64) + 0,1(0,9 \cdot 0,8 + 0,9 \cdot 0,8 - 0,64 \cdot 0,81) - 0,8 \cdot 0,1(0,9 + 0,9 - \\ - 0,64)(0,8 + 0,8 - 0,64)(0,72 + 0,72 - 0,64 \cdot 0,81) = 0,938. \end{aligned}$$

Следует учесть, что построить СЛСН для сложных систем, особенно при наличии функционального резервирования, не всегда просто. Желательно иметь формальный алгоритм для аудита СЛФН. Такой алгоритм может быть реализован с использованием марковских цепей [2]. Покажем, как строится марковская цепь для технической системы, приведенной на рис. 1.

Сначала выпишем все возможные состояния системы.

0 – Все блоки исправны, система работоспособна;

1 – блок 1 неисправен, система работоспособна;

2 – блок 2 неисправен, система работоспособна;

...

5 – блок 5 неисправен, система работоспособна;

6 – блоки 1 и 2 неисправны, система неработоспособна;

7 – блоки 1 и 3 неисправны, система работоспособна;

...

22 – все блоки неисправны, система неработоспособна.

Будем считать, что два события одновременно произойти не могут, т.е. из состояния 0 мы можем попасть в состояние с одним отказавшим блоком (состояния 1–5), но не с двумя или больше. Марковская цепь для рассматриваемой системы приведена на рис.3. Внутри каждого состояния проставлены неисправные блоки, каждое состояние помечено либо как «р» (работоспособное), либо как «н/р» (неработоспособное).

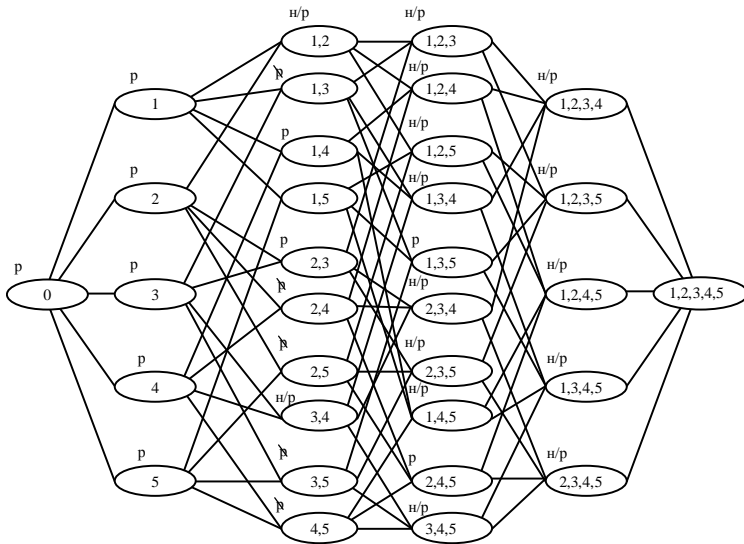


Рис. 3. Марковская цепь

Теперь по этой марковской цепи можно проверить неминимизированную СЛНФ. Перемещаемся по состояниям от нулевого до последнего (в нашем случае до 32-го). Если состояние помечено как работоспособное, блоки, которые в этом состоянии исправны, должны войти в СЛНФ как один из термов. Например, мы рассматриваем как текущее состояние 7, в котором система работоспособна. В этом состоянии блоки 1 и 3 неисправны, т.е. блоки 2, 4 и 5 исправны. В СЛНФ должен войти терм  $a_2a_4a_5$ . Такой терм в СЛНФ есть.

Таким образом, построение марковской цепи и ее просмотр позволяют обнаружить пропущенные термы в СЛНФ, а также термы, ошибочно внесенные в СЛНФ. Недостаток метода – большая размерность марковской цепи.

### **Библиографический список**

1. Белоусов В.В., Киселев В.В., Кулагина М.М. Надежность технических систем / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1995. – 71 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Кнорус, 2010. – 664 с.

### **АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СУТОЧНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ ООО «НОВОГОР-ПРИКАМЬЕ»**

**Студенты гр. АТПП-05м А.А. Волков, В.В. Орлов**

Научные руководители: инженер *Н.В. Зверев*;

канд. техн. наук, доцент *А.Б. Петроченков*

Пермский государственный технический университет

В мире не существует такого предприятия, руководители которого не хотели бы минимизировать затраты на потребляемые ресурсы. Проблема энергосбережения встала перед крупными потребителями после распада Советского Союза, когда стало понятно, что теперь необходимо следить за своими затратами ничуть не меньше, чем раньше, следили за выпуском готовой продукции. Потреблять надо с умом – такие условия диктует рыночная экономика. Экономия достигается как за счет внедрения нового оборудования, при меньших мощностях позволяющего достигать большего выпуска продукции, так и за счет новых методов организации производства, таких как составление календарных планов загрузки производственных мощностей, построение математических моделей технологических процессов, позволяющих оптимизировать ресурсы, необходимые для осуществления данного процесса.

Одним из таких предприятий является ООО «Новогор-Прикамье», управляемое ОАО «Российские коммунальные системы». Предприятие арендует объекты водоканала и очистные сооружения у правительства Пермского края на длительный срок и на данный момент имеет в своем распоряжении 35 канализационных насосных станций, 13 водопроводных, из которых 6 крупных, а также насосные станции подкачки. Все это покрывает

среднесуточное потребление воды в городе Перми на уровне 370 000 кубометров в сутки. Предприятие является крупным потребителем электроэнергии, поскольку перекачка такого объема воды ежедневно требует огромных затрат энергии, потому как в среднем данный объем воды требуется поднимать на высоту до 50 метров. Достаточно просто посчитать совершаемую ежедневно работу насосами. Нетрудно догадаться, что экономия даже 10 % потребляемой энергии способна в годовом приближении сберечь значительные средства. Для этого на предприятии создаются модели водоснабжения и водоотведения, способные дать прогноз на будущее, ведь если удастся определить, какое количество воды необходимо для потребителя завтра, можно заранее предсказать, насколько нужно заполнять очистные сооружения, ведь каждый перекачанный насосом лишний кубометр – это рубль из кармана простого потребителя. Помимо экономии есть возможность составления календарного плана ремонтов, а также автоматического регулирования режимов функционирования насосных станций по известным заранее моделям потребления.

Совместно со Зверевым Николаем Владимировичем – инженером по гидравлическим расчетам компании ООО «Новогор-Прикамье» был начат проект, конечной целью которого является снижение затрат предприятия на электроэнергию. Второстепенной целью проекта является возможность предсказания аварийных ситуаций на участках трубопровода. В качестве исходных данных из системы телеметрии были получены результаты замеров потребления на участке трубопровода района «Кислотные дачи» в интервале за 4 года, начиная с 2006 г. Данные являются мгновенным значением потребления воды с интервалом в полчаса. Меньший интервал было решено не использовать ввиду того, что процесс не является быстрым и построение графика потребления за день с таким интервалом полностью отражает картину потребления и не порождает избыточных данных. Первым этапом было решено исследовать общие зависимости потребления в зависимости от сезона, учитывались различия в днях недели, а также учитывался тот факт, что потребление изменяется с каждым годом на некоторую аддитивную величину. Таким образом, был произведен кластерный анализ, выявивший, что условно неделю можно разделить на 5 кластеров. Данный вывод был сделан после

отсева грубых ошибок и был сильно затруднен огромным количеством в совокупной выборке данных, снятых с помехами, а также во время перебоев в работе, ремонтных работ или аварий. Кластерный анализ выполнен на основе корреляционного анализа, выявившего зависимости между каждым из дней недели, и в случае, если графики совпадали на 99 %, делался вывод о том, что данные дни объединяются в один единый кластер. В случае совпадения лишь на 85 % делался вывод о том, что данные дни не могут попадать в один кластер. Наглядно данный вывод можно изобразить на графике рис.1.

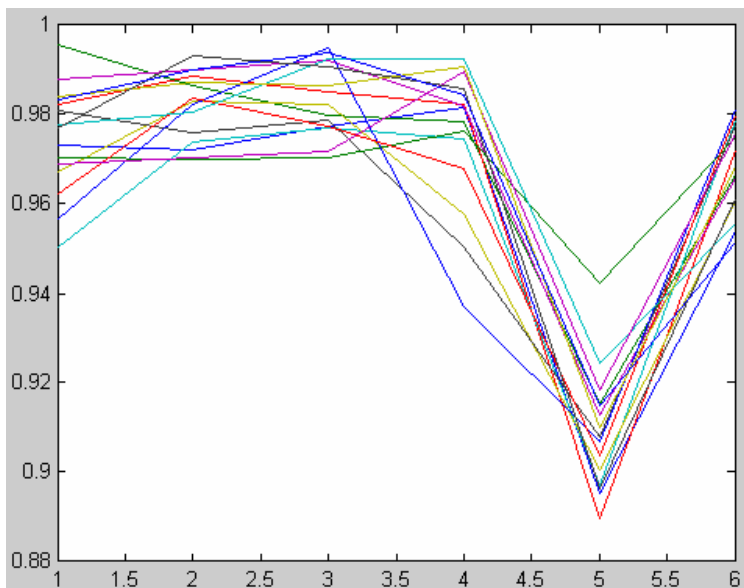


Рис.1. График коэффициентов корреляции

Данный график показывает зависимость дней недели относительно друг друга. По оси абсцисс целыми цифрами являются результаты корреляции между соседними днями недели. К примеру, цифра 1 показывает коэффициент корреляции между понедельником и вторником, а цифра 5 – силу связи между пятницей и субботой. Далее были сделаны уточнения по поводу возможности объединения в единые кластеры понедельника и пятницы, а также субботы и воскресенья, но в результате анализа выяснилось,

что потребление воды перед выходным днем и перед днем рабочим также имеет свои особенности. После кластеризации дней недели было решено кластеризовать год, потому как потребление в течение года также меняется из года в год, подчиняясь одинаковым законам. В результате анализа выявлено, что год также можно разбить на 7 кластеров, для каждого из которых характерен свой график потребления, отражающий потребности населения в воде в зависимости от сезона. Для примера приведем сравнение двух месяцев из разных кластеров (рис. 2).

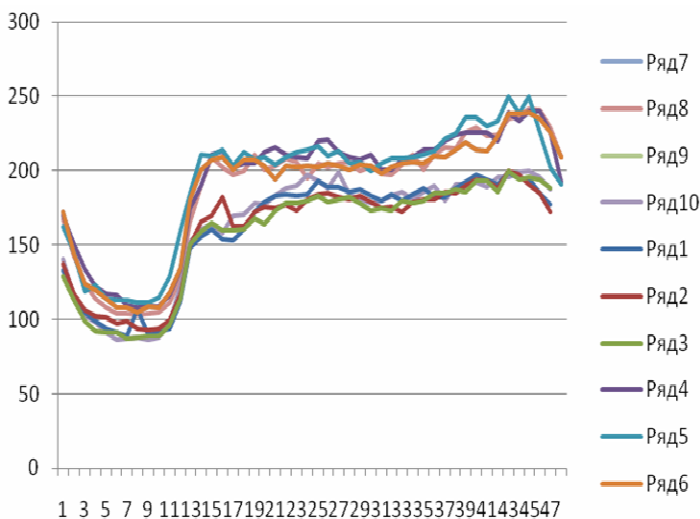


Рис. 2. Потребление за день в мае и июне 2007 года

Можно заметить, что в общем потребление подчиняется единому тренду, за исключением пиков в начале дня, пиков в конце дня, а также аддитивной составляющей, являющейся результатом, к примеру, сезонного отключения горячей воды.

На основе полученных данных уже может быть составлена модель потребления, но в данный момент она является лишь методикой, выверенной в итоге долгих проб и ошибок работы с этими данными. Методика необходима для того, чтобы обработать данные остальных микрорайонов для нахождения еще более глобальных зависимостей, и, возможно, модель будет усложняться, в нее будут добавлены новые факторы, что позволит модели

обладать мощными обобщающими свойствами. Также перед нами стоит задача снижения размерности модели, потому что работать с таким количеством входной информации при большом количестве входов очень тяжело. К примеру, в качестве одного из вариантов предложено использовать корреляционный анализ соседних дней недели для определения текущего дня недели, то есть по известным коэффициентам корреляции предшествующих дней можно определить, каким будет коэффициент корреляции текущего дня со следующим, следовательно, точно отнести день к определенному кластеру, следовательно, исключить один из входов модели. Сама модель будет построена на основе современных методик моделирования с использованием гибридных нейронных сетей, которые уже были опробованы для моделирования и дали неплохие результаты (рис. 3).

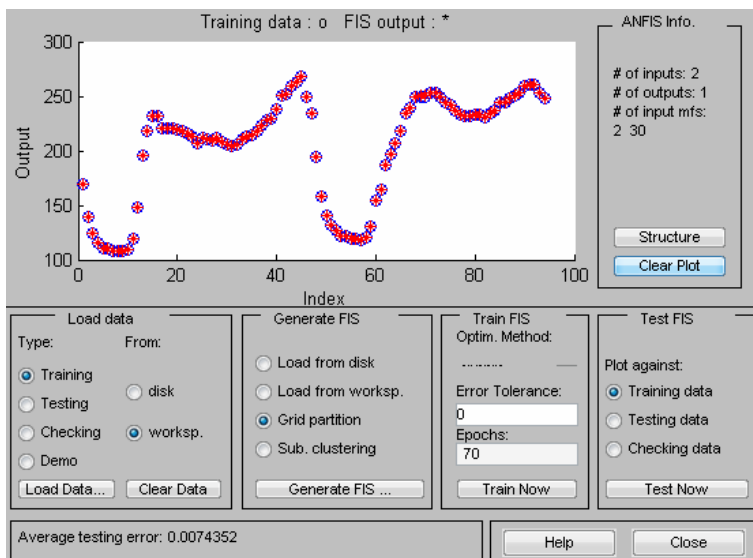


Рис. 3. Моделирование с помощью гибридной нейронной сети

Прогноз потребления воды позволит обеспечить планирование ремонтных работ, а также спрогнозировать, какое количество энергии будет потреблено за год работы, за месяц, за день. Определить, насколько необходимо будет заполнить емкости для удовлетворения потребностей населения, следовательно, опреде-



лить загрузку агрегатов насосных станций, что в конечном итоге приведет к экономии средств на оплату электроэнергии и продлению сроков службы электрооборудования.

### **Библиографический список**

1. Терехов С.А.. Лаборатория искусственных нейронных сетей / ВНИИТФ. – Снежинск, 2009.
2. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. – М., 2002.
3. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети БИНОМ. – М., 2006.
4. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ / пер. Ю.П. Адлера. – М.: Финансы и статистика, 1987.

## **ОБЗОР ЗАДАЧ, РЕШАЕМЫХ СИСТЕМАМИ НАПУСКА МАССЫ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Студент гр. АТПП-05м А.П. Честиков,  
старший преподаватель Д.А. Даденков**  
Пермский государственный технический университет

Среди из основных характеристик бумагоделательных машин (БДМ), влияющих на процесс напуска массы, – ширина вырабатываемого бумажного полотна и скорость сетки БДМ. И если раньше, когда скорости были невелики, а вырабатываемое бумажное полотно сравнительно узко, процесс подвода бумажной массы к сеточному столу и выпуска массы на сетку однородным потоком не представлял особой сложности, то теперь, при скорости БДМ, достигающей 1000 м/мин, и ширине 7–8 м этот процесс представляет весьма сложную проблему. Можно утверждать, что достижение современных скоростей БДМ стало возможным только благодаря непрерывному совершенствованию напусковых устройств [1].

Основные задачи устройств для выпуска бумажной массы на сетку заключаются в том, чтобы расширить поток разбавленной бумажной массы, подводимой к БДМ, до рабочей ширины машины, сделать его однородным по концентрации, устранить турбулентное

движение, завихрения в потоке и флокуляцию волокон и выпустить массу на движущуюся сетку со скоростью, близкой к скорости ее движения, придав выходящей на сетку массе оптимальный угол встречи с сеткой и обеспечив равномерность скоростей во всех точках потока по ширине машины и отсутствие поперечных струй в этом потоке [1, 2, 3]. Движение массы в напускном устройстве не должно быть ламинарным, так как это вызывает осаждение волокон, движение должно быть близким к нижней границе турбулентного потока [2].

Кроме этого, напускное устройство (напорный ящик) должно обеспечивать регулирование толщины слоя массы, вытекающей на сетку, по всей ширине машины, а также регулирование ширины выпускной щели и, следовательно, напора, от которого зависит скорость истечения массы [1, 2].

Зависимость между скоростью истечения массы  $v_m$  (м/мин) и напором определяется по формуле

$$v_m = 60\mu\sqrt{2gh},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ ;  $h$  – высота напора массы перед выпускной щелью, м;  $\mu$  – коэффициент истечения, для напорных ящиков с выпускной губой 0,94–0,98 [2].

Напуск бумажной массы на сетку оказывает большое влияние на качество получаемого полотна бумаги (картона) и в целом на бесперебойную, высоконадежную работу машины [3].

Для достижения необходимого качества бумажного полотна скорость бумажной массы при напуске должна быть почти равной скорости движения сетки:

$$v_m = (0,9 - 1,1)v_c.$$

Если скорость массы значительно меньше скорости сетки, изготавливаемая бумага имеет ярко выраженную ориентацию волокон в машинном направлении, что приводит к анизотропии в прочностных свойствах бумаги: существенно более высокой прочности бумаги в ее машинном направлении по сравнению с прочностью в поперечном направлении. Превышение скорости массы над скоростью сетки ведет к наплывам массы на сетку с образованием на ней поперечных волн и к ухудшению равномерности просвета бумаги [4].

Равномерное распределение массы по ширине сетки выполняется путем местного воздействия на выпускную щель, то есть ее сужение или расширение в том месте, где волокнистая масса выходит в большем или соответственно меньшем количестве. При этом общее сечение всей выпускной щели практически не изменяется, как и общий вес  $1 \text{ м}^2$  всего бумажного полотна, так как ширина выпускной щели при неизменном потоке массы, поступающем на машину, обуславливает напор массы. А напор массы есть функция ширины сечения выпускной щели. Поэтому если увеличить ширину щели, то напор снизится и одновременно уменьшится скорость вытекания массы на сетку машины. При этом, несмотря на увеличение сечения выпускной щели, количество вытекающей массы останется неизменным.

В эксплуатации находятся три основных типа напорных ящиков (НЯ): открытого типа, закрытого типа (работающие под давлением или вакуумом) и гидродинамические НЯ [5].

НЯ открытого типа используются на БДМ небольшой производительности. Скорость истечения массы из щели у них, а следовательно, и общий расход массы, подаваемой на сетку, ограничены и определяются уровнем массы в напускной камере.

В НЯ закрытого типа, работающих под давлением, скорость истечения массы из щели определяется общим напором (суммарным давлением) и не зависит от размеров НЯ. По способу создания напора массы существуют:

а) НЯ, в которых напор массы при выходе на сетку создается только за счет гидродинамического напора, создаваемого насосом;

б) НЯ, в которых напор массы складывается из гидростатического напора массы и давления воздуха в воздушном пространстве над массой. НЯ такого типа являются наиболее распространенными.

При подаче массы насосом создается пульсация, что вызывает колебания давления в напорном ящике и затрудняет регулирование уровня массы, который должен поддерживаться постоянным. Для устранения этого недостатка в верхней части НЯ создают давление или разрежение специальным насосом, что позволяет регулировать уровень массы с точностью до 2 мм вод. ст. [2].

Гидродинамические НЯ отличаются от закрытых НЯ наличием элементов, создающих турбулизацию потока массы на участке от коллектора до выпускной щели. Ящики подобного рода отличаются значительно меньшими объемами массного и воздушного пространств, меньшей металлоемкостью и являются наиболее перспективными напускными устройствами для современных высокоскоростных бумагоделательных машин.

С точки зрения управления процессом напуска НЯ является главным элементом потому, что воздействия на полотно, которые могут быть осуществлены в сеточной и прессовой частях, весьма ограничены. Как основной элемент системы напуска НЯ выполняет двоякую роль.

Во-первых, он служит устройством, обеспечивающим процесс начальной стадии формования бумажного полотна. Основным требованием к нему на этой стадии является обеспечение равномерной подачи массы на сетку по всей ширине щели. Основное значение здесь имеют конструктивные особенности ящика, оказывающие существенное влияние на гидродинамические процессы, происходящие в нем, которые зачастую невозможно улучшить с помощью средств автоматизации.

Во-вторых, НЯ является элементом управления расходом массы на сетку, с которым связаны такие режимные и технологические показатели, как производительность БДМ и поверхностная плотность бумажного полотна. Основными режимными показателями процесса напуска являются объемный расход массы из НЯ и расход абсолютно сухого волокна, подаваемого на сетку, который зависит от концентрации массы в НЯ и объемного расхода массы из НЯ [5].

В связи с увеличивающимися требованиями к качеству выпускаемой продукции к системам автоматического управления (САУ) НЯ предъявляются следующие требования [6]:

- а) уровень массы в напускной камере НЯ должен поддерживаться с точностью до 20 мм вод. ст.;
- б) суммарный напор массы необходимо стабилизировать с точностью не ниже 1 %;
- в) расход массы, протекающей через напускную щель, должен регулироваться автоматически;

г) концентрация массы в НЯ должна регулироваться автоматически.

Напорные ящики открытого типа, как правило, не оснащаются САУ напуском массы.

Основная задача САУ напуском массы НЯ закрытого типа – стабилизация заданного суммарного давления (общего напора). Решение этой задачи обеспечивает стабилизацию скорости вытекания массы из выпускной щели при условии поддержания постоянства концентрации, степени помола и температуры массы. САУ напуском массы отличаются большим разнообразием схемных и конструктивных особенностей их построения, что объясняется, с одной стороны, конструктивным многообразием самих НЯ закрытого типа и, с другой, различными требованиями к режиму напуска в зависимости от вида выпускаемой продукции и производительности бумагоделательной машины [7].

САУ напуском массы НЯ закрытого типа включает две основные системы стабилизации: уровня массы и суммарного давления в напорном ящике. Существуют различные варианты построения этих систем в зависимости от выбранных схем подачи массы в НЯ и распределения воздуха.

В НЯ закрытого типа уровень массы регулируют изменением расхода ее в НЯ и давления воздушной подушки воздействием на расход воздуха.

Также регулирование уровня бумажной массы в НЯ осуществляется воздействием на расход воздуха, а расход массы в НЯ изменяют в зависимости от общего напора [8].

В НЯ закрытого типа также применяется пассивный способ управления напуском массы на сетку. Этот способ реализуется с помощью устройств самовыравнивания по уровню.

В простейшем случае такое устройство представляет собой трубопровод, присоединенный к отверстию в боковой стенке НЯ, причем центр отверстия находится на границе раздела сред (масса и воздуха). Выходящие из этого отверстия масса и воздух удаляются через гидрозатвор.

Принцип действия устройства самовыравнивания по уровню заключается в следующем. С увеличением, например, поступления массы уровень в НЯ начинает расти, уменьшая площадь живого

сечения верхней половины отверстия в боковой стенке и, соответственно, расход выходящего через него воздуха. Давление воздуха в НЯ при этом возрастает, заставляя понижаться уровень. Площадь живого сечения верхней половины отверстия увеличивается. Скорость изменения давления воздуха снижается до нуля, и давление принимает новое установившееся значение, высота уровня при этом стремится к своему первоначальному значению.

Принцип действия устройств самовыравнивания по уровню емкостного типа аналогичен рассмотренному. В этих устройствах отверстие располагается в трубе, установленной либо в вынесенном за пределы НЯ резервуаре, либо на верхней крышке НЯ.

С точки зрения автоматического управления рассмотренные устройства самовыравнивания представляют собой САУ прямого действия пропорционального типа, обладающие статизмом по регулируемому параметру. Практика показала, что их использование возможно лишь при скоростях бумаго- и картоноделательных машин до 500 м/мин. Выше этого предела скорости статизм отрицательно сказывается на параметрах напуска массы. Установка устройств самовыравнивания на НЯ, оснащенных САУ напуском массы активного типа, улучшает качество управления за счет уменьшения инерционности объекта [7].

Таким образом, в работе рассмотрены задачи, решаемые напорными устройствами и их САУ, выделены основные:

- равномерное распределение массы по ширине сетки;
- выпуск массы на сетку со скоростью, близкой к скорости сетки;
- стабилизация суммарного напора массы с точностью не ниже 1 %;
- поддержание уровня массы с точностью до 20 мм вод.ст.

### **Библиографический список**

1. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. Т. 2 / В.А. Чичаев, М.Л. Глезин, В.А. Екимова [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.

2. Когдрашкова Г.А., Леонтьев В.Н., Шапоров О.М. Автоматизация технологических процессов производства бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 328 с.

3. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 456 с.
4. Буйлов Г.П., Доронин В.А., Серебрянков Н.П. Автоматическое управление технологическими процессами целлюлозно-бумажного производства: учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1989. – 262 с.
5. Иванов С.Н. Технология бумаги. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.
6. Кугушев И.Д. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 588 с.
7. Фляте Д.М. Технология бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 440 с.
8. Справочник по автоматизации целлюлозно-бумажных предприятий / Э.В. Цешковский, Н.С. Пиргач, Г.Д. Еракин [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 368 с.

## **ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ГРУЗА ПО ПЛАТФОРМЕ ВИБРОУСТАНОВКИ**

**Аспирант Г.В. Нацин**

Научный руководитель – д-р техн. наук,  
профессор *В.М. Шестаков*  
Санкт-Петербургский институт машиностроения

Рассмотрим кинематическую схему двухроторной вибрационной установки с грузом, движущимся по наклонной платформе (рис.1). На рисунке введены обозначения:  $\Gamma$  – груз;  $\Pi$  – платформа;  $m_{\Gamma}$  – масса груза;  $V_{\Gamma}$  – линейная скорость перемещения груза;  $a_{\Gamma}$  – линейное ускорение груза;  $S_{\Gamma}$  – перемещение груза;  $\alpha_{\Pi}$  – угол наклона платформы;  $F_{\Gamma}$  – сила тяжести груза;  $F_{B1}$  – боковое усилие от силы  $F_{\Gamma}$ ;  $F_y$  – вынуждающая сила дебалансных роторов на ось  $Y$ ,  $F_y = F_{1y} + F_{2y}$ ;  $F_B$  – реакция опоры, действующая на груз со стороны платформы;  $F_{B2}$  – боковое усилие

от силы  $F_B$ ;  $F_H$  – сила нормального давления груза;  $F_{TP}$  – сила трения;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $\mu$  – коэффициент трения, который для большинства пар материалов находится в диапазоне 0,1–0,5 [1].

$$F_{TP} = \mu F_H = \mu F_T \cos \alpha_{\Pi},$$

где  $F_T = m_{\Gamma} g$ .

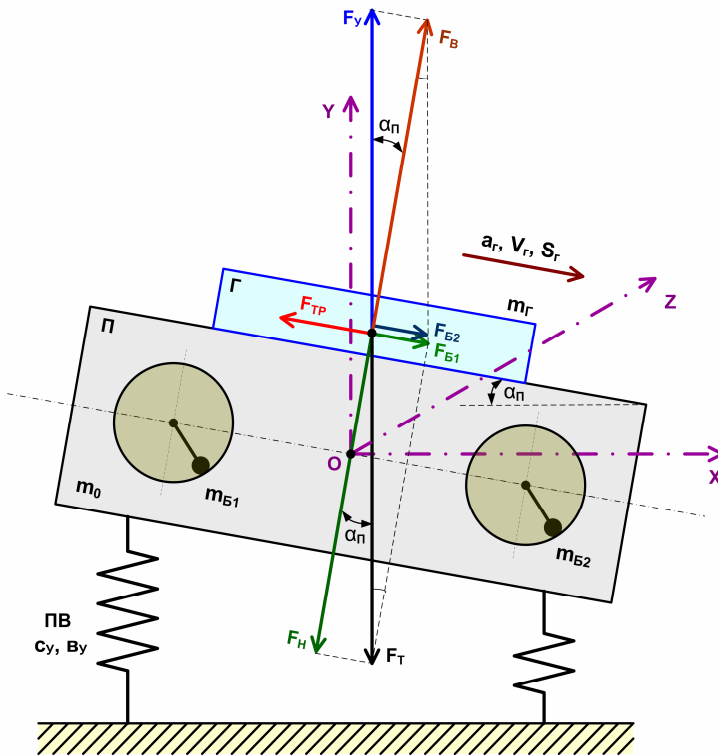


Рис. 1. Расчётная кинематическая схема двухроторной вибраторной установки с учетом перемещения груза по платформе

Суммарное боковое усилие на груз:

$$F_{B\Sigma} = F_{B1} + F_{B2},$$

где  $F_{B1} = F_T \sin \alpha_{\Pi}$ ,  $F_{B2} = F_y \sin \alpha_{\Pi}$  – боковые усилия на груз.



Динамическая сила, определяющая перемещение груза по платформе:

$$F_{\text{дин}} = F_{\text{бс}} - F_{\text{тр}} = m_{\Gamma} a_{\Gamma}.$$

Поскольку

$$F_{\text{бс}} = (F_{\text{т}} + F_{\text{y}}) \sin \alpha_{\text{п}},$$

то

$$F_{\text{дин}} = (F_{\text{т}} + F_{\text{y}}) \sin \alpha_{\text{п}} - \mu F_{\text{т}} \cos \alpha_{\text{п}}.$$

Отсюда можно получить уравнения ускорения  $a_{\Gamma}$ , скорости  $V_{\Gamma}$  и пути  $S_{\Gamma}$  груза на платформе:

$$a_{\Gamma} = \frac{\sin \alpha_{\text{п}} (F_{\text{т}} + F_{\text{y}}) - \mu F_{\text{т}} \cos \alpha_{\text{п}}}{m_{\Gamma}}, \quad (1)$$

$$V_{\Gamma} = \frac{a_{\Gamma}}{p}, \quad (2)$$

$$S_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{p}. \quad (3)$$

Следует учесть, что  $m_{0\Sigma}$  – суммарная масса платформы с дебалансными роторами и грузом,  $m_{0\Sigma} = m_{\text{п}} + 2m_6 + m_{\Gamma}$ ;  $J_0$  – общий момент инерции П относительно оси Z,  $J_0 = J_{\text{пз}} + 2m_6 r^2$ .

На основании (1)–(3) можно построить структуру модели, показанную на рис. 2.

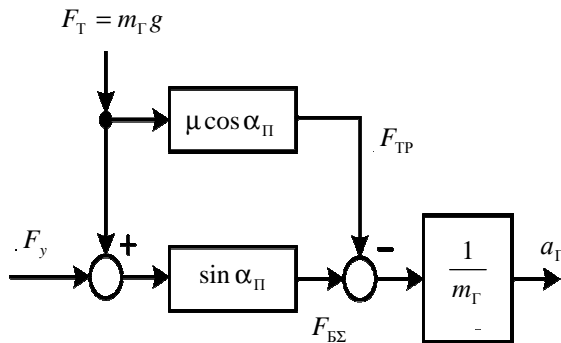


Рис. 2. Динамическая структурная схема (ДСС) для определения перемещения груза по платформе

В данной модели (см. рис. 2) возможен случай, когда  $a_{\Gamma} < 0$  при  $F_{\text{ТР}} > F_{\text{БЭ}}$ , т.е. реально груз не перемещается по платформе, поэтому отрицательны значения  $a_{\Gamma}$  следует исключить из рассмотрения.

На основании имитационной модели двухроторной виброустановки [2] и ДСС (см. рис. 2) в пакете MatLab Simulink можно создать соответствующую модель электромеханической системы (ЭМС) с учетом перемещения груза по платформе. Данная модель представлена на рис. 3. При этом учет динамики груза производится в подсистеме «gruz» модели. При исследовании ЭМС дебалансные роторы выводятся на околорезонансную скорость  $\omega_{\text{д}} = 30 \text{ с}^{-1}$  при их синфазном вращении.

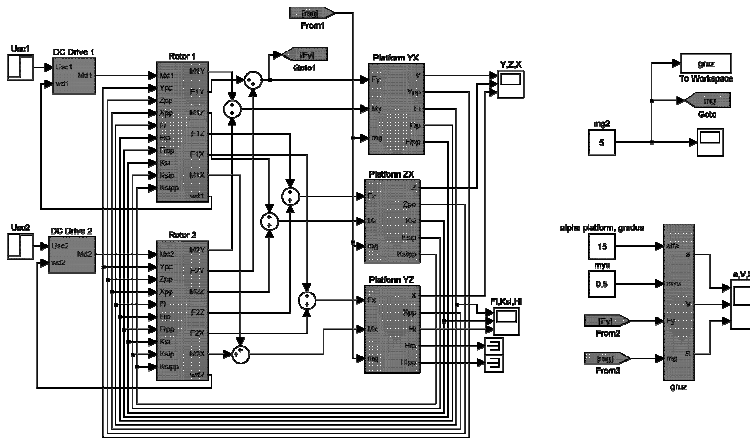
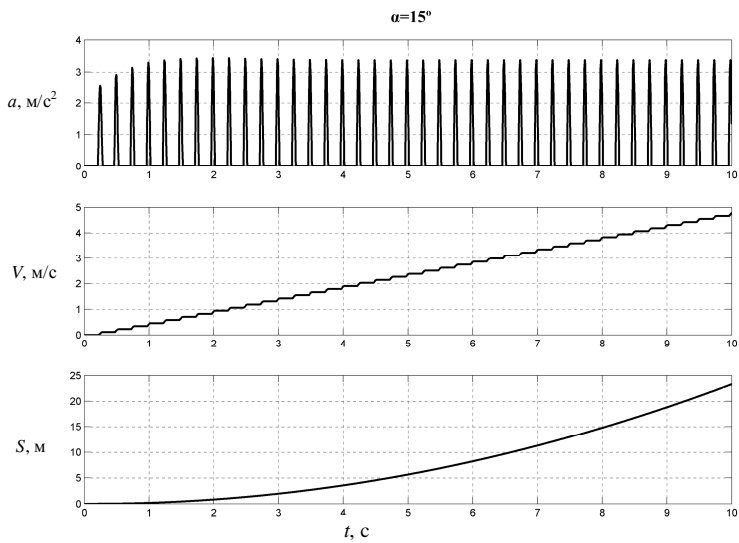
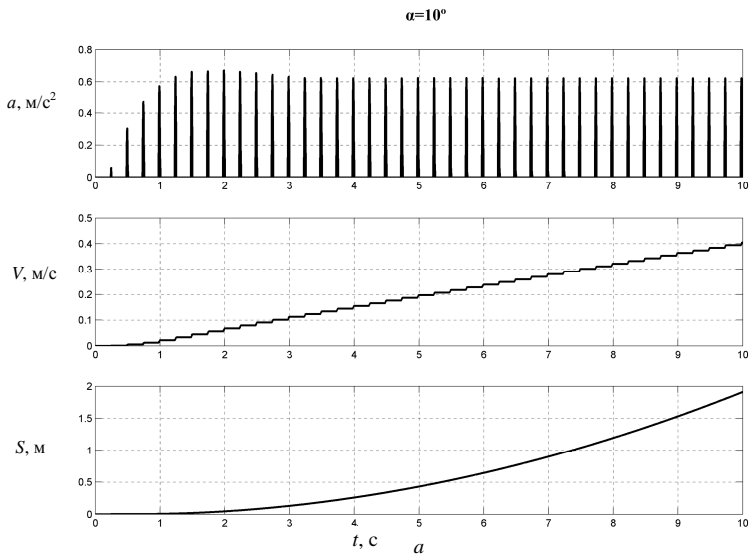


Рис. 3. Имитационная модель ЭМС двухроторной вибрационной установки с учетом перемещения груза по платформе

На рис. 4 представлены графики  $a_{\Gamma}$ ,  $V_{\Gamma}$  и  $S_{\Gamma}$  груза массой 5 кг с углами наклона платформы  $\alpha = 10$  и  $15^\circ$  с коэффициентом  $\mu = 0,5$ .

На рис. 5 представлены номограммы зависимостей  $a_{\Gamma}$ ,  $V_{\Gamma}$  и  $S_{\Gamma}$  груза массой 5 кг от коэффициента  $\mu$  при времени моделирования 10 с. Из графиков видно, что с увеличением угла наклона платформы, при том же значении  $\mu$ , достигаются большие величины ускорений, скоростей, и, как следствие, грузом проходит больший путь.



*б*

Рис. 4. Графики ускорения, скорости и пройденного грузом пути по наклонной платформе

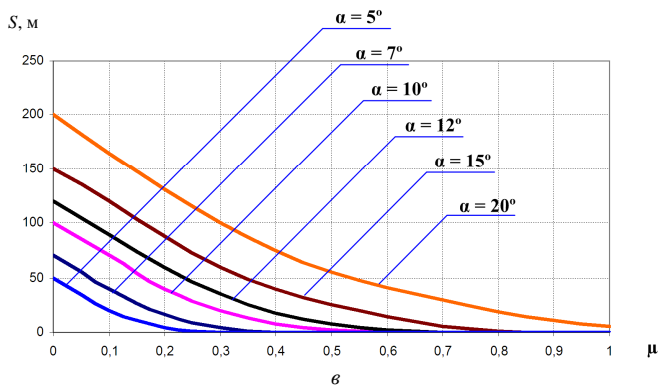
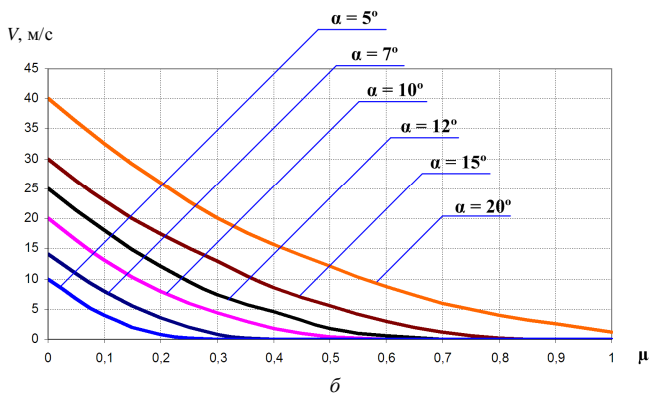
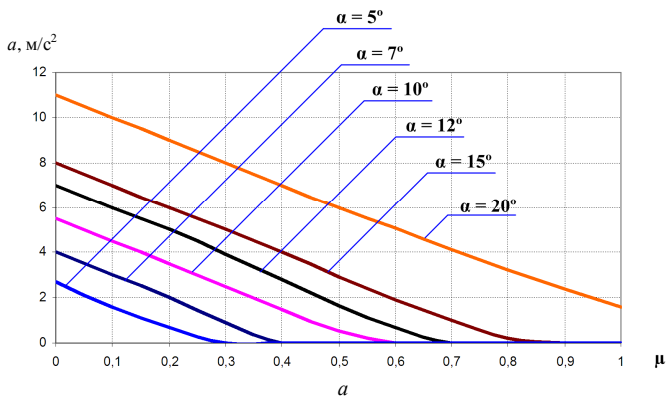


Рис. 5. Зависимости ускорения ( $a$ ), скорости ( $\bar{v}$ ) и пройденного грузом пути ( $S$ ) от коэффициента  $\mu$  ( $m_T = \text{const}$ )

На рис. 6 представлены номограммы  $a_{\Gamma}$ ,  $V_{\Gamma}$  и  $S_{\Gamma}$  при постоянном  $\mu = 0,5$  в зависимости от массы груза. Из графиков видно, что при увеличении  $m_{\Gamma}$  значения ускорения, скорости и пути груза уменьшаются, что связано с увеличением силы трения и снижением амплитуды колебаний платформы.

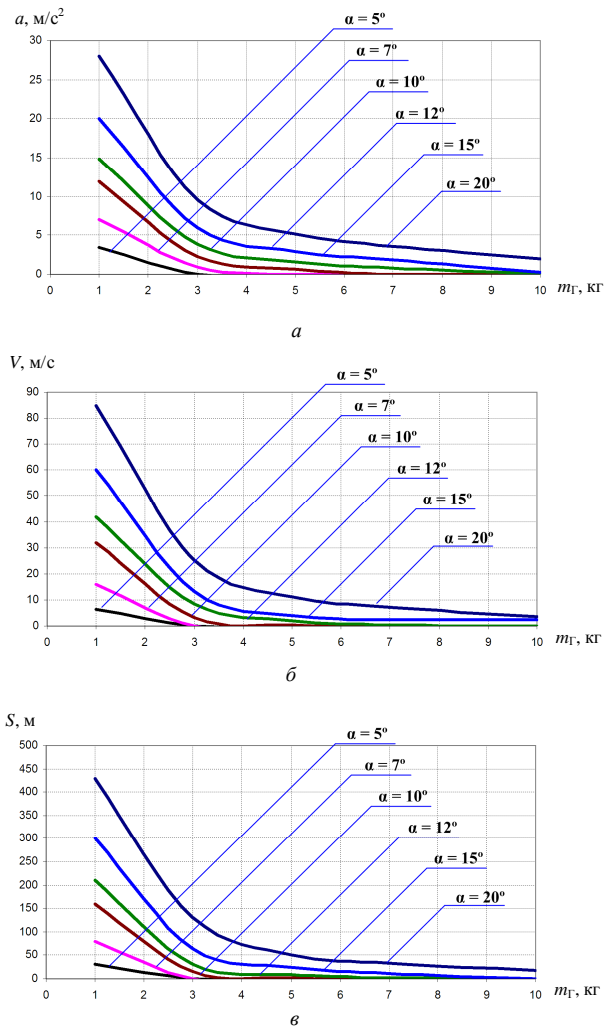


Рис. 6. Зависимости ускорения ( $a$ ), скорости ( $\bar{v}$ ) и пройденного грузом пути ( $\bar{s}$ ) от массы груза  $m_{\Gamma}$  ( $\mu = \text{const}$ )

### **Библиографический список**

1. Физические величины: справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский [и др.]; под. ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
2. Шестаков В.М., Алексеев Д.В., Епишкин А.Е. Построение и оптимизация взаимосвязанных электромеханических систем двухроторных вибрационных установок // *Электричество*. – 2002. – № 10. – С. 65.

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН**

**Студент гр. АТПП-05м А.А. Пестерев**

Научный руководитель – д-р техн. наук,

профессор *С.В. Бочкарев*

Пермский государственный технический университет

За два последних десятилетия применение оптических волокон (ОВ) привело к революционным изменениям в отрасли связи. ОВ широко применяются не только в волоконно-оптических системах передачи информации (ВОСПИ), но и в различных волоконно-оптических датчиках (ВОД) физических величин и в волоконно-оптических устройствах (ВОУ), которые активно используются как в морской навигации, так и в авиационных системах [1]. Специфика этого применения требует создания ОВ высокого качества. Отсюда возникают высокие требования к процессу производства оптических волокон от стадии изготовления заготовки до стадии получения готового световода на вытяжной башне.

Высокие требования производства требуют создания сложных систем управления, качественно управляющих параметрами технологического процессом. Одним из таких параметров является диаметр оптического волокна, который требует строгой стабилизации на протяжении всего процесса вытяжки.

**Описание технологического процесса.** Принцип вытяжки волокна достаточно прост: конец заготовки нагревают в печи до температуры размягчения кварцевого стекла, при которой из него вытягивается тонкая нить. Охлаждаясь на воздухе, такая кварцевая

нить быстро стеклется и перестает удлиняться, что обеспечивает возможность получения волокон с постоянным по длине диаметром. Соотношение между диаметром волокна и скоростью его вытяжки из заготовки определяется из следующего уравнения, которое представляет собой уравнение баланса масс кварцевого стекла в заготовке и в виде волокна:

$$D_{\text{заг}}^2 \cdot V_{\text{заг}} = d_{\text{вол}}^2 \cdot V_{\text{вол}}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{заг}}$  и  $d_{\text{вол}}$  – диаметры заготовки и волокна соответственно,  $V_{\text{заг}}$  и  $V_{\text{вол}}$  скорости подачи заготовки в печь и вытяжки волокна соответственно.

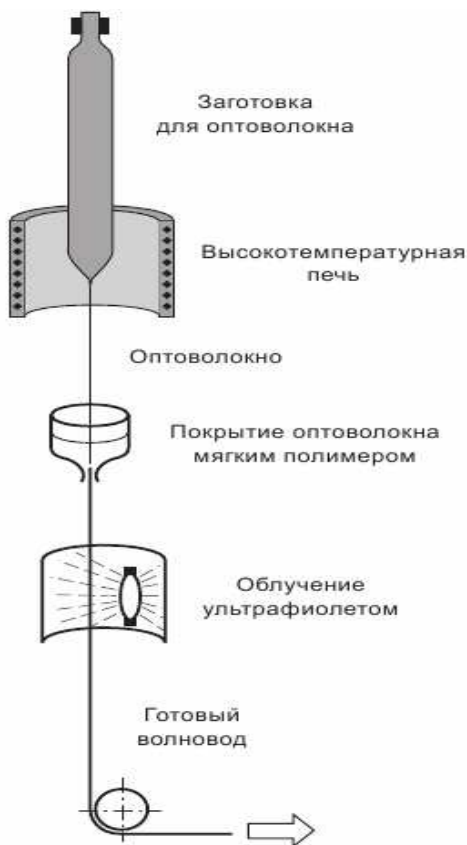


Рис. 1. Схема вытяжной установки

Схема вытяжной установки, приведенная на рис. 1, включает в себя:

- механизм подачи заготовки в печь с заданной скоростью,
- высокотемпературную графитовую или циркониевую печь,
- фильеру для материала первичного покрытия,
- источник УФ или термопечь,
- кабестан, определяющий скорость вытяжки волокна.

Вытягиваемое «голое» кварцевое волокно из-за абразивного воздействия пыли и элементов вытяжной установки, а также под действием влаги окружающей среды очень быстро разрушается. Поэтому в процессе вытяжки на волокно одновременно наносят защитно-упрочняющее покрытие (ЗУП). Для нанесения ЗУП используются фильеры, работающие под избыточным давлением. После нанесения жидкого полимера на ОВ идет процесс полимеризации под действием УФ-излучения в УФ-печи.

Скорость вытяжки волокна зависит главным образом от скорости полимеризации ЗУП и длины УФ-облучателей, которые, в свою очередь, определяются высотой вытяжной установки.

Кабестан регулирует скорость вытяжки по измеренной величине наружного диаметра ОВ, тем самым осуществляется стабилизация диаметра волокна.

Мы предлагаем автоматизировать процесс стабилизации диаметра ОВ на участке после высокотемпературной печи и до кабестана. В рамках данной работы мы не учитываем температурные режимы, а также процессы преобразования вещества и энергии внутри печи.

Для начала определим структуру модели, на основании которой будем синтезировать регулятор диаметра ОВ.

Структура модели (рис. 2) включает в себя:

- блок задания диаметра ОВ, данный блок определяет требуемую величину диаметра ОВ;
- блок возмущения, в данном блоке учтено влияние изменения скорости вытяжки, скорости полимеризации ЗУП, а также длины УФ-облучателей на диаметре ОВ;
- регулятор, устройство управляемое сигналом рассогласования между заданным и текущим значениями диаметра ОВ;
- привод намотчика;



- УФ-печь;
- датчик диаметра волокна в обратной связи замкнутого контура;
- коэффициент канала.

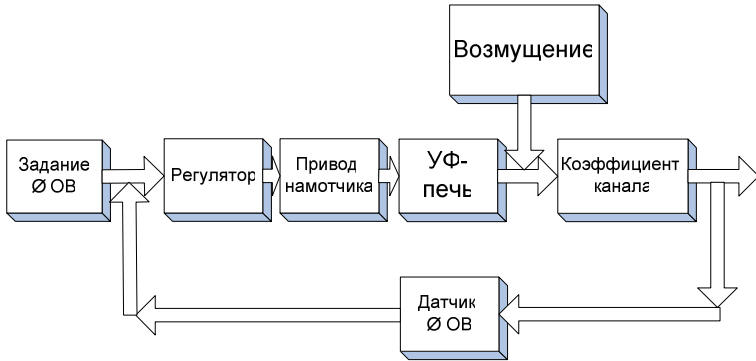


Рис. 2. Структура модели

Далее мы определим структуру и параметры элементов модели. Привод намотчика и УФ-печь опишем аperiodическими звеньями первого порядка, с достаточно малыми постоянными времени. Коэффициент канала – коэффициент пропорциональности, учитывающий преобразование угловой скорости в линейную, а также связь скорости оптического волокна с его диаметром (1). Датчик диаметра оптического волокна – коэффициент, связывающий амплитуду выходного сигнала датчика с номинальным диаметром волокна.

Определив структуру и параметры элементов модели, мы приступаем к синтезированию регулятора диаметра волокна. Для решения данной задачи воспользуемся типовой методикой настройки контура на аperiodический оптимум.

В процессе синтеза мы получили ПИ-регулятор, а значит, в данной системе будет отсутствовать перерегулирование, т.е. выходная координата (диаметр оптического волокна) будет плавно выходить к уставке при наличии возмущающего воздействия.

**Моделирование системы.** После расчета регулятора приступим к моделированию полученной системы. Моделирование будем производить в пакете Simulink (MatLab 7.0.1).

Стоит отметить, что возмущение не может быть подано мгновенно в систему, оно носит инерционный характер, поэтому в канале возмущения стоит поставить аperiodическое звено первого порядка, учитывающее его характер.

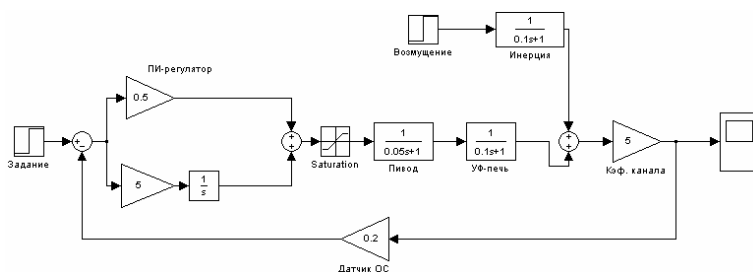


Рис. 3. Модель в Simulink

С учетом всего вышесказанного мы получили следующую модель (рис. 3). График переходного процесса стабилизации диаметра ОВ при наличии возмущающего воздействия представлен на рис. 4.

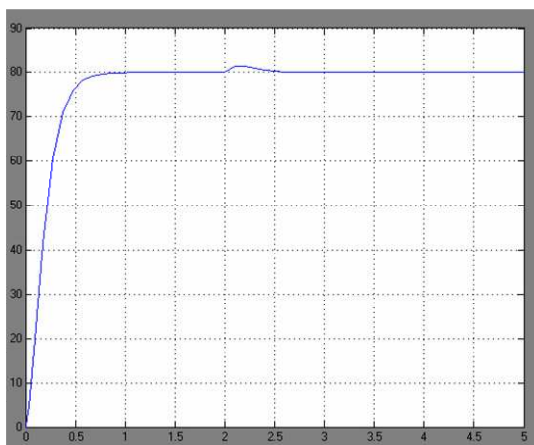


Рис. 4. График стабилизации диаметра ОВ

В данной работе мы рассматриваем установившийся процесс, когда координата диаметра ОВ уже вышла к заданному значению (80 мкм). На практике время выхода данной координаты к уставке значительно выше, чем представлено на рис. 4.

Подавая возмущающее воздействие, система почувствует отклонение текущего значения от заданного, при этом на входе регулятора будет сформирован сигнал рассогласования, согласно которому регулятор будет обрабатывать возмущение и выведет систему к уставке [2].

Таким образом, мы получили систему стабилизации диаметра оптического волокна, которая в автоматическом режиме будет поддерживать заданное значение диаметра.

Данная система значительно упростит работу оператора башни вытяжки оптического волокна, ведь до этого оператору нужно было в ручном режиме корректировать диаметр волокна, изменяя скорость в блоке задания скорости (рис. 5).

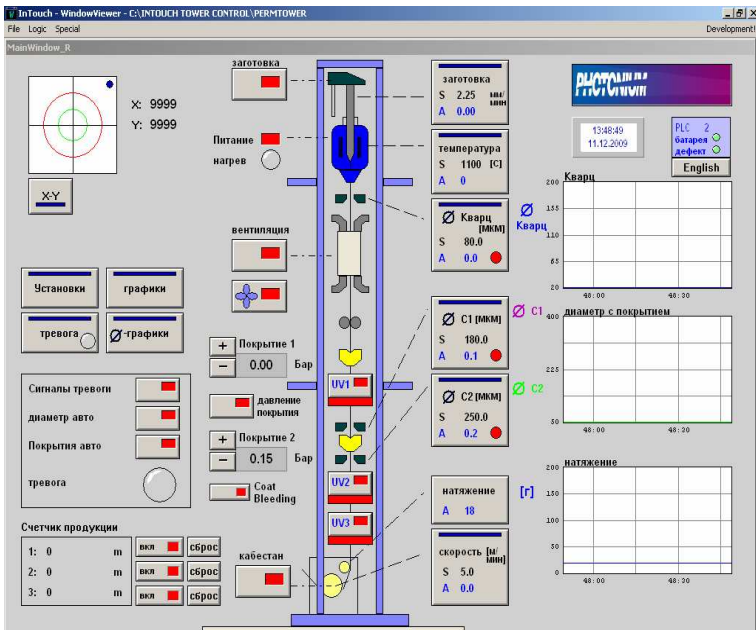


Рис. 5. InTouch SCADA-system

**Выводы.** Высокие требования, предъявляемые к производству оптического волокна, определяют создание высококачественных систем управления. В процессе работы мы получили одну из таких систем, позволяющих стабилизировать в автоматическом режиме один из параметров, а именно диаметр оптического

волокна. Данная система повысит качество управления за счет более быстрой и точной реакции системы на возмущение, а также исключит влияние человеческого фактора. Стоит отметить, что система автоматической стабилизации диаметра – это одна из частей сложной системы управления башни вытяжки, поэтому, разобравшись в данной системе, можно переходить к анализу и синтезу других контуров регулирования башни.

### **Библиографический список**

1. Физико-технологические основы волоконно-оптической техники: учебное пособие / В.Д. Бурков, Г.А. Иванов. – М.: Изд-во Москов. гос. ун-та леса, 2007. – 222 с.

2. Бесекарев В.А. Попов Е.П. Теория систем автоматического управления: учебное пособие. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

## **AUTOMATED NETWORK AIRCRAFT DIAGNOSTIC CENTER**

**Student AUC-05 E.A. Zhilina**

Scientific adviser – Doctor of Tech Sci.

Associate Prof. *S.V. Bochkarev*

Perm state technical university

Diagnostic center is designed to ensure safe and efficient operation of the aircraft engine. While using DC you can provide:

- Remote diagnostic services;
- Current maintenance and technical documentation;
- Day-and-night expert supporting;
- Recording and planning engines MR.

Automated network diagnostic Center follows the next scheme of interaction with customers shown in Fig. 1:

The project involves development and introduction of a ground network automated complex for processing and analysis of aircraft engines flight data; it should provide current their current state assessment and the record of their maintenance data.

Functions: Safe and efficient operation of an engine; providing remote diagnostic services; day-and-night support; recording and planning of engines maintenance and repair.

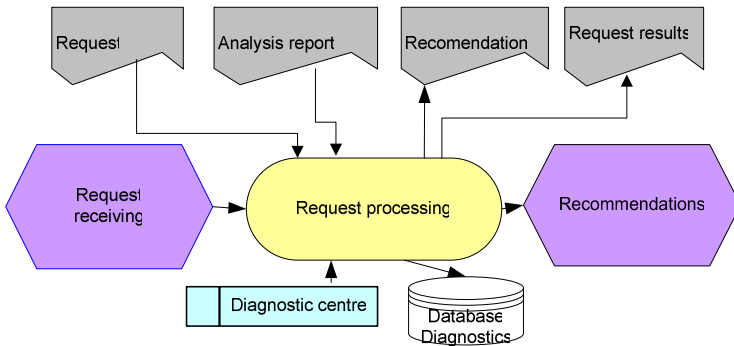


Fig. 1. Automated network diagnostic Center

Aims: to provide continuous and safe operation of aircraft engines; guarantying engines reliability and flight safety; to get a single information system accessible to all interested customers.

Methodology is presented in Fig. 2.

Aircraft and engines data are directed to the server diagnostic centre, where the information processed by experts. The data can be transmitted via GSM, satellite or terrestrial systems.

The information processing is automated by using data mining techniques.

Request are sent to experts in the case of deviations from normal system parameters. Recommendation for further exploitation are made in the result of the data processing.

Thus, airlines and other engine's operators no longer have no create their technical monitoring centers.

A complete description of the technologies can be seen in the diagrams presented in applications 1–3. To introduce this system it is necessary to have:

- Data base «archive»;
- The project documentation management system TSE ("Team Center engineering);
- DBMS Oracle--corporate standard for data storage;
- Sensors installed on engines.

## Perspective engine diagnostics

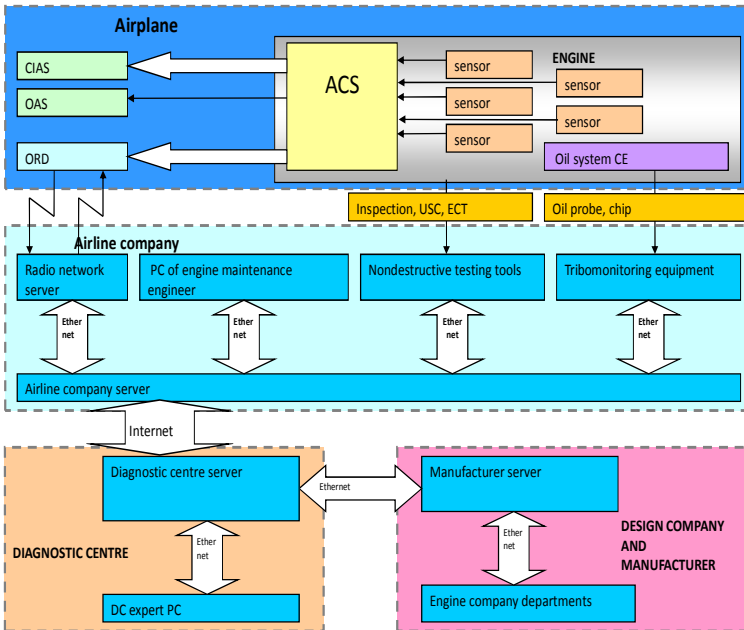


Fig. 2. Methodology of engine diagnostic

The prospects of the project development are:

- providing information aircraft maintenance and diagnostics of fourth-generation engines;
- providing maintenance data of aircrafts and their completely units;
- ASDC System can be used in the operation of industrial gas turbine installations;
- MR information systems for foreign and joint-produced engines used in Russia can be created on the base of ANDC.

**Results.** DC product is complex services for information and diagnostic support during engine exploitation.

One hour cost is determined, for example, in the amount of X Ruble, which is 6 % of the total cost of MR for each engine life cycle without the cost of fuel. A management plan for this project was developed on the base recommendations of the PMBOK. [4] Effectiveness indexes are shown in table.

## Effectiveness

Index	Value
Payback, month	63
Average rate of return ARR, %	327
Net present value NPV, rouble	More than 200 mln. roubles
Internal rate of return IRR, %	84

NPV sensitivity analysis shows that the biggest vulnerability of the project concerns sale prices, sale volumes and direct costs. The reduction of sales prices only by 50 % and more results in  $NPV < 0$ .

**Conclusions.** ANDC project will mark a new qualitative level of aircraft equipment MR. When realized the project great possibilities appear in the field of fourth-generation engines MR as well as a broad range of aviation items, such as aircraft and completing units (avionics, etc.). This system can be used in the operation of industrial gas turbine installations [3]. MR information systems for foreign and joint-produced engines used in Russia can be created on the base of ANDC.

## References

1. Engines World 2001. Yearbook Jane's AERO-ENGINES. Edited by Bill Gunston OBE, FRAeS.
2. Specification № 2005-392. Ground-based automated Diagnostic system.
3. GE Posts Early Profit on Remote Monitoring Program //Aviation Week. – Overhaul & Maintenance, 2002.
4. Project Management Body of Knowledge (PMBOK).

## OPTICAL FIBER PRODUCTION BY MCVD- METHOD AT PERM INSTRUMENT-MAKING PLANT

**Student ATPP-05 M.E. Alimbaev**

Scientific adviser – Doctor of Tech. Sci.

Associate Prof. *S.V. Bochkarev*

Perm state technical university

Fiber optical gyroscopes (Fig. 1) produced by the plant are used by many russian aircraft manufactures. One of the products of the enterprise are fiber-optic gyroscopes based on optical fiber [1].

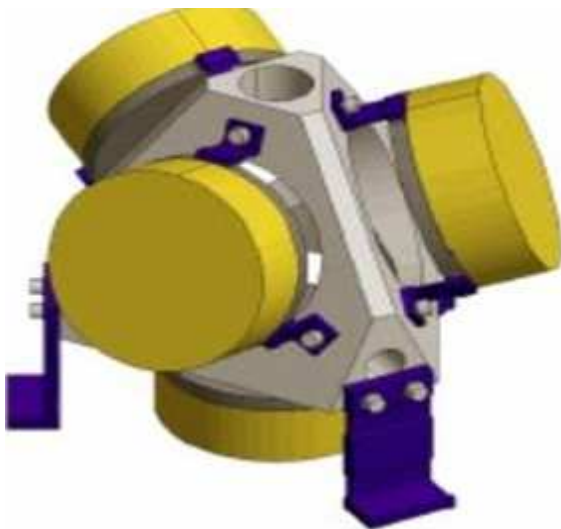


Fig. 1. Fiber-optical gyroscope

**MCVD - modified chemical vapor deposition, VAD - vapor axial deposition are used in the manufacture of performs for optic light guides.**

MCVD process was chosen for the study because it is only used for the production of special-purpose optical fibers. VAD-technology is primarily used for the production of a coherent fiber and is very difficult to be technically realized.

Nevertheless, cost reduction and quality improvement are the main advantages of MCVD.



New modern technical solutions are required to achieve:

- quality improvement of optical fibers;
- removal of human factors.

In 1973 Bell-Lab developed a technology, called MCVD. This process is characterized by usage of high purity quartzglass which is a good environment of light energy spread.

Company Heraeus Quarzglas is a world leader in the manufacture of substrate tubes for fiber optics (Fig. 2). Currently, all the substrate tubes are made of synthetic quartz F300 and F500 with a record low level of chemical impurities and inclusions (Fig. 3). Fluosil is used for special application fibers.

Heraeus

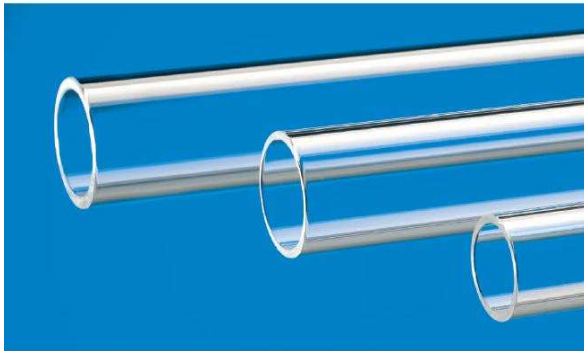


Fig. 2. High purity substrate tubes HeraeLux

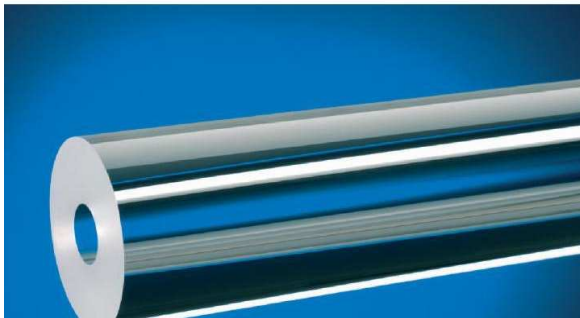


Fig. 3. Jacket tubes F300 Suprasil

Substrate tubes used in MCVD technology, should have a particular good structure in terms of bending, ellipticity and thickness variation. Tubes are cleaned, acid pickled prior to the process of layer chemical deposition.

Special heat lathe is used for the production of preforms within which substrate tube grows and rotates (Fig. 4). Bearing quartz tubes are fixed by special cartridges which rotate with preset rate.

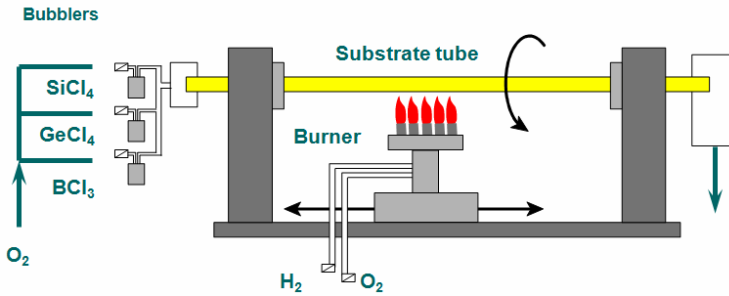


Fig. 4. MCVD-Process

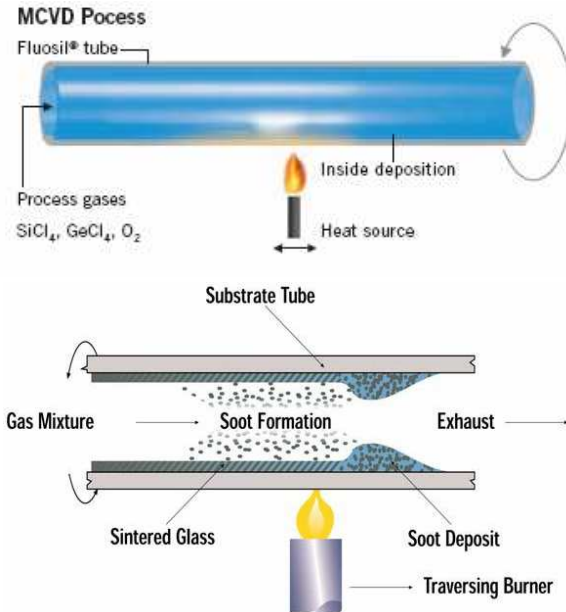


Fig. 5. Layer deposition

Rotation is necessary to limit quartz softening in the result of the temperature rising. The effects of gravity should be prevented by rotation, because they can cause distortion of the tube. Also the lathe must be mechanically stable.

To deposit layers on the inner surface of the tube oxygen-hydrogen burner is moved at a given rate. Layer deposition is carried by thermoforesis (Fig. 5).

Numerous passages through the hot zone (10–15 times) are necessary for the production of membranes (temperature of about 1800°C, speed 100 mm/min). Core deposition is usually done for two passes of the burner. The total number of burner passages can vary from 50 to 100. The number of layers is determined by the chemical composition of the core agents.

After deposition of layers of a light-reflecting shell and a core the temperature of the tube increases (up to ~ 2000°C) and the forces of surface tension shrinks tube to a smaller diameter (Fig. 6). When the inner diameter is small (typically 2–5 mm), tube collapses into a rod-billet when the burner moving slowly from the end to the top. It is called *collapse*. Resulting deposited layers form a reflective shell and a core [2].

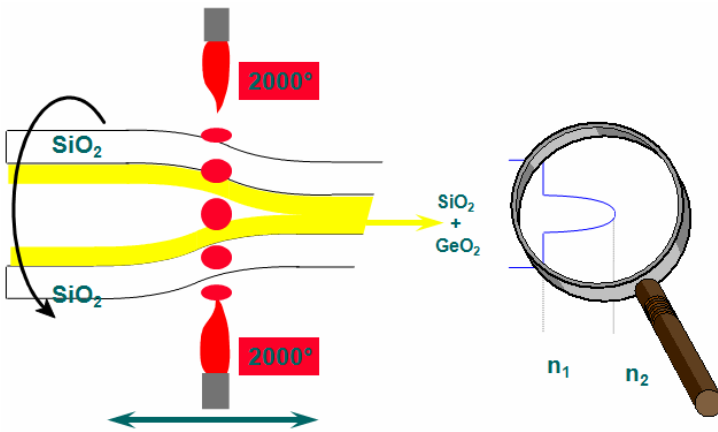


Fig. 6. Collapse

The temperature control of the substrate tube is required at all stages of the process. Infrared longwaved optical pyrometers are used here. The pyrometer is rigidly fixed on lathe and measures the temperature of tubes in the zone of the burner.

These operations define the quality of the preform and final product-fiber.

Problem areas of MCVD-method are following:

1. Heterogeneity of preform length.
2. Ellipticity of the perform.
3. Sharp decreasing in graded index profile of the perform.
4. Out of date pyrometers.
5. Pipe sealings, connections and pipelines for aggressive corrosive liquids.
6. Finding solutions to improve MCVD.

Until recently, the problem of heterogeneity of a preform length was not solved. Centreless grinding is made before etching the preform as well as polishing with the flame on a special machine.

Stepper motor used on the machine is quite old and does not provide the required rate of passage of the burner and the rotation. The fusion of preforms may cause elliptical core. A good alternative to this drive is the servo. Mitsubishi Electric Company produces a range of variable-speed servo with a nominal power of 0,5 to 7,0 kW. Special characteristics are following (Fig. 7):

- The control system is fully compatible with the stepper motor (pulse input, discrete and analog inputs), having the high moment on the shaft.
- Fast adjustment and adaptable control.

Sharp decreasing in graded index profile of the preform significantly impairs the dispersion properties of fibers.

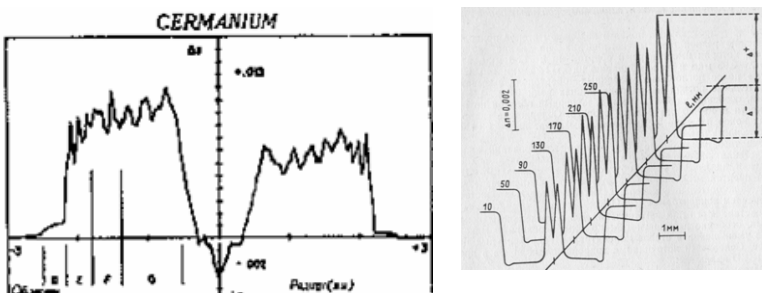


Fig. 7. Sharp decreasing in graded index profile of the preform

The high temperature needed to soften the outer quartz glass, enhances the diffusion of certain additives to the surface layers and their

evaporation in the inner space of the tube during the entire process of collapse [2]. This leads to a decrease of the dopant concentration near the axis. The lower this concentration, the deeper failure of the refractive index in the center. Sharp decreasing in graded index profile of the preform can be reduced by increasing the concentration of additives in deep layers.

Precise temperature control of the substrate tube is required for sustainable results since temperature influences on the level of deposited material and also on the levels of association of additives and curvature of the tube.

Long-wavelength infrared pyrometers used became outdated and sometimes go wrong and do not provide the required accuracy of measurements. The solution of this problem is a new equipment.

The following options are reviewed:

– «TEKKNO» – *Modline 5*.



Fig. 8. Pyrometer «TEKKNO» – *Modline 5*

Pyrometers Series Modline 5 (Fig. 8) is intended to measure high temperatures, ensure trouble-free flow of technological processes and are characterized by high accuracy, reliability and qualitative measurements. Their characteristics are following:

- They are the most accurate pyrometers in the world (accuracy 0,3 % of measurand).
- High optical resolution.
- Digital (RS-485) and analog (4–20 mA) outputs.
- Analog input to set the emissivity.
- Weight – 1,4 kg.

Optional pyrometer is Corporation Raytek – *Marathon MM*.



Fig. 9. Pyrometer Marathon MM

Infrared thermometers Marathon MM series are designed for operation in harsh industrial environments and provide high accuracy temperature measurements during various technological processes. All pyrometers Marathon MM Series are optical and laser sight that ensures optimum object targeting (Fig. 9) [4].

If in the designs of gas pipelines and various fittings are used stainless steel parts, then aggressive fluid-halides, such as  $\text{POCl}_3$  and  $\text{BBr}_3$ , used in MCVD, cause corrosion in the result of accidental penetration of the hydroxyl groups. In a while it will progress and will be irreversible. Extensive replacement of parts and cleaning will be required. Therefore, connections should be minimized, and the pipelines, connections and all parts of the gas control system should be made of PFE-and PTFE- and placed in dry nitrogen.

Couplings and seals of the trademark Kalrez meet above – mentioned requirements. Their properties are:

- 1) endurance;
- 2) resistant to aggressive environment;
- 3) flame resistant;
- 4) resistant to radiation, high temperature, corrosion, atmospheric influences.

Using the oxygen-hydrogen burners made of metal require systematic cleaning, because small particles of scale are clogs them and can get into preform, decreasing their optical and mechanical properties.

Alternatively, special oxygen-hydrogen burners made of quartz – Arnold Burner can be used (Fig. 10, Fig. 11).

The use of improved design and a special quartz prevents the formation of metallic impurities and various oxidized products of combustion and getting them into preforms during the MCVD.



Fig. 10. Special quartz burners



Fig. 11. Four-sectioned quartz burner and preform in MCVD

The productivity of MCVD-method is fairly low, this is connected with the physical limitation of the flow of heat from the

oxygen-hydrogen flame through a quartz tube. In addition, large part of burner's heat is wasted. When using a burner is practically impossible to seriously change the situation.

Electric burners with a special performance can be used to improve the MCVD method. Electric furnace of resistance can be used to increase the temperature in the hot zone as well.

To overcome these difficulties, manufacturers have already mastered the method of MCVD (Fig. 12), looking for new ways to optimize the production of workpieces. Cardinal solution of these problems - the replacement of the oxygen-hydrogen burner in the electric furnace. Average power of induction furnace is about 25 kW.

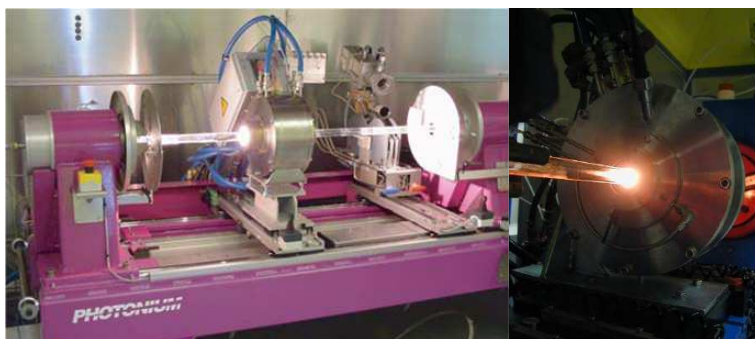


Fig. 12. Induction furnace in MCVD

The main advantages are following:

- Sharp reduction of mass loss of quartz, especially when compressing the pipe in the shaft. Total loss of less than 3 %;
- Provision of better heat transfer and, consequently more homogeneous precipitated layers;
- Time of the process is reduced both because of the higher rate of layer deposition and less time of pipe compression in the bar – about 2,5 hours.

A number of firms producing preforms by MCVD began to use electric furnaces [3].

### **Conclusions**

- Raw materials are very clear;
- Reagents evaporate before they reach the quartz tube (additional purification);



- MCVD process takes place in a closed system (deposition occurs as a result of reactions between gaseous components within the supporting quartz tube);
- MCVD-technology is used for the production of special optical fibers;
  - High temperatures of processes of precipitation and the collapse lead to deposition of metal particles – Fe, Cr, Pt, and the other particles emitted from the nozzle of the burner on the hot surface of the workpiece. These particles become centers of irregularities and microcracks;
  - Pollution from outside in the form of particles and gases can penetrate into preform;
  - This process should be automated to the highest degree to ensure reproducible and efficient operations.

### References

1. URL: [www.ppk.perm.ru](http://www.ppk.perm.ru).
2. Burkov V.D., Ivanov G.A. Physical and technological fundamentals of fiber-optic technique. – M., 2007.
3. Lightwave Russian Edition. – 2006. – № 3 – URL: [www.lightwave-russia.com](http://www.lightwave-russia.com).
4. URL: [www.tekkno.ru](http://www.tekkno.ru).

## **ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ РАБОТ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА**

**Аспирант К.С. Бабин, студент гр. АТПП-05м Д.С. Дударев**  
 Научный руководитель – д-р техн. наук,  
 профессор *С.В. Бочкарев*  
 Пермский государственный технический университет

Современный глобальный рынок сложных наукоемких изделий ставит перед производителями задачу повышения конкурентоспособности их продукции, что непременно вынуждает их решать проблемы экономии ресурсов и повышения качества. Согласно

концепции CALS основным средством достижения указанных целей должно стать применение интегрированной информационной среды, охватывающей весь жизненный цикл изделия.

Одним из этапов жизненного цикла изделия является техническая подготовка производства, где может быть занято большое количество сотрудников, между которыми распределяется большой объем работ. При распределении заданий между сотрудниками необходимо учитывать такие аспекты, как различия в трудоемкости и сложности работ, различия в квалификации сотрудников, приоритетность работ и др.

Для сокращения сроков выполнения проекта необходимо максимально возможно обеспечить параллельность работы над ним, оптимизировать загруженность сотрудников и минимизировать риск срыва общих сроков в результате невыполнения отдельных этапов работ тем или иным сотрудником. Чтобы достигнуть поставленных целей, необходимо эффективное планирование, постоянный контроль и оперативность в принятии решений при необходимости внести коррективы в план.

Как показывает практика, до настоящего времени на российских предприятиях составление плана-графика работы подразделения входит в обязанности его руководителя и осуществляется вручную. Как результат, сотрудники загружены неравномерно, нерационально распределены ресурсы и так далее. Вручную осуществляется и контроль над ходом работ. Это не позволяет руководителю в полной мере осуществлять контроль над взаимодействием сотрудников, которые не знают о графике выполнения работы друг друга. В связи с этим возникает задача создания автоматизированной системы управления, созданной на базе специализированного программного обеспечения.

Создание таких систем требует применения алгоритмов, которые позволяли бы обрабатывать большие массивы информации, в данном случае факторы, влияющие на рациональную организацию работ сотрудников. От таких систем требуется минимально возможное время обработки информации и выдачи рекомендаций лицу, принимающему решения (ЛПР). При фиксированном времени на принятие решения сокращение времени обработки информации дает ЛПР большую возможность для анализа создавшейся ситуации. В качестве алгоритма, отвечающего этим требованиям,

можно использовать генетический алгоритм (ГА), который позволяет экономить время и вычислительные ресурсы [1–3].

Работа ГА основана на аналогии с природой, где биологические особенности животных и человека обуславливаются их генотипом, который определяет множество возможных вариантов хромосомы организма.

Решение многопараметрических задач оптимизации можно представить в виде такой хромосомы, состоящей из генов. Тогда гены будут соответствовать тому или иному параметру, а значения гена (аллели) – значению параметра. Используя аналогию с генетическими преобразованиями в природе, с помощью генетических операторов, таких как кроссинговер (скрещивание), мутация и селекция, можно осуществлять поиск решения задачи оптимизации. Для оценки качества полученного решения используется фитнес-функция, или функция полезности.

Рассмотрим задачу распределения работ с целью оптимальной загрузки сотрудников, снижения материальных и временных затрат в рамках конструкторского бюро, работа которого представлена в виде иерархической схемы на рис. 1.

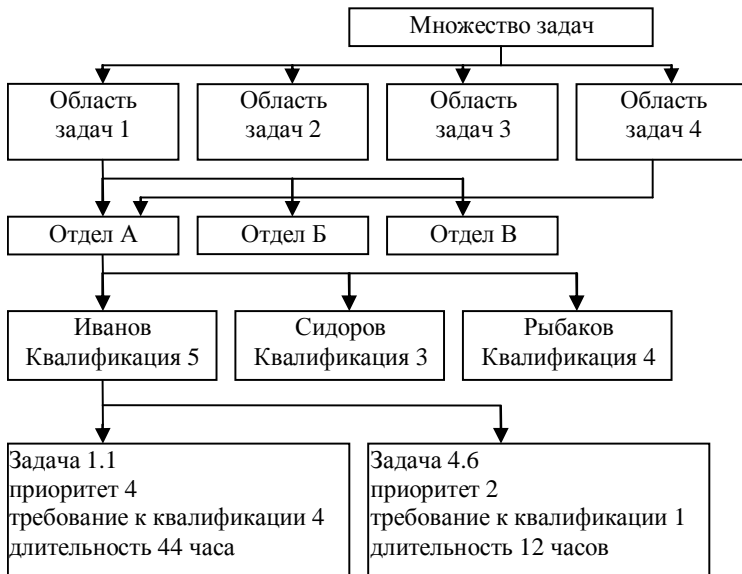


Рис. 1. Схема работы конструкторского бюро

В реализации ГА будем использовать перечислимую хромосому с уникальными генами из  $N$  локусов, гены которой соответствуют порядковым номерам сотрудников, а их аллели соответствуют порядковым номерам распределяемых задач (рис. 2).

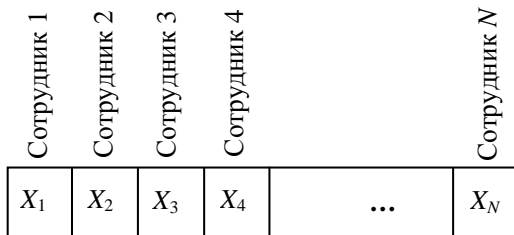


Рис. 2. Вид используемой в реализации ГА хромосомы

При разработке алгоритма будем исходить из предположения, что одному сотруднику можно назначить только одну новую задачу, а любую новую задачу можно поручить только одному сотруднику.

Работа ГА будет основана на минимизации функции полезности. В данном случае это предполагает минимизацию суммарной средней приоритетности часа работы сотрудника. Пара «ген–аллель» в таком случае должна соответствовать следующим требованиям:

- приоритет новой задачи должен быть не выше максимального приоритета текущих задач данного сотрудника;
- новая задача должна быть из области задач, соответствующих компетенции отдела данного сотрудника;
- новая задача должна соответствовать квалификации данного сотрудника;
- новая задача не должна быть в списке текущих задач данного сотрудника.

Значение функции полезности особи вычисляем как сумму функций полезности отдельных пар «ген–аллель». Если функция полезности одной из пар не будет соответствовать установленным для нее требованиям, то значение функции полезности всей особи приравнивается к нулю («нулевой» вариант).

Для вычисления средней приоритетности часа работы сотрудника предлагается формула:

$$\overline{\text{Pr}} = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i \cdot \text{Pr}_i)}{\sum_{i=1}^N T_i},$$

где  $\text{Pr}$  – средняя приоритетность часа работы сотрудника,  $T_i$  – время, затрачиваемое на выполнение  $i$ -й задачи,  $\text{Pr}_i$  – приоритет  $i$ -й задачи,  $N$  – количество текущих задач данного сотрудника (необходимо учитывать и новую задачу).

Разрабатываемый ГА можно представить в виде блок-схемы, изображенной на рис. 3.

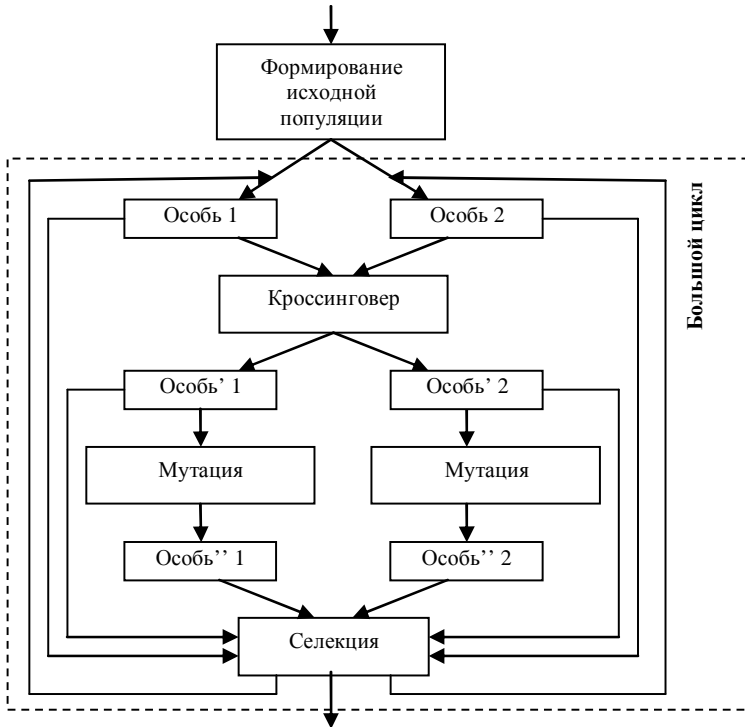


Рис. 3. Блок-схема ГА

В качестве исходной популяции генерируем две особи. Для каждого гена задаём аллель, который с помощью генератора псевдослучайных чисел (ПСЧ) выбирается в заданной области определения – распределяемых задачах. Затем начинается цикл, внутри которого и происходит имитация естественных эволюционных процессов. Количество итераций этого цикла ограничено допустимой глубиной стагнации, которая соответствует максимально допустимому количеству поколений, на протяжении которых подряд фиксируется отсутствие улучшения функции полезности.

В силу того, что аллели в экземпляре хромосомы не группируются по блокам и не зависят друг от друга, для скрещивания используем односточный кроссинговер. Случайным образом с помощью генератора ПСЧ выбираем точку разрезания двух родительских хромосом и меняем местами получившиеся хромосомные отрезки. В результате кроссинговера потомки могут быть некорректны (аллели в особи могут повторяться, что противоречит установленным ограничениям на формирование особей). В таком случае необходимо провести корректировку, заключающуюся в принудительном изменении некоторых аллелей. Для этого используем метод частичного парного кроссинговера РМХ (Partially Matched Crossover) [1].

Благодаря мутации область определения аллелей выходит за пределы значений, заданных в исходной популяции. Для её имитации в потомках, полученных после кроссинговера и корректировки, изменяется один или несколько аллелей на случайное значение из списка распределяемых задач.

В результате кроссинговера-корректировки и мутации формируется популяция из шести особей. Среди них проводим селекцию и выбираем две особи с лучшими значениями функции полезности либо, если вследствие несоответствия некоторых пар «ген–аллель» установленным ограничениям вычислить ее невозможно, с наибольшим количеством «правильных» пар «ген–аллель». Они станут родителями для следующего поколения, после чего управление передается в начало цикла и операции кроссинговера, корректировки и мутации повторяются для новых родителей.

Разработанный ГА предопределяет работу с большими объемами данных, а с учетом того, что значения генов в хромосоме будут представляться в виде чисел, то необходимо представлять

естественные значения (сотрудники и задания) в некотором закодированном числовом виде. В связи с этим целесообразно при реализации ГА использовать базу данных (рис. 4), в которой должны быть учтены особенности деятельности конструкторского бюро, такие как квалификация сотрудников, специфика задач и т.д.

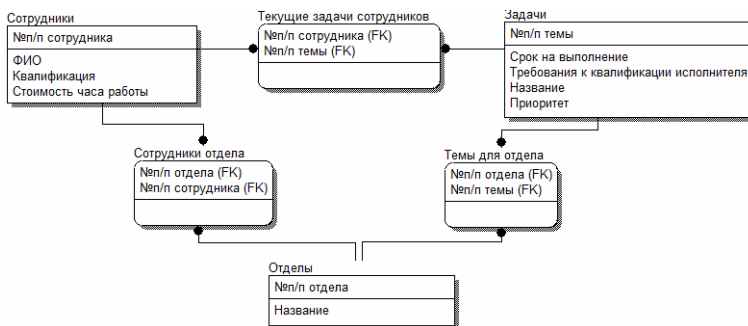


Рис. 4. Логическая модель базы данных

Как было указано выше, в качестве параметра, регулирующего выполнение ГА, используется допустимая глубина стагнации (далее @st), для которой были заданы значения, равные 30, 50, 75 и 100. Для тестирования практической реализации ГА в качестве примера рассмотрим распределение заданий между пятью сотрудниками различной квалификации из двух отделов (табл. 1).

Таблица 1

### Сотрудники и их текущие работы

№	ФИО сотрудника	Квалификация сотрудника	Отдел	Текущие темы	Приоритет	Требуемая квалификация	Срок выполнения, дней
1	Иванов В. В.	4	1	13	3	3	16
				8	2	3	8
2	Петров А. А.	5	1	9	4	4	20
				15	3	4	25
3	Сидоров К.П.	4	2	16	3	3	21
				20	3	2	9
4		4	2	10	5	4	30
5		5	2	11	2	3	5
				12	3	3	7
				17	3	4	12

В начальный момент у каждого сотрудника предполагается наличие текущих тем с разными приоритетами. Предполагается, что каждая тема требует своей квалификации сотрудников. Для этих условий необходимо распределить семь новых заданий (табл. 2) с учетом сложившейся ситуации на данный момент времени.

Таблица 2

Work to be distributed

№	department	priorities	requisite qualifications	Deadline, days
1	1	4	3	12
2	1	5	4	11
3	1	3	3	15
4	1	3	4	14
5	2	5	4	18
6	2	3	3	6
7	2	5	4	13

Для наглядности процесса назначения работ для сотрудников, исходя из данных, представленных в табл. 1 и 2, и ограничений для пары «ген–аллель», в качестве примера формируем соответствующую таблицу (табл. 3).

Таблица 3

Возможные назначения работ  
для сотрудников

Возможные работы	№ сотрудника				
	1	2	3	4	5
1	+	+			
2	+	+			
3	+				
4	+				
5			+	+	+
6			+		+
7				+	+

Результаты работы ГА (табл. 4) сравнивались с результатами работы алгоритма, использующего перебор по методу простого счетчика (1|1|1|1|1 -> 1|1|1|1|7 -> 1|1|1|2|1...). Алгоритм по методу перебора выполняется за 40 секунд. При этом наилучшее значение функции полезности оказалось 17,794, а наихудшее – 18,699.



## Обобщенные результаты тестирования работы ГА

Наименование параметра	@st=30	@st=50	@st=75	@st=100
Среднее значение	17,96721	17,84474	17,8531	17,80067
Максимальное значение	18,429	18,094	18,699	17,924
Минимальное значение	17,794	17,794	17,794	17,794
Наиболее часто встречающееся значение (МОДА)	17,924	17,794	17,794	17,794
Количество «нулевых» результатов	0	0	0	0
Время счета ГА, с	5	8	11	15
Время счета методом перебора, с	40	40	40	40

Таким образом, мы можем видеть, что наименьшее возможное значение встречается при всех значениях @st. Причем при @st = 30 мы получаем среднее значение, которое можно считать близким к минимальному при времени счета, в восемь раз меньшем, чем по методу перебора. Задавая @st = 50 и более, мы каждый раз получаем время счета меньшее, чем в методе перебора. Сравнивая полученные значения функции полезности, вычисленные с помощью ГА и методом перебора, можно отметить, что фактически оптимальный результат не меняется при использовании ГА.

Таким образом, можно отметить, что в каждой конкретной сложившейся ситуации можно задаваться той или иной точностью вычисления, тем самым ограничивая время работы алгоритма.

Иногда при тестировании системы могут быть получены «нулевые» результаты, которые говорят о несоответствии одной или нескольких пар «ген–аллель» заданным ограничениям. При этом необходимо отметить, что в подавляющем количестве случаев из-за всего одной пары «ген–аллель» хромосома может получиться «нулевой». Но и в этом случае пользователь получает результат, который может служить рекомендацией к оптимальному решению для ЛПР.

Предлагаемый подход к решению задач рационального распределения заданий между сотрудниками на основе ГА показал его актуальность для решения многопараметрических оптимизационных задач при ограниченности вычислительных ресурсов и критичности времени.

## **Библиографический список**

1. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.

2. Емельянов В.В., Курейчик В.М., Курейчик В.В. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.

3. Гладков В.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / под ред. В.М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.

## **СОЗДАНИЕ УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКОГО СТЕНДА И КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ НА БАЗЕ ПЛК «FATEK»**

**Студент гр. М-9-15 А.В. Афанасьев**

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент *Н.В. Козак*  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»

Рассматривается процесс разработки рекомендаций по созданию лабораторно-практического стенда, требований к используемому оборудованию и методики составления практических занятий к ним на базе аппаратного обеспечения ПЛК «Fatek». Лабораторный практикум предназначен для студентов технических специальностей различных курсов обучения.

Целью данной работы ставится разработка методических рекомендаций к созданию учебных пособий и учебно-демонстрационных стендов для проведения лабораторных работ, а также составление комплекса практических занятий на базе аппаратного обеспечения программируемых логических контроллеров (ПЛК).

Для достижения цели необходимо:

- провести анализ предметной области, выявить преимущества и недостатки существующих курсов и учесть их при проектировании;
- разработать обобщенный алгоритм создания лабораторных работ и лабораторных стендов;

– сформировать набор базовых требований к оформлению материалов методических пособий;

– показать на конкретном примере возможность применения разработанных рекомендаций.

Для выработки цели составления структуры лабораторного практикума необходимо провести анализ лабораторных курсов по техническим дисциплинам [1–3], а также использовать информацию из педагогической литературы. Проведение анализа также позволяет учесть все достоинства наиболее успешных лабораторных курсов и избежать недостатков наименее удачных при составлении рекомендаций.

Анализ проводился по различным критериям. Отдельное внимание уделялось контролю полученных в процессе прохождения заданий знаний. Результаты анализа приведены в таблице.

Анализ лабораторных практикумов

Наименование	Фирма Prosoft	Фирма Овен	Курс по Siemens S7-200	Данный лабораторный курс
Лабораторный стенд	*	*	*	*
Индивидуальные занятия	*			
Групповые занятия	*	*	*	*
Персональные задания	*	*	*	*
Контроль полученных знаний			*	*
Отчет о выполненной работе			*	*
Возможность модификации практикума				*

**Этапы создания курса лабораторных работ.** Предлагается методика, используя которую можно создавать лабораторные работы на базе персональных компьютеров и аппаратного обеспечения ПЛК. Поскольку в большинстве случаев от разработчиков требуется создание целого курса, то в дальнейшем будет рассматриваться последовательность создания лабораторного практикума, состоящего из нескольких работ [4, 5].

При разработке лабораторных работ формируется «база знаний», которая включает в себя необходимые документы, в том числе об аппаратных средствах обучающих стендов. На схемах

(рис. 1 и 2) приведены соответственно основные элементы «базы знаний» и этапы разработки лабораторного практикума.

Последовательность создания лабораторного практикума включает следующие этапы, выполняемые итерационно:

- место в учебном курсе;
- аппаратное обеспечение;
- структура и содержание;
- оформление;
- проверка;
- модификация и развитие.



Рис. 1. «База знаний»



Рис. 2. Этапы разработки пособий

**Разработка лабораторного практикума «Основы программирования логических контроллеров Fatek».** Работа создана на базе персонального компьютера и ПЛК фирмы Fatek. Подобные контроллеры широко применяются в системах управления технологическими процессами. При помощи приложения

WinProLadder программы создаются и загружаются в ПЛК. В основе WinProLadder лежит язык графического программирования автоматизированных систем управления – релейно-контактные схемы.

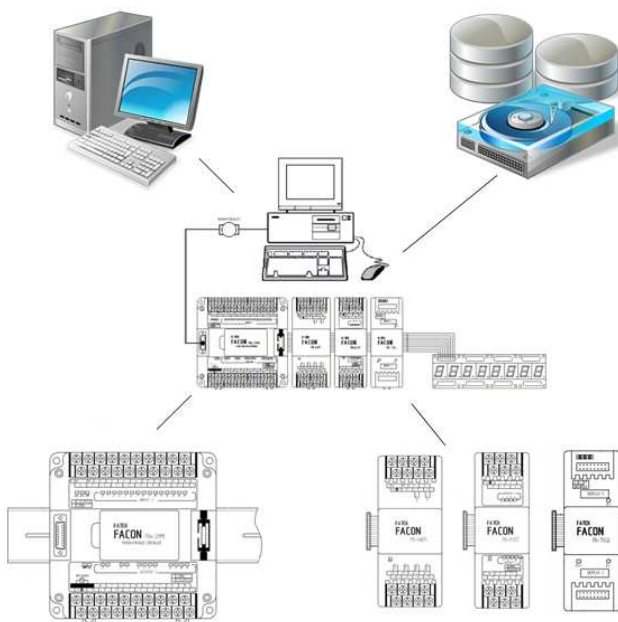
На рис. 3 показана схема действующей лабораторной установки, созданная в соответствии с разработанными рекомендациями. В качестве практического примера реализации разработанных рекомендаций был создан комплекс практических упражнений, состоящий из трех лабораторных работ для изучения ПЛК Fatek.

#### Персональный компьютер

- Системный блок
- ОЗУ, ПЗУ, ЦП и т.д.
- Устройства ввода
- Устройство вывода (монитор)

#### Программное обеспечение

- WinProLadder
- MS Visual Studio 2005
- Fatek Server



#### Главный блок ПЛК

- Цифровые входы-выходы
- Цифровые индикаторы
- Клеммы питания

#### Блоки расширения входов-выходов

- Блок расширения аналоговых входов
- Блок расширения цифровых входов
- Блок расширения численных В-В
- 7-сегментный светодиодный индикатор

Рис. 3. Структура учебного стенда

В каждой лабораторной работе присутствуют три части:

- теоретическая;
- общая практическая;
- индивидуальная.

Объем каждой части соответствует указанным в методических рекомендациях требованиям. Приведённый пример в полной мере демонстрирует возможность реального применения разработанных методических рекомендаций.

**Выводы.** В процессе работы получены следующие результаты:

1. Проведен анализ существующих лабораторных курсов в различных предметных областях. Его итог представлен в таблице. Результаты показывают, что в большинстве курсов по изучению ПЛК присутствуют лабораторные стенды, групповые занятия и индивидуальные задания, но не во всех осуществляется контроль знаний, полученный после прохождения курса, и не везде имеется возможность изменения лабораторного курса с учетом каких-либо новых требований к нему.

2. В соответствии с поставленными целями лабораторного практикума к учебно-демонстрационному стенду был сформирован и предъявлен комплекс требований.

3. Для оформления методических рекомендаций с целью максимально повысить эффективность излагаемого материала был разработан комплекс визуальных приемов.

4. Для повышения уровня грамотности в области технической документации был разработан комплекс требований к оформлению отчетности по лабораторным работам.

5. Был разработан комплекс практических занятий для изучения ПЛК Fatek на основе созданного лабораторного стенда.

*Работа выполнена по договору № 02.120.11.2733-МК гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-2733.2010.8.*

### **Библиографический список**

1. Методы обучения – сайт ПРОСОФТ. – URL: <http://www.prosoft.ru/support/training/moscow/metods/>

2. Учебный центр – Программирование в среде CoDeSys. – <http://www.owen.ru/text/90329489>.

3. Митин ГЛ., Хазанова О.В. Системы автоматизации с использованием программируемых логических контроллеров: учебное пособие. – М.: ИЦ МГТУ «СТАНКИН», 2005. – 136 с.

4. Лебедева М.Б. Методическая система организации и проведения лабораторно-практических работ по курсу информатики: [ПТУ] // Новые информационные технологии в профессионально-техническом образовании. – СПб., 1994. – С. 58–66.

5. Организация и проведение лабораторно-практических работ в курсе информатики при изучении прикладных программ: метод. рекомендации / Центр. ин-т повышения квалификации руководящих работников и специалистов проф. образования Министерства образования РФ. – СПб., 1995. – 106 с.

## **ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОПИСАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ПРЕДПРИЯТИЯ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕГО НА РЫНКЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ**

**Канд. экон. наук, доцент С.А. Бородулина,  
канд. экон. наук, доцент Н.А. Логинова  
Санкт-Петербургский государственный  
инженерно-экономический университет**

В последнее время в России, да и во всем мире, проблема выбора подхода к реорганизации деятельности хозяйствующих субъектов приобретает особую актуальность. Реинжиниринг бизнес-процессов (РБП) является направлением, возникшим на стыке двух различных сфер деятельности – менеджмента и информатизации.

Целью реинжиниринга бизнес-процессов являются целостное и системное моделирование и реорганизация материальных, финансовых и информационных потоков, направленные на упрощение организационной структуры, перераспределение и минимизацию использования различных ресурсов, сокращение сроков реализации потребностей клиентов, повышение качества их обслуживания [1].

РБП имеет отношение и к замене существующего процесса более эффективным как для заказчика, так и для организации.

С позиций заказчика сокращение срока выполнения заказа и отсутствие бюрократии помогут быстрее удовлетворять его требования и не вызывать сопутствующих проблем. С позиций организации уменьшаются затраты, повышается конкурентоспособность, улучшается обслуживание и появляется возможность захватить большую долю рынка.

Одной из основных особенностей РБП является ориентация реинжиниринга не на функции, а на процессы. В связи с этим является актуальным вопрос о соотношении технологических и бизнес-процессов автотранспортных предприятия (АТП). В качестве бизнес-процесса понимается совокупность различных видов деятельности, которые, вместе взятые, создают результат (продукт, услугу), имеющий ценность для потребителя, клиента или заказчика. Бизнес-процессы образуются из множества связей между подразделениями, которые передают друг другу в некоторой очередности ключевое задание [2].

Внутри процесса функционирования автотранспортного предприятия как бизнес-системы в целом реализуется возможность описания событий во взаимосвязи с технологическими и бизнес-процессами на предприятии в целом и в отдельных его подразделениях. Это дает возможность определить, каким образом получился фактический экономический результат функционирования компании в целом или его отдельного процесса, а также необходимую последовательность действий для достижения намеченных целей. Согласно современным подходам производственные, сбытовые и управленческие процессы рассматриваются как система взаимопересекающихся и взаимозависимых технологических процессов и бизнес-процессов. Однако в основе выполнения бизнес-процесса как совокупности деятельности, приносящей результат, лежат отдельные технологические процессы или технологии выполнения работ в целом. А соотношение бизнес-процессов и технологических процессов можно представить на рисунке.

Технологический процесс подразумевает четко регламентированную последовательность действий, определяемую ГОСТами, ТУ, системой маршрутов, правилами дорожного движения и пр. Технологический процесс – последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ. Технологический процесс состоит из рабочих операций,



которые на автомобильном транспорте могут быть представлены технологической схемой доставки грузов.

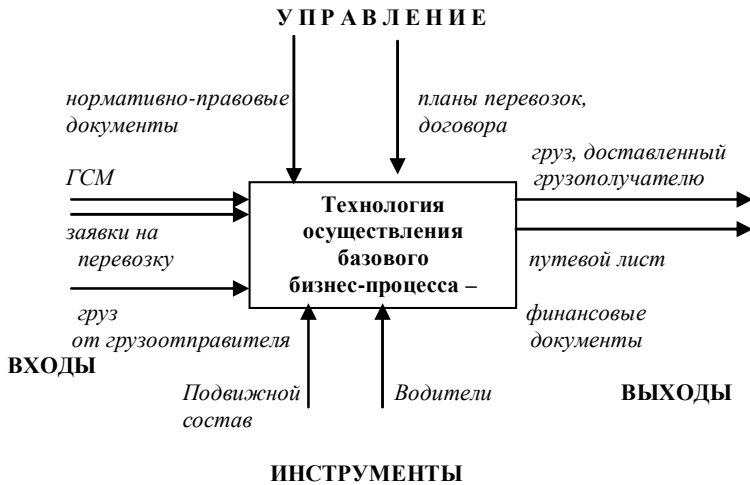


Рис. Схема взаимосвязи технологического и бизнес-процесса транспортного предприятия

Бизнес-процесс – это понятие более широкое, чем технологический процесс. Технологические процессы являются составным звеном бизнес-процессов, описывающим рабочий период процесса, но напрямую с заказчиками не связанным.

#### Виды технологических и бизнес-процессов АТП

Бизнес-процесс АТП	Способы описания технологического процесса
Перевозка грузов	Технологическая схема перевозки грузов в микро-системе, особо малой, малой системе доставки грузов в соответствии с классификацией [3], по радиальным, развозочно-сборным маршрутам
Ремонт транспортных средств	Технологическая карта ремонта, ТУ, инструкции
Перевозка пассажиров	Маршрутная схема перевозки пассажиров, инструкция водителя

Рабочие процессы можно упростить, если подойти к ним с позиций РБП. Обнаруживаются операции, которые когда-то казались и, возможно, были логичными и полезными, но по каким-то причинам сегодня не нужны. Тот интерес, который существует вокруг

РБП сегодня, вытекает главным образом из утверждений, провозглашающих его способом достижения большей выгоды, что является главным предназначением метода – достижение выгоды как с точки зрения лучшего удовлетворения заказчиков, так и с точки зрения улучшения результатов работы компании.

Во многом успех или неудача реализации проекта по реинжинирингу зависит от выбора программно-инструментальных средств для его поддержки. В России для моделирования и анализа бизнес-процессов достаточно широко используются следующие средства моделирования: Rational Rose, Oracle Designer, AllFusion Process Modeler (BPWin) и AllFusion ERwin Data Modeler (ERWin), ARIS, Power Designer. За рубежом, помимо упомянутых, активно используются такие средства, как System Architect, Ithink Analyst, ReThink и др. В настоящее время идет активное развитие интегрированных многофункциональных инструментальных систем в части простоты использования, полноты средств имитационного моделирования, стыковки со средствами разработки предложений и т.д. Автотранспортные предприятия Санкт-Петербурга в настоящее время недостаточно часто и активно применяют данные инструменты описания бизнес-процессов, способствующие приросту их общей эффективности.

### **Библиографический список**

1. Хамер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе.– СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1997.
2. Елиферов В.Г., Репин В.В. Бизнес-процессы: Регламентация и управление: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2006.
3. Николин В.И. Автотранспортный процесс и оптимизация его элементов. – Омск, 2007 – С. 298.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**

**Д-р техн. наук, профессор А.Ю. Попов,  
канд. техн. наук, доцент В.А. Сергеев,  
канд. техн. наук, старший преподаватель Д.С. Реченко,  
инженеры: Е.С. Реченко, М.А. Реченко**  
Омский государственный технический университет

В авиакосмической промышленности на всех этапах изготовления деталей необходим контроль технологических параметров с целью создания готового изделия с требуемой точностью. Главной задачей контроля параметров деталей является сокращение времени измерения без потери его точности. Применение современных контрольно-измерительных машин (КИМ) позволяет достигать поставленных целей. Измерение на КИМ осуществляется с помощью щупов с шаровидным наконечником. Существуют различные виды щупов и приспособлений для конструирования сложных форм щуповых систем, благодаря чему можно создавать нужную щуповую систему для конкретной детали.

Для определения, контроля и коррекции размеров и надежного процесса измерений необходимо определение базовых поверхностей и расположения систем координат измерения. Система координат измерения должна быть привязана к технологической базе контролируемой детали. Технологическая база – это элемент детали, по отношению к которому задается допуск расположения или суммарный допуск формы и расположения рассматриваемого (контролируемого) элемента, а также определяются соответствующие отклонения. В общем случае необходимо придерживаться следующих правил: для опорных элементов выбирается, как минимум, три различных измеряемых элемента (плоскости), которые лежат на различных поверхностях; для каждого опорного элемента выбираются точки ощупывания, которые удалены как можно дальше друг от друга; в качестве первичного опорного элемента должен выбираться трехмерный объект (плоскость, цилиндр или конус); в качестве вторичного опорного

элемента может выбираться двумерный объект (прямая), можно, однако, выбрать и трехмерный объект; в качестве третичного опорного элемента может выбираться одномерный объект (точка), но можно также выбрать один двухмерный или трехмерный.

Применение КИМ типа DuraMax позволяет не только сократить время измерения в несколько раз и повысить точность измерения благодаря механическому контакту щуповой измерительной системы с поверхностью контролируемого изделия, но создавать 3D-модели. КИМ автоматически распознает геометрические элементы, которые были ошупаны, и одновременно генерирует пути и стратегии ошупывания, перемещения обратного хода и пути прохода между элементами. КИМ также дает возможность обнаруживать дефекты в производственном процессе и, соответственно, заблаговременно принять необходимые меры для предотвращения брака за счет определения дефектов в операциях обработки на первых деталях партии, которые являются обкаточными.

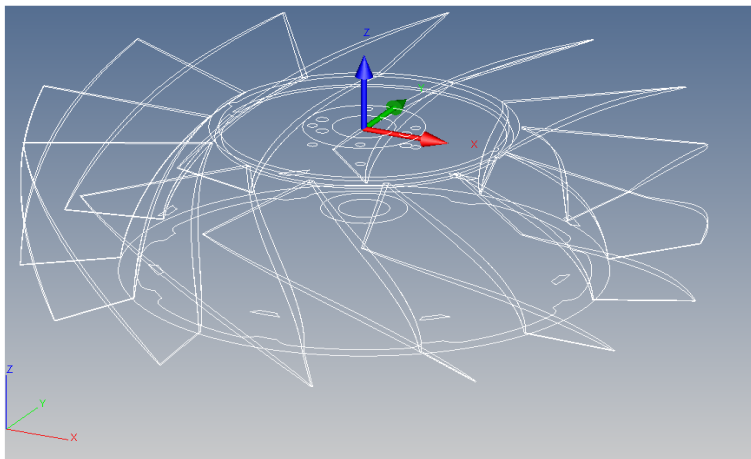


Рис. 1. 3D-модель вентилятора авиадвигателя

Простота использования и возможности КИМ DuraMax и программного обеспечения (ПО) CALYPSO позволяют контролировать точность размеров, а также получать стабильность получаемых результатов, что очень важно для серийного и массового производства сложнопрофильных деталей. В целях экономии времени полный план и стратегия контроля детали предварительно обрабатываются

с помощью ПО CALYPSO Offline Planner и создаются прямо на 3D CAD-модели детали (рис. 1), а затем проверяются с помощью симулятора щупа с целью минимизации времени измерения и дополнительной проверки плана контроля.

Следует отметить, что все эти действия можно провести еще задолго до выпуска первой детали, так как ПО позволяет создавать план измерения и в теоретическом виде (рис. 2). Применение специализированной технологии сканирования поверхности, представляющей собой непрерывное ощупывание поверхности изделия, позволяет получить большое количество данных об изделии. Сканирование применяется только в самых современных измерительных системах, наглядно показывая общую картину измеряемой поверхности с отдельными точками отклонения. Использование щуповой системы типа «звезда» позволяет производить обмер большей части детали без необходимости смены щупов, в результате чего сохраняется точность измерения элементов (рис. 3).

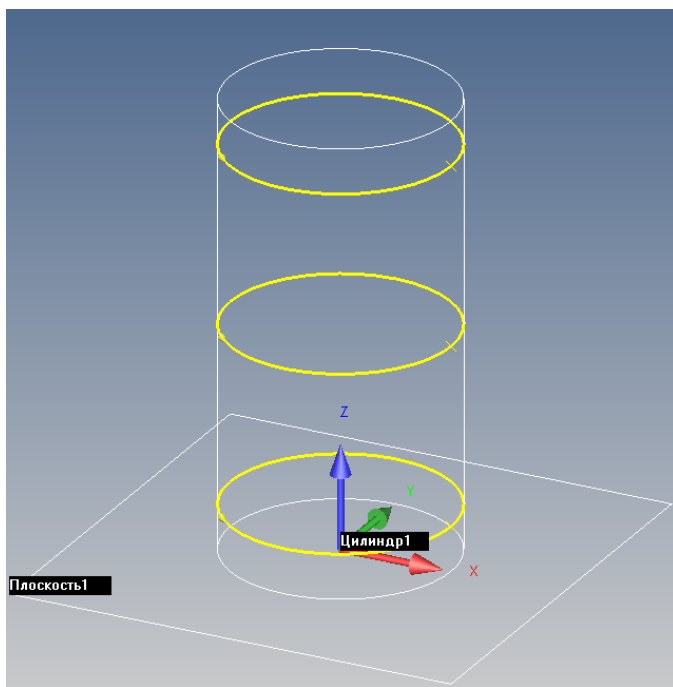


Рис. 2. План измерения в теоретическом виде

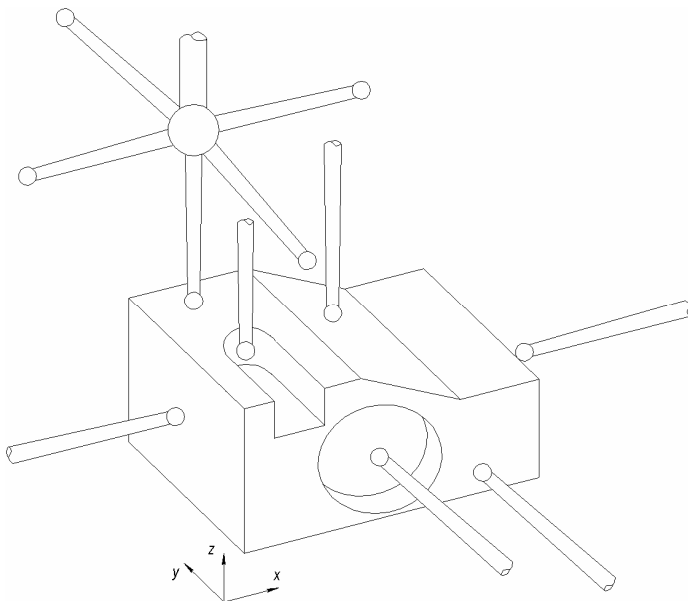


Рис. 3. Обмер детали щуповой системой типа «звезда»

Применение функции ЧПУ-прогона позволяет проводить контроль деталей одной партии без необходимости изменения плана и стратегии контроля, в результате чего ускоряется процесс получения необходимых параметров.

Система позволяет редактировать отчет с отображением требуемых характеристик, в том числе с использованием графического изображения отклонений.

Таким образом, применение КИМ DuraMax производства Carl Zeiss (Germany)<sup>\*</sup> позволяет значительно сократить время на создание планов контроля деталей и получать в автоматическом режиме необходимую информацию прямо в процессе производства.

---

\*

Статья составлена по информационным материалам компании Carl Zeiss IMT GmbH, Germany.

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КОНЕЧНЫХ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ ПЕРСЕПТРОНАМИ РОЗЕНБЛАТТА

Студент гр. КЗИ-08з П.А. Степанов

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор С.Ф. Тюрин

Пермский государственный технический университет

Первой моделью нейронных сетей была модель МакКаллока–Питса. Было установлено, что нейронные сети могут выполнять любые логические операции и вообще любые преобразования, реализуемые дискретными устройствами с конечной памятью. Эта модель и легла в основу теории логических сетей и конечных автоматов и активно использовалась психологами и нейрофизиологами при моделировании некоторых локальных процессов нервной деятельности. Несколько лет спустя эти идеи развил американский нейрофизиолог Фрэнк Розенблатт. Он предложил схему устройства, моделирующего процесс человеческого восприятия, и назвал это устройство персептроном.

Персептрон состоит из нейрона, имеющего ступенчатую функцию активации  $\text{hardlim}$  с жесткими ограничениями (рис. 1).

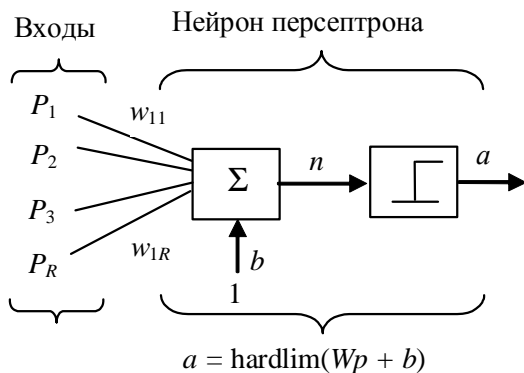


Рис. 1. Архитектура персептрона

Нейрон персептрона возвращает значение 1, если вход функции активации  $n \geq 0$ , в противном случае нейрон возвращает значение 0.

Вход функции активации  $n$  вычисляется следующим образом: вес ( $w$ ) умножается на входное значение ( $p$ ) и прибавляется

смещение (*b*) [1]. Обучение такого нейрона сводится к вычислению матрицы весов и смещения.

Теперь кратко рассмотрим непосредственно один из вариантов синтеза конечных цифровых автоматов нейронными сетями, для её имитации используем интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем Simulink, который входит в состав системы MatLab, разработанной компанией MathWorks Systems.

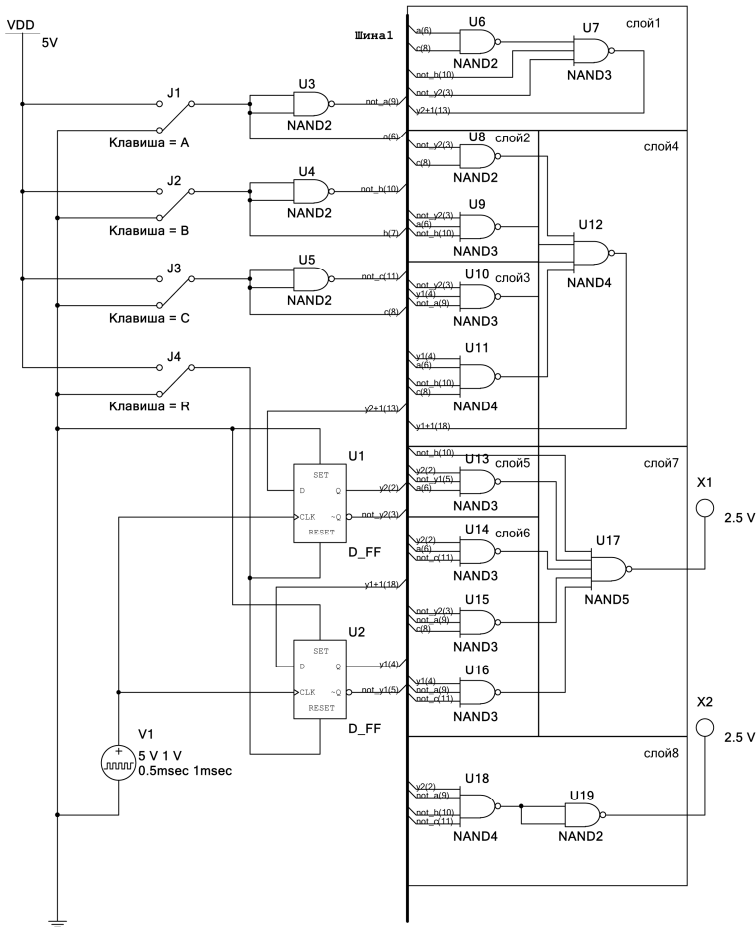


Рис. 2. Схема комбинационного автомата в базисе Шеффера (И-НЕ)



Возьмем в качестве примера схему комбинационного автомата в базисе Шеффера (И-НЕ) (рис. 2) и разобьем её на слои так, чтобы один слой захватывал не более трех элементов и на нем не должно быть более 3 выходов [2].

Если разбить схему на слои, содержащие четыре или большее количество элементов, то в этом случае функция будет иметь слишком большое число аргументов. Эти аргументы будет невозможно отделить друг от друга прямой линией. В этом случае возникнет так называемая линейная неразделимость аргументов. Таковую функцию нельзя реализовать при помощи одного персептрона.

Простейшим примером линейно неразделимой функции является логическая операция, исключаяющая ИЛИ [3]. Простой сигнал без элемента (например, на слое 5) тоже считается за один вход и выход.

Далее составляются таблицы истинности для каждого слоя, входы будут образовывать массивы входов, а значения функции слоя – массивы целей:

**Вход для слоев 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8**

```
[0000000000000000011111111111111111;
000000001111111100000000111111111;
00001111000011110000111100001111;
00110011001100110011001100110011;
01010101010101010101010101010101]
```

**Вход для слоя 4**

```
[0000000011111111;
0000111100001111;
0011001100110011;
0101010101010101]
```

**Цель для слоя 1**

```
[00110011111111110011111111111111]
```

**Цель для слоя 2**

```
[11110011111100111111001111110011;
111111111111110011001111111111]
```

### **Цель для слоя 3**

```
[1011101110111011111111111111111111;  
1111111111111111111111101011111111]
```

### **Цель для слоя 4**

```
[11111111111111110]
```

### **Цель для слоя 5**

```
[11111111000000001111111100000000;  
11111111111111111111101110111011101]
```

### **Цель для слоя 6**

```
[11111111111111111111100111111001111;  
1111001111110011111111111111111111;  
1010111110101111111111111111111111]
```

### **Цель для слоя 7**

```
[11111111111111111111111111111111110]
```

### **Цель для слоя 8**

```
[001100000000000000000000000000000000]
```

Из этих исходных данных создаются и обучаются 8 персептронов для каждого слоя в системе MatLab, которые будут распознавать заданный вектор входа и выдавать соответствующее значение на выходе.

Затем персептроны экспортируются в Simulink, и уже в этой системе на них собирается схема нейронной сети (рис. 3). Эта схема является эквивалентной конечному автомату.

В каждом слое находится только по одному персептрон, который можно увидеть при декомпозиции любого из слоев в Simulink.

По схеме комбинационного автомата (см. рис. 2) видно, что количество элементов логики составляет 17 штук и элементов памяти (D-триггеров) – 2 штуки.

В нейронной сети (см. рис. 3) количество элементов (слоев), с учетом того, что в одном слое находится один персептрон, – составляет 8 штук.

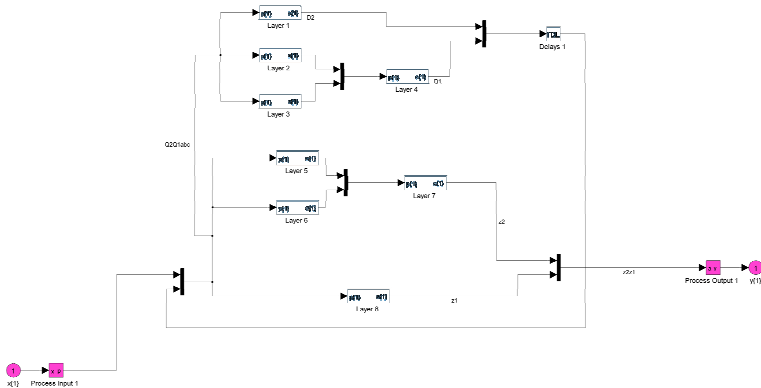


Рис. 3. Схема нейронной сети на персептронах Розенблатта

В схемах, реализованных на элементах логики, выполняются простые операции с двоичными функциями: НЕ (NOT), И (AND), ИЛИ (OR), исключающие ИЛИ (XOR). В нейронных сетях на персептронах выполняются операции умножения и сложения с десятичными функциями.

Таким образом, можно сократить количество операций. В нейронных сетях все вычисления производятся параллельно. Все эти факты существенно влияют на быстродействие.

Нейронная сеть является универсальной, то есть одну и ту же схему можно использовать для практически любых конечных автоматов одного типа. Для того чтобы перепрограммировать сеть, нужно произвести обучение соответствующим образом входящих в неё нейронов. Нейронные сети являются отказоустойчивыми. Если поврежден какой-либо нейрон, то извлечение из него информации затрудняется, однако хранение информации носит распределенный характер, и только серьезные повреждения повлияют на работу нейронной сети. Существенным недостатком является тот факт, что необходимое число нейронов заранее неизвестно. Определение количества нейронов осуществляется путем наращивания числа нейронов, что является весьма трудоемким занятием. Также нельзя построить нейронную сеть конечного цифрового автомата, если нет его схемы на логических элементах.

Отсюда следует, что нельзя представить, какие операции выполняются в ней. Этот недостаток состоит в представлении данных для нейронной сети, интерпретации смысла входных сигналов, что приводит к снижению ценности полученных результатов.

### **Библиографический список**

1. Медведев В.С. Потемкин В.Г. Нейронные сети MatLab 6 / под общ. ред. канд. техн. наук В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с. – (Пакеты прикладных программ; Кн. 4).

2. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.: ил. – (Прикладные информационные технологии).

3. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.: ил.

**Секция 4**

**ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ  
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ  
СИСТЕМЫ И СЕТИ**

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗООУСТОЙЧИВОСТИ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

**Аспирант О.А. Громов, студент гр. АТ-05м А.А. Сулейманов**  
Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор *С.Ф. Тюрин*  
Пермский государственный технический университет

В последние годы происходит бурное развитие программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) как универсального базиса для проектирования электронных устройств любого уровня сложности. Современные ПЛИС являются микросхемами большой степени интеграции, которые используются в самых различных областях, в том числе и аппаратуре специального назначения. В продукции подобного рода особые требования предъявляются к надежности проектируемых устройств и к элементной базе в частности. В настоящее время большое количество исследований направлено на создание методов повышения надежности ПЛИС. Так, Эрвант Зориан, ведущий специалист в области Design and Test, заявляет [1]: «В настоящее время основная проблема ремонта цифровой системы на кристалле будет заключаться в разработке технологий и методов встроенного восстановления работоспособности логики, хотя последняя занимает не более 10 % от площади кристалла».

**Обзор методов и средств повышения отказоустойчивости ПЛИС.** На российском рынке ПЛИС наибольшее распространение имеют три компании: Altera, Xilinx и Actel. Данные ПЛИС используются в самых различных областях науки и техники. Однако, как правило, производители не предусматривают в своей продукции каких-либо средств повышения отказоустойчивости. Среди перечисленных компаний только фирма Actel позиционирует себя как производитель микросхем повышенной надежности и выпускает однократно программируемые ПЛИС, которые могут использоваться в аппаратуре специального назначения. Другие же микросхемы являются загружаемыми и построены на SRAM-памяти. Результаты независимой экспертизы, проведенной фирмой iRoc Technologies в 2004 г. по заказу компании Actel, показывают, что наиболее стойкими ПЛИС с точки зрения однократных сбоев являются микросхемы компании Actel [2].

На российских предприятиях, занимающихся разработкой цифровых устройств на базе ПЛИС, чаще всего применяются методы внешней надежности. В частности, активно применяются дублирование и троирование наиболее ответственных блоков устройств.

Большинство исследований, проводимых отечественными и зарубежными специалистами в области повышения внутренней надежности ПЛИС, сводится к разработке алгоритмов реконфигурации микросхем, в случае выявления в последних отказов, то есть к изменению размещению элементов схемы по ячейкам ПЛИС. Среди отечественных работ в данной области наибольший интерес представляет работа [3], в которой автор предлагает алгоритмы реконфигурации с сохранением временной задержки между функциональными блоками схемы, что гарантирует работоспособность устройства после реконфигурации. На Украине работы по данной тематике ведутся группой профессора В.С. Харченко (Харьковский национальный университет), которая занимается разработкой сверхнадежных систем управления атомными реакторами. Также подобные исследования ведутся на Западе.

Одним из методов построения отказоустойчивой аппаратуры является метод, основанный на концепции функционально-полного толерантного элемента [4].

Концепция функционально-полного толерантного элемента предлагает использовать хотя бы базисные функции для заданной модели отказов, позволяющие вычислять исходные за большее время после соответствующей реконфигурации.

Такой подход к элементной базе соответствует тенденциям своего рода ресурсосбережения в области отказоустойчивости – использование даже ограниченных функциональных возможностей аппаратуры с отказами с целью адаптации к ним [5].

**Описание функционально-полного толерантного элемента.** Функционально-полный толерантный элемент для классической модели константных однократных отказов входов [6] реализует функцию:  $\overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_3 x_4}$  или, что то же самое, функцию  $\overline{(x_1 \vee x_2)(x_3 \vee x_4)}$ . Такой элемент можно реализовать на КМОП-транзисторах рис. 1 [7].

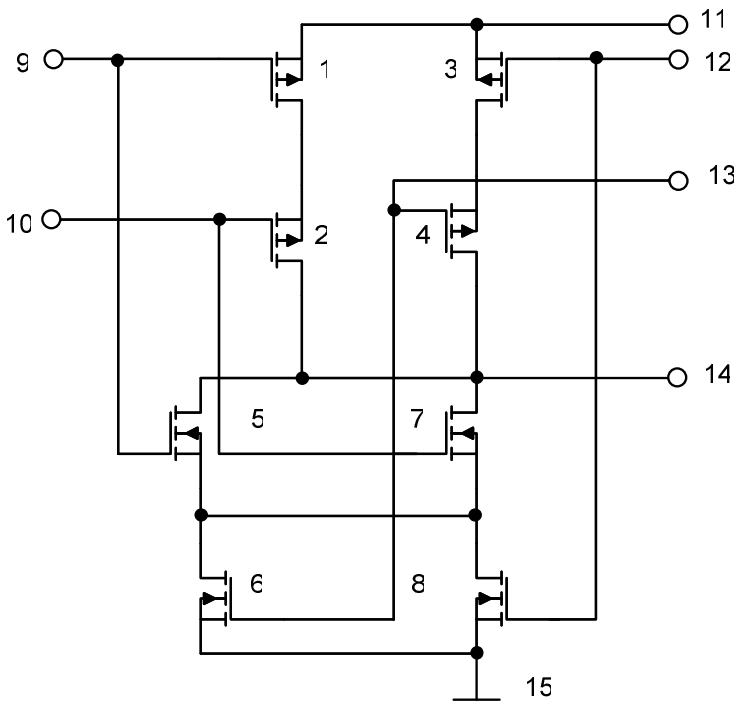


Рис. 1. Принципиальная схема ФПТ-элемента

ФПТ-элемент обеспечивает сохранение базиса при однократных константных отказах в транзисторах. Для КМОП-транзисторов возможны два случая константных отказов, это константа единицы, которая эквивалентна пробоем связи «сток–исток» или постоянно включенному затвору, и константа нуля, которая эквивалентна обрыву связи «сток–исток» или обрыву затвора.

Проведенный расчет показывает, что вероятность сохранения базиса при однократных константных отказах в транзисторах составляет 100 %. При однократных константных отказах входов и выхода вероятность сохранения базиса составляет 80 %, в то время как у классических элементов 4-И-НЕ и 4-ИЛИ-НЕ соответствующие показатели составляют 50 и 40 % соответственно [8].

При этом в случае однократных константных отказов элемент может реализовывать функции следующего вида:  $\overline{x_i \vee x_j x_k}$ ,  $\overline{x_i \vee x_j}$



и  $x_j x_k$ , которые, как было сказано ранее, обладают функциональной полнотой с точки зрения теоремы Поста. В крайнем случае возможна «половинная» реализация – в двухэлементном базисе, что может упростить диагностику логических блоков ПЛИС.

Помимо этого предложенный ФПТ-элемент имеет еще ряд преимуществ. Синтез цифровых схем в новом предлагаемом базисе позволяет снизить аппаратные затраты на построение большого числа логических функций за счет комбинирования в одном элементе как дизъюнкции, так и конъюнкции. Так, в [9] представлена сравнительная таблица затрат на реализацию некоторых булевых функций. Из нее видно, что многие логические функции можно реализовать на меньшем числе элементов, если использовать ФПТ-базис. Для облегчения задачи проектирования комбинационных схем была разработана программа автоматизированного синтеза в ФПТ-базисе [10].

Помимо этого при тщательном анализе принципиальных схем ФПТ-элемента и элементов 4ИЛИ-НЕ и 4И-НЕ можно сделать вывод, что предлагаемый элемент имеет более высокое быстродействие, это связано с тем, что в схемах 4ИЛИ-НЕ и 4И-НЕ при изменении состояния выходной шины необходимо переключение 5 транзисторов, в то время как в ФПТ-элементе будут переключаться только 4 транзистора.

ФПТ-элемент наиболее целесообразно применять в мелкозернистых ПЛИС, ячейки которых строятся на основе простых логических вентилях или транзисторных пар. Производителями таких микросхем являются такие фирмы, как Crosspoint Solution, Plessey, QuickLogic. Например, схема логической ячейки ПЛИС фирмы Crosspoint Solution выглядит следующим образом (рис. 2).

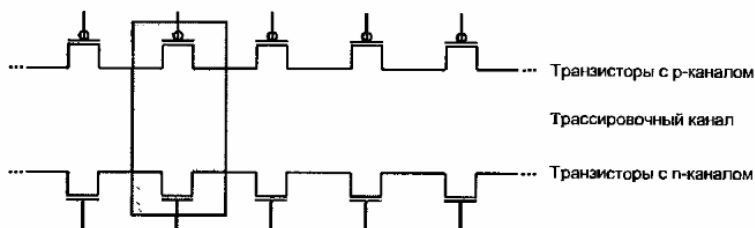


Рис. 2. Пример логической ячейки мелкозернистой ПЛИС

Очевидно, что применение ФПТ наиболее целесообразно именно в этом сегменте. Такие ПЛИС обладают большой гибкостью использования логических ячеек. Здесь можно наиболее полно реализовать возможности ФПТ-элемента, при этом может быть получен выигрыш по быстродействию и по вероятности сохранения базиса у логического элемента. Также можно предложить свой вариант логической ячейки на основе ФПТ-элемента. Например, он может иметь вид, показанный на рис. 3.

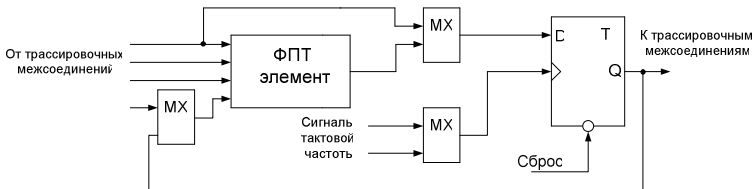


Рис. 3. Вариант логической ячейки с применением ФПТ-элемента

Как видно, такая ячейка может быть построена с использованием ФПТ-элемента и D-триггера.

**Выводы.** Таким образом, ФПТ-элемент позволяет получить более высокое быстродействие по сравнению с классическими логическими элементами 4-И-НЕ, 4-ИЛИ-НЕ наряду с более высокой вероятностью сохранения базиса. Функционально-полный толерантный элемент целесообразно применять в неремонтируемой аппаратуре, имеющей повышенные требования к надежности. В случае отказов могут использоваться не только резервные элементы, но и остаточный базис от вышедших из строя элементов, что снижает необходимое количество избыточных элементов и позволяет наиболее полно использовать ресурсы ПЛИС.

Поэтому, по мнению авторов, применение ФПТ-элементов наряду с алгоритмами реконfigurирования ПЛИС позволит повысить отказоустойчивость аппаратуры специального назначения. Дальнейшие исследования предполагается сосредоточить на детальной разработке процедур реконfigurации ФПТ-ПЛИС.

### Библиографический список

1. Yervant Z., Dmytris G. Gest editors' introduction: Design for Yield and reliability // IEEE Design & Test of Computers. – May–June 2004. – P. 177–182.

2. Results of the SER Test of Actel, Xilinx and Altera FPGA instances [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.actel.com/documents/RadResultsIRO Creport.pdf>.

3. Уваров С.С. Проектирование реконфигурируемых отказоустойчивых систем на ПЛИС с резервированием на уровне ячеек // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 9. – С. 176–189.

4. Тюрин С.Ф. Функционально-полные толерантные булевы функции // Наука и технология в России. – 1998. – № 4. – С. 7–10.

5. Тюрин С.Ф. Синтез адаптируемой к отказам цифровой аппаратуры с резервированием базисных функций // Приборостроение. – 1999. – № 1. – С. 36–39.

6. Тюрин С.Ф. Проблема сохранения функциональной полноты булевых функций при «отказах» аргументов // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 9. – С. 176–186.

7. Тюрин С.Ф., Громов О.А. Моделирование отказов функционально-полного толерантного элемента на основе КМОП транзисторов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №5. – С. 247–250.

8. Громов О.А. Функционально-полный толерантный элемент // Сборник конкурсных научных работ аспирантов и молодых ученых по направлению «Стратегическое партнерство вузов и предприятий радиоэлектронной промышленности», 2010.

9. Тюрин С.Ф., Громов О.А. Базисный элемент программируемых логических интегральных схем // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2010. – № 3. – С. 122–126.

10. Тюрин С.Ф., Громов О.А., Гладышева П.В. Автоматизированный синтез комбинационных схем в функционально-полном толерантном базисе и в остаточных базисах // Дискуссия теоретиков и практиков: сб. науч. трудов. Вып. 2. – 2010. – С. 181–196.

11. Тюрин С.Ф., Громов О.А. Функционально-полный толерантный элемент: заявка на предполагаемое изобретение № 2010123392.

# АЛГОРИТМ ПОИСКА РАБОТОСПОСОБНЫХ ПОДМНОЖЕСТВ ЭЛЕМЕНТОВ В ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ЦИФРОВЫХ СХЕМАХ

Преподаватель **А.В. Греков**,  
курсанты **С.И. Савельев, А.А. Чаплыгин**  
Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор *С.Ф. Тюрин*  
Пермский военный институт внутренних  
войск МВД России

Имеется матрица  $n \times n$  функционально-полных толерантных элементов, длина связей между которыми вычисляется с учётом переменных  $i, j$  – номера элемента в матрице.

Для синтеза отказоустойчивых ПЛИС на базе функционально-полных толерантных элементов [1–4] необходимо по заданной матрице совместимости базисных функций **M1** (рис. 1) и матрице элементов **M2** (рис. 2), каждый элемент которой есть номер базисной функции из матрицы совместимости: найти подмножество в матрице **M2**, состоящее из заданного числа элементов таким образом, чтобы все элементы этого подмножества соответствовали критериям.

1. Разность координат по столбцам и строкам не должна превышать заданной плотности **P**;

2. Значение элемента  $i, j \neq 0$ ;  $i = 1, n$ ;  $j = 1, m$ ; (т.е. элемент должен быть рабочим);

3. Элементы подмножества должны быть совместимы по матрице **M1**.

Функция	№	1	2	3	4	5	6	7
not $X_1$ & not $X_2$ or not $X_3$ & not $X_4$	1	1	1	1	1	1	1	1
not $X_1$ or not $X_3$ & not $X_4$	2	1	1	0	0	0	1	1
not $X_2$ or not $X_3$ & not $X_4$	3	1	0	1	0	0	0	1
not $X_1$ & not $X_2$ or not $X_3$	4	1	0	0	1	0	1	0
not $X_1$ & not $X_2$ or not $X_4$	5	1	0	0	0	1	1	0
not $X_1$ & not $X_2$	6	1	1	0	1	1	1	0
not $X_3$ & not $X_4$	7	1	1	1	0	0	0	1

Рис. 1. Матрица совместимости базисных функций

Для матрицы (см. рис. 2) таким подмножеством с заданным числом элементов, равным 2, и плотностью 0 может быть подмножество из элементов с координатами:

(1; 2), (2; 3) или (4; 1), (4; 2) и т.д.

№	1	2	3	4	...	$m$
1	0	2	0	0	...	0
2	5	7	6	0	...	2
3	0	0	5	4	...	3
4	1	3	5	1	...	6
...	...	...	...	...	...	...
$n$	2	1	1	3	...	4

Рис. 2. Матрица элементов: элементы, значения которых равны 0 – нерабочие

Для решения этой задачи предлагается специальный алгоритм. Алгоритм основан на анализе подмножеств из таблицы элементов. Алгоритм можно разбить на три шага.

Шаг 1. Выбираем случайным образом ненулевые элементы из таблицы элементов и записываем координаты (номер строки, номер столбца) каждого из них в отдельный вектор в позицию с номером ноль. Далее в каждый вектор в соответствующие позиции будем добавлять координаты элементов из таблицы элементов, если эти элементы соответствуют всем трём критериям из постановки задачи. Элемент, претендующий на добавление в вектор, на соответствие первому критерию будем проверять следующим образом: если разность координат элемента, который претендует на добавление в вектор, и координат нулевого элемента не больше заданного расстояния (плотности), то первый критерий выполняется. Полученные таким образом векторы будут подмножествами, которые на следующих шагах будут расширяться или объединяться с другими векторами, пока не будут найдено искомое подмножество.

Шаг 2. Все векторы будем сравнивать поэлементно следующим образом, если для двух элементов сравниваемых векторов выполняются критерии 1 и 3 (критерий 2 проверять нет смысла, так как вектор содержит координаты только рабочих элементов), то объединим эти векторы. Если при сравнении выяснится, что какие-либо два вектора содержат координаты одинаковых

элементов, то оставим только один, а второй вектор удалим. Если при сравнении выяснится, что один из векторов содержит все элементы другого вектора, то удалим вектор, который содержится в другом векторе. Если останется только один вектор, то шаг 2 выполняться не будет.

Шаг 3. Расширим векторы элементами из таблицы элементов подобно тому, как это было сделано на первом шаге, но теперь для проверки первого критерия будем использовать не нулевой, а первый элемент, при следующей итерации – второй элемент и т.д. Если дойдём до последнего элемента в векторе, то выполним расширение, а при следующей итерации, если размер вектора не увеличится, то для него расширение выполняться не будет, пока размер этого вектора не увеличится.

Шаги 2 и 3 выполняются в цикле.

Критерием для завершения цикла может послужить изначально заданное число итераций, если какой-либо вектор будет содержать требуемое количество элементов или если останутся векторы, которые нельзя объединить и расширить.

В таблице показано, какие элементы будут добавлены в вектор, если на первом шаге в него был добавлен элемент с координатами (2, 2), а плотность равна нулю.

Добавление элементов в вектор

№	1	2	3	4	...	$m$
1	0	2	0	0	...	0
2	5	7	6	0	...	2
3	0	0	5	4	...	3
4	1	3	5	1	...	6
...	...	...	...	...	...	...
$n$	2	1	1	3	...	4

Примечание: ■ – нулевой элемент вектора; ■ – элементы, которые будут включены

Количество векторов, созданных на первом шаге, влияет на производительность, так как каждый вектор – это подмножество, которое требует анализа. На рис. 3 изображены результаты работы алгоритма для таблицы элементов размером 30x30 (900 элементов), 100 подмножеств и плотности 0. Как видно из рис. 3, было найдено подмножество из 771 элемента.

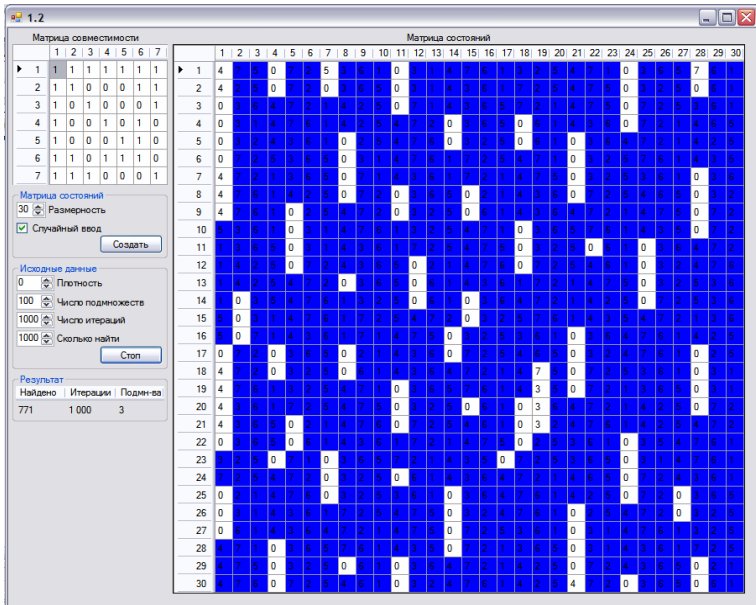


Рис. 3. Результат работы алгоритма для 100 подмножеств: синий – элементы найденного подмножества

На рис. 5 изображён результат работы алгоритма для той же таблицы, одного подмножества и плотности 0. Алгоритм нашёл то же самое подмножество элементов.

Как видно из графиков на рис. 4, время работы алгоритма для одного подмножества меньше, так как шаг 2 сразу пропускается. Но чем меньше подмножеств будет сгенерировано на первом шаге работы алгоритма, тем меньше вероятность найти максимальное подмножество совместимых элементов.

При рассмотрении работы алгоритма для одного подмножества искоемое подмножество могло состоять из одного элемента,

например, для таблицы элементов, изображённой на рис. 3, таким подмножеством может быть элемент с координатами (1, 28). С другой стороны, если взять слишком большое число подмножеств, алгоритму потребуется большое время для выполнения второго шага. Однозначно определить количество подмножеств нельзя, всё зависит от входных данных.

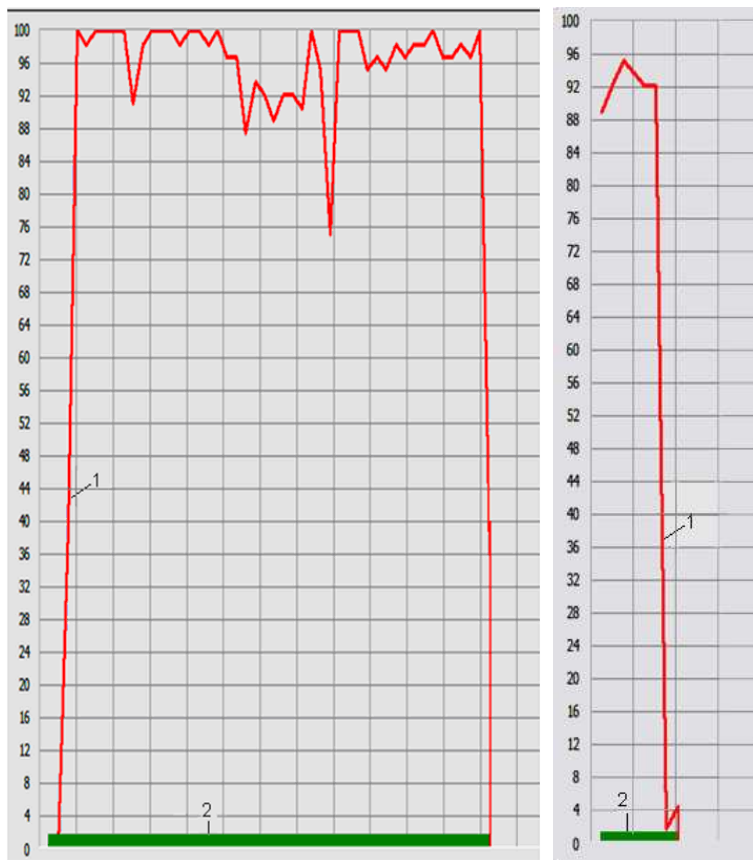


Рис. 4. Загрузка процессора при работе алгоритма:  
*а* – для 100 подмножеств, *б* – для одного подмножества;  
 1 – процент загрузки ЦП; 2 – время работы



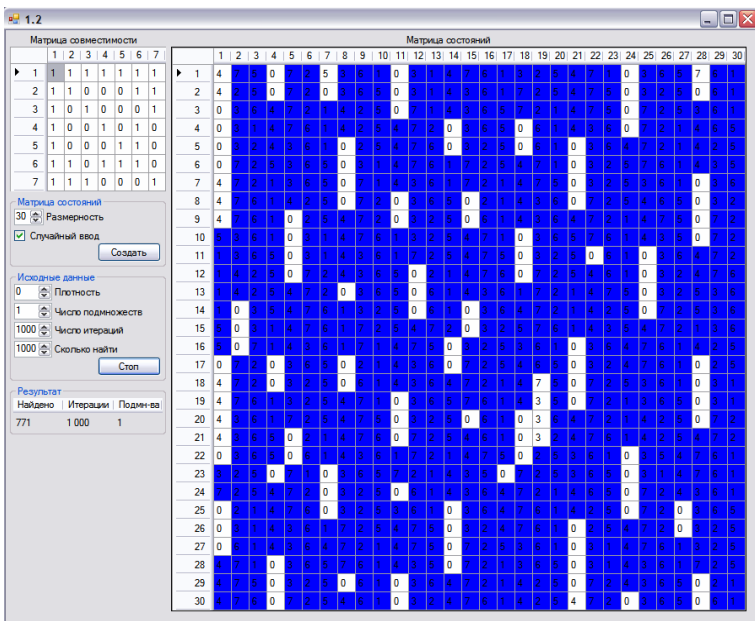


Рис. 5. Результат работы алгоритма для одного подмножества:  
синий – элементы найденного подмножества

Адаптируемая к функциональным отказам цифровая аппаратура на основе функционально-полных толерантных элементов позволяет увеличить коэффициент готовности существующей аппаратуры за счет введения дополнительных режимов функционирования со сниженным быстродействием в относительно длительный период нормального протекания технологического процесса, а также увеличить вероятность безотказной работы до требуемых значений, в относительно короткий катастрофический период [5].

### Библиографический список

1. Тюрин С.Ф. Синтез адаптируемой к отказам цифровой аппаратуры с резервированием базисных функций // Приборостроение. – 1999. – № 1. – С. 36–39.
2. Тюрин С.Ф. Адаптация к отказам одновыходных схем на генераторах функций с функционально-полными толерантными элементами // Приборостроение. – 1999. – № 7. – С. 32–34.

3. Тюрин С.Ф. Проблема сохранения функциональной полноты булевых функций при «отказах» аргументов // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 9. – С. 176–186.

4. Программируемое логическое устройство: пат. № 2146840 Рос. Федерация / С.Ф. Тюрин, В.А. Несмелов, В.А. Харитонов [и др.]; опубл. БИ № 8. (2000 г.).

5. Функционально-полные толерантные цифровые схемы на базе плис фирмы «altera» / С.Ф. Тюрин, С.В. Богатырев, А.В. Голубев, А.В. Греков, А.А. Прохоров, Д.А. Прохоров // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – Харьков: Изд-во ХАИ, 2007. – № 8(27). – С. 66–70.

## СИНТЕЗ СЕТЕЙ ПЕТРИ

**Курсанты А.А. Фролов, М.И. Ерофеев**

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор *С.Ф. Тюрин*  
Пермский военный институт внутренних войск МВД России

Сети Петри – наиболее удачный из существующих математический аппарат для моделирования, анализа, синтеза и проектирования самых разных дискретных систем с параллельно протекающими процессами.

Существуют два основных метода анализа сетей Петри: матричные и основанные на построении дерева покрываемости.

Первая группа методов основана на матричном представлении маркировок и последовательностей запуска переходов. Для этого определим две матрицы размерности (количество позиций  $\times$  количество переходов), связанные со структурой сети. Первая матрица называется матрицей входов:

$$\mathbf{D}^- [i, j] = \# (p_i, I(t_j)), \quad (1)$$

каждый её элемент равен числу фишек, уходящих из  $j$ -й позиции при запуске  $i$ -го перехода. Вторая матрица называется матрицей выходов:

$$\mathbf{D}^+ [i, j] = \# (p, O(t_j)), \quad (2)$$

каждый её элемент равен числу фишек, приходящих в  $j$ -ю позицию при запуске  $i$ -го перехода. Определим единичный вектор  $e[j]$  размерности  $m$ , содержащий нули во всех позициях, кроме той, которая соответствует запускаемому в данный момент переходу. Очевидно, что переход разрешён, если  $\mu \geq e[j] \cdot \mathbf{D}$ . Тогда результат запуска  $j$ -го перехода можно описать так:

$$\mu' = \mu + e[j] \cdot \mathbf{D}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{D} = (\mathbf{D}^+ - \mathbf{D}^-)$  – матрица изменений. Тогда все сформулированные ранее проблемы сети Петри легко интерпретируются матричными уравнениями вида

$$\mu = \mu_0 + \sigma \cdot \mathbf{D}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – исследуемая маркировка,  $\sigma$  – вектор, компоненты которого показывают, сколько раз срабатывает каждый переход.

Хотя данный метод достаточно прост, он не лишён некоторых недостатков. А именно его применение даёт лишь необходимые условия существования какого-либо свойства, иными словами, может гарантировать лишь его отсутствие, а о присутствии мы сможем говорить с уверенностью, только проанализировав дерево покрываемости (смены) маркировок.

Дерево маркировок сети – это связанный граф, в вершинах которого находятся маркировки, которых мы достигли в результате последовательного запуска разрешённых переходов, а на дугах, соединяющих вершины, – запускаемые переходы. Путь от корня к каждой маркировке отражает последовательность запусков, приведшую к ней. Корнем дерева является начальная маркировка. При неограниченном накапливании фишек в позиции на дереве образуется петля, а в маркировке на месте, соответствующем заиклившейся позиции, ставится  $\omega$  – символ бесконечно большого числа.

Ясно, что этот метод, хотя и требует утомительного перебора всех возможных маркировок сети, но зато по уже готовому дереву достаточно легко анализировать проблемы достижимости, покрываемости, активности, обратимости сети.

Исходная сеть в виде графа (рис. 1). Для матричного анализа сети найдём её матрицу изменений.

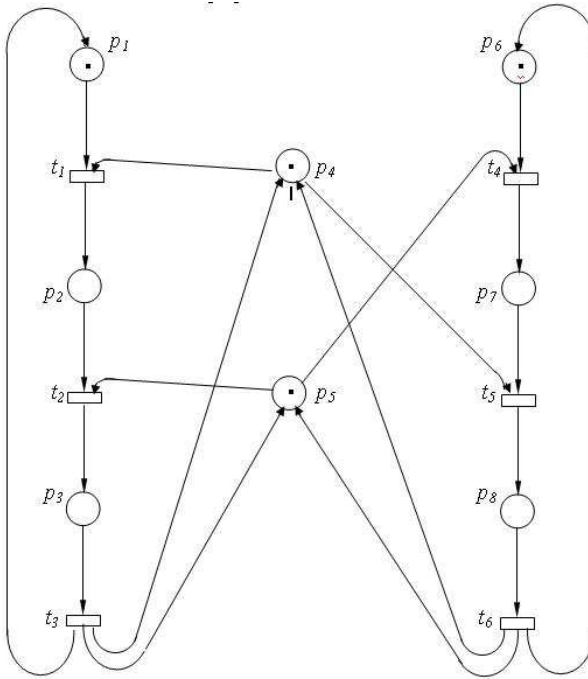


Рис. 1. Исходная сеть Петри

$$\mathbf{D}^- = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{D}^+ = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Матрицу изменений найдём как разность между (6) и (5):

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Таким образом, получив матрицу изменений, можно записать матричное уравнение смены маркировок вида (4). Вектор начальной маркировки определим так:

$$\mu_0 = (10011100). \quad (8)$$

Составим дерево покрываемости маркировок сети (рис. 2).

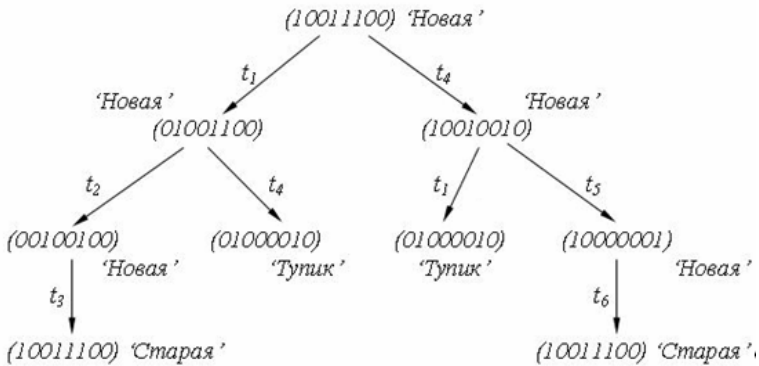


Рис. 2. Дерево покрываемости маркировок

Дерево покрываемости удобно оформить в виде графа. При этом более наглядно видны зацикливающиеся переходы, тупиковые маркировки никакими дополнительными пояснениями снабжать не требуется – отсутствие дуг, исходящих из данной маркировки, говорит само за себя. При достижении старой маркировки её не нужно заново наносить на граф, достаточно соединить дугой предыдущую маркировку и уже существующую «старую».

Граф покрываемости сети представлен на рис. 3.

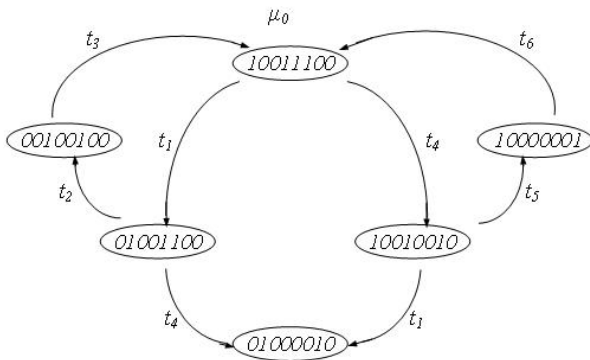


Рис. 3. Граф покрываемости маркировок сети Петри

Проанализируем сеть двумя методами – матричным и графическим и сравним полученные результаты.

Вопрос достижимости какой-либо маркировки легче всего решается, глядя на граф покрываемости. Действительно, возьмём для примера две маркировки:  $\mu_1 = (01000010)$  и  $\mu_2 = (00100010)$ . Первая из них достижима, и возможны два пути прихода к ней:  $t_1, t_4$  или  $t_4, t_1$ . Однако они не единственны, перед вторым запуском перехода возможно бесконечное число раз запустить для первого случая последовательность  $t_2, t_3$ , для второго случая –  $t_5, t_6$ . Вторая маркировка явно недостижима, так как её нет на графе.

С помощью матриц этот вопрос решается следующим образом. Составляем уравнение вида (4), в котором вместо  $\sigma$  ставим неизвестный вектор  $x$  той же размерности, а вместо  $\mu$  – интересующую нас маркировку  $\mu_1$ . В итоге получаем систему из 8 уравнений относительно 6 неизвестных компонент вектора  $x$ .

$$\begin{cases} -x_1 + x_3 = -1, \\ x_1 - x_2 = 1, \\ x_2 - x_3 = 0, \\ -x_1 - x_3 - x_5 = -1, \\ -x_2 - x_3 - x_4 + x_6 = -1, \\ -x_4 + x_6 = -1, \\ x_4 + x_5 = 1, \\ x_5 - x_6 = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Проанализировав данную систему, видим, что пятое уравнение является следствием из третьего и шестого, шестое – из седьмого и восьмого, первое – из второго и третьего. Из (1) и (4) следует, что  $x_5 = 0$ ,  $x_6 = 0$ , из (7) следует, что  $x_4 = 1$ . Первые три уравнения в (9) являются линейно зависимыми, поэтому за свободное неизвестное примем  $x_1$ . Тогда получаем решение в виде  $x_1 = \{y \ y - 1 \ y - 1 \ 1 \ 0 \ 0\}$ , где  $y$  – любое целое число. Полученное решение говорит о достижимости маркировки  $\mu_1$  и указывает, какие из переходов и сколько раз должны быть для этого запущены.

Сравнив оба способа решения, сразу можно увидеть недостатки второго. Во-первых, решение (9) не указывает, в какой именно последовательности должны быть запущены указанные переходы. Во-вторых, глядя на матрицу изменений, мы не можем судить о наличии в сети петель. Кроме того, полученное матричное решение не даёт, вообще говоря, гарантий своей реализуемости, оно является лишь необходимым условием достижимости. Однако не получив решения, можно говорить о недостижимости маркировки.

Действительно, записав уравнение для  $\mu_2$ , получаем систему:

$$\begin{cases} -x_1 + x_3 = -1, \\ x_1 - x_2 = 0, \\ x_2 - x_3 = 1, \\ -x_1 + x_3 - x_5 = -1, \\ -x_2 + x_3 - x_4 + x_6 = -1, \\ -x_4 + x_6 = -1, \\ x_4 - x_5 = 1, \\ x_5 - x_6 = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Система является несовместной, так как после вычитания третьего уравнения из шестого получаем уравнение, противоречащее пятому. Поэтому можно сделать вывод о недостижимости  $\mu_2$ , совпадающей с полученным из графа покрываемости маркировок.

Исходя из графа (6), можно заключить, что сеть является безопасной. Действительно, ни в одной из позиций на маркировках не накапливается больше одной фишки. Это говорит о том, что реальный процесс, описываемый сетью, протекает без конфликтов. Однако о полном отсутствии конфликтов говорить пока

рано. Данный вывод невозможно получить из матричного уравнения, так как он является обобщением, сделанным на основе знания всех возможных маркировок, получающихся в сети.

Данная сеть является активной – в ней каждый переход может сработать хотя бы один раз. Проанализируем уровни активности отдельных переходов. Переходы  $t_1$  и  $t_4$  являются  $L1$ -активными, так как они в худшем случае (то есть при получении тупиковой маркировки) могут сработать хотя бы один раз.

Переходы  $t_2, t_3, t_5$  и  $t_6$  являются  $L2$ -активными, так как они могут сработать любое наперёд заданное число раз и даже больше.

Отсюда можно сделать вывод о том, что данная сеть не является бесконфликтной, у неё есть тупиковое состояние.

Можно также сказать, что сеть является обратимой. Этот вывод можно получить и матричным путём, решив уравнение

$$x \cdot \mathbf{D} = 0. \quad (11)$$

Получаем систему

$$\begin{cases} -x_1 + x_3 = 0, \\ x_1 - x_2 = 0, \\ x_2 - x_3 = 0, \\ -x_1 + x_3 - x_5 = 0, \\ -x_2 + x_3 - x_4 + x_6 = 0, \\ -x_4 + x_6 = 0, \\ x_4 - x_5 = 0, \\ x_5 - x_6 = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Данная система имеет 2 решения:  $\{y \ y \ 0 \ 0 \ 0\}$  и  $\{0 \ 0 \ 0 \ y \ y\}$ , где  $y$  – любое число. Действительно, запуская любое число раз последовательности  $t_1 \ t_2 \ t_3$  или  $t_4 \ t_5 \ t_6$ , каждый раз мы возвращаемся к исходной маркировке.

Из графа (6) также следует, что ни одна из маркировок сети не является покрываемой. Действительно, ни для одной маркировки не существует другой такой, для которой в каждой позиции было бы не меньше фишек, чем в исходной.

Можно сказать, что данная сеть не является устойчивой. У неё есть тупик, и, кроме того, непосредственно перед переходом в тупиковое состояние всегда существуют два разрешённых



перехода. Запуская «неправильный» переход, мы запрещаем оба, и оказываемся в тупике. Такое свойство сети говорит о наличии потенциально возможных конфликтов.

На основании графа (б) можно выписать множество достижимых из  $\mu_0$  маркировок:

$$R(C, \mu_0) = \left\{ \begin{array}{l} 01001100 \\ 10010010 \\ 00100100 \\ 10000001 \\ 01000010 \end{array} \right\}. \quad (13)$$

В данной работе была проанализирована и смоделирована сеть Петри, которая служит моделью функционирования двух производственных процессов, связанных двумя общими ресурсами. В результате можно сделать вывод о принципиальном наличии в системе тупиковой ситуации, которая возникает при попытке одновременного запуска обоих процессов на выполнение. Чтобы не возникало тупика, необходимо каждый из процессов доводить до завершения и не запускать другой процесс, пока не окончены все три цикла первого.

### Библиографический список

1. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера.– Киев: Техника, 1975. – 538 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров.– М.: Наука, 1984. – 831 с.
3. Брауэр В. Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Радио и связь, 1987. – 392 с.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДАТЧИКОВ МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСУДОВ**

**Студенты гр. ЭВТ-07 А.А. Темичев, Е.И. Андреев**

Научный руководитель – старший преподаватель *А.В. Кычкин*  
Пермский государственный технический университет

Анализ современного состояния информационно-измерительных систем (ИИС) в медицинской диагностике свидетельствует о повышении быстродействия датчиков и вычислителей, а также о совершенствовании измерительных каналов. Важной составляющей качества ИИС и канала передачи биомедицинской измерительной информации является мобильность технических средств, исключая проводные связи в системе. Данный подход реализуется, как правило, на основе сетей интеллектуальных датчиков, построенных на базе технологий WLAN (Wireless Local Area Network) [1]. Мобильность измерительного оборудования позволяет исследовать сосуды подвижного человека, что гарантирует надежность съема сигналов в произвольном числе точек наблюдения и обеспечивает специалистов дополнительными возможностями и диагностическими процедурами. Однако к таким устройствам предъявляются более жесткие требования, чем к стационарным приборам. Во-первых, они должны быть компактны, надежны и удобны. Во-вторых, мобильное устройство должно осуществлять сбор достоверных данных в режиме реального времени.

К доступным и хорошо воспроизводимым методам оценки свойств сосудов относятся исследования, основанные на анализе параметров пульсовой волны, в том числе расчете скорости ее распространения [2, 3]. Применение мобильного комплекса регистрации временных задержек и расчета скорости распространения пульсовой волны на основе измерительной WLAN повышает оперативность и достоверность сбора и передачи данных. Однако вопросы метрологического исследования измерительных сетей датчиков пульсовой волны не решены в полном объеме. Сложившаяся ситуация свидетельствует о необходимости создания перспективной технологии оценки точностных характеристик беспроводных измерительных сетей в комплексе диагностики состояния сосудов.

Важной характеристикой сети датчиков, характеризующей точность измерения параметров распространения пульсовой волны, является оценка значений абсолютной и относительной погрешностей [4]. Для определения погрешностей была разработана методика статистической проверки результатов измерений на эталонном сигнале, генерируемом с помощью программируемого микропроцессорного устройства.

Допустим, что случайная величина временной задержки пульсовой волны  $X_i$  распределена по нормальному закону, тогда с учетом специфики измеряемых величин определим статистические характеристики погрешности датчиков согласно ГОСТ 8.009-84 «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Предлагается методика исследования погрешности измерений с помощью экспериментальной установки, заключающаяся в выполнении следующих шагов:

1. Формирование идеализированного сигнала, по которому возможно рассчитать контрольные точки: максимумы и минимумы амплитуды. Длительность периода колебаний  $L_0$  находится в диапазоне значений 0,4 ... 2 секунды, что составляет приблизительный диапазон возможных периодов сердцебиения.

2. Мониторинг с помощью беспроводных датчиков двух идеализированных сигналов ПВ с различной временной задержкой  $\Delta T_0$  друг относительно друга. Величина  $\Delta T_0$  находится в диапазоне значений 1 ... 100 миллисекунды, который охватывает диапазон возможных временных задержек при оценке параметров пульсовой волны.

3. Регистрация сформированных сигналов с заданными характеристиками в течение заданного времени, содержащего  $n$  полных периодов.

4. Обработка на ПК снятых сигналов с помощью программного обеспечения системы оценки состояния сосудов, установка контрольных точек, расчет временной задержки между колебаниями за каждый период  $X_i = \Delta t_i$ , где  $i = 1..n$ .

5. Расчет среднего значения временного интервала задержки  $X_m = \Delta T_0$  согласно

$$X_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i ,$$

где  $X_i$  – рассчитанное значение.

6. Сверка  $X_m$  с полученным  $\Delta t_i$ . Расчет абсолютной погрешности каждого измерения  $\Delta X_i = |X_m - X_i|$  и абсолютной погрешности группы измерений  $\Delta X = |X - X_m|$ .

7. Расчет систематической составляющей погрешности  $\Delta X_s = \frac{\overline{\Delta'} + \overline{\Delta''}}{2}$ , где  $\overline{\Delta'}$  и  $\overline{\Delta''}$  – средние значения погрешности в точке  $X_i$  диапазона измерений, полученные экспериментально со стороны меньших (для  $\overline{\Delta'}$ ) и больших (для  $\overline{\Delta''}$ ) значений до значения  $X_m$ :  $\overline{\Delta'} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta' X_i$ ,  $\overline{\Delta''} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta'' X_i$ , где  $n$  – число реализаций погрешности при определении  $\overline{\Delta'}$  или  $\overline{\Delta''}$ .

8. Расчет средней квадратической погрешности  $\sigma[\Delta] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i)^2}{n-1}}$ , где  $n$  – число измерений, и средней квадратической погрешности среднего арифметического  $\sigma[\Delta_x] = \frac{\sigma[\Delta]}{\sqrt{n}}$ , характеризующей отклонение среднего арифметического  $X_m$  от истинного значения временной задержки;

9. Определение случайной погрешности, используя формулу  $\sigma[\Delta_x] = \alpha_{n,p} \sigma[\Delta_x]$ , где  $\alpha_{n,p}$  – коэффициент Стьюдента, коэффициент Стьюдента, принятый 2,0003 из таблицы для доверительной вероятности 0,95 и 60 измерений.

10. Расчет относительной погрешности в процентах,

$$E = \frac{\sigma[\Delta_x]}{X_m} \cdot 100 \% .$$

11. Изменение характеристик сигналов, их повторная регистрация с помощью датчиков ПВ и оценка погрешностей и их статистических характеристик для измененных временных задержек.

Форма сигнала, подаваемого на датчики, должна быть простой и обеспечивающей однозначную установку контрольных точек. Для иллюстрации процесса оценки погрешности измерения разработана временная диаграмма, приведенная на рис.1.

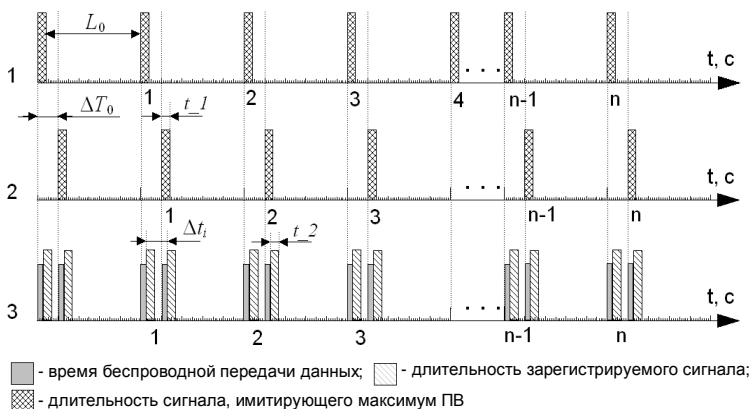


Рис. 1. Временная диаграмма оценки погрешности измерения датчиков пульсовой волны

На рис. 2 показана схема разработанной экспериментальной установки для исследования погрешности измерений.

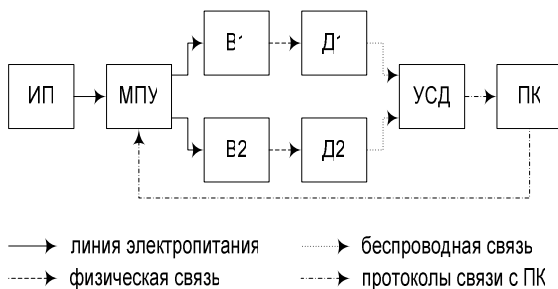


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования погрешности измерений

В состав установки входят: ИП – источник питания, формирующий напряжение питания для МПУ, генерирующего тестовые сигналы; возбудители В1 и В2, управляемые МПУ и преобразующие входной электрический сигнал в механическое воздействие на датчики ПВ Д1 и Д2; УСД с интерфейсом для подключения к ПК. В качестве возбудителя используется электромагнитное контактное реле с рычагом, прикрепленным к чувствительному элементу датчика регистрации ПВ. При кратковременной подаче электрического сигнала постоянного тока на контактное реле происходит

перемещение рычага и размыкание питающей цепи реле, вследствие чего колебательное движение передается на датчик.

Для управления экспериментальной установкой выбрано МПУ серии *RTCU-D4*, оснащенное 32-битным процессором *ARM7* с архитектурой *CISC*. Оперативная память составляет 1088 Кбайт, объем памяти *Flash*, предназначенной для приложений, составляет 2304 Кбайт; объем *Dataflash* для регистрации данных и параметров составляет 512 Кбайт; объем ОЗУ 8 Кбайт; поддержка съемных носителей типа *SD-card* объемом до 2 Гбайт.

Согласно методике применения сети датчиков находится скорость распространения пульсовой волны по анализу временной задержки сигналов с двух датчиков, расстояние между которыми известно. Для нахождения данной задержки по графику определяются контрольные точки – максимумы и минимумы. Таким образом, по разнице между заданной задержкой импульсов экспериментальной установки и вычисленной задержкой по графику можно оценить точность работы системы.

Для исследования погрешности и ее характеристик было проведено 5 опытов длительностью 60 с каждый. В каждом опыте на основании заданных эталонных интервалов проводились измерения и оценка погрешностей. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице.

Результаты исследования погрешности измерений датчиков пульсовой волны

№ п/п	Наименование погрешности и ее характеристики	Заданная задержка (мс) и значение погрешности					Среднее значение
		20	40	60	80	100	
1	Абсолютная погрешность	0,3	0,2	0,5	0,3	0,4	0,34
2	Относительная погрешность	4,65	2,43	1,68	1,06	1,08	2,186
2	Систематическая составляющая погрешности	0,20	0,75	0,33	0,03	0,06	0,278
3	Средняя квадратическая погрешность	1,49	1,54	1,58	1,33	1,71	1,535
4	Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического	0,47	0,48	0,5	0,42	0,54	0,485
5	Случайная погрешность	0,94	0,97	1,001	0,84	1,08	0,971

Из таблицы видно, что постоянно присутствует систематическая погрешность, имеющая значительный разброс. Это связано с погрешностью дискретизации сигнала пульсовой волны и определения контрольных точек. В результате получена  $\pm 2,2$  % относительная погрешность, абсолютная погрешность 0,34 с, случайная погрешность менее 1 мс, что говорит о высокой точности метода и защищенности от внешних случайных воздействий.

Таким образом, предложенная технология оценки точностных характеристик измерительной WLAN в комплексе диагностики состояния сосудов позволила определить значения погрешностей. Оценка погрешностей, имеющихся на рынке аналогов измерительно-диагностирующих комплексов, позволит говорить о достоверности используемых диагностических методов и защищенности от внешних случайных воздействий.

### Библиографический список

1. Нейджел Д.Дж. Беспроводные сети интеллектуальных датчиков // Датчики и системы. – 2002. – № 6. – С. 51–58.
2. Савицкий Н.Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики. – 2-е изд. – Л.: Медицина, 1963.
3. Pulse pressure and aortic pulse wave velocity are markers of cardiovascular risk in hypertensive populations / R. Asmar, A. Rudnichi [et all.] // Am. J. Hypertens. – 2001. – Vol. C-14. – P. 91–97.
4. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
5. Дитрих Д., Лой Д., Швайнцер Г.Ю. Lon-Технология. Построение распределенных приложений / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1999. – 395 с.

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОХРАННАЯ СИСТЕМА ШИРОКОГО ПРОФИЛЯ С GPRS-КАНАЛОМ

Студенты гр. АСУ-06м Р.Р. Бакунов, А.С. Мехоношин

Научные руководители:

д-р экон. наук, профессор Р.А. Файзрахманов,

д-р экон. наук, профессор Е.В. Долгова

Пермский государственный технический университет

В данной работе описана модель разработанной авторами многофункциональной охранной системы с GPRS-каналом на основе беспроводного процессора WMP100.

Охранная система является лучшим вариантом защиты любого здания от незаконного проникновения. Почти каждый офис, склад и магазин заказывают установку и монтаж охранных систем. Большое количество частных домов также оборудуются сигнализацией.

Таким образом, разработка современной высокотехнологичной охранной системы является актуальной и востребованной научно-технической задачей.

На рис. 1 представлена функциональная схема разработанной охранной системы.

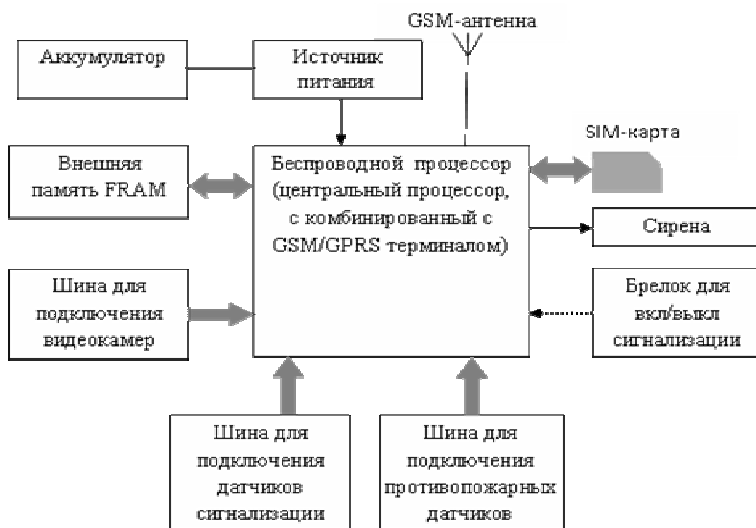


Рис. 1. Функциональная схема охранной системы



В качестве ядра системы был выбран беспроводной процессор WMP100, реализующий одновременно две функции: функцию GSM-модуля и функцию центрального управляющего процессора. Поддержка первой функции осуществляется программным обеспечением Open AT компании Wavocom. Поддержка второй функции — приложением Open AT, написанным для работы на процессоре WMP100.

Общая структура программно-математического обеспечения (ПМО) сигнализатора представлена на рис. 2.



Рис. 2. Общая структура ПМО сигнализатора

В связи с необходимостью работать с целым рядом устройств, входящих в состав сигнализатора, пользовательское приложение состоит из следующих модулей:

1. Модуль работы с внешними прерываниями. В этом модуле реализованы обработчики асинхронных событий: срабатывание одного из датчиков, нажатие кнопки выключения прибора.

2. Модуль управления устройствами через выходы общего назначения. В состав модуля входят процедуры управления световой индикацией, переключения режимов работы источника питания, включения/выключения видеокamer и сирены.

3. Модуль управления микросхемой постоянной памяти FRAM. Модуль включает процедуры чтения из памяти и запись в память настроек, параметров работы сигнализатора, изображения с видеокamеры. Обмен осуществляется по шине I2C.

При операциях записи/чтения рассчитывается контрольная сумма блока данных и проверяется контроль целостности считанных данных.

4. Модуль управления внутренним «черным ящиком» сигнализатора. В модуле реализованы процедуры работы с флеш-памятью процессора, позволяющие читать сообщения из циклического буфера и писать сообщения в циклический буфер, организованный во флеш-памяти.

5. Модуль обработки АТ-команд пользователя. В него включены процедуры обработки АТ-команд, с помощью которых внешняя программа для персонального компьютера может считывать из сигнализатора и записывать в него параметры работы и настройки, а также давать команды на включение/выключение тех или иных устройств в тестовых целях.

6. Модуль таймеров и часов реального времени (RTC). В модуле реализованы процедуры управления часами реального времени (инициализация, чтение, подстройка), а также обработчики прерываний от таймеров, обеспечивающие основной цикл работы сигнализатора, формирование сообщений, запись сообщений во внутренний «черный ящик» прибора, отправку сообщений через GPRS.

7. Модуль приема изображений с видеокамер. В модуль входят процедуры начальной инициализации видеокамер, а также процедуры приема и обработки изображений с них, поступающих по UART.

8. Модуль работы с SMS. В модуле описаны процедуры формирования и отправки SMS-сообщений на заданные телефонные номера, а также процедуры декодирования и обработки входящих SMS с командами диспетчера.

9. Модуль работы с GPRS. Модуль состоит из процедур подключения к TCP/IP-серверу с помощью сервиса GPRS и передачи содержимого «черного ящика» в диспетчерский центр.

Основной режим работы сигнализатора – это режим ожидания. В данном режиме видеокамеры отключены, беспроводной процессор поддерживает регистрацию в GSM-сети, способен принимать входящие SMS, но не имеет активных GPRS-соединений, и поэтому находится в режиме пониженного энергопотребления (ядро тактируется от генератора 32 кГц вместо номинального 104 МГц). Выход из данного режима осуществляется по ряду событий:

1. Срабатывает одно из устройств, подключенных к внешнему входу прерывания процессора WMP100: датчики сигнализации, противопожарные датчики, кнопка выключения.

2. Определяется входящее SMS-сообщение.

Основной цикл работы сигнализатора показан на рис. 3.

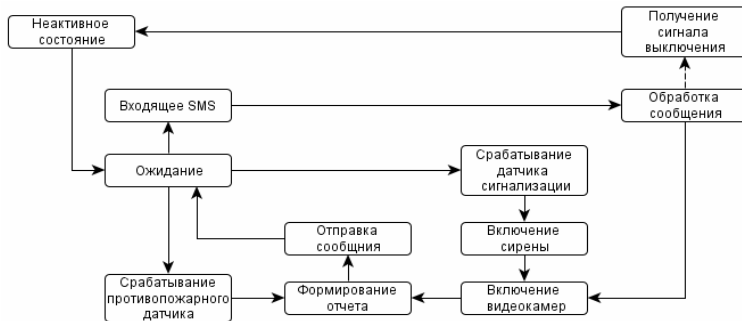


Рис. 3. Основной цикл работы сигнализатора

При включении сигнализации устройство находится в режиме низкого энергопотребления, ожидая действия, выводящего устройство из этого состояния. При получении входящего SMS-сообщения осуществляется его обработка, после чего производятся соответствующие операции (например, получение изображений с камеры), формируется отчет и происходит отправка сообщения, или же устройство переходит в состояние «выключено». Если же срабатывает один из противопожарных датчиков, то формируется отчет и посылается соответствующее сообщение. Если сработал датчик сигнализации, то начинается запись с видеокамер, включается сирена (на определенный промежуток времени), после чего формируется отчет и происходит отправка сообщения. При поступлении сигнала «выключение» устройство завершает регистрацию в GSM-сети, выключаются камеры и сирена (если они включены), и система входит в режим выключения, выход из которого возможен только при повторном нажатии кнопки выключения (переводе устройства в состояние «включено»). В режиме выключения не работают никакие устройства за исключением часов реального времени.

Разработанная охранная система может с успехом применяться для обеспечения безопасности супермаркетов, квартир, банков, частных домов, торговых центров и дач.

Таким образом, результатом деятельности авторов является универсальное и востребованное решение в области комплексного обеспечения безопасности объектов различного назначения.

### **Библиографический список**

1. Тихвинский В.О. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS М. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 400 с.
2. Таранков И.В. Руководство по использованию AT-команд для GSM/GPRS-модемов. – М.: Компэл, 2005. – 432 с.
3. Новости Электроники. – 2007. – № 5. – С. 12–15.
4. WMP100\_Manufacturing\_Guide -Rev\_001. (Техническая документация).

## **О ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПОЛНЫХ ТОЛЕРАНТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

**Студент гр. КЗИ-08 А.Н. Каменских**

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор *С.Ф. Тюрин*  
Пермский государственный технический университет

Широкое распространение цифровой аппаратуры в самых разных отраслях народного хозяйства неизбежно ставит проблему синтеза отказоустойчивых устройств.

В связи с широким распространением программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), которые способны реконфигурироваться в процессе эксплуатации, возникают новые возможности для построения отказоустойчивых цифровых автоматов. Предлагаются избыточные логические базисы, сохраняющие функциональную полноту при заданной модели отказов и обеспечивающие работоспособность на подмножестве базисов подмножества элементов.

Такие элементы названы функционально-полными толерантными. Предлагаемый подход позволяет восстановить вычислительный процесс даже при константных отказах входов всех элементов. При исследовании будем использовать программный пакет Quartus 2 фирмы Altera, позволяющий программировать ПЛИС различных моделей, а также ПЛИС EP2C5F256C6 семейства Cyclone II. Проведем анализ быстродействия на схемах мультиплексора и суммы по модулю 2, реализуемых в ФПТ-базисе (рис. 1 и 2).

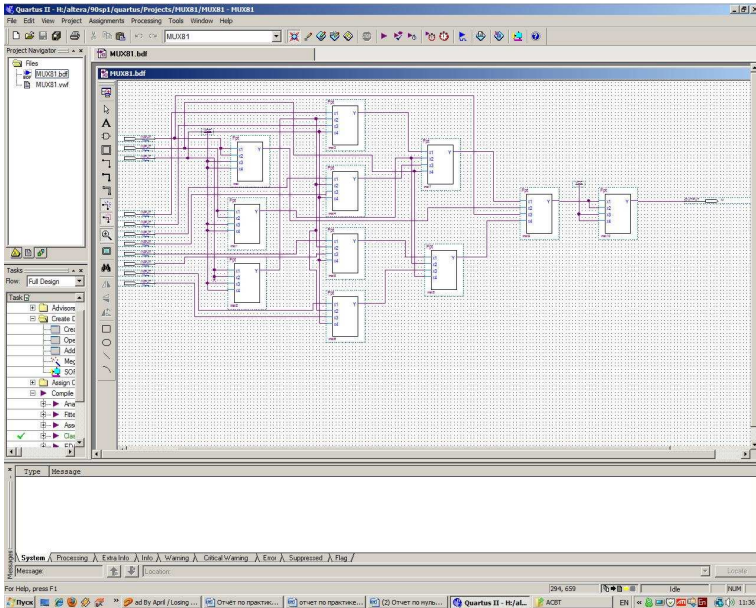


Рис. 1. Схема «Сумма по модулю 2» в полном ФПТ-базисе ( $X_1' X_2' \vee X_3' X_4'$ )

ФПТ-базис в операциях конъюнкции, дизъюнкции и инверсии представляет собой  $\overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_3} \overline{x_4}$ . Базис удобен для создания отказоустойчивых блоков, в своем полном варианте он так же позволяет реализовать переключательные функции с минимальной сложностью схемы, что доказывается следующей теоремой: любая булева функция трех аргументов может быть реализована не более чем на семи элементах с базисом  $\overline{x_1} \overline{x_2} \vee \overline{x_3} \overline{x_4}$ .

Разумно будет сначала создать функциональный элемент, реализующий функцию, так как он будет многократно использоваться в схемах. Для моделирования были выбраны схемы мультиплексора и суммы по модулю 2.

Программа Quartus 2 должна проверять верность полученных схем не только через их моделирование, но и через контрольные суммы.

Контрольная сумма для «Суммы по модулю 2» – 000730DE.  
 Размер записываемого файла – 151049 байт.

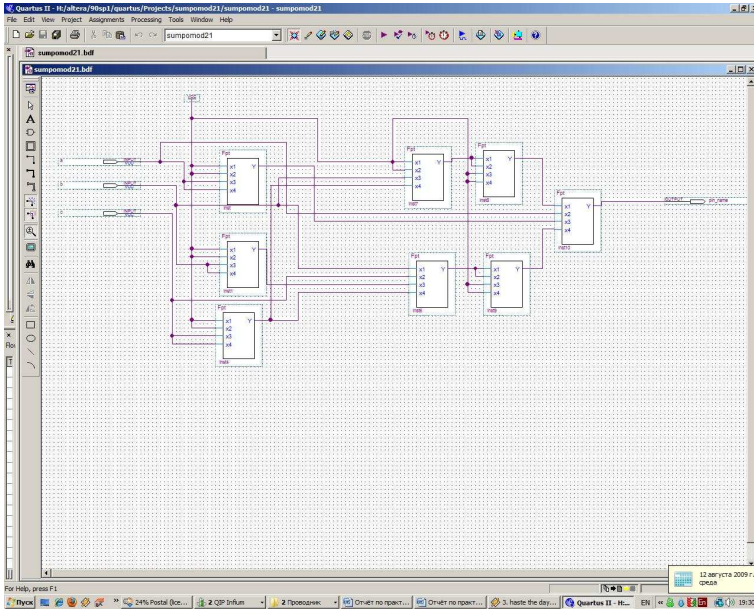


Рис. 2. Схема «Сумма по модулю 2» в полном ФПТ-базисе ( $\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4$ )

CRC – 944E.

Контрольная сумма для мультиплексора – 00074223.

Размер записываемого файла – 151049 байт.

CRC – D11B.

Временные задержки для схем представлены ниже в таблице.

### Временные задержки

Функция	Количество элементов			Максимальная задержка (нс)		
	Полный базис	Остаточный базис	Базис ИЛИ-НЕ	Полный базис	Остаточный базис	Базис ИЛИ-НЕ
Сумма по модулю 2	8	8	12	9,300	9,300	9,956
Мультиплексор	11	23	24	10,465	11,939	11,939

Функция	Кол-во элементов в самой длинной ветви			Максимальная задержка (нс)		
	Полный базис	Остаточный базис	Базис ИЛИ-НЕ	Полный базис	Остаточный базис	Базис ИЛИ-НЕ
Сумма по модулю 2	3	3	5	9,300	9,300	9,956
Мультиплексор	4	6	6	10,465	11,939	11,939

Из полученных результатов можно сделать несколько выводов:

1. Формула для вычисления задержек будет иметь вид  $T \approx a \cdot k$ , где  $k$  – число элементов,  $T$  – время задержки. Формула для нахождения полной задержки будет иметь вид  $T \approx a \cdot k + t$ , где  $t$  – время задержки пинов,  $a$  – постоянный коэффициент. Следует отметить, что среднее время задержки пинов составляет примерно 8,968 ns.

2. При усложнении схемы максимальная задержка остается примерно такой же, что позволяет без потерь для быстродействия реализовать отказоустойчивость схемы.

3. Одинаковые значения максимальных задержек в некоторых базисах объясняются тем, что дополнительные элементы вставляются не в самый длинный путь, что никак не сказывается на максимальной задержке. При этом для определения быстродействия ПЛИС важна не только задержка в самой схеме, но также задержка между входами ПЛИС.

Были исследованы закономерности максимальной задержки и сложности, схемы на ФПТ-элементах от базиса. Получен принципиальный вывод о возможности получения отказоустойчивых автоматов, без существенных потерь в быстродействии, при их реализации на ПЛИС за счет введения избыточных блоков, позволяющих перепрограммировать схему в случае отказа на элементах. При этом необходимо учесть возможность программного построения и тестирования устройства, что исключает затраты на опытные образцы. Существенным преимуществом является возможность проверки всех внутренних связей ПЛИС, что позволяет определить, в каком именно блоке в случае ошибки произошел отказ.

Важным этапом при внедрении автоматов на ПЛИС будет создание программных средств, позволяющих автоматически строить схемы и загружать их в ПЛИС. Построение такой системы позволит без участия со стороны человека в течение минимального времени восстановить работоспособность автомата.

### Библиографический список

1. Тюрин С.Ф. Проблема сохранения функциональной полноты булевых функций при «отказах» аргументов // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 9.

2. Тюрин С.Ф. Синтез адаптируемой к отказам цифровой аппаратуры срезервированием базисных функций // Приборостроение. – 1999. – № 1.

3. Тюрин С.Ф. Функционально-полные толерантные булевы функции // Наука и технология в России.– 1998. – № 4.

## **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС**

**Студенты гр. АСУ-06м Р.Р. Бакунов, А.С. Мехоношин**

Научный руководитель – д-р экон. наук,

профессор *Р.А. Файзрахманов*

Пермский государственный технический университет

В данной работе освещена разработка, нацеленная на создание универсального программно-аппаратного управляющего комплекса. Данный комплекс должен применяться для решения широкого круга задач из области построения автоматизированных и автоматических систем управления, а также для использования в качестве отладочного модуля при построении разноплановых встраиваемых систем.

Критерии, которым должен удовлетворять разрабатываемый комплекс, перечислены ниже:

- универсальность;
- производительность;
- низкая стоимость;
- компактность;
- масштабируемость всей системы в целом.

Комплекс, удовлетворяющий перечисленным требованиям, способен стать ядром кафедральных разработок встраиваемых систем. Комплекс должен вписываться в идеологию открытых систем. Кроме того, он должен быть модульным. Ведь в этом случае построение сложных устройств из более простых будет по-



добно построению дома из отдельных кирпичиков. Таким образом, сформировался следующий подход: комплекс должен состоять из нескольких плат (в самом простом случае их будет две: материнская и дочерняя, т.е. мезонинная). На материнской плате должен располагаться управляющий микроконтроллер со всей необходимой внешней по отношению к нему периферией и широким спектром разъемов.

На дочерних платах должны быть размещены устройства, не вошедшие в материнскую плату. К примеру, на одной из дочерних плат было решено разместить средство взаимодействия с оператором. Среди всех средств, обеспечивающих операторский интерфейс, самым современным можно назвать цветной TFT LCD-модуль с сенсорной панелью.

Структурная схема комплекса показана на рис. 1.

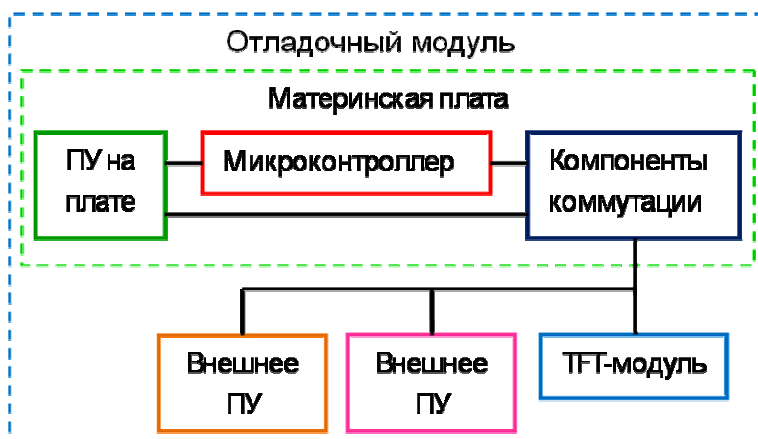


Рис. 1. Структурная схема комплекса

Как видно из структурной схемы, комплекс позволяет подключать к себе множество различных периферийных устройств (например, как уже говорилось, LCD-дисплей) посредством специальных разъемов. Однако чтобы не нарушалось требование самодостаточности, материнская плата должна быть укомплектована богатой периферией.

После проведения детального анализа современного рынка высокотехнологичных встраиваемых систем был составлен список необходимых периферийных устройств и интерфейсов:

- Nand Flash Memory;
- SDRAM;
- RS-232;
- RS-485;
- преобразователь I2C – 1-wire;
- iButton;
- мультиплексор;
- преобразователь USB – UART;
- USB – периферийное устройство;
- USB – хост;
- разъем для карты памяти (microSD);
- сборка ключей;
- мезонинные разъемы;
- разъем на плату для подключения дисплея (крепится на плате TFT-модуля).

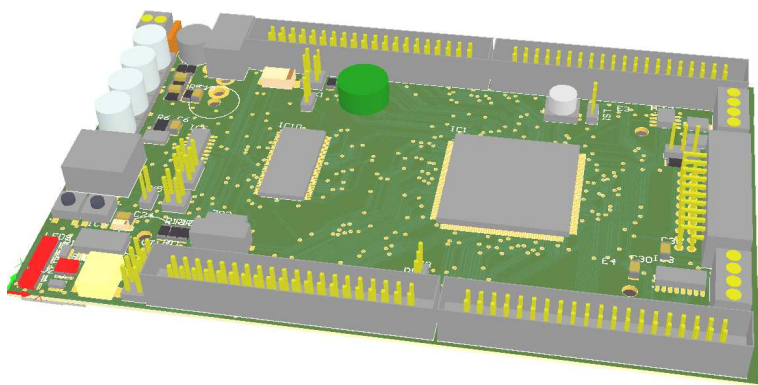


Рис. 2. Внешний вид разработанной материнской платы

Таким образом, был составлен ряд требований, предъявляемых к аппаратному обеспечению и функциональным возможно-

стям современных многофункциональных управляющих комплексов. Следование этим требованиям позволит конструировать востребованные и эффективные встраиваемые системы.

Был спроектирован тестовый образец программно-аппаратного управляющего комплекса. В качестве головного микроконтроллера был выбран LPC2478 фирмы NXP. В качестве средства операторского интерфейса была выбрана продукция фирмы Newhaven Display, а именно модель NHD-4.3-480272MF-ATXI#-T-1. Это цветной TFT LCD-модуль диагональю 4.3 дюйма, с разрешением 480 на 272, цифровым параллельным RGB-интерфейсом (24 бита), светодиодной подсветкой, встроенным драйвером и 4-проводной резистивной сенсорной панелью. Работы по проектированию электрических принципиальных схем, а также разработка печатных плат велись в среде Altium Designer.

На рис. 2 приведен внешний вид разработанной материнской платы, а на рис. 3 показан внешний вид TFT-модуля.

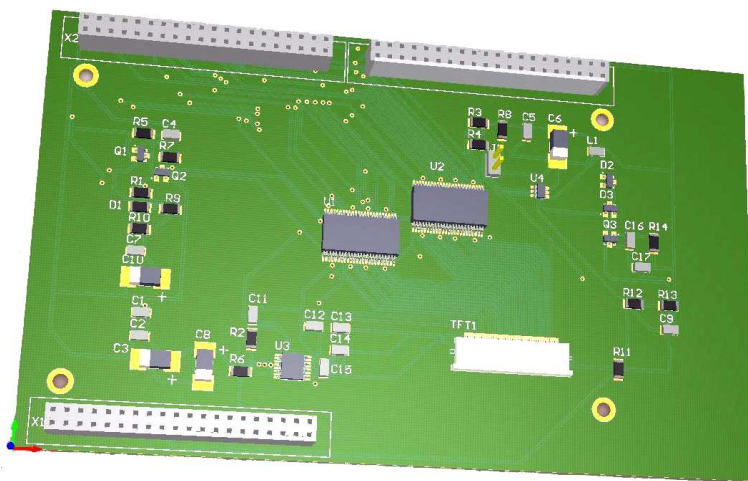


Рис. 3. Внешний вид TFT-модуля

Сфера применения разработанного комплекса достаточно широка. И это неудивительно, ведь он изначально задумывался

как многофункциональная система, призванная решить широкий круг задач, связанных с кафедральными разработками:

- решение различных задач из направления цифровой обработки сигналов;
- решение проблем автоматизации технологических процессов и предприятий;
- построение систем типа «Умный дом»;
- обеспечение охраны объектов различного назначения;
- сбор, обрабатывание и структурирование информации с пространственно-распределенных объектов;
- построение систем контроля и учета ресурсопотребления.

В заключение следует отметить, что на данный момент ведется разработка программного обеспечения для разработанной системы. Итогом работы является заверченный комплексный процесс по разработке новых сложных электронных устройств. Этот процесс состоит из определения функциональных требований к модулю, подбора элементной базы, создания электрических принципиальных схем, разводки печатных плат и подготовки файлов для заводского производства.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Секция 1. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ .....</b>	<b>3</b>
С.А. Рукшин, <i>Е.Л. Кротова</i> . Анализ алгоритмов квантовой криптографии BB84 и B92 .....	4
М.С. Слободян. Стохастичность решения закона Ома ....	10
Е.А. Васильева, <i>М.А. Шапченко</i> . SCADA-продукты на российском рынке. Factorysuite. In touch .....	11
Д.Д. Черевко-Штупун, <i>М.А. Шапченко</i> . Автоматическое и автоматизированное управление .....	15
Н.А. Турилов, <i>М.А. Шапченко</i> . Информационные технологии на службе нефтегазовой отрасли России .....	19
М.С. Большакова, <i>М.А. Шапченко</i> . IT-технологии: IBM, INTEL и ERP в нефтегазовой отрасли .....	23
Ю.В. Борнукова, <i>Н.П. Фикс</i> . Методическое и программное обеспечение компьютерного лабораторного практикума по курсу «Методы расчета устойчивости энергосистем» .....	25
S.O. Alartartsev, <i>E.S. Kogan</i> . SELF-ORGANIZATION: SELF-HEALING FORMS .....	31
Д.С. Гордеев, <i>В.Н. Касьянов</i> . Архитектура системы визуализации алгоритмов на графах .....	33
Т.А. Золотухин, Д.С. Колбин, <i>В.Н. Касьянов</i> . Универсальная интерактивная среда визуализации атрибутированных иерархических графовых моделей .....	39
В.А. Чеканин, <i>Е.Е. Ковшов</i> . Сравнительный анализ эвристик мультиметодного генетического алгоритма .....	44
К.А. Гриненко, <i>М.А. Шапченко</i> . Нефть, газ и суперкомпьютеры .....	49
Е.И. Мутина. Интеллектуализация анализа данных в проблемно-ориентированных системах поддержки принятия решений .....	56

Д.И. Мутин. Управление гетерогенными данными в корпоративной информационной системе путём применения XML-технологий .....	61
А.С. Бояршинова, И.В. Александров, <i>А.Г. Шумихин</i> . Повышение качества методического обеспечения учебных дисциплин на основе концепции интерактивного электронного технического руководства .....	66
Ф.Ю. Боголепов, <i>В.П. Гладков</i> . Проектирование баз данных на основе выделения типовых ситуаций .....	70
К.А. Головкин, <i>Г.М. Яковлева</i> . Программный комплекс автоматизации проверки расчетных курсовых работ .....	77
И.С. Полевщиков, <i>А.М. Ноткин</i> . Работа с базами данных в технологии ASP.NET .....	81
Е.А. Ромин, Я.Г. Лелькин, <i>А.В. Кычкин</i> . Исследование классификационных методов на основе имитационного моделирования .....	88
Д.М. Ильин, <i>В.Н. Касьянов</i> . Система REDUCE для минимизации компиляторных тестов .....	96
И.С. Полевщиков, А.Р. Шакиров, <i>А.В. Кычкин</i> . Нечеткий регулятор уровня жидкости в баке .....	100
А.С. Поленов, <i>С.Ф. Тюрин</i> . Программа разложения булевых функций и псевдобулевых функций в ряд .....	106
М.В. Ведерникова, <i>Т.К. Щемелева</i> . Эволюция и состояние электронных обучающих систем на кафедре ИТАС ПГТУ ..	110
Р.Р. Бакунов, А.С. Мехоношин, <i>Р.А. Файзрахманов</i> , <i>А.В. Кычкин</i> . Программно-аппаратный симулятор распределенного робототехнического комплекса .....	115
А.М. Левченко, Е.Н. Мехонина, <i>Д.С. Курушин</i> . Система количественной оценки качества машинного перевода текстов по компьютерной лингвистике .....	120
М. Игнатьева, <i>Д.С. Курушин</i> . Построение языковой модели слитного текста .....	125
R.R. Fayzrakhmanov, B. Krüpl, W. Holzinger. Multiaxial navigation system for improving web accessibility .....	130
<b>Секция 2. ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ...</b>	137

В.С. Деева, М.С. Слободян. Оморфизм скользящего контакта конденсированных сред .....	138
А.И. Судаков, Е.А. Чабанов. Возможности вероятностно-статистического метода обработки переходных процессов синхронных машин .....	140
М.В. Снигирева, Г.Л. Колмогоров. Моделирование процесса волочения сверхпроводниковой заготовки .....	149
Е.С. Мокроусова, А.В. Ромодин. Обзор методов прогнозирования электропотребления промышленных предприятий .....	153
В.А. Тарасов, Б.В. Кавалеров, А.Б. Петроченков. Расчет параметров систем электроснабжения промышленных предприятий с применением электронных вычислительных машин .....	162
Иванов И.А., Н.А. Смирнова, А.В. Кычкин. Разработка макета энергосберегающего автоматизированного дома .....	175
И.Н. Грибков, А.Н. Лыков. Анализ систем отопления и перспективы автоматизации .....	180
А.Ю. Полетаева, Е.В. Кузнецова. Технологические остаточные напряжения в цилиндрических деталях для случая анизотропии свойств материала .....	192
В.А. Шаряков, О.Л. Шарякова. Исследование возможности движения трамвайного вагона от бортового источника энергии .....	197
В.А. Трушков, Г.Л. Колмогоров. Технологические особенности интенсивной пластической деформации равноканальным радиальным прессованием .....	202
Д.О. Меньшиков, А.А. Ходжамбердиев, А.В. Кычкин. Решение задачи кластеризации методом К-средних (K-means) .....	208
В.С. Шилов, А.В. Кычкин. Решение задачи кластеризации эволюционными методами .....	212
<b>Секция 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ</b> .....	217
Шаряков В.А., Шарякова О.Л. Исследование нелинейного наблюдателя в системе экономичного пуска нестационарной виброустановки .....	218

А.И. Бондаренко, Г.М. Мартинов. Разработка кросс-платформенного драйвера SERCOS-интерфейса .....	224
А.В. Бунакова, С.В. Кортюв. Управление изменениями конструкторской документации в процессе создания уникальной наукоемкой продукции .....	228
Д.С. Головин, М.А. Шапченко. Информационные технологии в топливно-энергетическом комплексе .....	234
И.А. Дубровин, С.В. Евстафьева. Разработка программных интерфейсов удаленного взаимодействия с системой ЧПУ .....	238
Е.С. Каширина, М.Ю. Тонких, В.А. Панов. Проектирование ФНЧ на функциональном уровне .....	244
И.А. Ковалев, Р.А. Нежметдинов. Анализ свойств, характеристик и областей применения промышленных сетей на основе CAN-протокола .....	250
П.Н. Кожевникова, Л.И. Мартинова. Информационные технологии обучения в области автоматизации технологических процессов в машиностроении .....	255
Р.А. Абдуллаев, Н.В. Козак. Модуль отладки механизмов логической задачи в ядре системы ЧПУ .....	262
А.У. Кулиев, Р.А. Нежметдинов. Реализация системы управления электроавтоматикой токарного станка с ЧПУ 16A20Ф3 на базе логического контроллера .....	267
П.А. Никишечкин, Р.Л. Пушков. Разработка диагностических алгоритмов для прогнозирования состояния режущего инструмента и передачи управляющих команд в систему ЧПУ .....	271
Аспирант А.И. Обухов. Принцип реализации сплайнового интерполятора системы ЧПУ .....	276
А.А. Окунькова. Особенности технологической подготовки производства формообразующих деталей пресс-форм (на примере использования PRO/ENGINEER) .....	282
П.Ю. Сероухов, Р.Л. Пушков. Контроль и прогнозирование износа режущего инструмента при помощи подсистемы диагностики .....	289
А.Е. Сорокоумов, Р.Л. Пушков. Практическое применение протокола PROFIBUS в системах ЧПУ класса PCNC .....	293



С.И. Сташков, <i>А.Г.Шумихин</i> . Управление информационными потоками автоматизированного промышленного производства на основе унифицированного представления данных .....	299
Н.Ю. Червоннова, <i>Р.А. Нежметдинов</i> . Особенности применения логических контроллеров в режиме MASTER-SLAVE для управления электроавтоматикой ...	308
А.В. Антинескул, <i>В.А. Панов</i> . Разработка методики структурного проектирования ИИС с помощью языка GPSS .....	313
Д.Ю. Рязанов, <i>В.П. Вороненко</i> . Применение элементов нечёткой логики с целью повышения качества обработки заготовок на станках токарной группы .....	319
А.Е. Примак, <i>А.Г. Шумихин</i> . Математические модели связи спектра поглощения ИК-излучения с показателями качества нефтепродуктов при их контроле ИК-спектрофотометром .....	325
И.В. Гранёв, <i>Т.В. Костыгова</i> . Проект цеха по производству структурированных кабелей связи .....	329
А.В. Зенков, <i>А.В. Казаков</i> . Исследование характеристик кабельной головки для наложения многослойной изоляции для материалов с различными теплофизическими и реологическими свойствами .....	334
С.С. Логинов, <i>Л.А. Ковригин</i> . Исследование качества сшитой полиэтиленовой изоляции силовых кабелей на среднее напряжение на испытательной станции «High Volt» .....	338
И.К. Назаров, <i>А.Г. Щербинин</i> . Экспериментальное определение реологических характеристик расплава полиэтилена на приборе ИИРТ .....	342
М.И. Меньшиков, В.И. Пьянкова, <i>М.М. Кулагина</i> . Использование марковских цепей для аудита структурно-логических функций надежности .....	348
А.А. Волков, В.В. Орлов, <i>Н.В. Зверев, А.Б. Петроченков</i> . Анализ данных для создания модели прогнозирования суточного потребления для ООО «НОВОГОР-Прикамье» .....	352

А.П. Честиков, Д.А. Даденков. Обзор задач, решаемых системами напуска массы в целлюлозно-бумажном производстве .....	357
Г.В. Нагин, В.М. Шестаков. Построение системы управления перемещением груза по платформе виброустановки .....	363
А.А. Пестерев, С.В. Бочкарев. Разработка автоматизированной системы получения оптических волокон .....	370
Е.А. Zhilina, S.V. Bochkarev. Automated network aircraft diagnostic center .....	376
М.Е. Alimbaev, S.V. Bochkarev. Optical fiber production by mcvd- method at Perm instrument-making plant .....	380
К.С. Бабин, Д.С. Дударев, С.В. Бочкарев. Особенности создания автоматизированной системы управления потоком работ при технической подготовке производства .....	389
А.В. Афанасьев, Н.В. Козак. Создание учебно-практического стенда и комплекса лабораторных работ на базе ПЛК «FATEK» .....	398
С.А. Бородулина, Н.А. Логинова. Программные средства описания технологического и бизнес-процесса предприятия, функционирующего на рынке автотранспортных услуг .....	403
А.Ю. Попов, В.А. Сергеев, Д.С. Реченко, Е.С. Реченко, М.А. Реченко. Оптимизация процесса измерения параметров авиационных деталей за счет применения автоматизированной контрольно-измерительной машины .....	407
П.А. Степанов, С.Ф. Тюрин. Представление конечных цифровых автоматов персептронами Розенблатта .....	411
<b>Секция 4. ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ.</b>	
<b>ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ .....</b>	
О.А. Громов, А.А. Сулейманов, С.Ф. Тюрин. Методы и средства повышения отказоустойчивости программируемых логических интегральных схем .....	417
	418

А.В. Греков, С.И. Савельев, А.А. Чаплыгин, <i>С.Ф. Тюрин</i> . Алгоритм поиска работоспособных подмножеств эле- ментов в отказоустойчивых цифровых схемах .....	424
А.А. Фролов, М.И. Ерофеев, <i>С.Ф. Тюрин</i> . Синтез сетей Петри .....	430
А.А. Темичев, Е.И. Андреев, <i>А.В. Кычкин</i> . Технология оценки точностных характеристик измерительной сети датчиков мобильного комплекса медицинской диагностики сосудов .....	438
Р.Р. Бакунов, А.С. Мехоношин, <i>Р.А. Файзрахманов, Е.В. Долгова</i> . Многофункциональная охранная система ши- рокого профиля с GPRS-каналом .....	444
А.Н. Каменских, <i>С.Ф. Тюрин</i> . О функционально-полных толерантных элементах .....	448
Р.Р. Бакунов, А.С. Мехоношин, <i>Р.А. Файзрахманов</i> . Про- граммно-аппаратный управляющий комплекс .....	452

Научное издание

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ,  
ИНСТРУМЕНТЫ, ПРАКТИКА (INNOTECH 2010)**

**Материалы II Международной  
интернет-конференции  
молодых ученых, аспирантов, студентов  
(1 ноября – 1 декабря 2010 г.)**

Корректор *И.Н. Жеганина*

---

Подписано в печать 5.04.2011.  
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 28,9.  
Тираж 56 экз. Заказ 57/2011.

---

Издательство  
Пермского государственного технического университета.  
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.  
Тел. (342) 219-80-33.