



III Международная научная конференция

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ



Москва

Главный редактор: *Г. Д. Ахметова*

Редакционная коллегия сборника:

*М. Н. Ахметова, Ю. В. Иванова, К. С. Лактионов, Н. М. Сараева, О. А. Авдеюк, Т. И. Алиева,
В. В. Ахметова, В. С. Брезгин, О. Е. Данилов, А. В. Дёмин, К. В. Дядюн, К. В. Желнова,
Т. П. Жуйкова, М. А. Игнатова, В. В. Коварда, М. Г. Комогорцев, А. В. Котляров,
С. А. Кучерявенко, Е. В. Лескова, И. А. Макеева, У. А. Мусаева, М. О. Насимов,
Г. Б. Прончев, А. М. Семахин, Н. С. Сенюшкин, И. Г. Ткаченко, А. С. Яхина*

Ответственные редакторы:

Г. А. Кайнова, Е. И. Осянина

Международный редакционный совет:

*З. Г. Айрян (Армения), П. Л. Арошидзе (Грузия), З. В. Атаев (Россия), В. В. Борисов (Украина),
Г. Ц. Велковска (Болгария), Т. Гайич (Сербия), А. Данатаров (Туркменистан),
А. М. Данилов (Россия), З. Р. Досманбетова (Казахстан), А. М. Ешиев (Кыргызстан),
Н. С. Игисинов (Казахстан), К. Б. Кадыров (Узбекистан), О. А. Козырева (Россия),
Лю Цзюань (Китай), Л. В. Малес (Украина), М. А. Нагервадзе (Грузия),
Н. Я. Прокопьев (Россия), М. А. Прокофьева (Казахстан), М. Б. Ребезов (Россия),
Ю. Г. Сорока (Украина), Г. Н. Узаков (Узбекистан), Н. Х. Хоналиев (Таджикистан),
А. Хоссейни (Иран), А. К. Шарипов (Казахстан)*

Т38 **Технические** науки в России и за рубежом: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Москва, июль 2014 г.). — М.: Буки-Веди, 2014. — vi, 136 с.
ISBN 978-5-4465-0465-7

В сборнике представлены материалы III Международной научной конференции «Технические науки в России и за рубежом».

Предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов технических специальностей, а также для широкого круга читателей.

УДК 62(01)
ББК 30

СОДЕРЖАНИЕ

1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

Бутенко В.В.

Слушатель события обновления сцены. Кадронезависимое движение. 1

Димитрова Л.К., Голубева О.А.

Применение байесовской сети в дифференциальной диагностике артериальной гипертензии 4

Курилов Ф.М.

Средства визуализации структурированных данных в клиентских веб-приложениях 14

Петянчина И.В.

Использование системы «черный ящик» на энергоблоках АЭС 19

2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Аверченко А.П., Воропаев В.К., Женатов Б.Д.

Преобразование Фурье и преобразование Хартли. 22

Аверченко А.П., Медведков А.Ю., Садыков Ж.Б.

Использование математических пакетов Matlab & Simulink при разработке цифровых фильтров. 24

Бойков Д.В.

Алгоритм автономного контроля целостности навигационного поля 27

Воропаев В.К., Медведков А.Ю.

Языки описания цифровой аппаратуры. 32

Гапочкин А.В.

Основы разработки модулярных нейрокомпьютеров для обработки сигналов 34

Набиева А.А., Зильгараева А.К.

Технологии широкополосного мобильного доступа в сетях LTE 38

Шибeko P.B., Анисимов С.С.

Система диагностики тоннеля. 41

Шибeko P.B., Логачев Д.А.

Система для контроля технологических параметров бурения 44

3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Самарин И.В.

Разработка и совершенствование методов получения и обработки информации для задач управления крупным предприятием. 48

Сапрыкин А.Н., Гончарова Д.И., Малютина Е.В.

Определение наилучших вероятностей мутации генетического алгоритма в сетях с двухфазной маршрутизацией 54

Сластиков С.В. 4. Электротехника 62

Обзор алгоритмов управления асинхронными электроприводами. 57

Темников Ю.В.

Моделирование асинхронного двигателя со статическим эксцентриситетом ротора 62

Тойдеряков Н.А.

Реакция рекурсивной ЛДС с передаточной функцией в виде суммы простых дробей 1-й степени на апериодическое воздействие 66

5. ЭНЕРГЕТИКА**Киселёва Е.С., Федоров А.А.**

Исследование процессов лучистого теплообмена в излучающих системах различной конфигурации с поглощающей средой 69

Мухаметшин Р.Р., Науман О.А., Захаров И.В.

Исследование резонансного режима плоских индукционных систем с емкостной связью 74

7. МАШИНОСТРОЕНИЕ**Данатаров А.**

Комплексная мелиорация уплотнённых почв на орошаемых землях в условиях Туркменистана. 80

Петухова Е.С.

Выбор перспективного полиэтилена марки ПЭ-100 и направления его переработки 81

Саввинова М.Е.

Исследование углепластиков трубного назначения на основе полиэтилена марки ПЭ80Б 83

Федоров А.А.

Диффузия азота в нержавеющей стали 85

Шаврин О.И., Скворцов А.Н.

Конечно-элементный анализ теплового состояния упругих элементов в процессе МДТМО 88

Шаммедов М.Н.

Усовершенствование конструкции измельчителя стеблей хлопчатника 92

Шевченко В.В., Давлетьяров Р.З.

Перспективы создания средств выведения тяжелого и сверх тяжелого класса 94

Юферев С.С.

Использование гусеничных тракторов в агропромышленном комплексе 100

8. СТРОИТЕЛЬСТВО**Аксенова Л.Л., Бугаенко Л.В.**

Использование отходов предприятий черной и цветной металлургии в строительной индустрии 106

Гимпу Д.С., Гимпу М.С.

Решение проблем эксплуатации длинных трубопроводов от кустов скважин до ЗПА, при обустройстве месторождений на Гыданском и Ямальском полуостровах 108

Шевченко И.А.

Развитие технологии управляемого роторного бурения при строительстве скважин с субгоризонтальным профилем 112

9. ТРАНСПОРТ**Дамзен В.А., Елистратов С.В.**

Статистика отказов шин легковых автомобилей. 115

Смирнова С.В., Дятлов М.Н., Тодоров А.Н., Родин Е.Е.

Влияние личностных качеств на профессиональную успешность водителей пассажирского автотранспорта 118

Тюфанова А.А.

Математическая модель анализа эксплуатационной надежности технических средств системы управления движения судов. 120

10. АРХИТЕКТУРА

Береговина Н.Б.

Классицистические мотивы в архитектуре Кубанских православных храмов
первой половины XIX века124

Щербакова Е.Н., Никифорова М.О.

Проектирование и моделирование пространственной среды на примере проекта жилого комплекса,
предназначенного для строительства на сложном рельефе128

11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Чемезов Д.А.

Напряженно-деформированное состояние режущей части спирального сверла
при температурной нагрузке131

1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

Слушатель события обновления сцены. Кадронезависимое движение

Бутенко Вероника Вячеславовна, аспирант

Государственный морской университет имени Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

Приводится решение кадронезависимого движения в приложениях под Android на примере классов фреймворка PeeKaBoo. Описывается создание слушателя обновления сцены, зависящего от времени, выбранного разработчиком игры.

Ключевые слова: GLSurfaceView, Android, PeeKaBoo, кадронезависимое движение, обновление экрана, алгоритмы, программирование.

Введение

Предположим, что приложение будет запущено на устройстве с частотой обновления экрана 60 кадров в секунду. При использовании GLSurfaceView, объект будет двигаться с наступлением события onDrawFrame на такое количество пикселей, которое будет задано для его перемещения.

При движении на один пиксел, за сто кадров объект переместиться на сто пикселей за 1,66 секунды. Но запустив эту же игру на устройстве с частотой обновления экрана 48 кадров в секунду, это произойдет за 2,08 секунды [1].

Таким образом, характеристики устройства могут полностью изменить показания производительности игры. Решение состоит в создании слушателя, зависящего от времени введенного разработчиком игры, а не от частоты обновления экрана.

Класс UpdateHandler

Создаем класс UpdateHandler (Листинг 1), который будет содержать две переменные (интервал обновления в миллисекундах и время с начала запуска игры, также в миллисекундах) и пять методов.

```
class UpdateHandler {
    private int intervalMsec = 0;
    private long lastTimeMillis = SystemClock.uptimeMillis();
    UpdateHandler(int interval) {
        intervalMsec = interval;
    }
    int interval() {
        return intervalMsec;
    }
    void update(long msec) {
        lastTimeMillis = msec;
    }
    long elapsed(long msec) {
        return msec - lastTimeMillis;
    }
    void reset() {
        lastTimeMillis = 0;
    }
}
```

Листинг 1. Класс UpdateHandler

Одноименный метод класса UpdateHandler принимает один параметер — интервал обновления, и приравнивает его значение переменной intervalMsec, а interval () возвращает это значение. update () принимает время в миллисекундах,

прошедшее с начала загрузки, и приравнивает его переменной `lastTimeMillis`. `elapsed()` возвращает разницу между текущим временем от запуска игры и временем сохраненным в `lastTimeMillis`. `reset()` обнуляет `lastTimeMillis`.

Алгоритм работы слушателя

Вся суть алгоритма заключается в сравнении времени прошедшего с последнего вызова метода `onUpdateScene`, вычисленного через время с момента запуска игры, со временем указанным разработчиком.

С использованием класса `GLSurfaceView` и его встроенного интерфейса `Renderer`, получаем доступ к трем абстрактным методам: `onDrawFrame`, `onSurfaceCreated` и `onSurfaceChanged`. Метод `onSurfaceChanged` вызывается при изменении экрана, `onSurfaceCreated` — при его создании, а `onDrawFrame` — при его обновлении, этот метод и поможет нам реализовать слушателя (Листинг 2) [2, 3].

```
public void onDrawFrame(GL10 gl) {
    if (updateIntervalMsec > 0 &&
        SystemClock.uptimeMillis() - lastUpdateMsec > updateIntervalMsec) {
        for (SceneUpdateListener listener : updateListeners.keySet()) {
            UpdateHandler handler = updateListeners.get(listener);
            if (handler.interval() <= 0) continue;
            long now = SystemClock.uptimeMillis();
            long elapsed = handler.elapsed(now);
            if (elapsed > handler.interval()) {
                listener.onUpdateScene(this, elapsed, gl);
                handler.update(now);
            }
        }
        lastUpdateMsec = SystemClock.uptimeMillis();
    }
}
```

Листинг 2. Алгоритм работы слушателя

Проверяем, инициализирован ли слушатель `onUpdateScene` (`updateIntervalMsec > 0`) и время прошедшее с момента последнего его вызова больше указанного при его инициализации (`SystemClock.uptimeMillis() — lastUpdateMsec > updateIntervalMsec`). `SceneUpdateListener` — это интерфейс (Листинг 3), содержащий абстрактный метод `onUpdateScene`, который будет в последствии переопределяться.

```
public interface SceneUpdateListener {
    void onUpdateScene(PeeKaBooScene scene, long elapsedMsec, GL10 gles10);
}
```

Листинг 3. Интерфейс для получения уведомления о событии обновления сцены

`updateListeners` — хэш-таблица у которой, ключом является класс-слушатель `SceneUpdateListener`, а значением — `UpdateHandler`.

Важно внести возможность добавления и удаления слушателя (Листинг 4). Делаем это двумя методами: `registerUpdateListener` и `unregisterUpdateListener`.

```
public void registerUpdateListener(int intervalMsec, SceneUpdateListener listener) {
    UpdateHandler handler = new UpdateHandler(intervalMsec);
    updateListeners.put(listener, handler);
    int interval = intervalMsec > 100 ? intervalMsec / 100 : 1;
    if (updateIntervalMsec == 0) {
        updateIntervalMsec = interval;
    } else {
        updateIntervalMsec = Math.min(updateIntervalMsec, interval);
    }
}

public void unregisterUpdateListener(SceneUpdateListener listener) {
```



```
updateListeners.remove(listener);  
}
```

Листинг 4. Методы для добавления и удаления слушателя.

В методе `registerUpdateListener` создаем экземпляр класса `UpdateHandler` и добавляем ключ и значение в хэш-таблицу. Если интервал обновления был указан как ноль, меняем его на единицу. Если было введено число больше ста, делим это число на сто. Этим действием получаем десятые доли секунды.

В методе `unregisterUpdateListener` удаляем ключ из хэш-таблицы.

Получение уведомлений о событиях обновления сцены

Остаётся только реализовать интерфейс `SceneUpdateListener`, переопределить метод `onUpdateScene` и зарегистрировать слушателя методом `registerUpdateListener` (Листинг 5).

```
import pack.peekaboo.PeeKaBooActivity;  
import pack.peekaboo.PeeKaBooScene;  
public class MyActivity extends PeeKaBooActivity implements SceneUpdateListener {  
    @Override  
    public PeeKaBooScene onLoadScene() {  
        PeeKaBooScene scene = new PeeKaBooScene();  
        scene.registerUpdateListener(1, this);  
        return scene;  
    }  
    @Override  
    public void onUpdateScene(PeeKaBooScene scene, long elapsedMsec, GL10 gles10) {  
    }  
}
```

Листинг 5. Пример использования слушателя события обновления сцены

В приведенном примере класс `MyActivity` наследуется от класса `PeeKaBooActivity`. Это класс фреймворка `PeeKaBoo` для работы с дополненной реальностью. В этом же фреймворке и применяется описанный выше алгоритм слушателя.

Заключение

В завершении, несколько слов о том, где может быть полезен описанный метод. Это могут быть различные приложения дополненной реальности, дистанционного обучения, социальные сервисы, виджеты, игры, все те приложения, которым необходима работа с графикой.

Литература:

1. Марио Цехнер. Программирование игр под Android: [перевод.: Е.А. Сидорович, Е.В. Зазноба]; М.: Питер, 2013. — 688 с.
2. Android Developers. GLSurfaceView [Электронный ресурс]. — URL: <http://developer.android.com/reference/android/opengl/GLSurfaceView.html> (21.05.2014).
3. Android Developers. GLSurfaceView. Renderer [Электронный ресурс]. — URL: <http://developer.android.com/reference/android/opengl/GLSurfaceView.Renderer.html> (21.05.2014).

Применение байесовской сети в дифференциальной диагностике артериальной гипертензии

Димитрова Людмила Кузманова, кандидат технических наук, главный ассистент
Университет «Проф.Ас. Златаров» (г. Бургас, Болгария)

Голубева Ольга Аркадьевна, врач
ГБУЗГП №17 (г. Санкт-Петербург)

Байесовские сети являются полезным инструментом для поддержки принятия решений при предоставлении медицинской помощи пациентам. В данной работе представлена возможность использования байесовской сети для дифференциальной диагностики артериальных гипертензий различной этиологии при первичном обращении пациента к врачу общей практики. Диагностика проводится в рамках эссенциальной гипертензии и шести наиболее распространённых форм вторичных гипертензий. Для оценки параметров модели использованы данные о значимости показателей диагностики из специализированной литературы. Показано использование модели для конкретных сценариев из врачебной практики.

Ключевые слова: байесовская сеть, байесовский вывод, дифференциальная диагностика гипертензии.

I. Введение

Возможности искусственного интеллекта (ИИ) нашли широкое применение в практической медицине [1–4]. Системы медицинской диагностики являются одним из приложений методов ИИ. Задачей таких систем является определение заболевания на основе данных о самочувствии пациента и результатов обследования. Диагностические модели являются консультантами и помощниками для врачей, помогая им избежать собственных ошибок — из-за усталости, пониженного внимания или по другой причине.

Практикующим врачам часто приходится сталкиваться с диагностикой заболеваний, проявляющихся артериальной гипертензией. По данным Всемирной организации здравоохранения [5], распространённость повышенного артериального давления у взрослых в возрасте 25 лет и старше составляла около 40 % (2008 г.).

При этом существует множество форм гипертензии. По этиологии, т.е. по причине, артериальная гипертензия бывает первичной и вторичной. Первичная (эссенциальная) гипертензия — это стойкое повышение артериального давления (АД) при отсутствии определённо ясной причины. Это самостоятельное хроническое заболевание с наибольшей частотой диагностирования. Около 90 процентов всех случаев артериальной гипертонии — это эссенциальная гипертензия. Вторичная (симптоматическая) гипертензия — это артериальная гипертензия с наличием очевидной причины ее возникновения, т.е. при обследовании можно обнаружить поражение тех или иных органов и систем, способных влиять на уровень АД. Таким образом, говорить о первичной АГ можно лишь в том случае, когда исключены все возможные формы вторичной АГ. Из вторичных АГ чаще всего сталкиваемся с заболеваниями паренхимы почек (хронический гломерулонефрит, хронический пиелонефрит, туберкулёз почек и пр.) — 6–8 процентов. Затем следуют заболевания сосудов почек (стеноз почечной артерии, аномалии развития и пр.) — 5 процентов. 3–4 процента случаев вторичной гипертензии дают заболевания щитовидной железы (тиреотоксикоз). Также значимы в количественном отношении заболевания надпочечников: гиперальдостеронизм (2 процента), феохромоцитома и синдром Иценко-Кушинга (по 0,5–1 проценту) [42].

Не всегда все симптомы чётко укладываются в картину определённого заболевания. Чаще мы встречаемся со сложным симптомокомплексом. Выявить из него наиболее важные и характерные детали для постановки правильного диагноза могут помочь врачу различные модели искусственного интеллекта.

В настоящей работе иллюстрируется применение байесовской сети при дифференциальной диагностике гипертензии на начальном этапе.

II. Байесовские сети и их применение в медицине

Байесовские сети являются эффективным, компактным и интуитивно понятным способом представления знаний, связанных с неопределённостью. Байесовской сетью (БС) является графическая модель, отображающая вероятностные зависимости множества переменных и позволяющая проводить вероятностный вывод с помощью этих переменных. Строгое формальное определение и теория байесовских сетей построены и развиты в трудах [6–14].

БС состоит из двух основных частей: (1) графическая структура, которая определяет набор зависимостей и независимостей в множестве случайных величин, представляющих субъекты предметной области, и (2) набор вероятностных распределений, определяющих силу отношений зависимости, закодированных в графической структуре.

Структура БС представляет собой направленный ациклический граф (DAG, directed acyclic graph). Узлы (или вершины) БС — дискретные случайные величины с конечным количеством состояний, или непрерывные гауссовские переменные. В настоящей работе рассматривается БС с дискретными переменными. Ребра между узлами представляют причинно-следственные связи между переменными. Если узел не имеет родителей, он задается таблицей безусловных вероятностей своих состояний. Если же у узла есть родители, то такой узел описывается таблицей условных вероятностей (ТУВ, или CPT — conditional probability table), каждая ячейка которой содержит условную вероятность пребывания узла в определенном состоянии для всех возможных конфигураций состояний его родителей. Таким образом, количество ячеек в ТУВ дискретной вершины БС равно произведению количества возможных состояний этой вершины на количество возможных состояний всех ее родительских вершин (рис. 1).

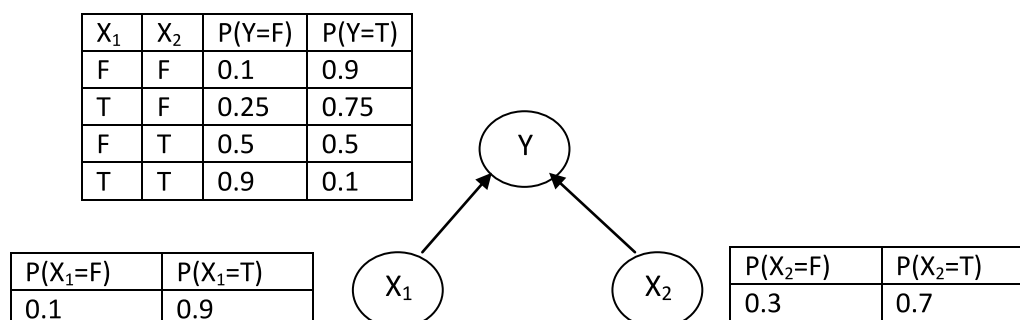


Рис. 1. Простая байесовская сеть для дискретных переменных с двумя состояниями: T — True, F — False

Гипотеза об условной независимости байесовской сети (марковское условие) [11] утверждает, что каждый узел сети X_i является условно независимым от всех узлов, не являющихся его потомками при заданных значениях его прямых родителей $Par(X_i)$. Из гипотезы об условной независимости следует правило факторизации (декомпозиции) при определении совместного распределения вероятностей в сети: совместная вероятность $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ есть произведение условных вероятностей каждого узла X_i при известных родителях $Par(X_i)$:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | Par(X_i)) \quad (1)$$

Основное применение байесовской сети — определение апостериорных маргинальных вероятностей при поступивших наблюдениях для некоторых переменных данной сети. В зависимости от типа наблюдаемых узлов различаем:

- Прогнозирование (прямой вывод) — определение вероятности события при наблюдаемых причинах
- Диагностирование (обратный вывод, абдукция) — определение вероятности причины при наблюдаемых следствиях
- Межпричинный вывод (смешанный вывод, трансдукция) — определение вероятности одной из причин наступившего события при условии наступления одной или нескольких других причин этого события.

В медицинской диагностике чаще всего решается вторая задача. Наиболее вероятный диагноз D^* определяется как значение множества возможных диагнозов D , имеющее максимум вероятности наличия заболевания при условии конкретного набора свидетельств E , которые включают в себя анамнез, симптомы, результаты тестов и другие признаки.

$$D^* = \arg \max_D P(D|E) \quad (2)$$

Разработано множество точных и приближительных методов вывода в БС [6–15]

Байесовская сеть может быть построена как на основе экспертных оценок, так и на основе статистических данных. Экспертная информация может использоваться как для установления взаимосвязей между случайными элементами — т. е. структуры сети, так и для получения оценок условных вероятностей [16–18]. Достоинством БС, как и всех моделей, построенных на принципах искусственного интеллекта, является возможность автоматического обучения структуры и параметров модели при помощи поступающих данных [19–23].

Разработано множество приложений байесовских сетей в медицине, в частности для диагностики патологии лимфатических узлов [24], нервно-мышечной патологии [25], болезней сердца [26], рака пищевода [27], пневмонии в палатах интенсивной терапии [28], в традиционной китайской медицине [29], сердечных заболеваний на основе данных эхокардиографии [30], лимфомы [31], анемии [32], внебольничной пневмонии [33], зубной боли [34], легочной эмболии [35], психиатрических болезней [36]; для лечения антибиотиками пациентов с общими бактериальными инфекциями [37]; для анализа эпидемиологии туберкулеза [38], факторов риска для рака носоглотки [39]; для прогноза острых неврологических заболеваний [40].

III. Конструирование модели

III. 1. Определение топологии сети

Модель для начальной диагностики гипертонии создана в оболочке AgenaRisk [41]. Причинно-следственные связи между узлами сети определены на основе анализа информации из классических руководств по гипертонии [42–50] с учетом некоторых современных исследований в этом направлении [51–53]. Цель модели на данном этапе — поддержка принятия решения врача о диагнозе при начальном обследовании пациента, обратившегося по поводу высокого АД. Поэтому в качестве входных данных сетевой модели включены только основные наблюдения и базовые обследования, ведущие к заключению об определенной разновидности гипертонии.

Входные данные — корневые узлы сети, сгруппированы в 4 категории (рис. 2):

- 1) Анамнез или история заболевания — чем болел пациент раньше, постоянно ли у него высокое АД, случаются ли кризы и насколько часто, в каком возрасте стало повышаться АД и т. д.
- 2) Жалобы пациента
- 3) Физикальные данные (ФД), т. е. все, что может выявить врач при обследовании больного
- 4) Базовые лабораторные данные (БЛД) — имеются ввиду самые распространенные, т. к. дополнительные исследования являются высокотехнологичными и затратными и выполняются по строгим показаниям.

Для облегчения параметризации сети за счет снижения входных узлов, обобщенные наблюдения по заданной категории (если включают несколько показателей) задаются вспомогательными узлами. Например, данные анамнеза, относящиеся к эссенциальной гипертонии, описываются узлом *Essencialnaya anamnez* (рис. 2).

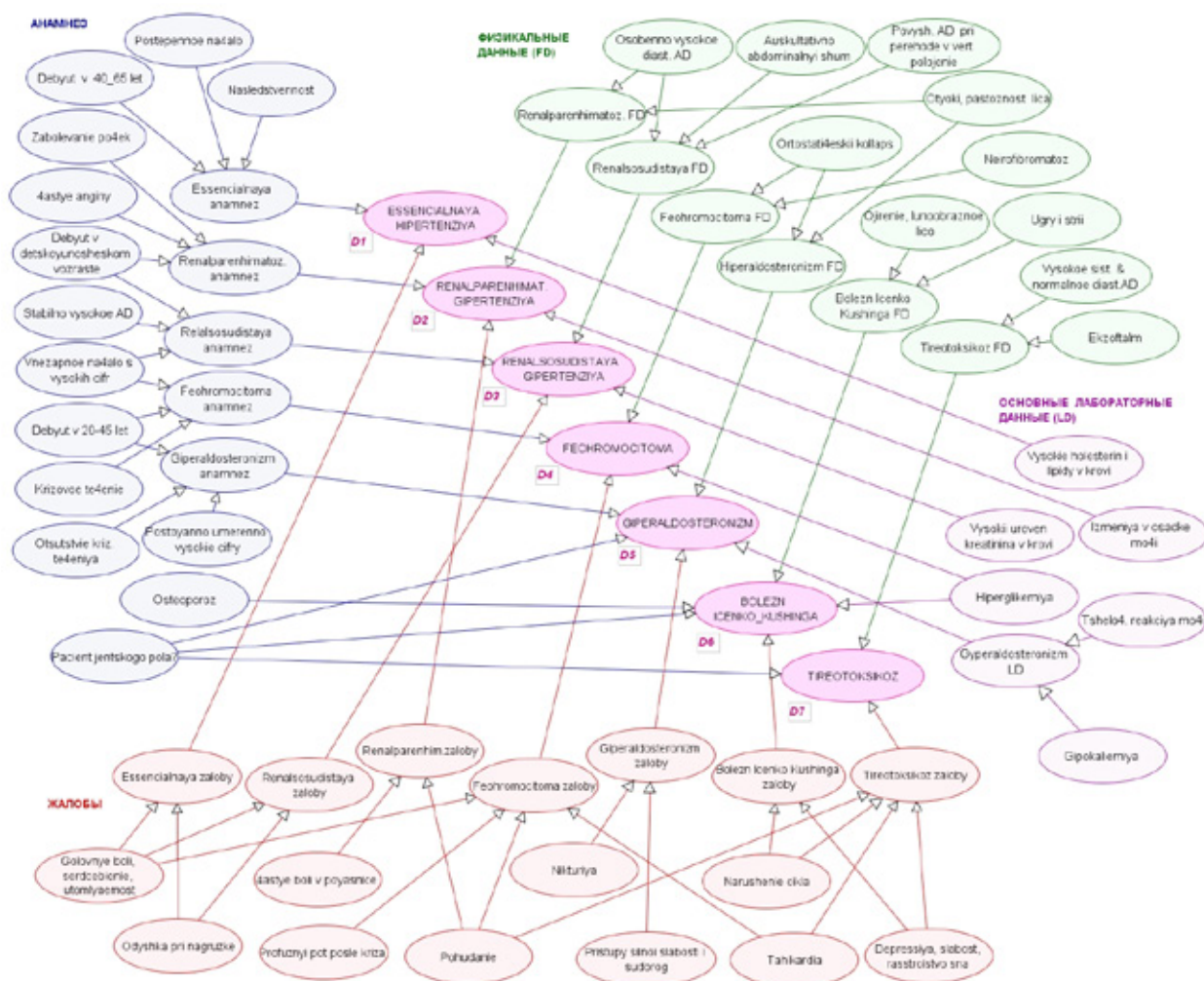


Рис. 2. Байесовская сеть для дифференциальной диагностики при первичном обращении пациента по поводу повышенного артериального давления

Конечные узлы сети — 7 основных состояний, при которых выявляется повышенное АД:

- 1) Эссенциальная гипертония (гипертоническая болезнь)

2) Ренальнопаренхиматозная гипертензия — ряд заболеваний, при которых страдает внутреннее строение почечной ткани и она уже не может выполнять свои функции нормально. И в этом случае наряду с другими симптомами часто повышается АД.

3) Ренальнососудистая гипертензия — ряд заболеваний, при которых что-то случается не с самой почечной тканью, а с сосудами, которые находятся внутри почки или идут от аорты к почке. При сужении этих сосудов АД непременно повышается.

4) Феохромоцитома — опухоль мозгового (внутреннего) слоя надпочечников

5) Гиперальдостеронизм — опухоли коры (наружного слоя) надпочечников.

6) Болезнь и синдром Иценко-Кушинга — опухоли гипофиза и надпочечников.

7) Тиреотоксикоз — повышенная активность щитовидной железы

Вероятность наличия заболевания для каждой из семи групп в общем случае определяется в зависимости от перечисленных 4-х категорий наблюдений при обследовании пациента (для эссенциальной гипертензии и тиреотоксикоза данные для одной из категорий отсутствуют). Для каждого из диагностированных семи состояний добавлен вспомогательный узел с удельными весами показателей в качестве индикаторов наличия заболевания. Рис. 3 иллюстрирует используемый подход для узла *RENALPARENHIMATOZNAYA GIPERTENZIYA (D2)*. Вспомогательный узел *rp_w* имеет четыре состояния — удельные веса родительских узлов *D2*.

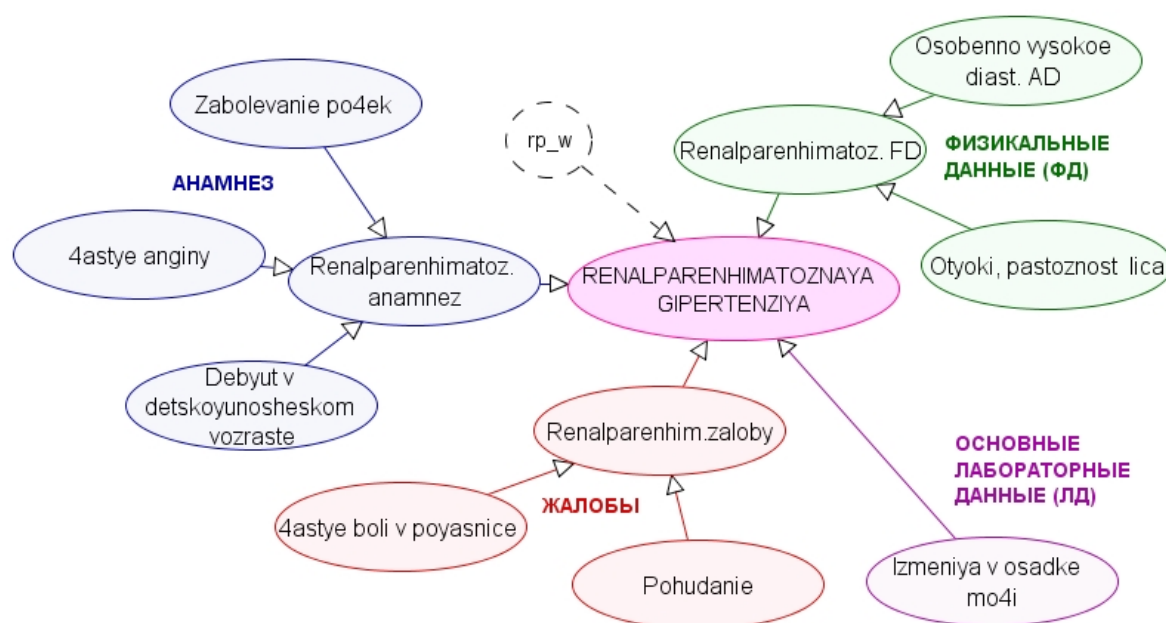


Рис 3. Часть байесовской сети, касающаяся диагностики ренальнопаренхиматозной гипертензии

В связи с тем, что три из рассматриваемых патологий распространены значительно чаще среди женщин, для них введен дополнительный узел для учета пола (рис. 2).

III. 2. Параметризация модели

Программный пакет AgenaRisk [41] обеспечивает богатые возможности для определения таблиц условных вероятностей с помощью функций. Список доступных функций зависит от типа узла сети. В настоящей модели все узлы определены как логические (Boolean) с возможными состояниями «No» и «Yes».

Априорное распределение вероятностей для всех корневых узлов задано как («No» = 0.99, «Yes» = 0.01) — т.е. до введения данных обследования пациента практически отсутствуют признаки заболеваний.

Для определения таблиц условных вероятностей вспомогательных узлов по отдельным категориям (анамнез, жалобы, ФД, ЛД) используется функция NoisyOr [11]. Она предполагает, что входящие узлы воздействуют независимо, что в случае является допустимым предположением. При этом для каждого входящего узла X_i следует задать значение v_i — вероятность, что узел-следствие Y будет иметь значение «Yes» (истина, true), если только данный узел X_i имеет значение «Yes». Кроме того, надо задать остаточный фактор (leak) — вероятность, что данный узел будет иметь значение «Yes», если все входящие узлы имеют значение «No» (false, неистина). В рассматриваемой задаче чем более специфичен для данного диагноза является наблюдаемый показатель, тем больше значение его вклада v_i в истинность конечного узла Y . Наоборот, чем более неспецифическим для конкретного диагноза является набор входящих узлов, тем выше остаточное значение.

В AgenaRisk синтаксис функции имеет следующий вид:

$$\text{noisyor}(X_1, \vartheta_1, X_2, \vartheta_2, \dots, X_N, \vartheta_N, \text{Leak}) \quad (3)$$

где для любого i $\vartheta_i = P(Y = \text{true} | X_i = \text{true}, X_j = \text{false}, j \neq i)$, Leak — остаточный фактор.

К примеру, ТУВ узла «Renalparinhematoz. anamnez», обобщающий показатели анамнеза, ведущие к диагнозу «*ренальнопаренхиматозная гипертензия*», задается с помощью функции

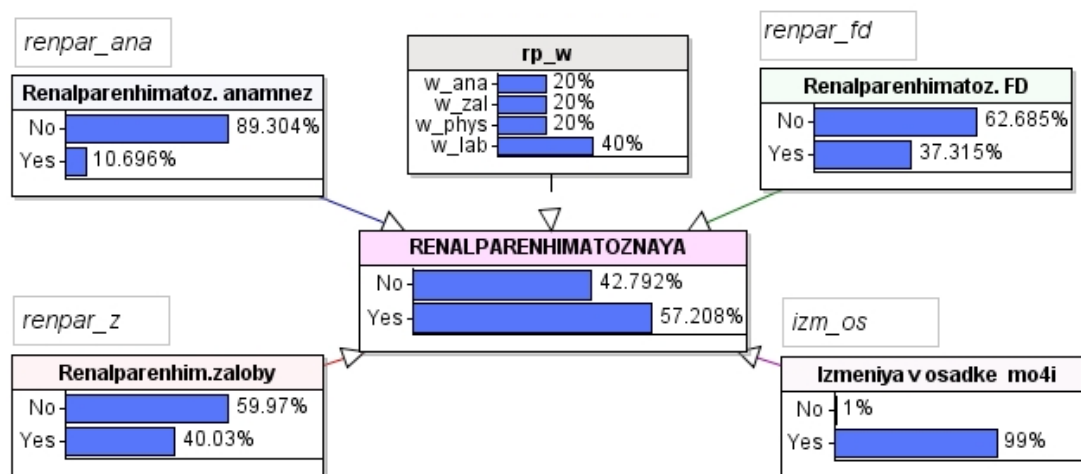
$$\text{noisyor}(\text{zab_po4}, 0.9, \text{debyut_du}, 0.15, \text{ang_4ast}, 0.05, 0.05) \quad (4)$$

где zab_po4 , debyut_du , ang_4ast , — идентификаторы узлов «*Zabolevaniya po4ek*», «*4astye anginy*», «*Debyut v detskoyunosheskom vozraste*» соответственно. Генерированная этой функцией ТУВ приведена в таблице 1.

Таблица 1

ТУВ для узла «Renalparinhematoz. anamnez», полученная с помощью функции (4)

zab_po4	No				Yes			
debyut_du	No		Yes		No		Yes	
ang_4ast	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes
No	0.95	0.8075	0.095	0.08075	0.9025	0.767125	0.09025	0.0767125
Yes	0.05	0.1925	0.905	0.91925	0.0975	0.232875	0.90975	0.9232875

Рис. 4. К определению ТУВ узла *RENALPARENHIMATOZNAYA*

ТУВ конечных узлов задаются с помощью разделенного на части выражения (partitioned expression). Разделение проводится по соответствующему вспомогательному узлу с удельными весами влияния отдельных факторов (категорий). Таким образом учитывается вклад данной категории наблюдений в формирование рассматриваемого диагноза. К примеру, для узла «*RENALPARENHIMATOZNAYA GIPERTENZIA*» (рис. 4) используются выражения:

$$\text{if}(\text{renpar_ana} == \text{"Yes"}, \text{"Yes"}, \text{"No"}) , \quad \text{для } w_{\text{ana}} \quad (5)$$

$$\text{if}(\text{renpar_z} == \text{"Yes"}, \text{"Yes"}, \text{"No"}) , \quad \text{для } w_{\text{zal}} \quad (6)$$

$$\text{if}(\text{renpar_fd} == \text{"Yes"}, \text{"Yes"}, \text{"No"}) , \quad \text{для } w_{\text{fd}} \quad (7)$$

$$\text{if}(\text{izm_os} == \text{"Yes"}, \text{"Yes"}, \text{"No"}) , \quad \text{для } w_{\text{lab}} \quad (8)$$

Разпределения вероятностей для вспомогательного узла rp_w задано $\{0.2, 0.2, 0.2, 0.4\}$ — т. е узлы с идентификаторами $renpar_ana$, $renpar_z$, $renpar_fd$ вносят по 20 % в формирование диагноза «ренальнопаренхиматозная гипертензия», а узел izm_os — 40 %.

На рис. 5 показан результат анализа чувствительности (sensitivity analysis) для узла «RENALPARENHIMATOZNAJA GIPERTENZIYA» при описанном выше способе задания таблиц условных вероятностей.



Рис. 5. Влияние входящих узлов на значение $RENALPARENHIMATOZ. GIPERTENZIYA = \text{«Yes»}$

IV. Примеры применения модели

На рис. 6–8 показано распределение апостериорных маргинальных вероятностей для трех сценариев из врачебной практики.

Сценарий 1. Обратилась женщина 30 лет ($Pac. \text{ jenst. pola?} = \text{«Yes»}$) с жалобами на постоянно немного повышенное АД ($Stabilno \text{ vysokoe AD} = \text{«Yes»}$), нарушение цикла ($Narushenie \text{ cikla ili potencii} = \text{«Yes»}$), периодические приступы резкой мышечной слабости, продолжающиеся почти сутки, а также судороги ($Pris-tupy \text{ silnoi slabosti i sudorog} = \text{«Yes»}$). При опросе выяснено, что родители страдают гипертонической болезнью ($Nasledstvennost = \text{«Yes»}$). У пациентки АД начало повышаться полгода назад. В детстве часто болела ангиной ($4asty \text{ anginy} = \text{«Yes»}$). В остальном анамнез спокойный. При осмотре выявлена небольшая отечность ($Otyoki, \text{ pastoznost lica} = \text{«Yes»}$). АД — 155 и 90. Из лабораторных анализов обращает на себя внимание гипокалиемия ($Gipokaliemiya = \text{«Yes»}$).

В данном случае определяющими являются возраст и пол больной, приступы резкой слабости с судорогами, характерные для гиперальдостеронизма, что подтверждается гипокалиемией. Кроме этого, нельзя исключить дебют гипертонической болезни (наследственность), а также заболевания паренхимы почек (отёки и частые ангины в анамнезе). Количественные результаты вывода сети с учетом наблюдений подтверждают мнение эксперта: $D1 = \text{«Yes»}$ — 55.34 %, $D5 = \text{«Yes»}$ — 52.74 %, $D2 = \text{«Yes»}$ — 17.61 % (рис. 6). В параметрах сети учтена большая роль наследственности для развития гипертонической болезни, поэтому она оценивается как наиболее вероятная, но близкое значение вероятности значительно менее распространенной болезни, каковой является гиперальдостеронизм, является четким указанием на дальнейшие обследования для ее подтверждения или исключения.

Сценарий 2. У мужчины ($Pac. \text{ jenst. pola?} = \text{«No»}$) 18 лет ($Debyut \text{ v d. u. vozr.} = \text{«Yes»}$) на профилактическом осмотре впервые ($Vnezapno \text{ na4alo} = \text{«Yes»}$) выявлено высокое АД — 160 и 120 ($Os. \text{ vys. diast. AD} = \text{«Yes»}$). При этом жалоб в настоящий момент не проявляет. Последнее время периодически беспокоят головные боли ($Golovnye \text{ boli...} = \text{«Yes»}$) и боли в пояснице ($Boli \text{ v poayasnice} = \text{«Yes»}$), что связывал с физическими нагрузками. Раньше эпизодов повышенного АД не было. Хронические болезни отрицает. При обследовании аускультативно выслушивается шум над правой почечной артерией ($Ausk. \text{ abd. shum} = \text{«Yes»}$). Отёков нет. Базовые лабораторные данные без отклонений от нормы.

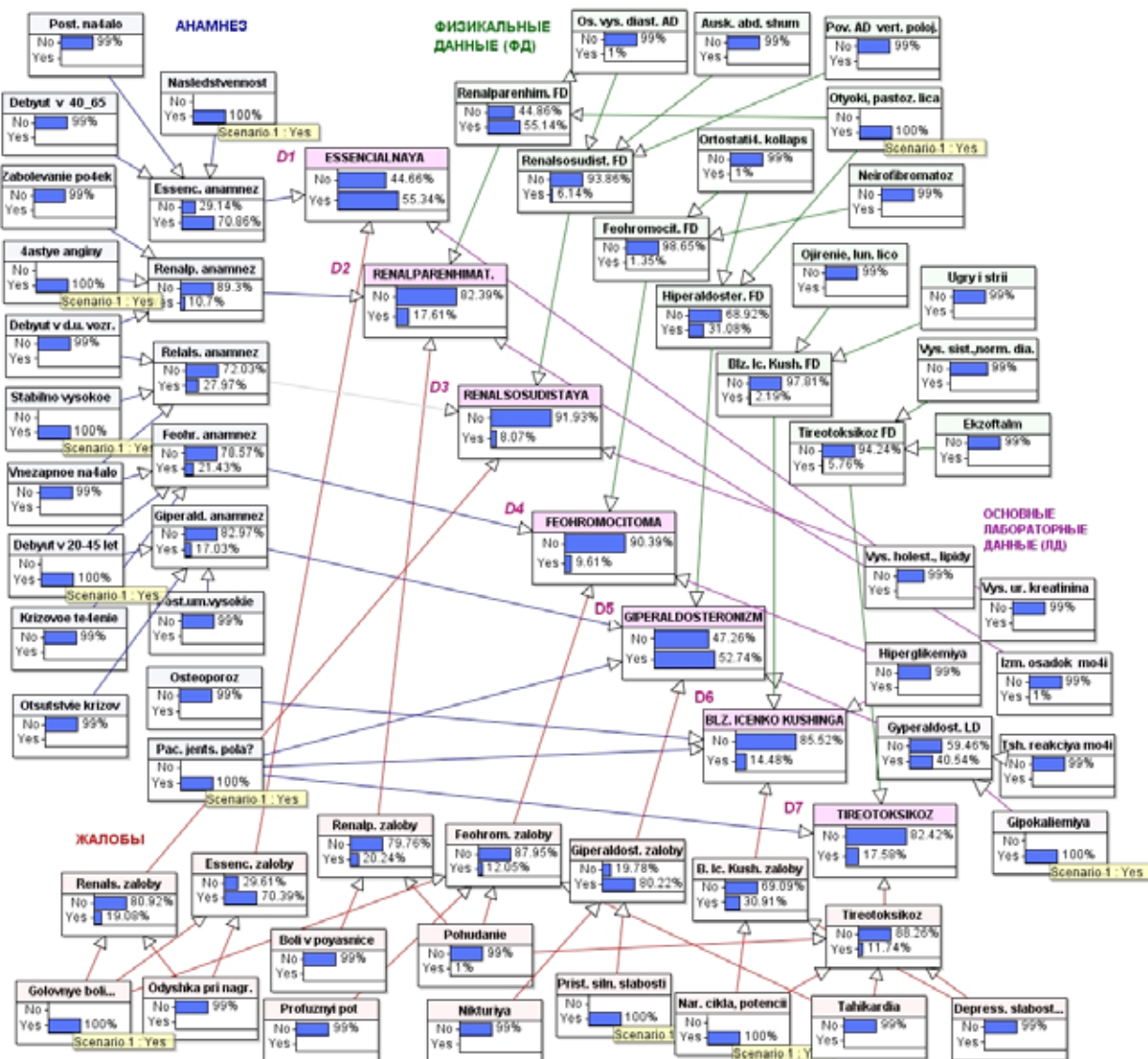


Рис. 6. Апостериорное маргинальное распределение вероятностей для сценария 1

У данного пациента мы вправе подозревать в первую очередь реноваскулярную патологию, основываясь на возрасте, внезапном дебюте заболевания сразу с высоких цифр. Подтверждает диагноз наличие абдоминальных шумов при обследовании больного. Также больного необходимо обследовать на наличие ренопаренхиматозной патологии (возраст, боли в пояснице, высокое диастолическое АД). Апостериорное маргинальное распределение вероятностей подтверждает количественно анализ врача: $D3 = \text{«Yes»} — 46.14\%$, $D1 = \text{«Yes»} — 25.05\%$, $D2 = \text{«Yes»} — 19.87\%$ т.е. вероятность ренальнососудистой гипертензии выше вероятностей эссенциальной и реналопаренхиматозной гипертензии примерно в 2 и 2.5 раза соответственно (рис. 7).

Сценарий 3. Женщина (*Pac. jents. pola?* = «Yes») 40 лет (*Debyut v 20–45 let* = «Yes») жалуется на плохое самочувствие за последние месяцы — частые головные боли, утомляемость (*Golovnye boli...* = «Yes»), похудание (*Pohudanie* = «Yes»). АД не измеряла. Раньше повышенного АД у себя не отмечала. Анамнез спокойный. Вчера внезапно случился криз (*Krizovoe te4enie* = «Yes») — приступ резкой головной боли, озноба, чувства страха. Продолжался 3 часа, пришлось вызывать «скорую помощь». После принятия таблетки АД нормализовалось, но появилась резкая слабость, обильный пот (*Profuznyi pot posle kriza* = «Yes»). Сегодня сохраняется небольшая слабость. При осмотре выявлена небольшая отёчность лица (*Otyoki, pastoz. lica* = «Yes»). На груди и бёдрах округлые пятна, не возвышающиеся над поверхностью кожи, неправильной формы цвета топлёного молока (*Neirofibromatoz* = «Yes»). АД — 140 и 90. Из базовых лабораторных анализов отклонение только в биохимическом анализе крови — повышен холестерин (*Vys. holest., lipidy* = «Yes»)

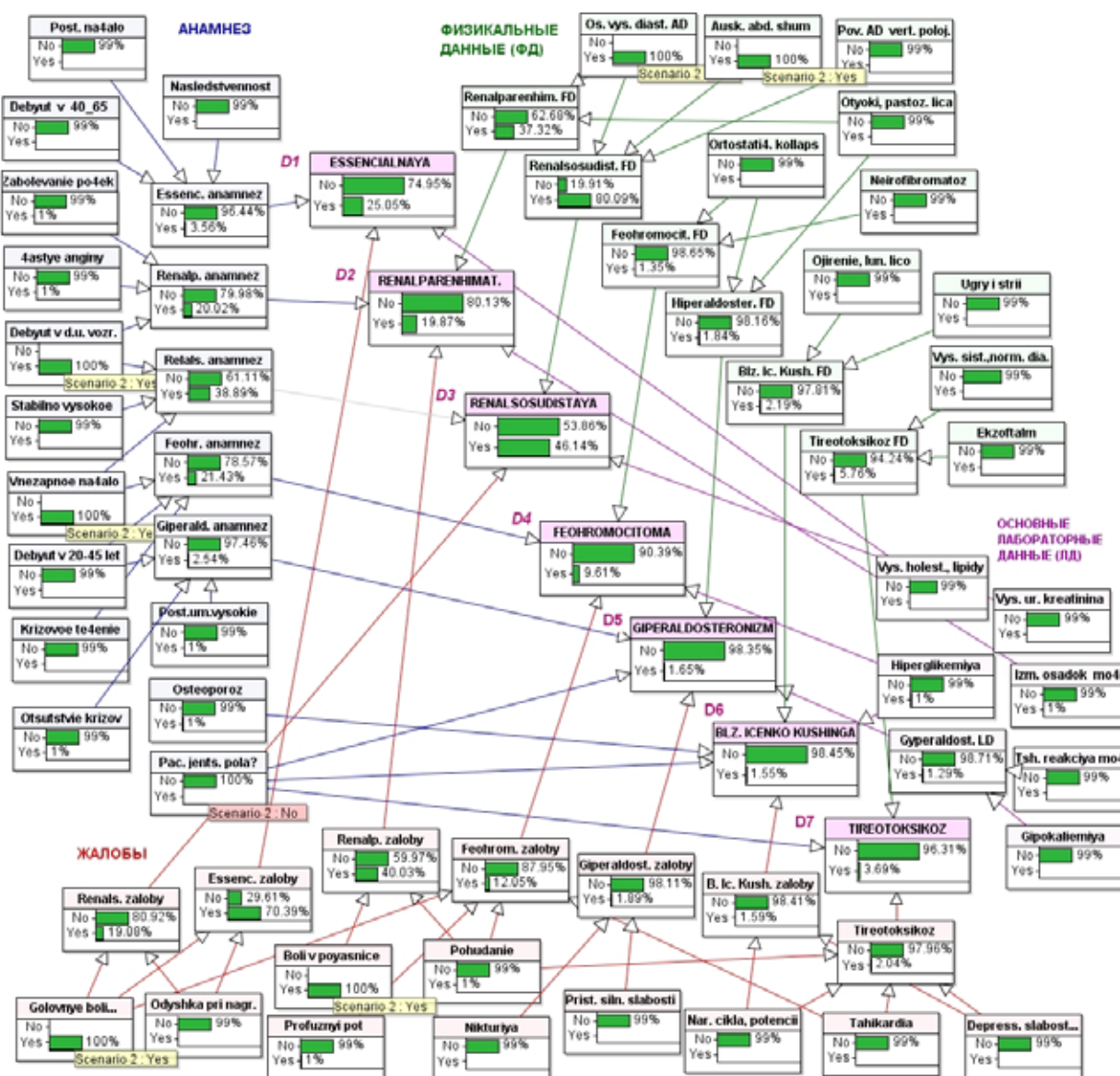


Рис. 7. Апостериорное маргинальное распределение вероятностей для сценария 2

У данной пациентки мы должны в первую очередь искать феохромоцитому (возраст дебюта, характерный криз, наличие нейрофиброматозных пятен). Наличие у больной отёчности и повышенный холестерин не противоречат данному диагнозу. Вывод сети является достаточно ясным с учетом редкого распространения феохромоцитомы по сравнению с гипертонической болезнью: $D4 = \text{«Yes»} — 56.61\%$, $D1 = \text{«Yes»} — 46.83\%$.

V. Выводы

Разработана модель — байесовская сеть, для начальной диагностики заболеваний, которые проявляются высоким артериальным давлением. Структура и параметры модели на данном этапе определены по литературной информации о значимости жалоб, симптомов и других признаков в качестве индикаторов диагностированного заболевания. Значимость показателей для каждого диагноза учтена при оценке параметров узлов сети с помощью функций.

Применение модели для реальных клинических случаев дает выводы, согласующиеся с познаниями и практическим опытом одного из авторов. При этом количественная оценка апостериорных вероятностей возможных диагнозов может служить врачу как вспомогательное средство при определении окончательного диагноза или следующих шагов для его уточнения. Улучшение качества вероятностных оценок модели может быть достигнуто добавлением дополнительных входных узлов и обучением сети с помощью статистических данных.

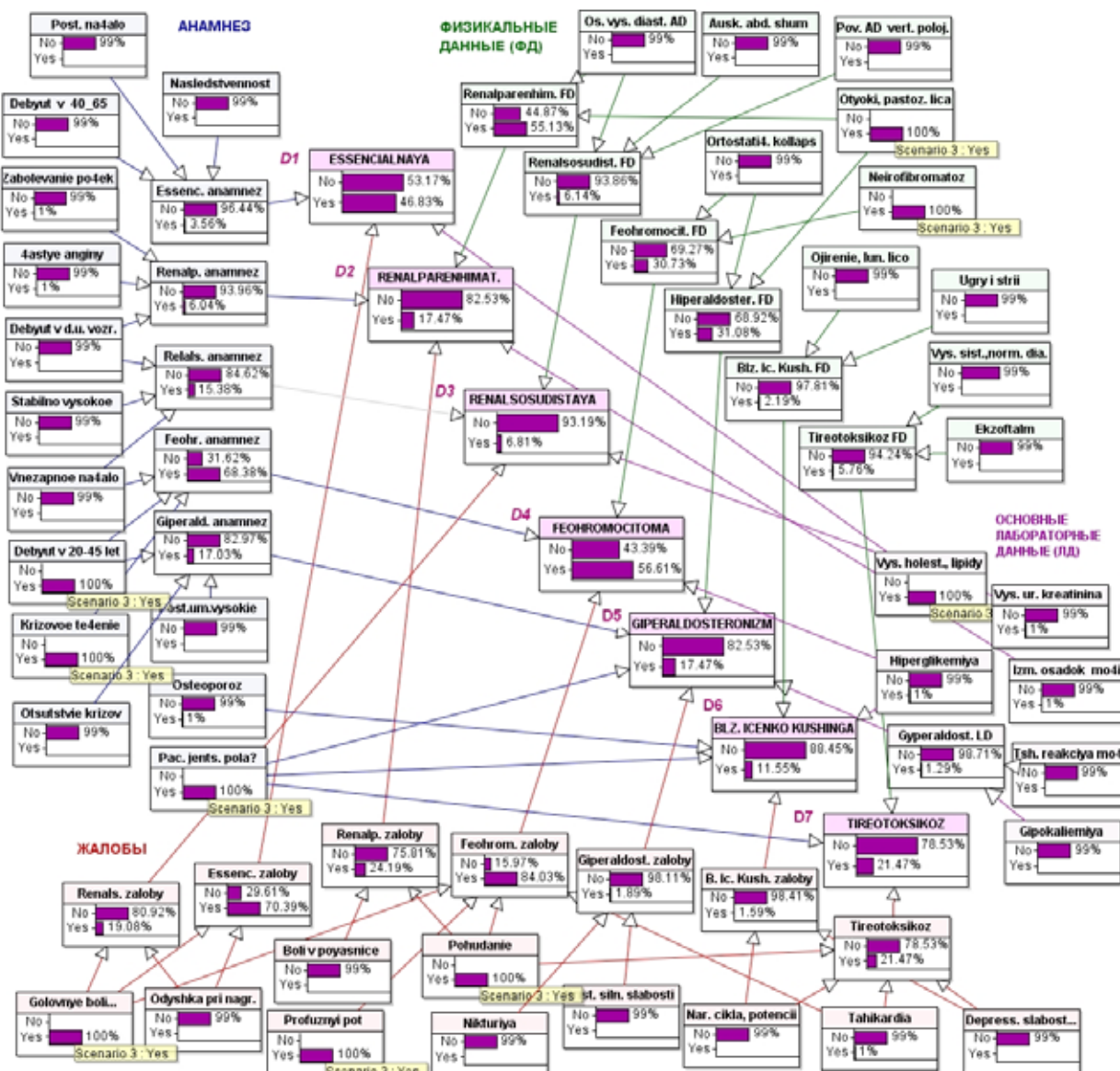


Рис. 8. Апостериорное маргинальное распределение вероятностей для сценария 3

Литература:

1. E. W. Coiera. «Artificial Intelligence in Medicine: The Challenges Ahead», J Am Med Inform Assoc., 3 (6), pp. 363–366, 1996
2. I. Kononenko, «Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective», Artificial Intelligence in Medicine, 23 (1), pp. 89–109, 2001
3. Patel VL, Shortliffe EH, Stefanelli M, Szolovits P, Berthold MR, Bellazzi R, Abu-Hanna A «The coming of age of artificial intelligence in medicine» Artificial Intelligence in Medicine, 46 (1), pp. 5–17, 2009
4. M. Esfandiari, M.R. Babavaliana, A.M. E. Moghadama, V.K. Tabar «Knowledge discovery in medicine: Current issue and future trend» Expert Systems with Applications 41 (9), pp. 4434–4463, 2014
5. http://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/blood_pressure_prevalence_text/en/#
6. P. Judea, Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems, Morgan Kaufmann, 1988.
7. S.L. Lauritzen, Graphical Models. Oxford University Press, Oxford, UK, 1996
8. Jensen Finn V. «Bayesian Networks and Decision Graphs» — Springer, 2001.
9. D. Heckerman, «A Tutorial on Learning with Bayesian Networks», Innovations in Bayesian Networks», Studies in Computational Intelligence, vol. 156, pp 33–82, 2008
10. Darwiche, «Modeling and Reasoning with Bayesian Networks», Cambridge University Press, 2009

11. Koller, D., Friedman N. «Probabilistic Graphical Models. Principles and Techniques», MIT Press, 2009.
12. U. B. Kjaerulff, A. L. Madsen, «An Introduction to Bayesian Network and Influence Diagram», 2005 [Online] <http://people.cs.aau.dk/~uk/papers/pgm-book-I-05.pdf>
13. U. B. Kjaerulff, and A. L. Madsen, «Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis», Information Science and Statistics, vol. 22, 2013
14. K. B. Korb, A. E. Nicholson, «Bayesian Artificial Intelligence», Seco Chapman & Hall/CRC Computer Science & Data Analysis, 2010
15. D. L. Kelly, C. L. Smith, «Bayesian inference in probabilistic risk assessment — The current state of the art» Reliability Engineering & System Safety, 94 (2), pp. 628–643, 2009
16. S. Andreassen, F. V. Jensen, K. G. Olesen, «Medical expert systems based on causal probabilistic networks», International Journal of Bio-Medical Computing, 28 (1–2), pp. 1–30, 1991
17. M. B. Landrum, S. L. T. Normand, «Applying Bayesian ideas to the development of medical guidelines», Statistics in Medicine, 18 (2), pp. 117–137, 1999
18. Nikovski, D. «Constructing Bayesian networks for medical diagnosis from incomplete and partially correct statistics», Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 12 (4), pp. 509–516, 2000
19. D. Heckerman, D. Geiger, and D. M. Chickering, «Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data», Machine Learning, 20 (3), pp. 197–243, 1995
20. D. Heckerman, «A Tutorial on Learning with Bayesian Networks», Innovations in Bayesian Networks», Studies in Computational Intelligence, vol. 156, pp. 33–82, 2008
21. S. L. Lauritzen, «The EM algorithm for graphical association models with missing data», Computational statistics and data analysis, 19 (2), pp. 191–201, 1995
22. Ad Feelders, L. C. van der Gaag, «Learning Bayesian network parameters under order constraints», International Journal of Approximate Reasoning, 42 (1–2), pp. 37–53, 2006
23. R. Daly, Q. Shen, S. Aitken «Learning Bayesian networks: approaches and issues», The Knowledge Engineering Review, 26 (2), pp. 99–157, Cambridge University Press, 2011
24. Heckerman, D., «Probabilistic similarity networks», Networks, 20, pp. 607–636, 1990
25. Y. Xiang, B. Pant, A. Eiseny, M. P. Beddoes, D. Poolez, «Multiply Sectioned Bayesian Networks For Neuromuscular Diagnosis», Artificial Intelligence in Medicine, 5 (4), pp. 293–314, 1993
26. W. Long, «Temporal Reasoning for Diagnosis in a Causal Probabilistic Knowledge Base «Artificial Intelligence in Medicine, 8 (3), pp. 193–215, 1996
27. L. C. van der Gaag, S. Renooij, C. L. M. Witteman, B. M. P. Aleman, B. G. Taal, «Probabilities for a probabilistic network: a case study in oesophageal cancer», Artificial Intelligence in Medicine, 25 (2), pp. 123–148, 2002
28. Lucas PJ, de Bruijn NC, Schurink K, Hoepelman A., «A probabilistic and decision-theoretic approach to the management of infectious disease at the ICU», Artif Intell Med., 19 (3), pp. 251–79, 2000
29. X. Wang, H. Qu., P. Liu, Y. Cheng, «A self-learning expert system for diagnosis in traditional Chinese medicine», Expert Systems with Applications, 26 (4), pp. 557–566, 2004,
30. Díez, F. J., Miraa J., Iturralde E., Zubillaga S., «DIAVAL, a Bayesian expert system for echocardiography», Artificial Intelligence in Medicine, 10 (1), pp. 59–73, 1997.
31. Lucas, P. J. F, Boot H, Taal B. G., «Computer-based decision-support in the management of primary gastric non-Hodgkin lymphoma», Methods Inform Med., 37 (3), pp. 206–219, 1998
32. Wiegerincka, W. A. J. J., Kappena H. J., ter Braakb E. W. M. T., ter Burgc W. J. P. P., Nijmana M. J., O Y. L., Neijtb J. P., «Approximate inference for medical diagnosis, Pattern Recognition Letters, 20 (11–13), pp. 1231–1239, 1999.
33. Aronsky, D., Haug P. J., «Diagnosing Community-Acquired Pneumonia with a Bayesian Network», Proc AMIA Symp., pp. 632–636, 1998
34. Chattopadhyay S, Davis RM, Menezes DD, Singh G, Acharya RU, Tamura T. «Application of Bayesian classifier for the diagnosis of dental pain», Journal of Medical Systems, 36 (3), pp. 1425–1439, 2012
35. Luciani D, Marchesi M, Bertolini G, «The role of Bayesian Networks in the diagnosis of pulmonary embolism», J Thromb Haemost., 1 (4), pp. 698–707, 2003
36. Curia, D.-I., Vasile, G., Baniias, O., Volosencu, C., Albu, A., «Bayesian network model for diagnosis of psychiatric diseases», Information Technology Interfaces, ITI '09. Proceedings of the ITI 2009 31st International Conference on, 2009
37. Leibovici L, Paul M, Nielsen AD, Tacconelli E, Andreassen S., «The TREAT project: decision support and prediction using causal probabilistic networks», Int J Antimicrob Agents., 30 (Suppl 1): S93–102., 2007
38. Getoor L, Rhee JT, Koller D, Small P., «Understanding tuberculosis epidemiology using structured statistical models», Artif Intell Med., 30 (3), pp. 233–56, 2004

39. Aussem A, de Morais SR, Corbex M., «Analysis of nasopharyngeal carcinoma risk factors with Bayesian networks», *Artif Intell Med.* 54 (1), pp. 53–62, 2012
40. Theiss, S., Rose, G., Schwarz, S., Grunwald, J., Raith, M. «Predicting acute neurological diseases with Bayesian networks», *Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*, 10th International Conference on, 2010
41. Bayesian Networks and Simulation Software for Risk Analysis and Decision Support, [online], <http://www.agenarisk.com/>
42. Кушаковский, М. С. Гипертоническая болезнь и вторичные гипертензии. — Л. Медицина. 1983
43. Зидек Вальтер. Артериальная гипертензия. Пер. с нем. М. ГЭОТАР-Медиа. 2009
44. Кельцев, В. А. Артериальная гипертензия у детей и подростков. М. ИНФРА-М. 2013
45. Шапошник, И. И. и др. Артериальная гипертензия в молодом возрасте. М. МЕДПРАКТИКА-М. 2011
46. Гогин, Е. Е. Гипертоническая болезнь. М. 1997
47. Свищенко, Е. П., Коваленко В. Н. Гипертоническая болезнь. Вторичные гипертензии. К. Лыбидь, 2002
48. Шулутко, Б. И. Артериальная гипертензия. СПб. РЕНКОР, 2001
49. Вилкинсон Ян Б. и др. Артериальная гипертензия. Пер. с англ. Churchill Livingstoun, 2003
50. Кобалава, Ж.Д., Котовская Ю.В. Артериальная гипертензия. Ключи к диагностике и лечению. М. ГЭОТАР-Мед. 2009
51. Chiong JR, Aronow WS, Khan IA, Nair CK, Vijayaraghavan K, Dart RA, Behrenbeck TR, Geraci SA., «Secondary hypertension: current diagnosis and treatment», *Int J Cardiol.*, 124 (1), pp. 6–21, 2008
52. Onusko E, «Diagnosing secondary hypertension», *American Family Physician* 67 (1), pp. 67–74, 2003
53. J. Viera, D. M. Neutze, «Diagnosis of Secondary Hypertension: An Age-Based Approach», *Am Fam Physician.*, 82 (12), pp. 1471–1478, 2010

Средства визуализации структурированных данных в клиентских веб-приложениях

Курилов Федор Михайлович, студент
Ульяновский государственный университет

В статье приводятся сведения об основных элементах визуального представления данных, а также рассказывается об инструментах для форматирования, структурирования и визуализации информации в интерактивных веб-приложениях.

Ключевые слова: информация, инфографика, визуализация данных.

В современном мире, где информация приобретает исключительно важное значение, при этом становясь все более открытой широкой аудитории, встает вопрос о поиске форм ее представления, максимально доступных для восприятия. Из большого количества разнородной информации, поступающей к нам сегодня из разных источников, порой бывает трудно выделить главное, а в потоке данных легко потеряться [1]. Графическая информация воспринимается в несколько раз быстрее, нежели текстовая. Кроме того, человеческое восприятие графических образов ассоциативно. Видя очередной рекламный плакат, мы невольно начинаем проводить параллели, в нашем под- сознании возникают ассоциации с чем-то уже знакомым.

С развитием современных СМИ, в особенности интернет-изданий и *social media*, набирает популярность инфографика — особый вид представления информации, данных и знаний в графическом формате, основными преимуществами которого являются быстрота понимания, наглядность и доступность (рис. 1).

Для целевой аудитории инфографика является эффективным средством подачи статистической информации, коммерческих отчетов, бизнес-планов, аналитики и др.

Далее в статье будут рассмотрены программные средства, позволяющие использовать графические элементы визуализации данных в веб-приложениях.

Классификация разновидностей графического представления

Графики, как одни из наиболее простых элементов, используются для отображения зависимости одного набора данных от другого. Графики бывают нескольких видов (рис. 2). Линейные представляют собой объединенные линией наборы точек, соответствующих значениям по осям. Графики рассеивания показывают распределение совокупности точек, соответствующих значениям по осям.



Рис. 1. Классический пример инфографики, демонстрирующей некоторое соотношение

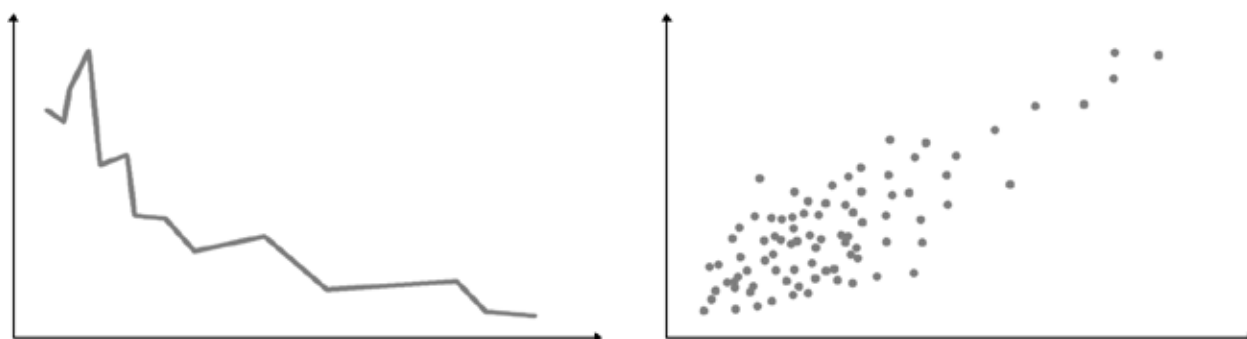


Рис. 2. Линейный график (слева), график рассеивания (справа)

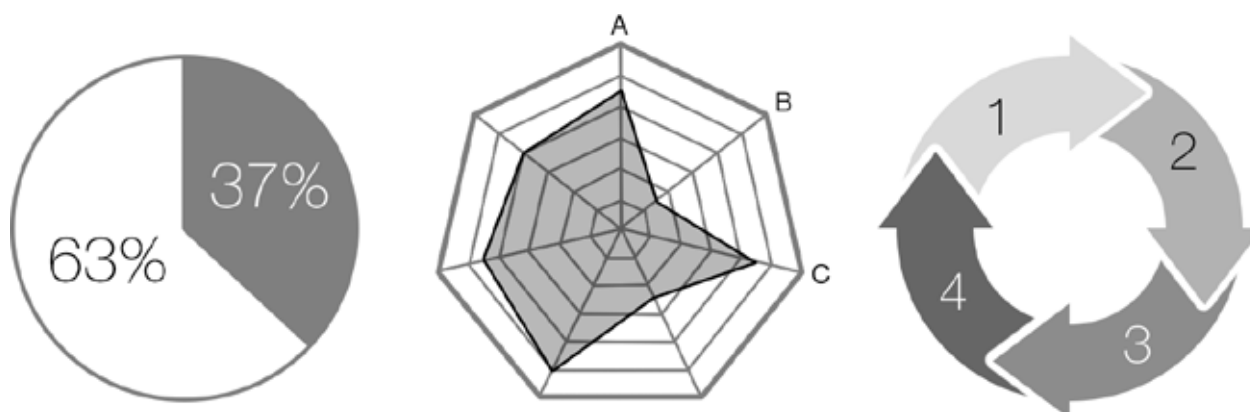


Рис. 3. Диаграммы: круговая, лепестковая, циклическая (слева направо)

Нужно сказать, что графики являются подтипом *диаграмм*. Кроме этого, диаграммы бывают столбчатыми (гистограммы), круговыми, кольцевыми, лепестковыми (рис. 3) и т.д. Циклические диаграммы показывают ключевые шаги процесса, который содержит набор повторяющихся действий.

Отдельно стоит отметить такие типы диаграмм, как *тепловая карта* и *плоское дерево*. Тепловая карта сравнивает значения внутри набора данных, закрашивая

их одним из цветов спектра. Плоское дерево, представляющее иерархию набора данных, в которой элементы являются родительскими или дочерними по отношению друг к другу, отображается в виде набора вложенных прямоугольников, каждый из которых является ветвью (рис. 4).

Деревья и *диаграммы связей* несколько отличаются от упомянутых выше представлений. Они призваны показать структуру (иерархию) набора данных, отразить

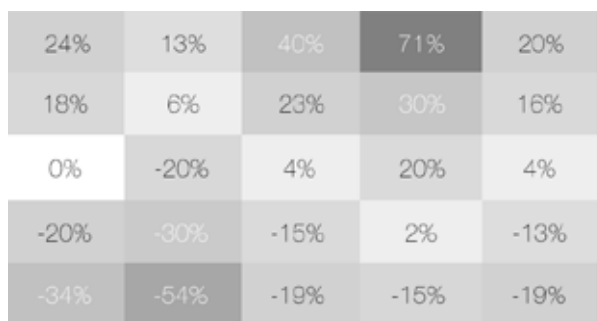


Рис. 4. Тепловая карта (слева), плоское дерево (справа)

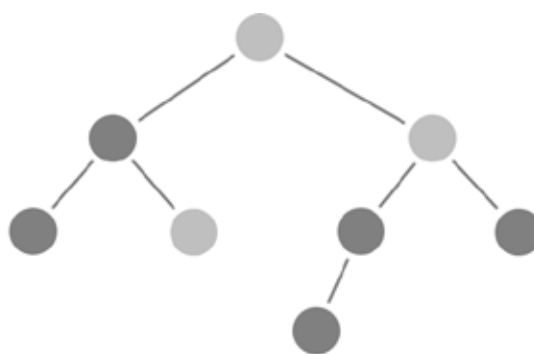
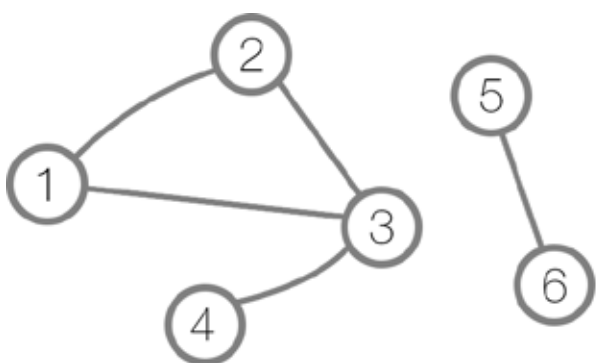


Рис. 5. Граф (слева), дерево (справа)

взаимосвязи отдельных составляющих. Эти виды представления широко используются для визуализации таких математических структур, как графы и сети. Визуальное отображение графа представляет собой совокупность узлов, соединенных между собой линиями — ребрами. Деревья и ментальные карты являются частными случаями графов (рис. 5).

Еще одним востребованным инструментом визуализации являются *карты*. Карты способны в наглядном виде представить уровень безработицы по регионам, обозначить области, пострадавшие от паводков и т.д. Другими словами, карты и картограммы позволяют быстро выявить географические и временные закономерности, чего нельзя добиться при помощи лишь сводных таблиц с данными. Кроме того, при помощи тематических маркеров на карте можно показать расположение каких-либо объектов, например велосипедных парковок или офисов компаний.

Форматы представления структурированных данных

Разные средства для визуализации используют различные форматы данных. На сегодняшний день существует множество гибких форматов, при помощи которых можно описать сколь угодно сложную структуру. Остановимся на нескольких популярных форматах, которые могут быть использованы в клиентских веб-приложениях.

Расширяемый язык разметки (XML). Формат XML известен уже много лет (первая рабочая версия была представлена в 1996 году, а спецификация — в 1998), его часто используют для передачи данных через различные API. Синтаксис языка во многом схож с синтаксисом HTML — значения заключаются в теги, содержащие произвольные имена элементов. Возможность задавать элементам атрибуты добавляет языку гибкости.

```
<company>
  <department>
    <employee>
      <name>Tylor Bessie</name>
      <job>Hardware Engineer</job>
      <salary currency="USD">3500</salary>
    </employee>
    <employee>
      <name>Walton Zander</name>
      <job>Virtual Machine Engineer</job>
      <salary currency="USD">3000</salary>
    </employee>
  </department>
  <department>
    <employee />
  </department>
</company>
```

Листинг 1. Пример набора данных в формате XML

В представленном выше примере (листинг 1) описывается структура некоторой компании и штат ее сотрудников. Видна древовидная структура разметки XML, однако именно она может стать первым препятствием для парсинга (программного синтаксического анализа). Представление данных в виде массивов и записей является более удобным для обмена посредством API и позволяет избежать избыточных манипуляций. Не зря выше была проведена аналогия с HTML—XML является скорее документ-ориентированным типом разметки, нежели форматом, предназначенным исключительно для обмена данными.

Объектная нотация JavaScript (JSON). JSON — более молодой формат (спецификация 2006 года), основанный на подмножестве языка JavaScript. От XML он выгодно отличается простотой описания данных, как для человека, так и для программы-парсера, отсутствием избыточности синтаксиса, присущей разметке, а также ориентированностью непосредственно на обмен данными. На сегодняшний день JSON — один из самых распространенных форматов, которые предлагают веб-API [4, с. 40]. Данные в JSON представляют собой одну из двух структур: набор пар *ключ: значение* — объект, либо упорядоченный набор значений — массив. Ключом может являться только строка, значением — любой тип, в том числе и вложенная структура.

Следующий пример (листинг 2) может являться заготовкой для визуализации данных в виде круговой диаграммы:

```
{
  "chart_type": "pie",
  "title": "Fruits assortment",
  "data": [
    {
      "unit": "Apples",
      "value": 70
    },
    {
      "unit": "Pears",
      "value": 30
    }
  ]
}
```

Листинг 2. Пример набора данных в формате JSON

Специализированные форматы. Кроме XML и JSON инструменты для визуализации могут использовать специализированные языки и форматы. К ним относятся: язык DOT (<http://www.graphviz.org/Documentation.php>), используемый для описания графов и деревьев, формат CSV представления табличных данных в виде текста с разделителями, графический язык моделирования UML (<http://www.uml.org/>) и др.

Инструменты форматирования

Для представления имеющихся данных в доступном визуализирующей программе виде не обязательно писать скрипты, выполняющие форматирование этих данных. Существуют инструменты, автоматизирующие этот процесс. Исключение составляют лишь случаи, когда данные могут динамически изменяться.

К примеру, сохранение табличных данных в формате CSV выполняется средствами табличных процессоров, таких как Excel. Приложения для работы со смешанными данными вроде OpenRefine позволяют сортировать и структурировать огромные массивы данных, искать в них ошибки и неточности, трансформировать в другие форматы.

Отдельно хочется остановиться на конвертере, созданном графическим дизайнером The New York Times Шэном Картером. Инструмент с открытым исходным кодом под названием Mr. Data Converter (<http://shancarter.github.io/mr-data-converter/>) умеет производить конвертацию в один из полутора десятков форматов, среди которых есть XML и JSON — достаточно скопировать таблицу из Excel или вставить CSV-форматированные данные.

Далее обратимся к рассмотрению программных средств, непосредственно выполняющих графическую визуализацию структурированных данных.

Обзор инструментов для визуализации

Существует множество удобных и надежных в работе пакетов, библиотек и онлайн инструментов, которые помогают быстро создавать статичные, либо интерактивные визуальные объекты. Они также предоставляют широкие возможности для подстройки под конкретные потребности при работе с данными.

Google Chart Tools (<https://developers.google.com/chart/>) — JavaScript API от компании Google, входит в состав инструментов для веб-разработчиков Google Developers. API предоставляет средства для создания интерактивных диаграмм различных типов, деревьев и картограмм. Графика на странице представляется в формате SVG, что гарантирует полную поддержку современными браузерами, включая обозреватели мобильных устройств. Кроме того, всегда можно настроить визуальное отображение выбранного элемента на странице. В качестве формата обмена данными может быть использован JSON, кроме этого имеется возможность использовать SQL-подобный синтаксис для манипуляций с данными. В целом этот инструмент можно охарактеризовать как универсальное средство с хорошей документацией, освоение которого позволит без особого труда встраивать разного рода графические элементы визуализации на страницу.

Vega (<http://trifacta.github.io/vega/>) — заслуживающий внимания инструмент от основателей крупного стартапа Trifacta — коммерческого решения для работы

с «сырыми» данными. Vega, по заявлению разработчиков, представляет собой грамматику, предназначенную для декларативного описания статичных карт, диаграмм и графов. На деле является очень гибким и удобным инструментом, для которого данные и настройки представляются в виде JSON объекта. В качестве средства для отрисовки графики могут использоваться векторный формат SVG, либо растровый — Canvas. Vega, как ПО с открытым исходным кодом, хорошо документирована и имеет сайт с большим количеством «живых» примеров.

gRaphaël (<http://g.raphaeljs.com/>) — основанный на графической библиотеке Raphaël открытый пакет для работы с основными типами диаграмм, написанный на языке JavaScript. Принимая наборы данных в виде массивов, инструмент позволяет организовывать их в виде статичных, либо динамических объектов векторной графики.

D3 (<http://d3js.org/>) — пожалуй, одна из самых мощных и динамически развивающихся библиотек для визуализации данных в веб. Выросшая из графического инструментария Protovis библиотека D3 позволяет работать с данными, привязывая их к объектной модели документа (DOM), а затем применять преобразования для управления данными в документе. Например, можно использовать D3 для генерации HTML таблицы из массива чисел, или использовать те же данные для создания интерактивной SVG диаграммы с плавными переходами и возможностью взаимодействия. Однако следует отметить, что работа с D3 требует глубоких знаний JavaScript, поскольку разработчики данной библиотеки, с целью сделать инструмент как можно более гибким, позволили программистам использовать более низкоуровневые конструкции, нежели в средствах визуализации, рассмотренных ранее. Упростить работу с популярными типами диаграмм на D3 могут многочисленные компоненты и плагины, в том числе продукты компании Square — Crossfilter и Cubism. Первый предназначен для работы с большими наборами данных и визуализации их в виде столбчатых диаграмм.

Второй используется для представления изменяющихся в реальном времени данных в виде графиков. Таким образом, можно с уверенностью сказать, что D3 подходит для создания визуализаций любой сложности и для любой области применения.

Vis.js (<http://visjs.org/>) — очень гибкая, но в то же время достаточно простая в использовании библиотека, предназначенная для динамической визуализации временных диаграмм, графов (сетей) и 3D графиков. Разработчики заявляют способность взаимодействовать с огромными наборами данных и высокую производительность в любом современном браузере. Визуализируемые данные должны быть представлены в формате JSON, кроме того, для графов поддерживается специализированный язык DOT. Отрисовка графики производится при помощи HTML5 Canvas.

TimelineJS (<http://timeline.knightlab.com/>) — один из немногих онлайн инструментов, рассматриваемых в статье. TimelineJS предназначен для построения интерактивных временных диаграмм по табличным данным. Примечательно, что в качестве инструмента для предварительного форматирования и структурирования информации предлагается использовать табличный процессор Google Spreadsheet, но существует также возможность использования JSON. Код TimelineJS открыт под лицензией Mozilla Public License, v. 2.0 и доступен на Github.

Modest Maps (<http://modestmaps.com/>), **Leaflet** (<http://leafletjs.com/>) — две свободные JavaScript библиотеки для отображения карт на основе кэшированных растровых фрагментов (тайлов) и взаимодействия с ними. API данных библиотек предоставляют широкие возможности для работы со слоями, маркерами и элементами управления картой. Многочисленные плагины позволяют работать с геоданными (KML, GPX, ТороJSON), добавлять произвольные полигоны и тепловые карты в качестве новых слоев и т. д. В качестве источника тайлов могут служить сервисы Mapbox, OpenStreetMap и другие. Обе библиотеки распространяются под свободной лицензией.



Рис. 6. Фрагмент построенного графа дисциплин

Практическое применение

В качестве иллюстрации к статье можно привести выполненную для информационной системы «Компетентностный подход в системе высшего профессионального образования» [5] визуализацию связей дисциплин.

Литература:

1. David McCandless. The beauty of data visualization. // URL: http://www.ted.com/talks/david_mccandless_the_beauty_of_data_visualization/.
2. Ветров, Ю.А. Визуализация данных. Наглядный и компактный способ отображения информации. // URL: <http://www.jvetrau.com/visualization/>.
3. David Webber. Analysis of JSON use cases compared to XML. // URL: https://blogs.oracle.com/xmlorb/entry/analysis_of_json_use_cases/.
4. Nathan Yau. Visualize This: The FlowingData Guide to Design, Visualization, and Statistics, 2011.
5. Курилова, О.Л. Метод оптимизации учебного плана на основе формализованного компетентностного подхода. // Материалы международной конференции «Применение инновационных технологий в образовании: Москва — столица образования»/«ИТО-Троицк-2013», Москва, 2013, 270–274 стр.

Использование системы «черный ящик» на энергоблоках АЭС

Петянчина Инна Владимировна, студент
Национальный авиационный университет (Украина)

Установка системы «Черный ящик» на АЭС — одно из мероприятий, выполняемых в ходе продления срока эксплуатации энергоблока. Основная идея статьи выражается в необходимости использования системы «Черный ящик» для повышения безопасности энергоблока и АЭС в целом за счет возможности определения причин аварийных ситуаций и аварий, разработки мер по их устранению, а также их недопущению в будущем. В статье описаны назначение, структурная схема, функции, цели создания системы «Черный ящик». Также сделаны выводы о целесообразности использования системы «Черный ящик» на атомных электростанциях.

Ключевые слова: система «Черный ящик», атомная электростанция, информация, авария, послеаварийный мониторинг, безопасность.

Для непрерывного мониторинга и индикации значений критических параметров, которые определяют границы безопасности в условиях проектных и запроектных аварий, на энергоблоках АЭС в настоящее время используются системы представления параметров безопасности (СППБ). СППБ является инструментом, помогающим оператору оценить состояние критических функций безопасности (КФБ) энергоблока и воспользоваться процедурами симптомно-ориентированных инструкций для выполнения действий, направленных на восстановление КФБ при обнаружении нарушений. Однако СППБ не обеспечивают контроль критических параметров в условиях тяжёлых аварий, к которым относятся запроектные аварии с тяжёлым повреждением активной зоны, при котором превышен максимальный проектный предел повреждения тепловыделяющих элементов. В случае возникновения запроектных аварий, существующее оборудование информационных систем энергоблока АЭС не сможет вы-

Визуализация представляет собой граф (рис. 6), вершинами которого являются наименования дисциплин, а ребра отражают связи между ними через множество компетенций. В качестве графической библиотеки была использована упомянутая выше **Vis.js**.

держивать условий протекания аварии, что может привести к потере информационной поддержки оперативного персонала, и, как следствие, оператор не сможет предпринять действия, направленные на перевод реакторной установки в безопасный режим.

К тому же, после аварии на АЭС «Фукусима», Генеральной конференцией МАГАТЭ в сентябре 2011 года был утвержден План действий по ядерной безопасности МАГАТЭ [1], который включает в себя требования об усилении аварийной готовности на АЭС.

Это привело к необходимости создания системы, которая будет действовать независимо от других систем энергоблока и оборудование которой будет способно противостоять условиям любых аварий, не снижая при этом чувствительность и точность измерения, и поддерживать оперативный персонал достоверной информацией.

Эта функция возлагается на систему «Черный ящик». С помощью системы «Черный ящик» при анализе ава-

рийных ситуаций будет учитываться выданная оперативному персоналу и кризисной группе информация, на основании которой оценивалось состояние безопасности энергоблока, а также какие советы и рекомендации выдавались операторам блочного щита управления [2].

Назначение системы

Система «Черный ящик» предназначена для выполнения функций сбора, регистрации, хранения и предоставления доступа к информации о параметрах энергоблоков АЭС в аварийных и послеаварийных условиях проектных и запроектных аварий.

Система «Черный ящик» должна обеспечивать запись и сохранение данных о работе энергоблоков за период не менее 8 часов до аварии, на протяжении всей аварии и не менее 12 часов после аварии.

Цели создания системы

Разработка системы «Черный ящик» осуществляется с целью повышения безопасности энергоблоков и АЭС в целом за счет возможности определения причин аварийных ситуаций и аварий, разработки мер по их устранению, а также их недопущению в будущем.

Использование на энергоблоках АЭС системы «Черный ящик» обеспечит:

- повышение безопасности и эффективности работы энергоблоков за счет:
 - предоставления персоналу достоверной и полной информации о причинах и параметрах протекания аварийных ситуаций;
 - установления фактического алгоритма работы систем безопасности и систем, важных для безопасности, включая системы контроля и управления;
 - выявления отклонений от штатных алгоритмов работы систем, контроля и регистрации действий персонала;
- создание автоматизированного многолетнего архива данных по эксплуатации энергоблоков АЭС в условиях развития аварийных ситуаций и послеаварийной работы;
- возможность дальнейшего расширения функций по комплексному анализу эксплуатации энергоблоков АЭС;
- реализацию требований норм и правил по ядерной и радиационной безопасности.

Структура системы

Функциональная структура системы «Черный ящик» должна состоять из трех уровней иерархии:

- уровень ввода данных от систем-источников;
- уровень концентрации данных;
- уровень регистрации и представления данных.

На уровне ввода данных должны быть реализованы:

- прием данных от систем-источников данных энергоблока;

- хранение ограниченного объема принятых данных;
- представление данных;
- передача данных на уровень концентрации данных.

На уровне концентрации данных должен выполняться сбор и концентрация данных, принимаемых от технических средств уровня ввода данных, а также данных от автоматизированной системы контроля радиационной обстановки и вычислительного комплекса центра технической поддержки.

На уровне регистрации и представления данных должен выполняться прием данных от технических средств уровня концентрации данных, их долговременное хранение и обеспечение к ним доступа.

Функциональная структура системы «Черный ящик» приведена на рисунке 1.

Каждому уровню иерархии должен соответствовать комплекс программных и технических средств.

Комплекс программных и технических средств уровня ввода данных должен включать:

- шлюз связи с системами-источниками данных, обеспечивающий прием данных от систем-источников;
- оптоволоконную линию связи, которая обеспечивает соединение сегмента локальной вычислительной сети с сегментом сети комплекса концентрации данных;
- инженерно-диагностическую станцию, предназначенную для выполнения вспомогательных и сервисных функций.

Комплекс программных и технических средств уровня концентрации данных должен включать:

- сегмент дублированной локальной вычислительной сети, к которому подключены узлы системы, входящие в комплекс концентрации данных;
- два дублирующих друг друга сервера сбора данных, обеспечивающих их обработку и регистрацию в архивах;
- оптоволоконные линии связи;
- шлюз внешних систем;
- мобильные инженерно-диагностические станции, предназначенные для выполнения вспомогательных и сервисных функций.

Технические средства уровня концентрации данных территориально должны размещаться в помещении внутреннего кризисного центра.

Комплекс программных и технических средств уровня регистрации и представления данных должен включать:

- сегмент дублированной локальной вычислительной сети, к которому подключены узлы системы, входящие в комплекс регистрации и представления данных;
- два дублирующих друг друга сервера данных;
- сервер долговременного архива;
- рабочее место технолога;
- инженерную станцию, предназначенную для выполнения вспомогательных и сервисных функций (представление диагностических данных, управление работой системы, подготовка информационного обеспечения);
- шлюз внешних систем, который через сетевые интерфейсы подключается к сегменту дублированной ло-

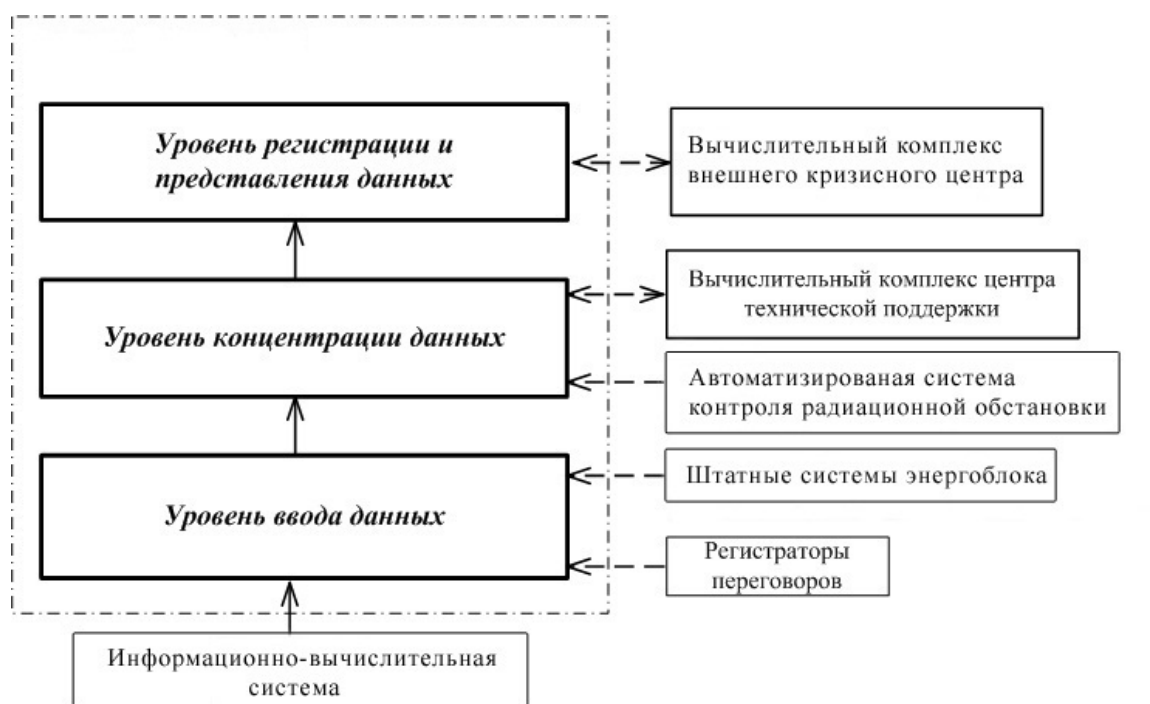


Рис. 1. Функциональная структура системы «Черный ящик»

кальной вычислительной сети комплекса программных и технических средств уровня регистрации и представления данных, к точке радиодоступа и к локальной вычислительной сети вычислительного комплекса внешнего кризисного центра;

- мультифункциональное устройство (цветной сканер, черно-белый лазерный принтер и копировальный аппарат);

- цветной струйный принтер.

Технические средства уровня регистрации и представления данных должны размещаться в помещениях внешнего кризисного центра.

В первой очереди создания системы «Черный ящик» комплекс ввода данных должен обеспечить прием данных по цифровым каналам от сети внешних систем энергоблока.

Во второй очереди создания системы «Черный ящик» комплекс программных и технических средств уровня

ввода данных должен обеспечить прием данных от информационно-вычислительной системы и других штатных систем, входящих в состав энергоблока, а также переговоров оперативного персонала, регистрируемых штатными средствами.

Выводы

Использование системы «Черный ящик» на АЭС целесообразно, поскольку повысит безопасность и эффективность работы энергоблоков за счет предоставления персоналу достоверной и полной информации о причинах и параметрах протекания аварийных ситуаций, установления фактического алгоритма работы систем безопасности и систем, важных для безопасности, включая системы контроля и управления, отклонений от штатных алгоритмов работы систем, контроля и регистрации действий персонала.

Литература:

1. IAEA Action Plan on Nuclear Safety, GOV/2011/59-GC (55)/14 [Text]. — September 2011.
2. Радіоелектронні і комп'ютерні системи [Электронный ресурс]/Сопоставление требований к системам послеаварийного мониторинга атомных электростанций. — Режим доступа: <http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2013/REKS513/Trubchan.pdf>

2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Преобразование Фурье и преобразование Хартли

Аверченко Артем Павлович, аспирант;

Воропаев Вячеслав Константинович, студент;

Женатов Бекин Десимбаевич, кандидат технических наук, начальник НИЧ

Омский государственный технический университет

В статье рассматриваются преобразования Хартли и Фурье, рассматриваются их зависимости. Рассмотрены сходства и отличия преобразования Хартли и Фурье.

Ключевые слова: преобразование Хартли, преобразование Фурье, *cas* функция, действительная и мнимая часть.

Ральф Винтон Лайон Хартли, раскрыл вещественные преобразования тесно связанные с преобразованием Фурье в 1942 году. Кроме того, используя собственные свойства, преобразование введенное Хартли позволяет произвести расчёты косвенных вычислений спектра мощности Фурье данной функции, пользуясь только арифметикой. В последние десятилетия были предложены некоторые новые дискретные вещественные ортогональные преобразования, которые Хартли, связал с другим известным комплексом.

В 1942 году было опубликовано статья об интегральных преобразованиях — прямом и обратном, использующие введенную Хартли функцию $\text{cas}\theta = \cos\theta + \sin\theta$. Преобразование Хартли позволяет разложить функцию на два синусоидальных компонента как набора представленных с точки зрения положительных и отрицательных составляющих отличающихся простотой от сложных геометрических прогрессий $\exp(j\omega x)$, используемых в классическом анализе Фурье.

В отличие от преобразования Фурье, преобразование Хартли трансформирует одни вещественные функции в другие вещественные же функции не используя мнимую часть функции. Дискретная версия преобразования Хартли, была введена R. N. Bracewell в 1983 году [1, с. 114].

Преобразование Хартли функции $f(t)$ определяется:

$$H(\omega) = \{Hf\}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \text{cas}(\omega t) dt$$

Где ω может быть угловой частотой и $\text{cas}(t) = \cos(t) + \sin(t) = \sqrt{2} \sin\left(t + \frac{\pi}{4}\right) = \sqrt{2} \cos\left(t - \frac{\pi}{4}\right)$ это косинус и синус или ядро Хартли. С инженерной точки зрения, это преобразование принимает сигнал (функцию) из временной области в спектральной области Хартли.

Преобразование Хартли (как преобразование Фурье) имеют различные мелкие детали являющиеся предметом конвекции и могут быть изменены без изменения основных свойств.

$$H_x(\omega) = 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \text{cas}(\omega t) dt \text{ — Прямое преобразование.}$$

$$x(t) = 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H_x(\omega) \text{cas}(\omega t) d\omega \text{ — Обратное преобразование.}$$

1) Вместо того что бы использовать одно и тоже преобразование для прямого и обратного, можно удалить $1/\sqrt{2\pi}$ из прямого преобразования и использовать $1/2\pi$ для обратного преобразования и вынести такой же коэффициент из прямого преобразования.

2) Можно также использовать $2\pi vt$ вместо ωt (т.е. частота вместо угловой частоты), в этом случае коэффициент $1/\sqrt{2\pi}$ полностью опустится.

3) Можно использовать разность $\cos\theta - \sin\theta$ вместо $\cos\theta + \sin\theta$ [2, с. 15]

Связь с преобразованием Фурье.

Преобразование Хартли отличается от классического преобразования Фурье $F(\omega) = F\{f(t)\}(\omega)$ в $(\omega) = F\{f(t)\}(\omega)$ в выборе ядра. В преобразование Фурье, экспоненциальное ядро: $\exp(-i\omega t) = \cos(\omega t) - i\sin(\omega t)$ где i — это мнимая единица.

Эти два преобразования тесно связаны между собой, однако преобразование Фурье (при условии, что преобразование использует коэффициент $1/\sqrt{2\pi}$ нормализации конвенции) может быть вычислено из преобразования Хартли:

$$F(\omega) = \frac{H(\omega) + H(-\omega)}{2} - i \frac{H(\omega) - H(-\omega)}{2}$$

То есть, действительная и мнимая часть преобразования Фурье задаётся чётными и нечётными частями преобразования Хартли. И наоборот, для вещественной функции $F(t)$, преобразования Хартли задаётся от преобразования Фурье, действительной и мнимой частью.

$$\{Hf\} = \Re\{Ft\} - \Im\{Ft\} = \Re\{Ft \cdot (1 + i)\}$$

Где \Re и \Im обозначают действительную и мнимую часть комплексного преобразования Фурье.

Пример преобразования Хартли и Фурье.

$$T=4, t=0.01..T, s(t) = \exp[-5(|t-2|)^2],$$

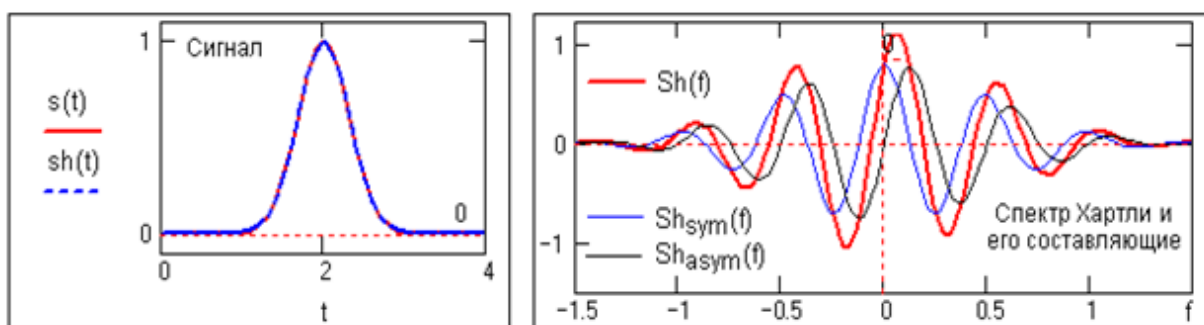
$\text{cas}(x) = \cos(x) + \sin(x) \Leftarrow$ Функции Хартли.

$$Sh(f) = \int_0^T s(t) \text{cas}(2\pi f t) dt \quad Sh_{sym}(f) = \int_0^T s(t) \cos(2\pi f t) dt$$

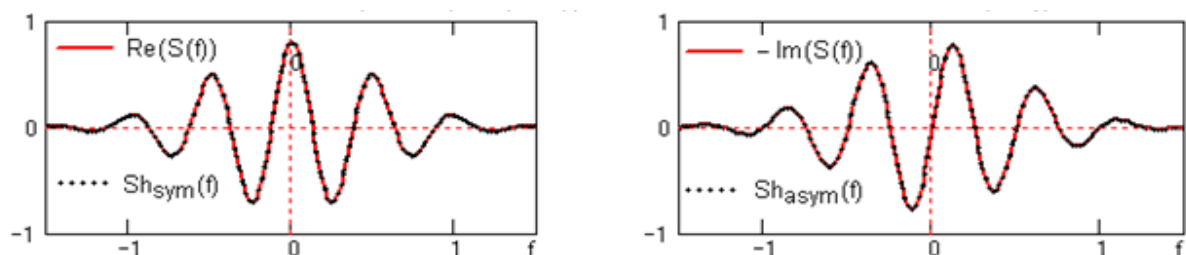
$$Sh_{asym}(f) = \int_0^T s(t) \sin(2\pi f t) dt$$

$$S(f) = \int_0^T s(t) \exp(-2\pi i f t) dt \quad F=1.5 \quad f=-F_{-}f+0.02..F$$

$$sh(\square) = \int_{-F}^F Sh(f) \text{cas}(2\pi f t) df$$



Сопоставление составляющих спектра Хартли с действительной и мнимой частью спектра Фурье [3].



Свойства преобразования.

Преобразование Хартли — это линейный оператор (преобразование Фурье также относится к линейным интегральным операциям). Из симметричности и обратных свойств, преобразование является унитарным оператором (в самом деле, ортогональным).

Существует также аналог теоремы свёртки для преобразования Хартли. Если две функции $x(t)$ и $y(t)$ имеют преобразование Хартли $X(\omega)$ и $Y(\omega)$, то их свёртки $z(t) = x * y$ есть преобразование Хартли:

$$Z(\omega) = \{H(x * y)\} = \sqrt{2\pi} [X(\omega) [Y(\omega) + Y(-\omega)] + X(-\omega) [Y(\omega) - Y(-\omega)]] / 2$$

По аналогии с преобразованием Фурье, преобразование Хартли чётной/нечётной функции чётные/нечётные.

CAS функция.

Свойства cas функции вытекают непосредственно из тригонометрии, и его определение как фазовый сдвиг тригонометрических функции

$$cas(t) = \sqrt{2} \sin(t + \pi/4) \text{ то:}$$

$$2cas(a + b) = cas(a)cas(b) + cas(-a)cas(b) + cas(a)cas(-b) - cas(-a)cas(-b)$$

кроме того:

$$cas(a + b) = cos(a)cas(b) + sin(a)cas(-b) = cos(b)cas(a) + sin(b)cas(-a)$$

и её производная равна:

$$cas'(a) = \frac{d}{da} cas(a) = cos(a) - sin(a) = cas(-a)$$

Преобразование Хартли может использоваться в качестве альтернативы преобразования Фурье при учете вышеописанных свойств.

Литература:

1. Злобин, С. Л., Стальной А. Я. «Двумерное быстрое преобразование Хартли в цифровой обработке изображений». Доклады 6-ой Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и её применение». Том 2, стр. 114–116. Труды РНТОРЭС им. А. С. Попова. Москва, Россия, 2004 г.
2. Брейсуэлл, Р. Преобразование Хартли. Теория и приложения. — М.: Мир, 1990
3. Bracewell, Ronald. N. (1986). The Hartley Transform. Oxford University Press. ISBN 9780195039696
4. Poularikas, A. D. «The Hartley Transform» The Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing. Ed. Alexander D. Poularikas Boca Raton: CRC Press LLC, 1999

Использование математических пакетов Matlab & Simulink при разработке цифровых фильтров

Аверченко Артем Павлович, аспирант;

Медведков Александр Юрьевич, студент;

Садыков Жанат Булатович, студент

Омский государственный технический университет

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) — это одна из наиболее быстро развивающихся отраслей современной электроники, которая применяется в любой области, где информация содержится в цифровом виде или контролируется цифровым процессором. В настоящее время ЦОС используется во многих областях, где раньше применялись аналоговые методы, кроме того, появились совершенно новые области применения, где

было сложно или невозможно пользоваться аналоговыми устройствами. Привлекательность ЦОС обусловлена такими основными преимуществами, как гарантированная точность, которая определяется только числом задействованных битов, отсутствие искажения характеристик из-за температуры или старости и большая гибкость.

Одной из операций ЦОС, имеющих первостепенное значение, является цифровая фильтрация. Основными

целями фильтрации являются улучшение качества сигнала (например, устранение или снижение помех), извлечение из сигналов информации или разделение нескольких сигналов, объединенных ранее для эффективного использования доступного канала связи. Цифровые фильтры, по сравнению с аналоговыми, предпочтительны во множестве областей: сжатие данных, биомедицинская обработка сигналов, обработка речи, обработка изображений, передача данных, цифровое аудио.

Рано или поздно разработчики ПЛИС сталкиваются с более сложной цифровой обработкой сигналов, которую необходимо реализовать на кристаллах ПЛИС. Одним из решений данной проблемы является использование системы математического программирования Matlab & Simulink, разработанной американской компанией MathWorks.

Рассмотрим с помощью средств пакета Matlab & Simulink цифровой фильтр низкой частоты (ФНЧ). Одним из инструментов является графическая оболочка создания и расчета фильтров — Filterbuilder Design Process запускаемая в Command Window. После выбора нужного

фильтра в окне Response Selection, запускается графическая оболочка программы Filterbuilder Design

В вкладке Main на рис. 1. приведены основные параметры, но особо значимые из них:

— Частотные характеристики (Frequency specifications): где Frequency units — размерность частоты; Input Fs — частота дискретизации; Fpass — граничная частота ПП; Fstop — граничная частота ПЗ

— Величина характеристики (Magnitude specifications): где Magnitude units — размерность магнитуды; Apass — максимально допустимое затухание в ПП; Astop — минимально допустимое затухание в ПЗ;

Также окно Response Selection имеет вкладку тип данных (Data Types) с возможностью выбора счета [1, с. 24].

После конфигурации всех параметров нужно воспользоваться кнопкой **View Filter Response** и утвердительно ответить на запрос программы. Запустится окно программы Filter Visualization Tool (fvtool) с графиком **амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра Magnitude Response (dB)**.

Frequency specifications

Frequency units: **Hz** Input Fs: **11050**

Fpass: **3500** Fstop: **4000**

Magnitude specifications

Magnitude units: **dB**

Apass: **1** Astop: **90**

Рис. 1. Вкладка Main

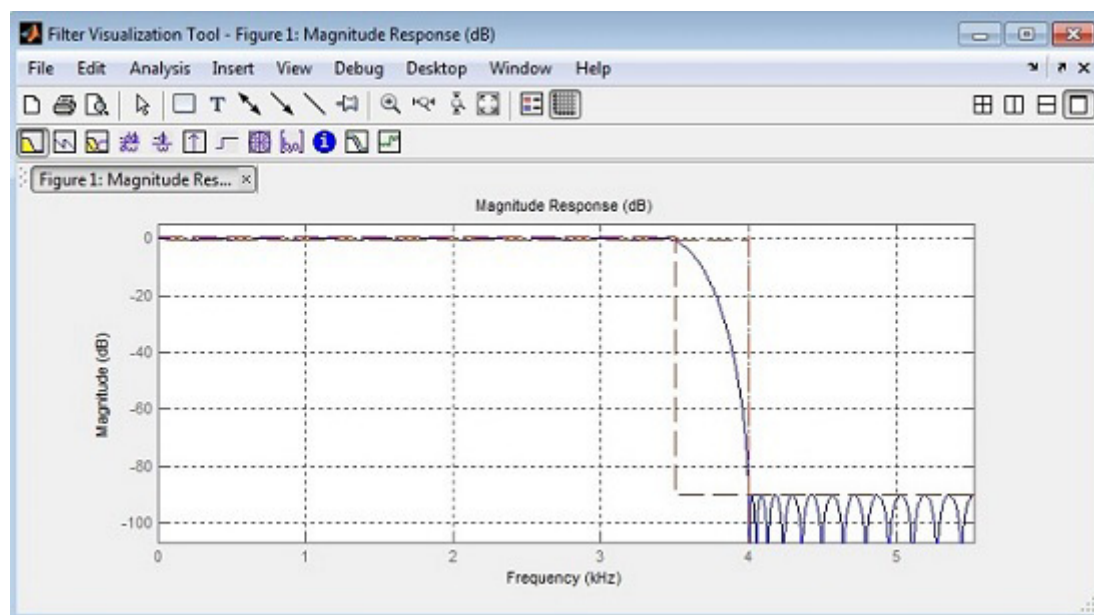


Рис. 2. График АЧХ фильтра Magnitude Response (dB)

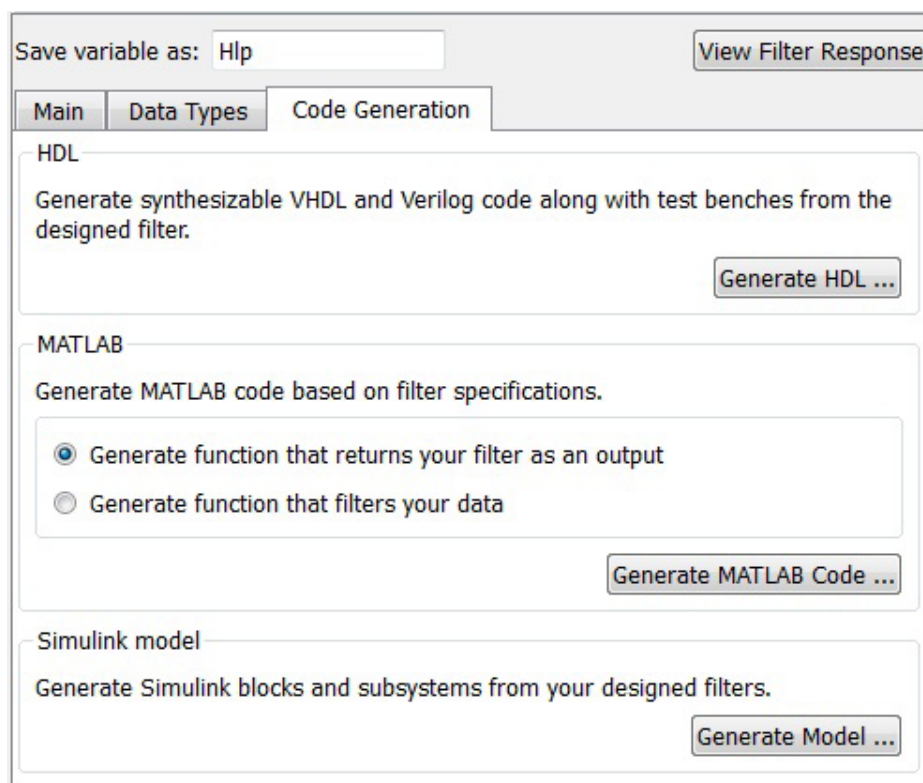


Рис. 3. Графическая оболочка программы Filterbuilder Design

Из графика АЧХ фильтра видно, что разрабатываемый ФНЧ пропускает диапазон частот сигнала до 4кГц, а после данной частоты пропускает реже и не более величины $A_{stop}=90\text{dB}$. Более детальную информацию можно посмотреть нажав на иконку с изображением синего круга с буквой *i* [2, с. 45].

Для того чтобы добавить фильтр низкой частоты в модель проекта Simulink нужно воспользоваться вкладкой Code Generation в графической оболочке программы Filterbuilder Design представленной на рисунке 3.

Здесь представлено несколько способов генерации ФНЧ.

- создание графического примитива (блока) ФНЧ (Generate Model)

- создание VHDL кода ФНЧ (Generation HDL) в дальнейшем этот код используется для заливки в ПЛИС с помощью сторонних программ (например таких как ISE Design Suite)

- создание MATLAB кода (Generate MATLAB code)

После генерации кода файл попадает в указанную

нами папку. Наиболее полную информацию о работе с программой читатель может найти в справочной системе MATLAB. Для этого надо в окне справки MATLAB (окно help) открыть раздел Filter Design Toolbox — Using Filter Design Toolbox — Quantization Tool Overview.

Пакет Matlab & Simulink обладает достаточно мощными средствами позволяющими решить более сложные задачи по цифровой обработке сигналов (ЦОС), в том числе звуковой и видео информации, сокращает время на разработку, отладку и выявление ошибок на более ранних стадиях проектирования [3, с. 117].

Особенностью современного процесса проектирования является необходимость реализации сложных оптимальных и адаптивных алгоритмов для решения новых задач, возникающих в связи с ужесточением требований, предъявляемых заказчиком, к таким параметрам, как помехоустойчивость, точность, быстродействие. Современная элементная база позволяет реализовать алгоритмы на ПЛИС, которые несколько лет назад можно было встретить только в теоретических статьях.

Литература:

1. Андреев, И. И., Ланнэ А. А. MATLAB для DSP: SPTool — инструмент для расчета цифровых фильтров и спектрального анализа сигналов // Цифровая обработка сигналов. 2000. 2. С.
2. Белодедов, М. В. Методы проектирования цифровых фильтров: учебное пособие. Волгоград: Издательство Волгоградского Государственного Университета, 2004. — 64 с.
3. Гольденберг, Л. М. и др. Цифровая обработка сигналов: Справочник/Л. М. Гольденберг, Б. Д. Матюшкин, М. Н. Поляк. М.: Радио и связь, 1985.—312 е., ил.

Алгоритм автономного контроля целостности навигационного поля

Бойков Дмитрий Валерьевич, аспирант

Тамбовский государственный технический университет

В работе предложен алгоритм автономного контроля качества навигационного поля в радиоэлектронных комплексах, включающих в свой состав спутниковые радионавигационные системы, обеспечивающий повышение целостности навигационного обеспечения.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, RAIM (англ. Receiver Autonomous Integrity Monitoring — автономный контроль целостности приемника (АКЦП), контроль целостности, навигационное поле.

Введение

Контроль целостности радионавигационного поля ГЛОНАСС заключается в контроле качества излучаемых навигационными спутниками (НС) системы навигационных радиосигналов и качества передаваемой ими служебной информации [1]. В особенности это важно в тех случаях, где корректная работа системы необходима для обеспечения надлежащего уровня безопасности, например в авиации

Требования к навигационному обеспечению воздушных судов

Требования определяются, в первую очередь, необходимостью обеспечения безопасности полетов воздушных судов (ВС) в условиях сложившейся структуры деления воздушного пространства. В соответствии с этим рассматриваются различные этапы полета: по трассам, воздушным линиям, вне трасс, в аэродромной или аэроузловой зоне, взлет, заход на посадку и посадка, пробег по взлетно-посадочной полосе (ВПП) и руление по рулежным дорожкам.

Требования к целостности для маршрутных полетов, полетов в зоне аэродрома и некатегорированному заходу на посадку составляют 0,999 при допустимом времени предупреждения соответственно 10, 10 и 2 с, а для захода на посадку и посадки по I, II и III категориям ИКАО — 0,999999, 0,9999999 и 0,9999999995 при допустимом времени предупреждения не более 1 с

Требования, приведенные в табл. 1, относятся к надежности определения координат на различных этапах полета ВС [2]. Следует отметить, что совершенствование процедур и методов управления полетом может привести к обоснованию и формулировке требований к точности определения составляющих скорости и, возможно, времени. Это, в частности, относится к разработке и использованию алгоритмов управления движением конфликтующих ВС в задаче предотвращения столкновений ВС в воздухе, а также в задаче предупреждения столкновений ВС с наземными объектами и для обеспечения более комфортных условий посадки [2]. Для выполнения этих требований необходимо постоянное повышение точности измерений, и минимизация ошибок оказывающих влияния на результаты позиционирования.

Таблица 1

Категория	Доступность	Целостность	Непрерывность	Высота Н, м, более
I	0,9975	$T < 6с$ $1... 3,3 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$ в течение 15 с $1 \cdot 10^{-4}$ в течение 150 с	60
II	0,9985	$T < 2с$ $1... 3,3 \cdot 10^{-8}$	$1... 1,4 \cdot 10^{-6}$ в течение 15 с $1... 1,4 \cdot 10^{-5}$ в течение 165 с	30
III	0,999	$T < 1с$ $1... 1,5 \cdot 10^{-9}$	$1... 4,0 \cdot 10^{-6}$ в течение 30 с	15

Важной задачей является повышение контроля целостности информации передаваемой НС в аппаратуре потребителей.

Контроль целостности радионавигационного поля ГЛОНАСС

В системе ГЛОНАСС контроль целостности навигационного поля осуществляется следующими двумя способами.

Во-первых, на НС осуществляется непрерывный автономный контроль функционирования основных бортовых систем. В случае обнаружения нарушений нормального функционирования этих систем, влияющих на качество излу-

чаемого НС навигационного радиосигнала и достоверность передаваемого навигационного сообщения, на НС формируется признак его неисправности, который передается потребителю системы в составе оперативной информации навигационного сообщения. Дискретность передачи соответствующего признака в навигационных сообщениях НС ГЛОНАСС составляет 30 с [2]. Максимальная задержка от момента обнаружения неисправности до момента передачи соответствующего признака не превышает 1 мин для НС «Глонасс-М». В НС «Глонасс-М» предусматривается уменьшение данной задержки до десяти секунд за счет введения признака ln и увеличения оперативности изменения признака Bn [2].

Во-вторых, качество навигационного поля ГЛОНАСС, т.е. исправность всех НС системы, качество излучаемых ими навигационных радиосигналов и достоверность передаваемой ими информации контролируются средствами контроля подсистемы контроля и управления (ПКУ) — аппаратурой контроля навигационного поля [1]. Формируемый этими средствами признак неисправности появляется в неоперативной информации навигационных сообщений (альманахах системы) всех НС не позднее, чем через 16 часов после появления неисправности [2]. Дискретность передачи данного признака в навигационных сообщениях НС ГЛОНАСС составляет 2,5 мин. В соответствии с двумя принятыми в системе ГЛОНАСС способами контроля навигационного поля, в навигационных сообщениях каждого НС системы передаются два типа признаков исправности (неисправности): признак Bn (ln) — нулевое значение которого обозначает пригодность данного НС для проведения навигационных определений потребителей системы; признаки Cn — совокупность ($n = 1, \dots, 24$) обобщенных признаков состояния всех НС системы на момент закладки неоперативной информации (альманаха орбит и фаз); значение признака $Cn = 0$ указывает на непригодность НС, имеющего системный номер nA , для использования в сеансах навигационных определений, а значение признака $Cn = 1$ — на пригодность этого НС. Потребители системы ГЛОНАСС при принятии решения об использовании или не использовании каждого конкретного НС для целей навигации должны анализировать значения обоих признаков, руководствуясь при этом правилом, как показано в таблице 2.

Таблица 2

Значения признаков		Работоспособность НС
Bn (ln)	Cn	
0	0	-
0	1	+
1	0	-
1	1	-

Такая система контроля имеет ряд недостатков:

- в первом способе неисправность самих средств контроля не обнаруживается и не сопровождается передачей соответствующего сообщения потребителю. Искажение эфемерид не обнаруживается на самом НС, что приводит к возможности изменения их значений не только в случае сбоя, но и умышленно третьими лицами;
- во втором способе неприемлемая задержка в оповещении потребителей (до 16 часов) [2].

Алгоритм автономного контроля целостности навигационного поля

Положение НС в пространстве может быть определено в любой момент времени путем решения известных уравнений для орбитальных элементов. Движение НС носит не хаотичный характер, а подчиняется определенным законам. Принимая от спутника навигационную информацию мы можем рассчитать его положение на определенный момент времени с большей или меньшей точностью. Точность расчетов зависит от того на основе каких данных делался расчет (оперативная или не оперативная информация (альманах)) и на какой момент времени. Расчетные координаты спутника и его составляющие вектора скорости будут отличаться от полученных из оперативной информации в данный момент времени. В соответствие с этим мы можем задать определённый порог ошибки, при превышении которого будем полагать что информация получаемая от данного НС недостоверна. Алгоритм будет следующий.

Вначале определяются координаты и составляющие вектора скорости НС по данным альманаха системы ГЛОНАСС в абсолютной геоцентрической системе координат $Ox_0y_0z_0$ на заданный момент времени t_i (московское декретное время суток с номером No внутри четырехлетнего периода) проводится в два этапа.

С помощью величин ΔT , $\Delta T'$ и λ рассчитываются момент прохождения восходящего узла орбиты $t_{\lambda k}$ на витке с номером K , к которому принадлежит заданный момент времени t_i ($t_i - t_{\lambda k} < T_{cp} + \Delta T$), и долгота восходящего узла λ_k на этом витке. Остальные параметры принимаются постоянными и равными тем, которые содержатся в навигационном кадре.

Затем оскулирующие элементы пересчитываются с момента $t_{\lambda k}$ по аналитическим формулам на момент t_i . При этом учитываются вековые и периодические возмущения в элементах орбиты НС от второй зональной гармоники C_{20} в разложении геопотенциала, характеризующей полярное сжатие Земли.

Полученные на момент t_i оскулирующие элементы переводятся в кинематические параметры. Последовательность проведения расчета и используемые рабочие формулы приведены ниже [4].

1) Методом последовательного приближения находится большая полуось орбиты a :

$$a^{(n+1)} = \sqrt{\left(\frac{T_{оск}^{(n+1)}}{2\pi}\right)^2 \cdot \mu},$$

$$T_{оск}^{(n+1)} = T_{др} \cdot \left\{ 1 + \frac{3}{2} \cdot C_{20} \left(\frac{a_e}{p^{(n)}}\right)^2 \left[\left(2 - \frac{5}{2} \cdot \sin^2 i\right) \cdot \frac{(1-e^2)^{\frac{3}{2}}}{(1+e \cos \omega)^2} + \frac{(1+e \cos \vartheta)^3}{1-e^2} \right] \right\}^{-1},$$

$$p^{(n)} = a^{(n)} \cdot (1-e^2), n=0,1,2,\dots,$$

где $\vartheta = -\omega$, $i = i_{cp} + \Delta i$ и $T_{др} = T_{cp} + \Delta T$.

За начальное приближение принимается

$$a^{(0)} = \sqrt{\left(\frac{T_{др}}{2\pi}\right)^2 \mu}$$

Приближение заканчивается при выполнении условия

$$|a^{(n+1)} - a^{(n)}| < 10^3 \text{ км}$$

Для этого обычно достаточно двух–трех итераций.

2) Рассчитываются момент прохождения восходящего узла орбиты $t_{\lambda k}$ на витке, к которому принадлежит момент t_i , и долгота восходящего узла на этом витке λ_k :

$$\begin{aligned} t_{\lambda k} &= [t_{\lambda k}]_{mod \ 86400}, \\ \bar{t}_{\lambda k} &= t_{\lambda} + T_{др} W + \Delta T \cdot W^2, \\ W_k &= \frac{t_i}{T_{др}}, W \text{ — целая часть } W_k, \\ t^* &= t_i - t_{\lambda} + 86400 \cdot (N_0 - N_A), \\ \lambda_k &= \lambda + (\Omega' - \omega_3) \cdot (T_{др} W + \Delta T \cdot W^2), \\ \Omega' &= \frac{3}{2} C_{20} \cdot n \cdot \left(\frac{a_e}{a}\right)^2 \cos i \cdot (1-e^2)^{-2}, \\ n &= \frac{2\pi}{T_{др}}, \\ \Omega &= \lambda_k + s, \\ s &= s_0 + \omega_3 (t_{\lambda k} - 10800). \end{aligned}$$

Здесь:

C_{20} — коэффициент при второй зональной гармонике разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям, равный $-1082,62575 \cdot 10^{-6}$,

a_e — экваториальный радиус Земли, равный 6378,136 км,

s_0 — истинное звёздное время на гринвичскую полночь даты N_0 , к которой относится время t_i ,

ω_3 — угловая скорость вращения Земли, равная $0,7292115 \cdot 10^{-4}$ с⁻¹,

μ — константа гравитационного поля Земли, равная $398600,4418$ км³/с².

3) Вычисляются константы интегрирования на момент $t_{\lambda k}$:

$$\begin{aligned} \frac{\delta a^{(m)}}{a} &= 2J \left(\frac{a_e}{a}\right)^2 \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 j\right) (l \cos \bar{\lambda} + h \sin \bar{\lambda}) + J \left(\frac{a_e}{a}\right)^2 \sin^2 i \cdot \\ &\quad \left(\frac{1}{2} h \sin \bar{\lambda} - \frac{1}{2} l \cos \bar{\lambda} + \frac{7}{2} l \cos 3\bar{\lambda} + \frac{7}{2} h \sin 3\bar{\lambda}\right), \\ \delta h^{(m)} &= J \left(\frac{a_e}{a}\right)^2 \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 j\right) \left[l \cdot n \cdot \tau + \sin \bar{\lambda} + \frac{3}{2} l \sin 2\bar{\lambda} - \frac{3}{2} h \cos 2\bar{\lambda}\right] - \\ &\quad \frac{1}{4} J \left(\frac{a_e}{a}\right)^2 \sin^2 j \left[\sin \bar{\lambda} - \frac{7}{3} \sin 3\bar{\lambda} + 5l \sin 2\bar{\lambda} - \frac{17}{2} l \sin 4\bar{\lambda} + \frac{17}{2} h \cos 4\bar{\lambda} + h \cos 2\bar{\lambda}\right] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& J \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 \cos^2 j \left(l \cdot n \cdot \tau - \frac{1}{2} l \sin 2\bar{\lambda} \right), \\
& \delta l^{(m)} = J \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 j \right) \left[-h \cdot n \cdot \tau + \cos \bar{\lambda} + \frac{3}{2} l \cos 2\bar{\lambda} + \frac{3}{2} h \cos 2\bar{\lambda} \right] - \\
& \frac{1}{4} J \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 \sin^2 j \left[-\cos \bar{\lambda} - \frac{7}{3} \cos 3\bar{\lambda} + 5h \sin 2\bar{\lambda} - \frac{17}{2} l \cos 4\bar{\lambda} + \frac{17}{2} h \cos 4\bar{\lambda} + l \cos 2\bar{\lambda} \right] + \\
& J \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 \cos^2 j \left(-h \cdot n \cdot \tau - \frac{1}{2} h \sin 2\bar{\lambda} \right), \\
& \delta \Omega^{(m)} = -J \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 \cos j \left(n \cdot \tau + \frac{7}{2} l \sin \bar{\lambda} - \frac{5}{2} h \cos \bar{\lambda} - \frac{1}{2} \sin 2\bar{\lambda} - \frac{7}{6} l \sin 3\bar{\lambda} + \frac{7}{6} h \cos 3\bar{\lambda} \right), \\
& \delta j^{(m)} = \frac{1}{2} J \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 \sin j \cos j \left(-l \cos \bar{\lambda} - h \sin \bar{\lambda} - \cos 2\bar{\lambda} + \frac{7}{3} l \cos 3\bar{\lambda} + \frac{7}{3} h \sin 3\bar{\lambda} \right), \\
& \delta \bar{\lambda}^{(m)} = 2J \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 j \right) \left(n \cdot \tau + \frac{7}{4} l \sin \bar{\lambda} - \frac{7}{6} h \cos \bar{\lambda} \right) + 3J \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 \sin^2 j \cdot \\
& \left(-\frac{7}{24} h \cos \bar{\lambda} - \frac{7}{24} l \sin \bar{\lambda} - \frac{49}{72} h \cos 3\bar{\lambda} + \frac{49}{72} l \sin 3\bar{\lambda} + \frac{1}{4} \sin 2\bar{\lambda} \right) + J \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 \cos^2 j \cdot \\
& \left(n \cdot \tau + \frac{7}{2} l \sin \bar{\lambda} - \frac{5}{2} h \cos \bar{\lambda} - \frac{1}{2} \sin 2\bar{\lambda} - \frac{7}{6} l \sin 3\bar{\lambda} + \frac{7}{6} h \cos 3\bar{\lambda} \right), (1)
\end{aligned}$$

Где $\bar{\lambda} = M + \omega$, $M = E - e \sin E$, $\tan \frac{E}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \tan \frac{\theta}{2}$,

$h = e \sin \omega$, $m=1$, $\tau=0$, $J = -\frac{3}{2} C_{20}$, $a = a^n$ из пункта 1

4) Вычисляются поправки к элементам орбиты НС на момент времени t_i за счет влияния второй зональной гармонике C_{20} :

$$\begin{aligned}
\delta a &= \delta a^{(2)} - \delta a^{(1)}, & \delta \Omega &= \delta \Omega^{(2)} - \delta \Omega^{(1)}, \\
\delta h &= \delta h^{(2)} - \delta h^{(1)}, & \delta j &= \delta j^{(2)} - \delta j^{(1)}, \\
\delta l &= \delta l^{(2)} - \delta l^{(1)}, & \delta \bar{\lambda}^* &= \delta \bar{\lambda}^{(2)} - \delta \bar{\lambda}^{(1)}
\end{aligned}$$

5) Вычисляются возмущенные элементы орбиты НС на момент времени t_i :

$$\begin{aligned}
h_i &= h + \delta h, \\
l_i &= l + \delta l, \\
\varepsilon_i &= \sqrt{h_i^2 + l_i^2}, \\
\omega_i &= \arctan \left(\frac{h_i}{l_i} \right), \text{ если } \varepsilon_i \neq 0 \text{ и } l_i \neq 0, \omega_i = 0 \text{ если } \varepsilon_i = 0, \\
\omega_i &= \frac{\pi}{2} \text{ если } \varepsilon_i \neq 0 \text{ и } h_i = \varepsilon_i, \omega_i = -\frac{\pi}{2} \text{ если } \varepsilon_i \neq 0 \text{ и } h_i = -\varepsilon_i, \\
a_i &= a + \delta a, \\
i_i &= i + \delta i, \\
\Omega_i &= \Omega + \delta \Omega, \\
M_i &= \lambda^* - \omega_i, \lambda^* = M + \omega + n \cdot (t_i - t_{\lambda k}) + \delta \lambda^*.
\end{aligned}$$

Здесь i — индекс принадлежности ко времени t_i .

6) Вычисляются координаты и составляющие вектора скорости НС в системе координат $Ox_0y_0z_0$ на момент времени t_i :

$$\begin{aligned}
E_i^{(n)} &= M_i + \varepsilon_i \sin E_i^{(n-1)}, \\
E_i^{(0)} &= M_i, \\
|E_i^{(n)} - E_i^{(n-1)}| &< 10^{-8}, \\
\tan \frac{\vartheta_i}{2} &= \sqrt{\frac{1+\varepsilon_i}{1-\varepsilon_i}} \cdot \tan \frac{E_i^{(n)}}{2}, \\
u_i &= \vartheta_i + \omega_i, \\
r_i &= a_i \left(1 - \varepsilon_i \cos E_i^{(n)} \right).
\end{aligned}$$

$$Vr_i = \sqrt{\frac{\mu}{a_i} \cdot \frac{s_i \sin \theta_i}{\sqrt{1-s_i^2}}},$$

$$Vur_i = \sqrt{\frac{\mu}{a_i} \cdot \frac{s_i \sin \theta_i}{\sqrt{1-s_i^2}}},$$

Рассчитанные координат и составляющих вектора скорости НС в системе координат $Ox_0y_0z_0$ на момент времени t_i мы сравниваем с полученными из оперативной навигационной информации, на тот же момент времени при этом учитываем возраст альманаха при задании порога ошибки.

Если порог ошибки не превышен — мы полагаем что оперативная информация полученная от НС на данный момент времени достоверна и при дальнейшем прогнозировании используем ее.

Пересчет эфемерид потребителем с момента t_s их задания в навигационном кадре на моменты t_i измерения проводится методом численного интегрирования дифференциальных уравнений движения НС, в правых частях которых учитываются ускорения, определяемые константой гравитационного поля Земли μ , второй зональной гармоникой с индексом C_{20} , характеризующей полярное сжатие Земли, а также ускорения от лунно-солнечных гравитационных возмущений. Уравнения движения интегрируются в прямоугольной абсолютной геоцентрической системе координат $Ox_0y_0z_0$, связанной с текущими экватором и точкой весеннего равноденствия, методом Рунге-Кутты четвертого порядка и имеют вид

$$\begin{aligned}\frac{dx_0}{dt} &= Vx_0, \\ \frac{dy_0}{dt} &= Vy_0, \\ \frac{dz_0}{dt} &= Vz_0, \\ \frac{dx_0}{dt} &= \bar{\mu}x_0 + \frac{3}{2}C_{20}\bar{\mu}x_0\rho^2(1-5z_0^2) + j_{x_{oc}} + j_{x_{ol}}, \\ \frac{dy_0}{dt} &= \bar{\mu}x_0 + \frac{3}{2}C_{20}\bar{\mu}y_0\rho^2(1-5z_0^2) + j_{y_{oc}} + j_{y_{ol}}, \\ \frac{dz_0}{dt} &= \bar{\mu}x_0 + \frac{3}{2}C_{20}\bar{\mu}z_0\rho^2(1-5z_0^2) + j_{z_{oc}} + j_{z_{ol}},\end{aligned}$$

Здесь $\bar{\mu} = \frac{\mu}{r^2}$, $x_0 = \frac{x_0}{r}$, $y_0 = \frac{y_0}{r}$, $z_0 = \frac{z_0}{r}$, $\rho = \frac{a_g}{r_0}$,

$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2},$$

$j_{x_{oc}}, j_{y_{oc}}, j_{z_{oc}}$ — ускорение от солнечных гравитационных возмущений;

$j_{x_{ol}}, j_{y_{ol}}, j_{z_{ol}}$ — ускорение от лунных гравитационных возмущений;

a_g — экваториальный радиус Земли, равный 6378,136 км;

μ — константа гравитационного поля Земли, равная 398600,4418 км³/с²;

C_{20} — коэффициент при второй зональной гармонике разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям, равный минус 1082,62575·10⁻⁶

($C_{20} = 5 \cdot C_{20}$, где C_{20} — нормализованное значение гармонического коэффициента при второй зональной гармонике, равное минус 484,16495·10⁻⁶)

Начальными условиями интегрирования приведенной системы уравнений являются координаты и составляющие вектора скорости n -го НС $x_n(t_b), y_n(t_b), z_n(t_b), x'_n(t_b) = V_x, y'_n(t_b) = V_y, z'_n(t_b) = V_z$.

Ускорения от лунно-солнечных гравитационных возмущений $x''_n(t_b), y''_n(t_b), z''_n(t_b)$ на интервале ± 15 минут являются постоянными величинами и могут быть взяты из навигационного кадра.

Заключение

Существующие алгоритмы автономного контроля целостности в приемниках спутниковых навигационных систем (СНС) основаны на использовании избыточной навигационной информации, получаемой от сети НС или от различных бортовых навигационных датчиков (радиотехнических и не радиотехнических).

К первым относится способ выбора разных комбинаций четырех рабочих спутников из множества видимых. При числе видимых спутников больше 5 можно с высокой достоверностью вычислить отказавший спутник. Недостатком этого метода является невозможность вычислить отказавший спутник при четырех видимых, а при отказе нескольких требуется еще большее количество видимых спутников.

Использование избыточной информации от бортовых навигационных датчиков ограничено в первую очередь точностью измерения последних, а также применимостью на различных этапах полета. Так, к примеру, радиовысотомеры применимы на малых высотах полета, баровысотомеры не достаточно точны.

Предложенный алгоритм не зависит от бортовых навигационных систем количества видимых и отказавших спутников — основным его недостатком можно считать трудность выбора порога ошибки.

Литература:

1. Нартон, В. Я., Хроленко В. М. Спутниковые радионавигационные системы// ВВИА имени Н. Е. Жуковского 1996 г.
2. Яценков, В. С. Основы спутниковой навигации// Горячая линия — Телеком 2005 г.
3. Перова, А. И., Харисова В. Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования// Радиотехника 2010 г.
4. Интерфейсный контрольный документ навигационных радиосигналов L1 и L2 (редакция 5.1) // Москва 2008 г.

Языки описания цифровой аппаратуры

Воропаев Вячеслав Константинович, студент;
Медведков Александр Юрьевич, студент
Омский государственный технический университет

Введение

Развитие вычислительной техники привело к разработке языков описания цифровой аппаратуры. На сегодняшний день одними из основных языков описания цифровой аппаратуры являются Verilog (Verilog-HDL) и VHDL.

Исторически сложилось так, что в первой половине восьмидесятых годов XX века по инициативе Министерства обороны США был разработан язык спецификации проектов (VHDL). Стандарт ANSI/IEEE STD 1076–1987 на версию языка был утвержден в 1987 году. В последующем стандарты языка менялись, к примеру: IEEE STD 1076–1993, IEEE STD 1076–1999, IEEE STD 1076–2002, IEEE STD 1076–2008.

В 1985 г. фирмой Gateway Design Automaton был разработан язык моделирования аппаратуры Verilog-HDL. Первый стандарт языка был утвержден в 1995 году (IEEE 1364–1995) [1].

На сегодняшний день сложно представить описания цифровых схем без них. В данной статье рассмотрена общая информация о языках описания цифровой аппаратуры Verilog (Verilog-HDL) и VHDL, их достоинства и недостатки.

Язык VHDL

Структура проекта в VHDL.

Основной структурной единицей VHDL является ENTITY. Декларация ENTITY определяет имя проекта и, необязательно, его интерфейс, т. е. порты и параметры настройки. Пакет — это набор объявлений вводимых пользователем типов, переменных, констант, подпрограмм и т. п. Архитектурные тела представляют содержательное описание проекта [2, с. 395]. В VHDL представ-

ление сигналов реализовано в библиотеке std_logic_1164. Архитектурное тело представляет описание функций и процедур.

Типы данных.

Как и практически во всех языках программирования в VHDL используются типы данных. VHDL является строго типизированным языком. Любой единице информации в VHDL присваивается имя и определяется тип.

Типы данных:

1. *integer* — целый;
2. *real* — действительный;
3. *bit* — представляет один логический бит (значение '0' либо '1');
4. *boolean* — объекты этого типа принимают значения true либо false;
5. *character* — объединяет все символы;
6. *time* — используется для задания задержек;
7. *severity_level* — служит для управления работой компилятора;
8. *file_open_status* и *file_open_kind* — обеспечивают возможность контроля процедур между программой и файловой системой компьютера;
9. *string* и *bit_vector* — массив символов и битов соответственно.

Объекты VHDL.

Объекты выполняют роль хранения различных значений. Идентификаторы обязательно должны начинаться с буквы. Объекты должны быть объявлены перед использованием, за исключением переменной цикла в операторе *for*, которая объявляется по умолчанию.

Классы объектов:

- *Constant* — константы.
- *Variable* — переменные.
- *Signal* — сигналы, представляют значения, передаваемые по проводам.

Синтаксис объявления объектов:

Constant {name [, name]}: Type [(index_range [, index_range])]:= initial_value;

Variable {name [, name]}: Type [(index_range [, index_range])]:= initial_value;

Signal {name [, name]}: Type [(index_range)];

Операторы VHDL.

Операторы в VHDL делятся на два типа:

- Последовательные.
- Параллельные.

Последовательные операторы включены в операторы процессов. В одной строке можно размещать несколько операторов. Все операторы в VHDL оканчиваются точкой с запятой.

Последовательные операторы включают в себя:

— Оператор присваивания — выполняет присваивание переменной или сигналу результата выражения.

\результат\:=\выражение\ — присваивания переменной.

\результат\<=\выражение\ — присваивание сигнала [3, с. 52].

— Оператор ожидания события *wait*.

Синтаксис оператора:

\wait\::= wait [on \name signal\{\name signal\}]

— Оператор *if* — оператор цепочки последовательных событий;

\if\::= if \условие\ then

{\последовательный оператор\}

end if

— Оператор *case* — оператор разрешения выполнения последовательных операторов.

\case\::= case \повторное выражение\ is

when \альтернативы\ => {\последовательный оператор\}

{when \альтернативы\ => {\последовательный оператор\}}

end case

— Пустой оператор *null* — не выполняет никаких действий.

— Оператор повторения — выполняет повторение последовательных операторов.

\оператор повторения\::=

[<метка оператора повторения>:] [<итерационная схема>:] loop

<оператор> «<оператор>»

end loop [<метка оператора повторения>] [2];

Параллельные операторы.

Параллельные операторы выполняются при любом изменении сигнала. К параллельным операторам относятся [2]:

- Оператор параллельного присваивания;
- Параллельный вызов процедуры;
- Оператор процесса;
- Оператор блока;
- Оператор вхождения компонента;
- Оператор генерации;

— Параллельный оператор проверки;

Язык Verilog-HDL (Verilog)

Структура проекта.

Основной единицей языка является модуль. Элементами модуля являются декларации и операторы. Структура проекта выглядит следующим образом:

```
module <имя модуля> (<порт>«, <порт>«);
«<декларация> | <параллельный оператор>»
endmodule
```

Типы данных.

По сравнению с VHDL, в Verilog используется меньшее количество типов данных. Данные в Verilog могут принимать одно из четырех состояний:

— 1 — представляет логическую 1 или значение «истинно» (true)

— 0 — представляет логический 0 или значение «ложно» (false)

— z — представляет состояние высокого импеданса

— x — представляет неизвестное логическое состояние

Verilog включает две группы типов данных:

— Регистры (reg);

— Цепи (wire);

Регистры предназначены для сохранения состояний. Цепи осуществляют передачу состояний между моделируемыми объектами.

Типы цепей:

— Wire, tri — соединение элементов

— Wand/triand, wor/trior — моделирование цепей с разрешающей логикой

— Trireg — сохраняет свое состояние (емкость).

— Tri1, tri0, supply1, supply0. Цепи Tri1, tri0 — моделирование цепи с резистивной подтяжкой, а supply1, supply0 — моделируют источники питания подключенные к этой цепи.

Операторы Verilog.

Операторы в Verilog, как и в VHDL, делятся на два вида: последовательные и параллельные.

Оператор *initial* запускается единожды при начале моделирования и задает начальное состояние устройства. Синтаксис данного оператора выглядит следующим образом:

<операция инициализации>::= *initial* <оператор>

Оператор *always* — оператор повторения. Запускается в начале программы так же как и *initial*, но повторяется каждый раз после завершения вложенного оператора. Синтаксис оператора имеет вид:

<операция постоянного повторения>::= *always* <оператор>

Операторы принятия решений — выбор одного из путей выполнения алгоритма. К операторам принятия решений относятся:

— Оператор условия

<оператор условия>::=

if (<выражение>) <оператор>

— Оператор варианта
 <оператор варианта>::=
 <определитель оператора варианта> (<ключевое выражение>)
 «<вариант>», < вариант > «:<оператор>»
 Endcase

Заключение

В отличие от языка VHDL, Verilog более прост с точки зрения освоения. Он схож с языком Си, а это огромный плюс. В Verilog используется меньшее количество типов

данных, меньшее количество служебных слов. VHDL обладает большой универсальностью, но из-за этого он проигрывает в эффективности языку Verilog. Следовательно, человеку, который только начинает свое знакомство с языками описания цифровой аппаратуры будет легче освоить язык Verilog.

Оба языка поддерживаются в качестве стандартов большим количеством программных продуктов. Языки Verilog и VHDL используются при проектировании цифровых устройств, с применением САПР ведущих фирм в области ПЛИС. На сегодняшний день сложно представить описания цифровых схем без них.

Литература:

1. Поляков, А. К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. — 320 с.: ил. — (Серия «Системы проектирования»).
2. Грушвицкий, Р. И., Мурсаев А. Х., Угрюмов Е. П. Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 736 с.: ил.
3. Сергеенко, А. М. VHDL для проектирования вычислительных устройств — К ЧП «Корнейчук», ООО «ТИД»ДС», 2003—208 с.

Основы разработки модулярных нейрокомпьютеров для обработки сигналов

Гапочкин Артём Владимирович, аспирант
 Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь)

В статье рассмотрен один из подходов решения задач повышения уровня параллелизма вычислительных систем обработки сигналов. Одним из возможных способов решения этой проблемы является внедрение в производство нейросетевых технологий, которые рассмотрены в данной работе.

Ключевые слова: модулярные нейрокомпьютеры, обработка сигналов, параллелизм, нейронные сети.

Bases of development of modular neural computers for signal processing

Gapochkin Artem Vladimirovich
 Post-graduate student of North-Caucasus Federal University, Stavropol

The article considers one of the approaches of the decision of problems of increase of level of parallelism in computing systems, signal processing. One of the possible ways of solving this problem is the introduction in manufacture of neural network technologies, which are considered in this paper.

Keywords: modular neural computers, signal processing, concurrency, neural networks.

Нейрокомпьютерная технология на сегодняшний день является одним из наиболее развивающихся направлений вычислительной техники. Нейросетевые методы открывают широкие возможности для использования их в различных сферах деятельности, ранее относившихся лишь к области человеческого интеллекта. Наибольшие успехи достигнуты при решении задач обработки сигналов, распознавания речи, оптимизации, сжатие данных и т. п. Это, наряду с возможностями массового параллелизма модулярных нейровычислений, определило целесообразность создания специализированных вычислительных систем для решения формализуемых, трудно формализуемых и не формализуемых задач, трудных для традиционных средств вычислительной индустрии.

Несмотря на большое разнообразие вариантов нейронных сетей, все они имеют общие черты. Искусственные нейронные сети состоят из нейронов, функциональные возможности которых аналогичны большинству элементарных функций биологического нейрона. Эти элементы затем организуются по способу, который может соответствовать ана-

томии мозга. Несмотря на такое поверхностное сходство, искусственные нейронные сети демонстрируют удивительное число свойств, присущих мозгу.

В качестве аналога нейрона используется вычислительный элемент, в дальнейшем называемый линейным пороговым элементом (ЛПЭ) и определяемый соотношением:

$$y = f\left(\sum_{n=1}^N a_n \cdot x_n - b\right), \quad (1)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ — входной сигнал нейрона; $a = (a_1, a_2, \dots, a_N)$ — набор весовых коэффициентов; N — размерность входного сигнала; b — значение смещения (пороговый параметр нейрона); $f(\cdot)$ — функция активации; y — выходной сигнал.

Алгоритмы обучения НС можно разделить на два больших класса: с учителем и без учителя [1]. В многослойных НС оптимальные выходные значения нейронов всех слоев, кроме последнего, как правило, неизвестны. Трех- или более слойный персептрон уже невозможно обучить, руководствуясь только величинами ошибок на выходах сети.

При решении с помощью нейронных сетей прикладных задач при обработке сигналов необходимо собрать достаточный и представительный объем данных для того, чтобы обучить нейронную сеть.

При решении таких задач обучающий набор данных — это набор наблюдений, содержащих признаки изучаемого объекта. Первый вопрос, какие признаки использовать и сколько и какие наблюдения надо провести. Выбор признаков, по крайней мере, первоначальный, осуществляется эвристически на основе имеющегося опыта, который может подсказать, какие признаки являются наиболее важными. Сначала следует включить все признаки, которые, по мнению аналитиков или экспертов, являются существенными, на последующих этапах это множество будет сокращено.

Нейронные сети работают с числовыми данными, взятыми, как правило, из некоторого ограниченного диапазона. Это может создать проблемы, если значения наблюдений выходят за пределы этого диапазона или пропущены. Для большинства реальных задач бывает достаточным нескольких сотен или тысяч наблюдений. Для сложных задач может потребоваться большее количество, однако очень редко встречаются задачи, где требуется менее 100 наблюдений. Если данных мало, то сеть не имеет достаточной информации для обучения, и лучшее, что можно в этом случае сделать, — это попробовать подогнать к данным некоторую линейную модель.

После того как определено количество слоев сети и число нейронов в каждом из них, нужно назначить значения весов и смещений, которые минимизируют ошибку решения. Это достигается с помощью процедур обучения. Путем анализа имеющихся в распоряжении аналитика входных и выходных данных веса и смещения сети автоматически настраиваются так, чтобы минимизировать разность между желаемым сигналом и полученным на выходе в результате моделирования. Эта разность носит название ошибки обучения. Таким образом, процесс обучения — это процесс подгонки параметров той модели процесса или явления, которая реализуется нейронной сетью. Ошибка обучения для конкретной конфигурации нейронной сети определяется путем прогона через сеть всех имеющихся наблюдений и сравнения выходных значений с желаемыми, целевыми значениями. Эти разности позволяют сформировать так называемую функцию ошибок (критерий качества обучения). В качестве такой функции чаще всего берется сумма квадратов ошибок. При моделировании нейронных сетей с линейными функциями активации нейронов можно построить алгоритм, гарантирующий достижение абсолютного минимума ошибки обучения. Для нейронных сетей с нелинейными функциями активации в общем случае нельзя гарантировать достижения глобального минимума функции ошибки.

При таком подходе к процедуре обучения может оказаться полезным геометрический анализ поверхности функции ошибок. Определим веса и смещения как свободные параметры модели и их общее число обозначим через M , каждому набору таких параметров поставим в соответствие одно измерение в виде ошибки сети. Тогда для всевозможных сочетаний весов и смещений соответствующую ошибку сети можно изобразить точкой в N -мерном пространстве, а все такие точки образуют некоторую поверхность, называемую поверхностью функции ошибок. При таком подходе цель обучения нейронной сети состоит в том, чтобы найти на этой многомерной поверхности глобальный минимум. В случае линейной модели сети и функции ошибок в виде суммы квадратов такая поверхность будет представлять собой параболоид, который имеет единственный минимум, и это позволяет отыскать такой минимум достаточно просто.

В случае нелинейной модели поверхность ошибок имеет гораздо более сложное строение и обладает рядом неблагоприятных свойств, в частности может иметь локальные минимумы, плоские участки, седловые точки и длинные узкие овраги.

Определить глобальный минимум многомерной функции аналитически невозможно, и поэтому обучение нейронной сети, по сути дела, является процедурой изучения поверхности функции ошибок. Отталкиваясь от случайно выбранной точки на поверхности функции ошибок, алгоритм обучения постепенно отыскивает глобальный минимум. Как правило, для этого вычисляется градиент (наклон) функции ошибок в данной точке, а затем эта информация используется для продвижения вниз по склону. В конце концов алгоритм останавливается в некотором минимуме, который может оказаться лишь локальным минимумом, а если повезет, то и глобальным.

Таким образом, по существу алгоритмы обучения нейронных сетей аналогичны алгоритмам поиска глобального экстремума функции многих переменных.

Однако с учетом специфики нейронных сетей для них разработаны специальные алгоритмы обучения, среди которых следует выделить алгоритм обратного распространения ошибки.

При использовании алгоритма обратного распространения ошибки сеть рассчитывает возникающую в выходном слое ошибку и вычисляет вектор градиента как функцию весов и смещений. Этот вектор указывает направление кратчайшего спуска по поверхности для данной точки, поэтому если продвинуться в этом направлении, то ошибка уменьшится. Последовательность таких шагов в конце концов приведет к минимуму того или иного типа. Определенную трудность здесь вызывает выбор величины шага.

При большой длине шага сходимость будет более быстрой, но имеется опасность перепрыгнуть через решение или уйти в неправильном направлении. Классическим примером такого явления при обучении нейронной сети является ситуация, когда алгоритм очень медленно продвигается по узкому оврагу с крутыми склонами, перепрыгивая с одного склона на другой. Напротив, при малом шаге, вероятно, будет выбрано верное направление, однако при этом потребуются очень много итераций. На практике величина выбирается пропорциональной крутизне склона (градиенту функции ошибок); такой коэффициент пропорциональности называется параметром скорости настройки. Выбор параметра скорости настройки зависит от конкретной задачи и обычно определяется опытным путем; этот параметр может также зависеть от времени, уменьшаясь по мере выполнения алгоритма.

Рассмотренный выше алгоритм обучения получил название процедуры обратного распространения ошибки. Алгоритм обратного распространения ошибки — это итеративный градиентный алгоритм обучения, который используется с целью минимизации среднеквадратичного отклонения текущих от требуемых выходов многослойных НС с последовательными связями. Согласно методу наименьших квадратов, минимизируемой целевой функцией ошибки НС является величина:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j,k} (y_{j,k} - d_{j,k})^2, \quad (2)$$

где $y_{j,k}$ — реальное выходное состояние j -го нейрона выходного слоя НС при подаче на ее входы k -го образа;

$d_{j,k}$ — требуемое выходное состояние этого нейрона.

Суммирование ведется по всем нейронам выходного слоя и по всем обрабатываемым сетью образам. Минимизация методом градиентного спуска обеспечивает подстройку весовых коэффициентов следующим образом:

$$\Delta w_{ij}^{(q)} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad (3)$$

где w_{ij} — весовой коэффициент синаптической связи, соединяющей i -й нейрон слоя $(q-1)$ с j -м нейроном слоя q ; η — коэффициент скорости обучения, $0 < \eta < 1$.

В соответствии с правилом дифференцирования сложной функции:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}, \quad (4)$$

где s_j — взвешенная сумма входных сигналов нейрона j , т. е. аргумент активационной функции. Так как производная активационной функции должна быть определена на всей оси абсцисс, то функция единичного скачка и прочие активационные функции с неоднородностями не подходят для рассматриваемых НС. В них применяются такие гладкие функции, как гиперболический тангенс или классический сигмоид с экспонентой. Например, в случае гиперболического тангенса:

$$\frac{\partial y}{\partial s} = 1 - s^2. \quad (5)$$

Третий множитель $\frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}$ равен выходу нейрона предыдущего слоя $y_i^{(q-1)}$.

Что касается первого множителя в (4), он легко раскладывается следующим образом:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_i \frac{\partial E}{\partial y_i} \frac{dy_i}{ds_i} \frac{\partial s_i}{\partial y_j}. \quad (6)$$

Здесь суммирование по i выполняется среди нейронов слоя $(q+1)$.

Введя новую переменную:

$$\delta_j^{(q)} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \frac{dy_j}{ds_j} \quad (7)$$

получим рекурсивную формулу для расчетов величин $\delta_j^{(q)}$ слоя q из величин $\delta_j^{(q+1)}$ более старшего слоя ($q+1$):

$$\delta_j^{(q)} = \left(\sum_i \delta_i^{(q+1)} w_{ij}^{(q+1)} \right) \frac{dy_j}{ds_j}. \quad (8)$$

Для выходного слоя:

$$\delta_j^{(Q)} = (y_j^{(Q)} - d_j) \frac{dy_j}{ds_j}. \quad (9)$$

Теперь можно записать (5) в раскрытом виде:

$$\Delta w_{ij}^{(q)} = -\eta \delta_j^{(q)} y_i^{(q-1)}. \quad (10)$$

Иногда для придания процессу коррекции весов некоторой инерционности, сглаживающей резкие скачки при перемещении по поверхности целевой функции, (10) дополняется значением изменения веса на предыдущей итерации:

$$\Delta w_{ij}^{(q)}(t) = -\eta (\mu \Delta w_{ij}^{(q)}(t-1) + (1-\mu) \delta_j^{(q)} y_i^{(q-1)}), \quad (11)$$

где μ — коэффициент инерционности; t — номер текущей итерации.

Таким образом, полный алгоритм обучения НС с помощью процедуры обратного распространения строится следующим образом:

Шаг 1. Подать на входы сети один из возможных образов и в режиме обычного функционирования НС, когда сигналы распространяются от входов к выходам, рассчитать значения

$$s_j^{(q)} = \sum_{i=0}^{n_{q-1}-1} y_i^{(q-1)} w_{ij}^{(q)}, \quad (12)$$

где n_{q-1} — число нейронов в слое $(q-1)$, вход нейрона j слоя q .

Шаг 2. Рассчитать $\delta_j^{(Q)}$ для выходного слоя по формуле (9). Рассчитать по формуле (10) или (11) изменения весов $\Delta w^{(Q)}$ для слоя Q .

Шаг 3. Рассчитать по формулам (8) и (9) $\delta_j^{(q)}$ и $\Delta w^{(q)}$ для всех остальных слоев, $q=Q-1, \dots, 1$.

Шаг 4. Скорректировать все веса в НС:

$$w_{ij}^{(q)}(t) = w_{ij}^{(q)}(t-1) + \Delta w_{ij}^{(q)}(t). \quad (13)$$

Шаг 5. Если ошибка сети существенна, перейти на шаг 1. В противном случае — конец.

Ошибка обучения для конкретной конфигурации нейронной сети определяется путем прогона через сеть всех имеющихся наблюдений и сравнения выходных значений с желаемыми, целевыми значениями. Эти разности позволяют сформировать так называемую функцию ошибок (критерий качества обучения). В качестве такой функции чаще всего берется сумма квадратов ошибок. При использовании метода обратного распространения ошибки ошибки распространяется от выходного слоя к входному, т. е. в направлении, противоположном направлению распространения сигнала при нормальном функционировании сети. В этом случае сеть рассчитывает возникающую в выходном слое ошибку и вычисляет вектор градиента как функцию весов и смещений. Этот вектор указывает направление кратчайшего спуска по поверхности для данной точки, поэтому если продвигнуться в этом направлении, то ошибка уменьшится. Последовательность таких шагов в конце концов приведет к минимуму. При таком подходе цель обучения нейронной сети состоит в том, чтобы найти на этой многомерной поверхности глобальный минимум.

Нейронная сеть является специфической параллельной вычислительной структурой. Характеризуется она большим числом связей между каждым процессорным элементом, т. е. нейроном. В НС все нейроны работают конкурентно, а на результат вычисления влияет информация, зашифрованная в связях между элементами сети. Нейронная сеть представляет собой высокопараллельную динамическую систему с топологией направленного графа. Такая сеть получает входной сигнал, реагирует на него и выводит конечную информацию. А особенность такой сети состоит в том, что порядок обработки информации заложен именно в степени прочности связей между нейронами. Нейронные сети по сути дела являются формальным аппаратом описания только основной части алгоритма решения задачи на ЭВМ. Это ограничение позволяет разрабатывать высокопараллельные алгоритмы решения различных задач обработки сигналов.

Литература:

1. Акушский, И. Я., Юдицкий Д. М. Машинная арифметика в остаточных классах. — М.: «Советское радио», 1968. — 440 с.
2. Галушкин, А. И. Теория нейронных сетей. — М.: ИПРЖ, 2000, 526 с.
3. Нейроматематика (коллектив авторов). — М.: издательское предприятие журнала «Радиотехника» (ИПРЖ), 2002, 630 с.
4. Червяков, Н. И., Сахнюк П. А., Шапошников А. В., Ряднов С. А. Нейропроцессоры с параллельной арифметикой. — М.: «Физматлит», 2002, 350 с.
5. Червяков, Н. И., Сахнюк П. А., Шапошников А. В. Объединение ПЗУ и ПЛИС в единую структуру и реализация ее на СБИС // М.: «Нейрокомпьютеры: разработка, применение», 2002, № 11, с. 27–35.

Технологии широкополосного мобильного доступа в сетях LTE

Набиева Аселя Акимбековна, студент;

Зильгараева Алия Кылышбаевна, магистр физики, старший преподаватель

Университет «Туран» (Республика Казахстан, г. Алматы)

В статье рассматриваются возможности технологии широкополосного доступа в сетях нового поколения LTE

The possibility of broadband access networks to the next generation LTE

Появление новых услуг и совершенствование технических возможностей устройств означает, что объемы трафика в сотовых сетях и потребительский спрос на высокоскоростную передачу данных будет возрастать с беспрецедентной скоростью. Так, трафик данных в сетях мобильной широкополосной связи демонстрирует практически экспоненциальный рост. Уже в 2009 году объемы мобильного трафика данных превысили объем трафика голосовой связи. То есть передача данных стала преобладающим видом трафика в мобильных сетях [1].

До 2014 года в сетях мобильной связи ожидается ежегодное удвоение трафика данных. Если экстраполировать эту тенденцию в будущее, то можно предположить, что в долгосрочной перспективе трафик данных увеличится в несколько сотен раз.

Сети мобильной связи должны пропускать трафик в прогнозируемых объемах и своевременно удовлетворять растущий потребительский спрос на высокоскоростную передачу данных. Крайне важную роль в достижении этой цели играет выбор эффективной технологии. В настоящее время существуют несколько технологий, способных решить эту задачу. Одним из вариантов является эволюция технологии 3G/WCDMA на основе HSPA. Сегодня во всем мире работает более 330 сетей мобильной связи с поддержкой HSPA, которые обслуживают более 375 миллионов абонентов [3]. Реальные скорости передачи данных в них составляют порядка нескольких Мбит/с, но новейшие спецификации HSPA уже поддерживают пиковые скорости передачи данных до 80

Мбит/с. HSPA продолжает развиваться и будет оставаться в высшей степени эффективной и конкурентоспособной технологией радиодоступа.

Параллельно с HSPA, консорциумом 3GPP была стандартизирована технология LTE, полностью удовлетворяющая требованиям, предъявляемым к 4G. LTE представляет собой технологию на основе OFDM-модуляции, поддерживающую масштабируемую ширину полосы пропускания до 20 МГц и усовершенствованную передачу с нескольких антенн, предусматривающую формирование диаграммы направленности и пространственное мультиплексирование до четырех передающих антенн в нисходящем канале.

Как показано на рис. 2, технология LTE основана на «плоской» сетевой архитектуре, при которой базовые станции (или — eNodeB в терминологии LTE) напрямую подключены к усовершенствованной пакетной опорной сети (EPC). Со стороны пользователя соединение устанавливается с обслуживающим шлюзом (SGW), с управляющей стороны — с системой поддержки мобильности (MME).

Эволюция LTE

Технология LTE пережила целый ряд этапов развития с момента выхода первоначального стандарта, принятого консорциумом 3GPP — так называемого 3GPP Релиза 8. Для дальнейшего улучшения эксплуатационных характеристик и расширения возможностей технологии в апреле 2008 г. консорциум 3GPP начал работу над Релизом

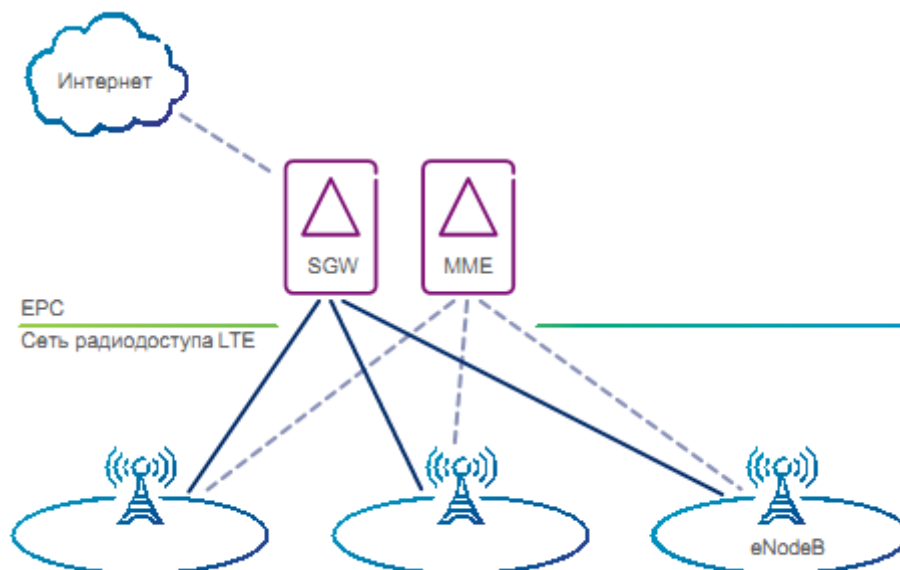


Рис. 1. Архитектура сети LTE

10. Одной из задач было достижение полного соответствия технологии LTE требованиям стандарта IMT-Advanced, установленного для 4G Международным союзом электросвязи (ITU), что позволило бы с полным правом называть LTE технологией 4G. По этой причине Релиз 10 LTE также называется LTE-Advanced (усовершенствованная технология LTE), хотя важно подчеркнуть, что LTE-Advanced — это не новая технология, а всего лишь наименование, присваиваемое стандарту LTE, начиная с Релиза 10.

В Релизе 10 возможности LTE были расширены сразу в нескольких направлениях. Благодаря реализации новых функций сети LTE позволяют операторам пропускать больший трафик при поддержке более высоких скоростей передачи данных, а, следовательно, являются ключевым элементом для создания сетей широкополосного мобильного доступа в будущем.

Расширение полос частот и агрегация спектра

Операторы все чаще сталкиваются с необходимостью поддержки более высоких скоростей передачи данных ко-

нечным пользователям. Для этого в Релизе 10 упрощена агрегация несущих частот, что позволяет параллельно передавать данные на нескольких несущих частотах LTE с каждого терминала и на каждый терминал. При этом расширяется общая полоса частот и повышается скорость передачи данных конечным пользователям. Поддерживается агрегация до пяти несущих полос, по 20 МГц каждая, что позволяет получить общую ширину полосы до 100 МГц как для нисходящего, так и для восходящего каналов (см. схему слева на рис. 2).

Подобная внеполосная агрегация частот, или агрегация спектра, представленная справа на рис. 2, позволяет операторам с фрагментированными спектрами получать более широкие полосы частот, обеспечивая более высокие скорости передачи данных конечным пользователям и повышая эффективность использования всего доступного спектра.

Расширенные возможности многоантенной передачи

В Релизе 10 возможности многоантенной передачи по нисходящему каналу расширены за счет поддержки



Рис. 2. Агрегация соседних несущих (слева) частот и агрегация полос на разнесенных частотах (справа)

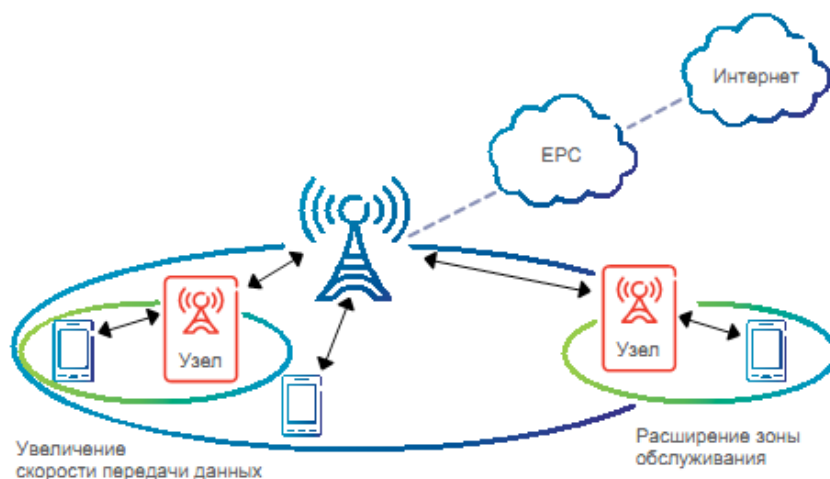


Рис. 3. Функция ретрансляции LTE

пространственного мультиплексирования до восьми передающих антенн и, соответственно, восьми передающих трактов. В сочетании с расширением полосы частот до 100 МГц за счет агрегации частот это позволяет достичь пиковых скоростей передачи данных порядка 3 Гбит/с, или 30 бит/с на Герц.

Функция ретрансляции

В 3GPP Релизе 10 поддерживается функция ретрансляции, что позволяет мобильным терминалам обмениваться данными с сетью через узел ретрансляции, соединенный по беспроводной связи с донорным узлом eNodeB, с использованием технологии радиодоступа LTE и спектра LTE, как показано на рис. 3.

С точки зрения терминала узел ретрансляции представляется «обычной» базовой станцией. Это означает, что устаревшие пользовательские устройства также могут подключаться к сети через узел ретрансляции.

Функция ретрансляции может стать одним из способов быстрого и экономически эффективного расширения по-

крытия сети LTE. Сюда входят как расширение зоны обслуживания, так и увеличение скорости передачи данных.

Расширенная поддержка гетерогенных сетей

Уплотнение сети радиодоступа может способствовать удовлетворению будущих потребностей в трафике и скорости передачи данных. Как показано на рис. 4, это может быть осуществлено за счет установки дополнительных маломощных пикосот, которые расширяют возможности сети с точки зрения передачи большего объема трафика и поддержки повышенной скорости передачи данных при необходимости.

Развертывание подобных гетерогенных (или неоднородных) сетей (HetNet) в существующих сетях мобильной связи, в том числе в сетях LTE ранней версии, возможно уже в настоящее время. При этом в Релизе 10 реализованы функции, которые могут использоваться для дополнительного подавления взаимных помех от сот разных уровней, что расширяет возможности применения сетей HetNet.



Рис. 4. Развёртывание сети HetNet

В настоящее время сети LTE находятся в коммерческой эксплуатации параллельно с сетями HSPA. Новая версия технологии LTE, также называемая LTE-Advanced или 3GPP Релиз 10, предусматривает расширение полосы частот и агрегацию спектра, имеет расширенные возможности многоантенной передачи данных, поддерживает функции ретрансляции, а также развертывание гетерогенных сетей (HetNet).

Литература:

1. 4G — Широкополосная мобильная передача данных. Аналитический обзор Ericsson, 2011
2. Гельгор, А. Л., Попов Е. А. Технология LTE мобильной передачи данных, Учебное пособие, С-П., изд. Политехнического университета — 2011

Система диагностики тоннеля

Шибeko Роман Владимирович, старший преподаватель;
Анисимов Сергей Сергеевич, студент
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Описывается система диагностики тоннеля длиной более 1 км. Контроль ведется по малым механическим перемещениям плит относительно друг друга, а также по механическим напряжениям в плитах тоннеля в контрольных точках. Контроль конструкций позволяет отследить как деформации, возникающие длительное время, так и колебательные деформации под действием транспорта. Контроль механических напряжений позволяет контролировать длительные деформации заданного диапазона, а также периодические деформации в пределах допустимого.

Ключевые слова: тоннель, диагностика, микроконтроллер, лазер, тензодатчик, фотоприемник.

Тоннель — это проход под землёй, сооружаемый с транспортными и иными целями. Тоннель может быть пешеходным и/или велосипедным, для движения автомобилей или поездов, трамваев, перемещения воды (канализационные коллекторы), прокладки сетей городского хозяйства и т. п.

Тоннели строят для преодоления природных препятствий (напр., тоннели под горами), для сокращения пути (тоннель через гору вместо дороги вокруг), для сокращения времени движения (тоннель вместо паромной переправы).

Тоннели под водными преградами часто строят вместо тоннелей там, где тоннели могли бы помешать проходу судов. Также тоннели строят во избежание пересечения разных транспортных потоков на одном уровне (подземные переходы, тоннели вместо железнодорожных переездов, тоннели как часть автомобильных и железнодорожных развязок и тому подобное). В некоторых случаях проезды под пролетами тоннелей тоже называют тоннелями, что, однако, неправильно.

Тоннель является одним из древнейших изобретений человечества, наряду с тоннелем. В Вавилоне, Египте, Греции и Риме подземные работы проводились задолго до нашей эры — сначала при добыче полезных иско-

Эксплуатационные характеристики и функциональные возможности LTE соответствуют требованиям к технологии IMT-Advanced, установленным Международным союзом электросвязи (ITU), а во многих аспектах превосходят эти требования. Таким образом, технология LTE — отличное решение для создания мобильных широкополосных сетей — как для нужд сегодняшнего дня, так и с перспективой на будущее.

паемых, сооружении гробниц и храмов, а затем для водоснабжения и транспорта. Первые тоннели сооружались, как правило, в скальных породах, без закрепления последних. Для ведения проходческих работ использовались примитивные орудия.

Тоннели относятся к крупным сооружениям с достаточно высокой стоимости. Сооружение тоннелей идет не один год и также влечет за собой большие затраты. Если учесть тот факт, что эксплуатируемый тоннель несет большую коммуникационную нагрузку, то понятно, почему он относится к объектам стратегического значения. Исходя из этого, своевременная диагностика состояния тоннеля является достаточно актуальной и интересной задачей.

Существуют следующие методы обследования состояния тоннелей:

1) Визуальное обследование. Важное значение имеет визуальное обследование конструкции, с составлением карт расположения обнаруженных дефектов. Визуальное обследование конструкции в труднодоступных местах может производиться при помощи портативных видеокамер.

При обследовании помимо визуального осмотра стандартными методами проводятся инструментальные изме-

рения, инструментальные и лабораторные исследования характеристик материалов при помощи приборов и оборудования. При всестороннем изучении конструкции следует использовать современные специализированные приборы.

2) Инструментальные измерения конструкций. Для объема конструкций и сечений в настоящее время могут использоваться ультразвуковые и лазерные дальномеры, электронные рулетки и др. При определении толщины элементов эффективно могут быть использованы портативные ультразвуковые толщиномеры, позволяющие производить измерения независимо от материала с высокой точностью до 0,001 мм. Для определения взаимного расположения отдельных частей конструкций могут применяться лазерные уровни, электронные угломеры, тахеометры. Изменение положения элементов с течением времени может фиксироваться методом стереофотограмметрии.

3) Исследование характеристик материалов. Для объективной оценки технического состояния тоннельного сооружения большое значение имеет всестороннее исследование характеристик материалов.

При оценке долговечности железобетонных конструкций важно знать созданы ли благоприятные условия для возникновения коррозии арматуры. Эта задача решается проведением комплексных исследований состояния защитного слоя бетона.

Ниже представлен проект системы предназначенной для автоматического контроля состояния авто-железнодорожного тоннеля длиной более 1 км. Контроль ведется по малым механическим перемещениям плит относительно друг друга, а также по механическим напряжениям в плитах тоннеля в контрольных точках. Контроль конструкций позволяет отследить как деформации, возникающие длительное время, так и колебательные дефор-

мации под действием транспорта. Контроль механических напряжений позволяет контролировать длительные деформации заданного диапазона, а также периодические деформации в пределах допустимого.

Контроль деформаций предлагается осуществлять с применением лазерного излучения. Лазерный луч формируется в начале тоннеля и проходит через систему отверстий, установленных на протяжении тоннеля. Луч, пройдя через всю систему, возвращается на фотоприемник. Таким образом, если луч попадает на фотоприемник, то тоннель находится в удовлетворительном состоянии, в противном случае это аварийная ситуация, которая отображается на компьютере, а также звуковым способом на пульте диспетчера. Контроль при помощи лазерных лучей применяется по 16-ти каналам.

Структурная схема устройства представлена на рис. 1 и состоит из блоков:

- БЛ — блок лазеров;
- БФПр — блок фотоприемника;
- У — усилители;
- К — компараторы;
- БТД — блок тензо-датчиков;
- ПрН-ч — преобразователи напряжение-частота;
- ФПер — фотопередатчик;
- ФПр — фотоприемник;
- УФ — управляемый фильтр;
- СИЧ — схема измерения частоты;
- БМК — блок микроконтроллера;
- БИ — блок интерфейса.

Схема работает следующим образом: лазерное излучение, пройдя через систему отверстий, преобразуется в напряжение при помощи фотоприемника. Далее это напряжение усиливается и поступает на компаратор. Компаратор сравнивает это напряжение с пороговым на-

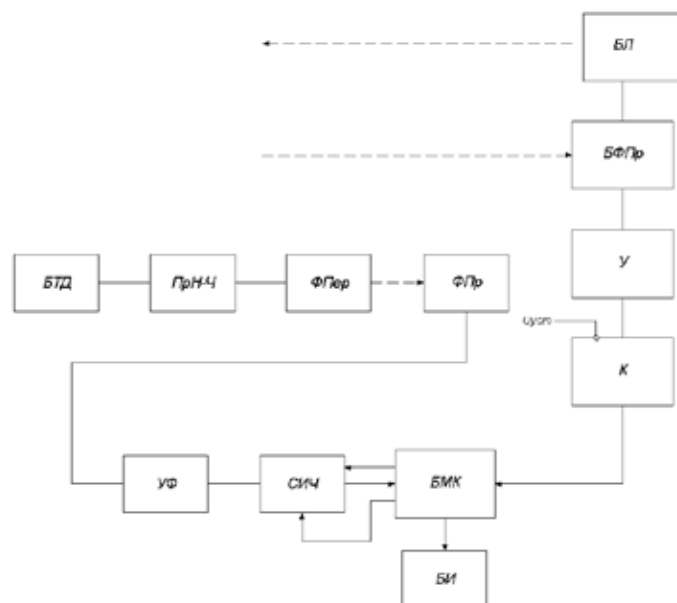


Рис. 1. Структурная схема устройства

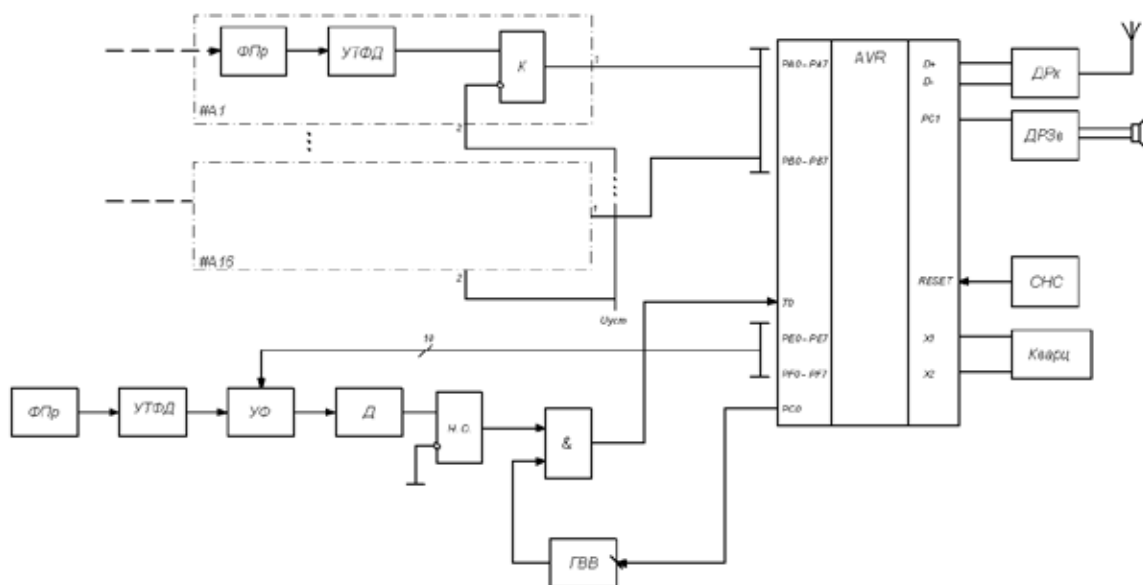


Рис. 2. Функциональная схема устройства

пряжением. Если компаратор сработал, значит лазерное излучение принимается.

Блок тензодатчиков также формирует эквивалентное напряжение, которое преобразуется в частотный сигнал и излучается. На приемной стороне данный сигнал принимается, фильтруется и определяется частота этого сигнала. При недеформированном состоянии конструкций принимается частотный сигнал центральной частоты, однако если конструкция подвержена деформации, то наблюдается сдвиг частоты как в меньшую, так и в большую сторону, что и фиксирует система.

Функциональная схема устройства представлена на рис. 2. и состоит из блоков:

- ФПр — фотоприемник;
- УТФД — усилитель тока фотоприемника;
- Д — детектор;
- К — компаратор;
- AVR — центральный контроллер;
- ДР_к — драйвер радиоканала;
- ДРЗ_в — драйвер звука;
- СНС — схема начального сброса;
- УФ — управляемый фильтр;
- Н.О — нуль-орган;
- ГВВ — генератор временных ворот.

Схема работает следующим образом. Лазерный луч поступает в фотоприемник и преобразуется в постоянное напряжение. Далее это напряжение усиливается и поступает на компаратор, на другой вход компаратора посту-

пает напряжение уставки. Данная процедура нужна чтобы четко распознавать сигнал с фотодиода на фоне помех. При срабатывании компаратора цифровой сигнал поступает на порт контроллера.

Сигналы с тензодатчиков также преобразуются при помощи фотоприемника в электрический сигнал, поскольку они имеют частотный характер, то фильтруются управляемым фильтром. Контроллер, настраивая полосу пропускания этого фильтра, таким образом просматривает весь частотный диапазон. Далее синусоидальный сигнал детектируется (выделяется огибающая) и при помощи нуль-органа преобразуется в цифровой уровень. Каждый тензодатчик выдает определенную частоту при нормальном своем состоянии (опасности нет). При возникновении нештатной ситуации частота сдвигается, однако она должна оставаться в пределах полосы пропускания полосового фильтра, при данной настройке. Измерение текущей частоты производится методом временных ворот, т.е. подсчитывается количество импульсов за четко стандартное время. Импульс заведомо точной длительностью формирует генератор временных ворот, запускаемый контроллером, также контроллер считает количество импульсов за это время.

Для связи системы с компьютером диспетчера предназначен драйвер радиоканала. Для звуковой сигнализации предназначен драйвер звука. Схема начального сброса формирует сигнал сброса микроконтроллера при включении питания системы.

Литература:

1. Кудзис, А.П. Железобетонные и каменные конструкции/А.П. Кудзис. — М.: Высшая школа, 1988. — 342 с.
2. Долидзе, Д.Е. Испытание конструкций и сооружений/Д.Е. Долидзе. — М.: Высшая школа, 1975. — 288 с.
3. Бачинский, В.Я. Некоторые вопросы связанные с построением теории железобетона. Бетон и железобетон/В.Я. Бачинский. — М.: Высшая школа, 1979. — 320 с.

Система для контроля технологических параметров бурения

Шибeko Роман Владимирович, старший преподаватель;
Логачев Дмитрий Александрович, студент
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Описывается метрологическая система сбора технологической информации в процессе бурения, что позволяет оптимизировать режимы данного процесса

Ключевые слова: бурение, микроконтроллер, информация, автоматизирование, система сбора информации.

Процесс бурения, особенно глубоких скважин, протекающий в условиях значительной неопределенности, подвергается сильным и непредсказуемым возмущающим воздействиям, основа которых — как горно-геологические, так и технико-технологические факторы. Буровики знают насколько проектный геологический разрез может отличаться от фактического, а следовательно, проектная технология бурения — от фактической. Бурильщику приходится отступать от проектной технологии, использовать свой опыт, знания, интуицию, чтобы вовремя обнаружить изменение категории буримости пород, неблагоприятную технологическую ситуацию; хорошие мастера работают на грани искусства. Поэтому научить бурить хорошо, не задавать проектные параметры режимов бурения, а варьировать ими в зависимости от условий очень сложно. Намного быстрее и дешевле научить бурильщика пользоваться системой автоматизированного управления процессом бурения, которая будет выбирать и поддерживать оптимальные режимы бурения в соответствии с заданными критериями оптимальности и в рамках установленных ограничений. С помощью систем автоматизированного управления можно более жестко нормировать процесс бурения, широко внедрять передовые технологии бурения.

Автоматизация технологических процессов на основе современной техники должна обеспечить интенсификацию производства, повышение качества и снижение себестоимости продукции. Необходимость этого вытекает из анализа производственной деятельности геологоразведочных организаций по выполнению плановых заданий. Несмотря на то, что внедрение современного оборудования, инструментов, прогрессивной технологии бурения, средств механизации и автоматизации отдельных операций, совершенствование организации труда в целом обеспечило выполнение этих заданий, в разведочном бурении остаются значительные резервы повышения производительности труда и улучшения его технико-экономических показателей. Эти резервы заключаются, прежде всего, в оптимизации и автоматизации оперативного управления процессом бурения скважин и в совершенствовании организации работ

Ниже представлена система которая предназначена для контроля технологических параметров бурения с целью оперативного управления и оптимизации ре-

жимов бурения скважин на нефть и газ. Система обеспечивает:

- автоматический сбор и обработку с расчетом производных параметров и представление текущей информации в наглядной форме на средствах отображения и регистрации бурильщика и бурового мастера;
- документирование результатов бурения в цифровом и графическом виде, включая рапорт за смену;
- контроль выхода технологических параметров за установленные пользователем пределы со световой и звуковой сигнализацией этих событий;
- аварийную сигнализацию при выходе параметров «Вес на крюке», «Давление на входе» за предельные значения с выдачей сигналов блокировки на соответствующее буровое оборудование;
- автономное функционирование пульта бурильщика при отключении ЭВМ;
- высокую эксплуатационную надежность и долговечность при минимальных затратах на техническое обслуживание и метрологическое обеспечение.

К необходимому типовому элементу любой системы автоматического управления относятся датчики технологических параметров. Назначение датчика — преобразование контролируемой или регулируемой величины в величину другого рода, удобную для дальнейшего применения.

В системе присутствуют следующие датчики:

- датчик веса на крюке устанавливается на неподвижной ветви талевого каната. В качестве первичного преобразователя в датчике используется тензометрический силоизмерительный элемент;
- датчик контроля момента на роторе (тензометрический) устанавливается на редукторе привода ротора вместо фиксирующей серьги-стяжки или фиксирующей опоры. Контролируется действующее на датчик усилие растяжения или сжатия;
- датчик контроля ходов насоса (индуктивный датчик приближения) устанавливается на шкиве привода насоса;
- датчик канала контроля скорости вращения ротора определяет скорость шасси вала привода ротора. В качестве первичного преобразователя применяется датчик приближения. Устанавливается на трансмиссии;
- датчик давления (тензорезисторный) устанавливается в нагнетательной линии;

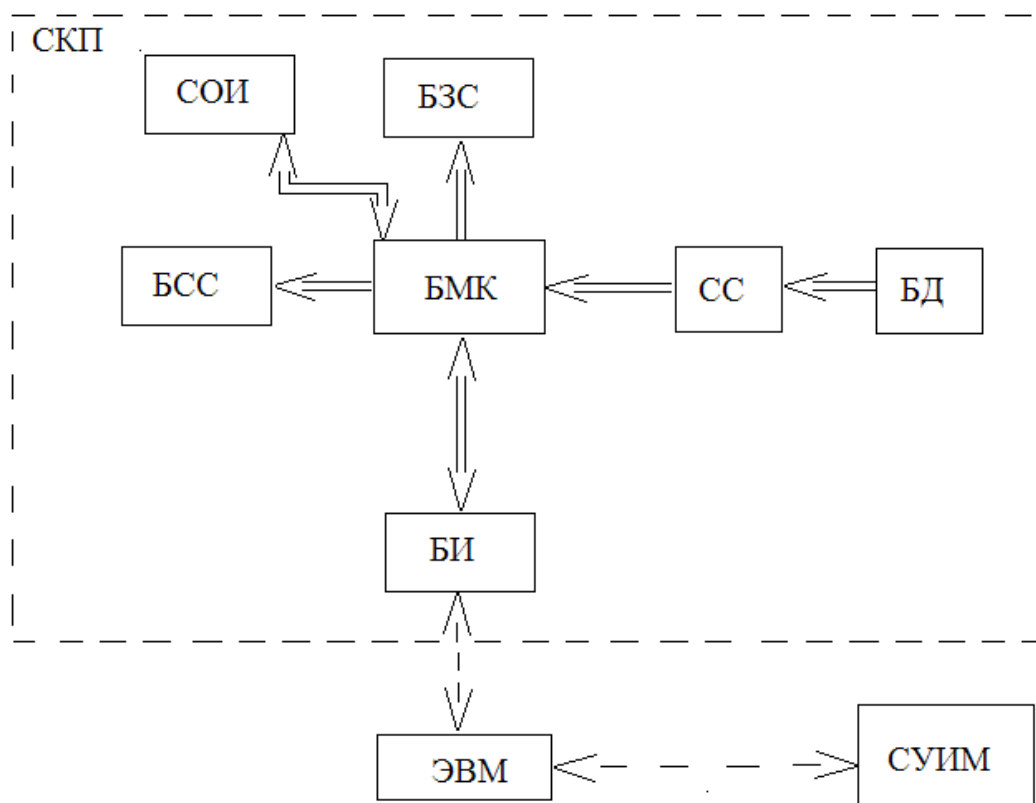


Рис. 1. Структурная схема системы

— датчик глубин дает исходную информацию для расчета глубины забоя, подачи, положения тальблока. Датчик цепной передачей связан с валом лебедки;

— датчик-индикатор изменения расхода бурового раствора на выходе (в желобе) преобразует угол отклонения лопатки от вертикального положения в электрический сигнал в зависимости от уровня и скорости потока;

— датчик суммарного содержания горючих газов, выполненный на основе первичного термохимического преобразователя, монтируется вместе с датчиком-индикатором изменения расхода на выходе. Аналогичные датчики применяются — для контроля газосодержания и сигнализации во взрывоопасной зоне;

— датчик температуры на входе и выходе выполнен на основе специальной микросхемы и устанавливается, соответственно, в рабочей емкости и в желобе;

— датчик температуры воздуха (аналогичный) размещен в кабельной распределительной коробке;

— датчик момента на ключе (тензометрический) устанавливается на приводном тросе ключа;

— датчик момента на турбобуре (тензометрический) устанавливается на узел стопора ротора.

Структурная схема системы изображена на рис. 1 и состоит из следующих блоков:

- БД — блок датчиков;
- СС — схема сопряжения;
- БИ — блок интерфейса;
- БМК — блок микроконтроллера;

— ЭВМ — электронно вычислительные машины;

— СУИМ — система управления исполнительными механизмами;

— СКП — система контроля параметров;

— БЗС — блок звуковой сигнализации;

— БСС — блок световой сигнализации;

— СОИ — схема отображения информации.

Функциональная схема системы представлена на рис. 2 и состоит из следующих блоков:

— ДВКр — датчик веса на крюке;

— ДКМР — датчик контроля момента на роторе;

— ДКХН — датчик контроля хода насоса;

— ДКСВР — датчик контроля скорости вращения ротора;

— ДДНЛ — датчик давления нагнетательной линии;

— ДГ — датчик глубины;

— ДИРБРВх — датчик-индикатор измерения расхода бурового раствора на выходе;

— ДГГ — датчик горючих газов (пороговый);

— ДТВх — датчик температуры на входе;

— ДТВх — датчик температуры на выходе;

— ДТВ — датчик температуры воздуха;

— Н. О. — нуль орган;

— ДМКл — датчик момента на ключе;

— ДМТБ — датчик момента на турбобуре;

— ЭК — электронный коммутатор;

— ДРЗВ — драйвер звука;

— У — усилитель;

Порт	Функции
PD3/INT3	Сигнал запрос «прерывания» для выявления периода измеряемого сигнала
PD6/T1	Счетчик МК для измерения периода неизвестного сигнала
PD7/TO	Таймер МК для генерации эталонных импульсов
PA0 — PA2	Линии для обслуживания электронного коммутатора
PD2/INT2	Линия обслуживания ДГГ
PD1/SDA, PDO/SCL	Интерфейс I ² C
PA3, PA4	Линии управления буферами
PF	Канал обслуживания датчика глубины
PE0 — PE3	Адресные линии драйвера звука
PE4	Линия запуска драйвера звука
D+, D —	Интерфейс USB для радиоканала
PE5 — PE7	Управление ЖК — дисплеем

Литература:

1. Сулакшин, А.Р. Бурение геологоразведочных скважин: справочное пособие./А.Р. Сулакшин — М.: Недра, 1991—256 с.
2. Калинин, К. В. Разведочное бурение./К. В. Калинин — М.: Недра, 2000—320 с.

3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Разработка и совершенствование методов получения и обработки информации для задач управления крупным предприятием

Самарин Илья Вадимович, кандидат технических наук, доцент

Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина (г. Москва)

Представлена методика применения метода анализа иерархий для определения параметров целевой функции оптимизационной задачи, из решения которой устанавливаются структура и характеристики среднесрочного плана деятельности крупного предприятия. Указанный экспертно-расчётный метод — комбинированный, включающий метод решающих матриц и метод парных сравнений.

За счёт сопряжения методов решающих матриц и парных сравнений удаётся получить логически законченную процедуру обработки информации для задач управления крупным предприятием.

Ключевые слова: агрегатный показатель, анализ, блок-схема, динамический режим, иерархия, матрица, метод, парные сравнения, план, решающая матрица, стратегическое планирование, структуризация, формализация, целевая функция.

В работах [1–3], посвящённых совершенствованию методов прогнозирования и стратегического планирования на крупном предприятии высокотехнологической отрасли, рассматривался динамический режим стратегического планирования. Было показано, что целевая функция, в обобщённом виде определяющая качество деятельности предприятия в очередном плановом периоде, может считаться линейной функцией показателей эффективности отдельных предполагаемых мероприятий. Коэффициенты этой линейной функции определяют значимости различных мероприятий, т. е. их вклады в продвижении к обобщённой стратегической цели в течение очередного планового периода. Было показано, что методически наиболее сложной частью научной проблемы, связанной с реализацией предложенного подхода, является разработка методики обработки информации для определения этих коэффициентов.

Процедура определения параметров целевой линейной функции для стратегического планирования, может быть основана на анализе экспертно-расчётными методами иерархии целевых установок деятельности предприятия. Ниже рассматривается существо метода анализа иерархий [2–4]. Этот метод — комбинированный, включающий в себя метод парных сравнений [4] и метод решающих матриц [5].

Метод решающих матриц [5] предназначен для определения величин относительных вкладов факторов нижнего уровня в достижение общей стратегической цели или степени продвижения к ней. Для предприятия факторами нижнего уровня могут быть отдельные работы (мероприятия).

Как следует из самого названия метода, он работает с иерархическими схемами. Пример возможной иерархии целевых установок предприятия представлен на рис. 1.

Иерархическая схема — графическое изображение соподчинённости целевых установок и их связи с основной (стратегической) целью. Иерархические уровни — это уровни, на которых расположены однородные в системном плане факторы. На рисунке 1 для примера представлена 6-ти уровневая иерархия. 6-й уровень — это уровень отдельных мероприятий, вклады которых в достижение стратегической цели требуется определить.

Понятно, что чем больше и сложнее экономическая система, тем более сложна многоуровневая иерархическая схема её деятельности. И, как правило, иерархии реальных экономических систем по всем уровням, кроме 1-го, несовершенны. В этих условиях довольно затруднительно выявить влияние факторов нижнего уровня на агрегатную цель — слишком все переплетено и запутано в иерархической схеме. Для выявления такой связи применяется метод решающих матриц.

Перед началом рассмотрения существа этого метода логично упреждающе ответить на естественный вопрос: зачем нужно рассматривать иерархию, не проще ли попытаться непосредственно определить вклад каждого мероприятия в агрегатный показатель?

Ответ заключается в следующем: для этого придется провести большую аналитическую работу, разработать большое количество математических моделей. Это очень сложно при динамическом режиме планирования, который произво-

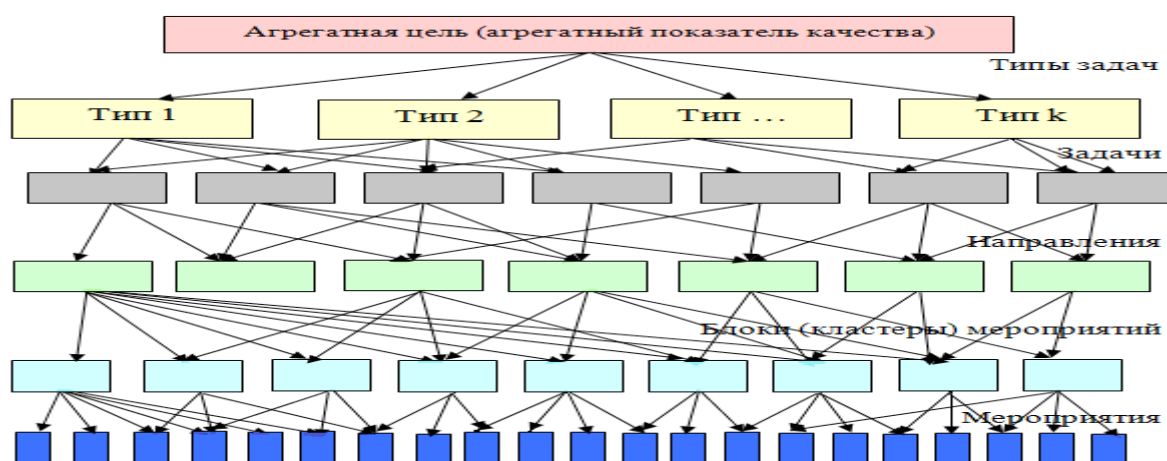


Рис. 1. Иерархическая схема взаимосвязи выполняемых предприятием мероприятий (работ) с его обобщённой стратегической целью

дится почти непрерывно при хроническом дефиците времени. Поэтому наряду с расчётными схемами приходится также использовать экспертные оценки.

Отсюда следует, что для определения вкладов различных мероприятий в агрегатный показатель качества деятельности предприятия необходимо привлечение квалифицированных экспертов. Но на современных больших предприятиях нет таких специалистов, которые знают и понимают все проблемы на всю их широту и глубину. Руководители отслеживают стратегические направления, следят за внешней системной средой, за конкурентами, за рынками. А инженеры и технологи, наоборот, почти все знают о конструкциях технических систем, понимают многие технологические тонкости, но имеют недостаточное представление о стратегии фирмы, об особенностях её финансовой устойчивости, о способах позиционирования на рынках.

В итоге, получается, что в больших экономических системах как правило никто никогда не видит проблем целиком. Поэтому естественно возникает идея разделить процесс выработки рационального решения при помощи квалифицированных экспертов таким образом, чтобы использовать знания каждого специалиста на уровне его максимальной компетенции.

Это достигается за счёт использования иерархии, которая как раз предназначена для интеграции знаний разных специалистов, каждый из которых видит только свою часть общей проблемы.

Только за счёт применения иерархической схемы формирования решения значительно повышается его точность. Но это — только первый шаг в этом направлении. Условно его можно назвать *вертикальным*.

Вторым важным шагом — *горизонтальным* — является применение метода парных сравнений для ранжирования значимостей промежуточных целей, а также мероприятий (работ) — вдоль иерархического уровня. Это — наиболее трудоёмкий, но и наиболее точный экспертный метод, который в ряде случаев позволяет получать точность результата на уровне методов математического моделирования.

Существо метода парных сравнений изложено в работе [4]. Метод основан на выводах психофизических исследований: оказывается люди — эксперты — очень часто (точнее — практически всегда) ориентируются в ситуации значительно лучше, чем они сами себе это представляют. Надо только предоставить им наиболее комфортные условия для проведения экспертизы, дать возможность сосредоточиться на рассматриваемом конкретном вопросе.

В последней фразе слово «сосредоточиться» — ключевое. Метод парных сравнений доводит эту процедуру до логического предела — эксперту предлагается сравнивать друг с другом важности факторов *попарно*, т. е. на каждой фазе анализа учитывать *минимально возможное* количество объектов сравнения.

Результаты сравнений сводятся в квадратную матрицу парных сравнений, которую далее обозначим **D**. Экспертно сформированная матрица **D** парных сравнений значимости различных факторов имеет вид:

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} 1 & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ 1/d_{12} & 1 & d_{23} & d_{24} \\ 1/d_{13} & 1/d_{23} & 1 & d_{34} \\ 1/d_{14} & 1/d_{24} & 1/d_{34} & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Элементами d_{ij} матрицы являются величины экспертно определяемых отношений значимостей j -го фактора по отношению к значимости i -го фактора. Значимость понимается в смысле некоторой цели. Заметим, что в работе Саати ис-

пользуются обратные числа, когда значимости факторов сравниваются по столбцам. Но, как показала практика, экспертам удобнее заполнять матрицу не по столбцам, а по строкам.

Естественно, что матрица **D** должна быть обратносимметричной, т.к. значимости каждого из двух факторов при сравнении в масштабах противоположного фактора должны находиться в обратной зависимости: $d_{ij} = 1/d_{ji}$. Отсюда следует простое и очевидное правило: $d_{ii} = 1$ для всех i , т.е. все диагональные элементы всех матриц парных сравнений равны 1.

В идеальном случае при совершенных суждениях $d_{ik} = d_{ij} \times d_{jk}$ для всех i, j, k ; при этом **D** называется согласованной матрицей. Подобные матрицы образуются, когда сравнения основаны на точных измерениях. В общем случае может оказаться, что $d_{ik} \neq d_{ij} \times d_{jk}$, т.е. относительные суждения могут быть не согласованы друг с другом (не транзитивны). Необходимо отметить, что это не исключительный, а наоборот — типичный случай, который встречается при решении практических задач.

Следует заметить, что если до проведения экспертных оценок имеется предварительная информация об относительной значимости некоторых пар факторов (например, информация, полученная в результате расчётов по точным частным математическим моделям), то она легко встраивается в матрицу парных сравнений, а результаты обработки матрицы становятся ещё более точными. Таким образом, метод парных сравнений не противопоставляет различные виды информации, а использует их по принципу дополнительности. Это — очень важно для понимания существа этого экспертно-расчётного метода.

Для того, чтобы от относительных значимостей факторов перейти к абсолютным, необходимо обработать матрицу парных сравнений.

Существуют несколько способов (алгоритмов) такой обработки. Например, в работе [4], подробно описан метод, основанный на определении собственных значения λ и вектора **x** линейного матричного оператора, который представляется обратносимметричной матрицей **D**:

$$\mathbf{D} \times \mathbf{x} = \lambda \times \mathbf{x}, \quad (2)$$

где

$$\sum_{i=1}^k x_i = 1; \quad (3)$$

k — общее количество сравниваемых факторов, равное числу строк или столбцов в квадратной матрице **D**, т.е. её размерности.

Нормировка суммы компонент вектора значимостей **x** на 1 — дань наглядности: удобнее всего пользоваться некоторой стандартной шкалой значимостей, а изменения масштаба измерения значимостей мероприятий не повлияет на рациональное стратегическое плановое решение.

Реализация метода собственного значения предполагает применение некоторого алгоритма для определения λ и нормализованного условием (3) вектора **x** значимостей. Невозможность получения аналитического решения — основной недостаток метода собственного значения, поскольку использование алгоритма численного решения (2–3) делает результат менее наглядным.

Можно предложить другой достаточно простой и, что очень важно, не менее точный, метод определения компонент вектора **x**, который, с одной стороны, допускает получение аналитического решения, а с другой — дает результаты, достаточно близкие по отношению к методу собственного значения (в большинстве случаев величина относительного рассогласования — несколько процентов).

В основу этого метода положено известное правило наименьшей суммы квадратов. Однако оно должно быть применено не к величинам d_{ij} , а к *логарифмам* этих величин, т.к. производится обработка результатов определения *относительных* значений. Поэтому логично минимизировать сумму квадратов разности логарифмов

$$\ln(d_{ij}) - \ln(x_j/x_i)$$

Таким образом, приходим к следующей оптимизационной задаче.

Определить

$$\sigma^2_{\circ} \times k = \min \left\{ \sum_{i,j=1}^k [\ln(d_{ij}) - \ln(x_j/x_i)]^2 \right\} \quad (4)$$

при ограничении — равенстве (3).

Результат в (4) записан несколько необычно в виде $\lambda^2_{\circ} \times k$. Это сделано специально для того, чтобы использовать для характеристики качества полученного решения при различных значениях k , поскольку корректно можно сопоставлять друг с другом не значения $\lambda^2_{\circ} \times k$, а средние значения λ .

Можно показать, что эта оптимизационная задача имеет решение:

$$X_i = \frac{\left\{ \prod_{j=1}^k d_{ji} \right\}^{1/k}}{\sum_{r=1}^k \left\{ \prod_{j=1}^k d_{jr} \right\}^{1/k}} \quad (5)$$

Таким образом, получается простой и наглядный результат: относительные значимости x_i пропорциональны средним геометрическим величинам элементов матрицы **A** парных сравнений, расположенных на каждой строке. Очень важно, что для результата можно получить *аналитическое* выражение.

В результате обработки матриц парных сравнений оказывается возможным получить достаточно точные оценки относительных значимостей x_i различных факторов. Очень часто эти оценки оказываются не только приемлемо точными, а *удивительно* точными.

Основная причина этого заключается в следующем. Легко показать, что количество определяемых экспертами элементов матрицы парных сравнений превышает количество независимых компонентов x_i в $k/2$ раз, т. е. имеется дополнительная информация, полезная для уточнения x_i . Как известно, дополнительная информация обычно снижает общую неопределённость. Для наглядности можно сказать, что относительные значимости факторов измеряются не одним, а как бы совокупностью различных измерителей с разными масштабами (в разной системе измерений). И хотя часто эти измерители — грубые, наложение результатов измерений повышает общую точность оценок величин x_i .

Следующий этап — сопряжение результатов экспертиз, проведенных на разных иерархических уровнях для выхода на конечный результат — определение значимостей различных мероприятий (работ) для достижения стратегической цели. Эта операция производится методом решающих матриц [5]. Его существо заключается в следующем.

Предположим, что методом парных сравнений определены значимости отдельных направлений для успешности функционирования экономической системы. Если сумму этих значимостей нормировать на 1, то они могут быть представлены строкой или матрицей-строкой

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k),$$

где k — общее количество рассматриваемых направлений деятельности.

Для перехода со 2-го на 3-й уровень необходимо отдельно рассматривать различные типы задач предприятия.

Для 1-го типа задач имеем следующий набор значимостей среднесрочных функциональных задач:

$$\mathbf{y}_1 = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_r),$$

где r — максимальное количество функциональных задач в рассматриваемом плановом периоде. Заметим, что если какая-то среднесрочная задача не связана с 1-м типом деятельности предприятия, то соответствующий элемент матрицы-строки должен быть равен нулю.

Набор значений \mathbf{y}_1 формируется так же, как набор \mathbf{x} : сначала по результатам экспертных оценок составляется обратносимметричная матрица парных сравнений относительных значимостей факторов 3-го уровня для достижения 1-й промежуточной цели. Вектор \mathbf{y}_1 образуется в результате её обработки. В нём отличными от нуля компонентами будут только те, которые способствуют достижению 1-й промежуточной цели; остальные компоненты \mathbf{y}_1 , не влияющие на реализацию 1-й промежуточной цели, должны быть равны нулю.

Процедура формирования остальных строк, соответствующих $\mathbf{y}_2, \mathbf{y}_3, \dots, \mathbf{y}_k$ — аналогична. Точно такая же процедура (составление матриц парных сравнений для значимых факторов и её последующая обработка) применяется и для других иерархических уровней. Поэтому далее внимание на этом вопросе не акцентируется.

Для 2-го типа задач аналогично получаем набор значимостей функциональных задач:

$$\mathbf{y}_2 = (y_{21}, y_{22}, y_{23}, \dots, y_{2r}),$$

То же самое делаем для других типов деятельности. Если теперь расположить эти строки одну под другой в виде прямоугольной таблицы, т. е. в виде матрицы, то получим следующее:

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} \dots y_{1r} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} \dots y_{2r} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & y_{34} \dots y_{3r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{k1} & y_{k2} & y_{k3} & y_{k4} \dots y_{kr} \end{pmatrix}$$

Далее в соответствие с [5] подобного вида матрицы будут называться *решающими матрицами*. Следует обратить внимание, что такие матрицы принципиально отличаются от матриц парных сравнений по структуре, размерности и ин-

формационному содержанию: они более информационно насыщены, поскольку в ней содержится та же информация, что в нескольких (в данном случае — в r) матрицах парных сравнений. И, как правило, решающие матрицы — не квадратные.

И если теперь по правилам матричной алгебры *слева* умножить матрицу строку x на прямоугольную решающую матрицу Y , то в получившейся матрице-строке y^* будут содержаться относительные значимости среднесрочных задач не по отношению к какому-то конкретному типу долгосрочных задач, а по отношению к агрегатной стратегической цели:

$$X \times Y = (x_1, x_2, \dots, x_k) \times \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} \dots y_{1r} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} \dots y_{2r} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & y_{34} \dots y_{3r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{k1} & y_{k2} & y_{k3} & y_{k4} \dots y_{kr} \end{pmatrix} = y^*, \quad (6)$$

Действительно, рассмотрим 1-ю среднесрочную задачу. По отношению к 1-му типу деятельности её значимость равна y_{11} , но значимость 1-го типа по отношению к агрегатной цели равна x_1 . Поэтому вклад 1-й среднесрочной задачи в общую цель по линии 1-го типа деятельности предприятия составит $x_1 \times y_{11}$. Аналогично, вклад 1-й среднесрочной задачи в общую цель по линии 2-го типа будет равен $x_2 \times y_{21}$, а суммарно от всех среднесрочных задач

$$y^*_1 = \sum_{j=1}^k x_j \times y_{j1}$$

Но эта сумма как раз соответствует правилу умножения матриц (6). Поэтому матричное произведение действительно определяет относительные вклады различных среднесрочных задач в достижение общей цели.

В дальнейшем значимости y^*_s условно называются «абсолютными», т. к. они связаны не с промежуточной, а с агрегатной целью.

Таким образом, удалось определить значимости среднесрочных задач для достижения общей цели предприятия. Далее по аналогии: для установления относительных значимостей различных направлений деятельности предприятия определяем их значимости для решения каждой среднесрочной задачи и из полученных строк формируем прямоугольную решающую матрицу

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} & z_{14} \dots z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} & z_{24} \dots z_{2m} \\ z_{31} & z_{32} & z_{33} & z_{34} \dots z_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{r1} & z_{r2} & z_{r3} & z_{r4} \dots z_{rm} \end{pmatrix},$$

где m — общее количество основных направлений деятельности.

Если теперь матрицу-строку y^* слева умножить на решающую матрицу Z , то получим абсолютные значимости направлений деятельности, которые содержатся в матрице-строке z^* . Запишем это в компактной форме без обозначения всех матриц в виде таблиц:

$$y^* \times Z = X \times Y \times Z = z^*$$

И здесь сумма всех элементов матрицы-строки z^* равна 1.

Для установления относительных значимостей различных кластеров (блоков) мероприятий (работ) определяем их значимости для каждого направления деятельности и из полученных строк формируем прямоугольную решающую матрицу

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} \dots w_{1f} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} \dots w_{2f} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} \dots w_{3f} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{m1} & w_{m2} & w_{m3} & w_{m4} \dots w_{mf} \end{pmatrix},$$

где f — общее количество кластеров мероприятий (работ) в рассматриваемом плановом периоде.

Умножая слева z^* на W , получим вектор-строку абсолютных w^* значимостей различных кластеров (блоков) мероприятий. Опять запишем это в компактной форме:

$$z^* \times W = x \times Y \times Z \times W = w^*$$

Последний шаг: для установления относительных значимостей различных мероприятий определяем их значимости в каждом кластере и из полученных матриц-строк формируем прямоугольную решающую матрицу U :

$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} \dots u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & u_{24} \dots u_{2n} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} & u_{34} \dots u_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{n1} & u_{n2} & u_{n3} & u_{n4} \dots u_{nn} \end{pmatrix},$$

где n — количество мероприятий (работ).

Умножая слева w^* на U , получим вектор-строку абсолютных u^* значимостей различных мероприятий:

$$w^* \times U = x \times Y \times Z \times W \times U = u^*$$

Для задачи анализа 6-ти уровневой иерархии получение матрицы u^* является конечным результатом. В итоге определены значимости различных конкретных мероприятий (работ) для достижения основной цели предприятия.

Таким образом, при помощи метода решающих матриц удалось распутать сеть из промежуточных целей и связей между ними и получить достаточно понятный результат. Заметим, что часто применяемое условие нормировки суммы значимостей факторов на 1, которое сначала представлялось нечто искусственным, оказалось весьма полезным: не нужно заботиться о масштабах величин, пробираясь сквозь запутанную иерархическую схему — они согласуются автоматически.

Часто возникает вопрос о правилах построения иерархий. Формального и однозначного ответа на него нет. Более того, оказывается, что иерархию можно построить несколькими способами, и, как это не покажется странным на первый взгляд, все они могут оказаться правильными.

Дело в том, что иерархия — это не результат, а способ решения задачи. А, как известно, многие задачи могут быть решены множеством способов, и все решения будут верными. Другими словами, иерархия — это промежуточное и во многом субъективное звено, а объективен только конечный результат — значимости различных мероприятий (работ) для достижения стратегической цели.

Можно предложить несколько рекомендаций по построению иерархий.

Желательно, чтобы иерархические схемы отражали организационно-штатную структуру предприятий. Но, с другой стороны, часто предприятие вынуждено работать, существенно отклоняясь от этой структуры: появляются новые задачи, новые условия, приходят новые люди. Поэтому принцип соответствия реальности ранее принятой организационно-штатной структуре предприятия часто нарушается.

Иерархию следует подстраивать не под идеальных экспертов, а под располагаемый контингент специалистов. Их, конечно, можно дополнительно информировать и постепенно обучать, но существенно изменить их будет трудно. В этом следует отдавать себе полный отчёт. Поэтому иерархия должна учитывать структуру экспертного потенциала предприятия, адаптироваться к ней.

Очень желательно, чтобы на каждом иерархическом уровне факторы были сопоставимы — тогда экспертные оценки их относительных значимостей будут более точны. Для достижения этого часто можно применить искусственный прием: если один из факторов доминирует над другими, его можно представить в виде совокупности нескольких факторов меньшей значимости.

При построении иерархической схемы желательно отразить региональный или структурный аспект деятельности предприятия. Если у предприятия есть несколько филиалов или дочерних организаций, то целесообразно под них предусмотреть отдельный иерархический уровень. Тем более, что такие структуры — относительно стабильные факторы, если не долгосрочного, то среднесрочного уровня.

Следует отметить, что при формировании иерархических схем не обязательно придерживаться жёсткого требования соответствия некоторому количеству иерархических уровней. По отдельным факторам или группам факторов иерархическая схема может иметь разную размерность. Для этого достаточно задублировать наименования этого фактора на соседних уровнях.

Наконец, полезно учитывать ещё одно несложное правило. Желательно так построить иерархическую схему, чтобы на каждом уровне количество факторов, связанных с некоторой промежуточной целью, не превышало 15. Дело в том, что люди (эксперты) способны одновременно хорошо воспринимать совокупность 7 ± 2 операндов (объектов, элементов, кластеров, понятий). При большем количестве они начинают путаться в суждениях. Поэтому 15 — это некоторый психологический предел, выше которого эффективность экспертных оценок может начать снижаться.

Следуя этим правилам, можно сформировать несколько экспериментальных иерархических схем, исследуя которые впоследствии подобрать из них наиболее адекватные условиям функционирования предприятия и существующему в нем экспертному потенциалу.

Литература:

1. Самарин, И. В. Формализация задачи обоснования среднесрочного плана деятельности для построения автоматизированной системы управления стратегического планирования на предприятии // ж. «Инновации и инвестиции» №4 — М., 2014
2. Рябошапко, В. А., Фомин А. Н. Основные положения методологии разработки антикризисных целевых программ (часть 1). Вестник Академии военных наук №4 (13) — М.: 4-й филиал Воениздата, 2005.
3. Баскаков, В. В., Федосеев С. А., Фомин А. Н. Научно-методические основы подготовки научно-педагогических кадров // МО РФ, Академия военных наук — М., ВА РВСН им. Петра Великого, 2011
4. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Перев. с англ. Вачнадзе Р. Г. — М.: Радио и связь, 1993
5. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, гл. ред. физ-мат. литературы, 1981
6. В. И. Смирнов. Курс высшей математики, Т. 3, Ч. 1 — М.: Наука, гл. ред. физ-мат. литературы, 1974

Определение наилучших вероятностей мутации генетического алгоритма в сетях с двухфазной маршрутизацией

Сапрыкин Алексей Николаевич, кандидат технических наук, ассистент;
Гончарова Дарья Игоревна, студент;
Малютина Екатерина Витальевна, студент
Рязанский государственный радиотехнический университет

Рассматривается влияние степени мутации генетического алгоритма на его производительность, вычисляется оптимальное значение параметров мутации для хромосом в условиях использования генетического алгоритма в сетях с двухфазной маршрутизацией.

Ключевые слова: *сети с двухфазной маршрутизацией, программно определяемые сети, технология открытых потоков, генетические алгоритмы, мутация.*

На данный момент компьютерные сети стали неотъемлемой частью инфраструктуры современного мира. Важным показателем для них является простота настройки и программирования с учетом нужд индивидуальных пользователей. Технология открытых потоков OpenFlow позволяет применять в обычных телекоммуникационных сетях инновационные протоколы маршрутизации и коммутации. С одной стороны, возможность применения OpenFlow полностью реализует свой потенциал в области экспериментальных исследований гетерогенных маршрутизаторов сетей с высокой плотностью портов.

С другой стороны, перспективным является применение технологии открытых потоков при многопоточковой маршрутизации, в условиях которой она является наиболее эффективным решением. В работах [1, 2] предлагается инновационный подход, который подразумевает одновременное использование технологии открытых потоков в сетях с двухфазной многопоточковой маршрутизацией.

Основой данного подхода является нахождение распределений времени передачи пакетов в сети с двухфазной маршрутизацией для контроля параметра качества сети —

вариации времени передачи пакетов. Агрегирования потоков происходит на двух уровнях — на уровне базового канала в пределах одной фазы сети и на уровне двух путей между узлами двухфазной сети.

Использование генетического алгоритма для оптимизации информационных потоков в рассмотренных сетях обусловлено неэффективностью применения стандартных методов поиска в силу большого количества комбинаций исходных данных. В сети с двухфазной маршрутизацией, состоящей из 32 узлов, передается 10 потоков. Каждый из них распределяется между двумя трактами передачи, а соотношение между частями потока определяется произвольно. В таком случае число возможных комбинаций распределения потоков можно вычислить по формуле:

$$[(k-1)(25(k-2)+1)]^n, \quad (1)$$

где k обозначает число узлов в сети, а n — количество потоков. Тогда число неповторяющихся комбинаций распределения потоков составит $4,68 \cdot 10^{43}$.

Одним из наиболее важных параметров генетического алгоритма является вероятность мутации. Слишком большое значение вероятности мутации может привести к слишком быстрой смене потомков без использования их полного потенциала, в то время как правильная на-

стройка данного параметра позволит быстрее и точнее решать поставленные задачи.

Существуют различные подходы к определению вероятности мутации P_c [3, 4]. Как правило, значение P_c колеблется в пределах 0.5 ~ 1.0. Однако приведенные значения не могут быть генерализированы вследствие того, что они были рассмотрены для решения частных проблем. Все это обуславливает необходимость индивидуального подбора значения вероятности мутации в каждом отдельно взятом случае.

Для определения влияния изменения уровня мутации представим ряд тестов, которые должны выявить наилучшие значения процента мутации. Поиск особей с наилучшими значениями функции полезности производится по следующему алгоритму:

Шаг 1. Запуск алгоритма. Создание начальной популяции

Шаг 2. Определение функции полезности особей.

Шаг 3. Достигнуто ли необходимое значение функции полезности? Если да, то переходим к шагу 5. Иначе переходим к шагу 4.

Шаг 4. Новый отбор. Скрещивание и мутации особей. Создание новой популяции. Переход к шагу 2.

Шаг 5. Выбор наилучшей особи. Конец поиска.

В соответствии с данным алгоритмом каждая особь ранжируется в зависимости от значения функции полезности. Целью оптимизации всей сети считаем сведение к минимуму $\sum g(y_l/c_l)$ при предельно допустимых значениях средней задержки передачи потока и ее вариации в пути l , где l — порядковый номер линии сети, c_l — фиксированная предельная скорость передачи данных по линии l . $y_l = \sum_{j,k} x^{(j,k)} \rho_l^{(j,k)}$ — объем трафика

по каждой линии, где $x^{(j,k)}$ — скорость трафика, входящего в маршрутизатор j , который предназначен маршрутизатору k . Штрафная функция g является выпуклой, неубывающей и дважды дифференцируемой функцией, которая налагает штраф при увеличении нагрузки линии. В качестве штрафной функции выбирается экспоненциальная функция.

В результате проведенного исследования, были проведены симуляции нескольких тестовых сценариев. Эксперименты проводились на компьютере со следующими характеристиками: Intel Core i72,0 GHz, RAM 8Gb.

Используемые в экспериментах параметры генетического алгоритма были установлены следующим образом: размер популяции — 40 особей, вероятность скрещивания — 0.8, число поколений — 100. Процент мутации варьировался от 0.01 до 0.5, причем для каждой отдельно взятой серии экспериментов вероятность мутации оставалась постоянной. Таким образом были использованы 10 возможных значений вероятности мутации: 0.01/0.03/0.05/0.07/0.1/0.15/0.2/0.3/0.4/0.5. Были рассмотрены сети с двухфазной маршрутизацией, состоящие из 8, 16 и 32 узлов. Вследствие стохастического характера генетических алгоритмов для каждого варианта было проведено 30 экспериментов.

В таблицах 1 и 2 содержатся средние, лучшие и худшие результаты функции полезности для различных значений вероятности мутации.

Эксперименты показали, что увеличение процента мутации с 0.05 до 0.5 значительно ухудшает средние результаты функции полезности. Однако, следует учитывать, что дальнейшее уменьшение процента мутации оказывает негативное влияние на значение функции полезности.

Таблица 1

Значения функции полезности для различных значений вероятности мутации в сетях с двухфазной маршрутизацией из 8 узлов

Вероятность мутации	Функция полезности, условные единицы		
	Сеть из 8 узлов		
	Средний результат	Лучший результат	Худший результат
0,01	339,1	285	409
0,03	275,5	243	313
0,05	272,4	243	320
0,07	270,6	221	350
0,1	268,9	245	306
0,15	280,2	247	325
0,2	299,8	263	325
0,3	305,9	263	370
0,4	322,6	267	380
0,5	337,8	288	415
0,01	339,1	285	409
0,03	275,5	243	313
0,05	272,4	243	320

Таблица 2

Значения функции полезности для различных значений вероятности мутации
в сетях с двухфазной маршрутизацией из 16 и 32 узлов

Веро- ятность мутации	Функция полезности, условные единицы			Функция полезности, условные единицы		
	Сеть из 16 узлов			Сеть из 32 узлов		
	Средний результат	Лучший результат	Худший результат	Средний результат	Лучший результат	Худший результат
0,01	626,9	542	726	1435,8	1323	1549
0,03	535,5	479	592	1438,9	1278	1530
0,05	534,2	505	572	1477,4	1372	1622
0,07	544,4	515	594	1487,2	1416	1559
0,1	551,3	501	582	1532	1401	1683
0,15	598,1	547	726	1567,8	1464	1660
0,2	620,9	579	681	1669,9	1585	1789
0,3	625,9	574	696	1738,6	1561	1908
0,4	663,9	625	737	1686,7	1530	1881
0,5	730,6	643	834	1722,8	1605	1850

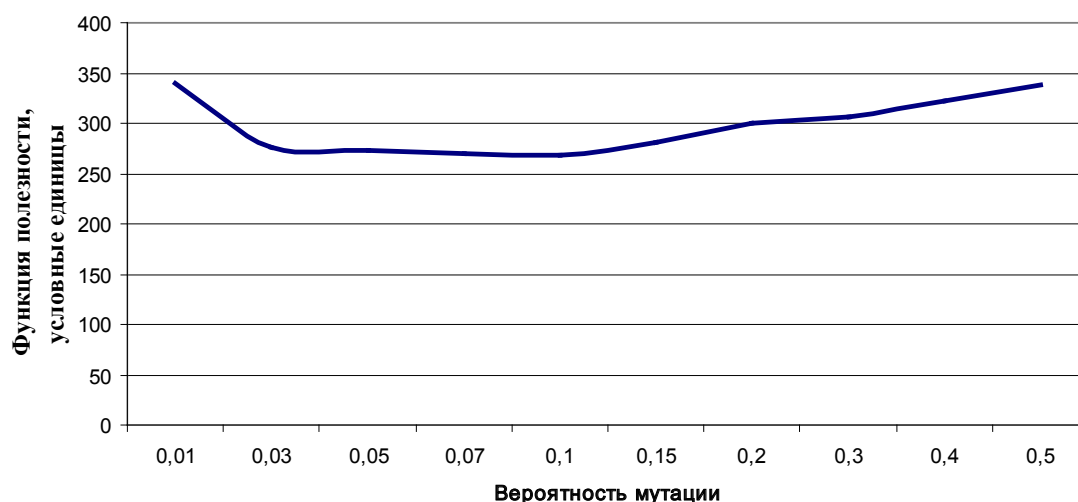


Рис. 1. Средние значения функции полезности, полученные за 30 экспериментов для различных значений вероятности мутации для сети с двухфазной маршрутизацией из 8 узлов

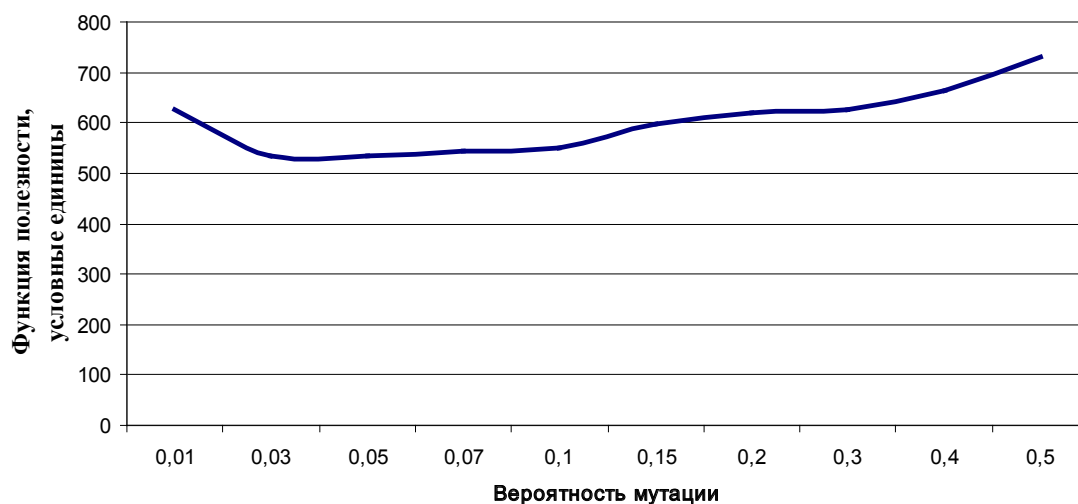


Рис. 2. Средние значения функции полезности, полученные за 30 экспериментов для различных значений вероятности мутации для сети с двухфазной маршрутизацией из 16 узлов

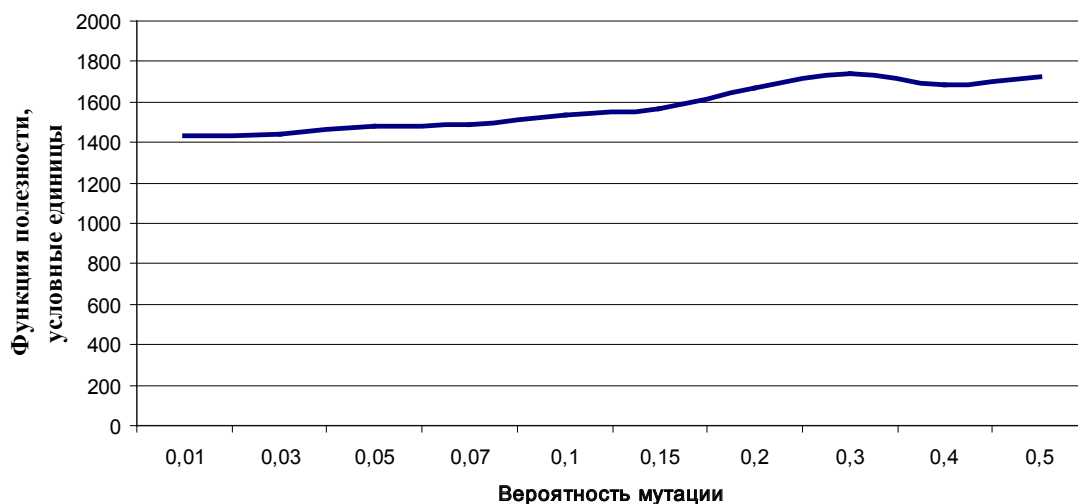


Рис. 3. Средние значения функции полезности, полученные за 30 экспериментов для различных значений вероятности мутации для сети с двухфазной маршрутизацией из 32 узлов

Для лучшей интерпретации полученные числовые результаты были визуализированы в рис. 1–3. Графические результаты показывают, что оптимальное значение мутации колеблется в рамках от 5 до 10 процентов для сетей с двухфазной маршрутизацией, состоящих

не более чем из 32 узлов. Отклонение от этих показателей в большую или меньшую сторону приводит к ухудшению результатов. Таким образом, правильный выбор значения вероятности мутации генетического алгоритма значительно улучшает его точность.

Литература:

1. Ижванов, Ю.Л., Корячко В.П., Шибанов А.П., Сапрыкин А.Н., Лукьянов О.В. Оптимизация сети с дозированной балансировкой нагрузки // Научно-технический журнал «Системы управления и информационные технологии». Москва-Воронеж, 2012. №3 (49). с. 37–42.
2. Корячко, В.П., Шибанов А.П., Сапрыкин А.Н. Расчет вариации времени передачи пакетов в сети с двухфазной маршрутизацией [Электронный ресурс]: Труды XII всероссийского совещания по проблемам управления. — Электрон, дан. — М.: ИПУ РАН, сор. 2014. — 1 электрон, опт. диск (CD-ROM); зв., цв. 12 см. — Систем. требования: ПК с процессором 486 DX2–66; 8 Мб ОЗУ; Microsoft Windows 3.1 или Windows 95; 2-скоростной дисковод CD-ROM; видеокарта SVGA 256 цв.; зв. карта 16 бит стандарта MPC; стереоколонки или наушники. — Загл. с этикетки диска.
3. Bäck, T., «Optimal mutation rates in genetic search,» in Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, 1993, pp. 2–8.
4. Hesser, J. and Männer R., «Towards on optimal mutation probability for genetic algorithms,» in Proceedings of Parallel Problem Solving from Nature Conference, 1990, pp. 23–32.

Обзор алгоритмов управления асинхронными электроприводами

Сластиков Сергей Викторович, аспирант

Научный руководитель: Водовозов А.М., доктор технических наук, профессор.

Вологодский государственный университет

Современный асинхронный электропривод реализуется на базе силовой полупроводниковой техники с применением микропроцессорного управления. Его возможности позволяют организовать регулирование выходных координат электропривода в широком диапазоне, с высокой точностью и быстродействием.

Современные преобразователи частоты с микропроцессорным управлением позволяют реализовывать традиционные или создавать новые программные алгоритмы и синтезировать асинхронные электроприводы с широким набором эксплуатационных характеристик.

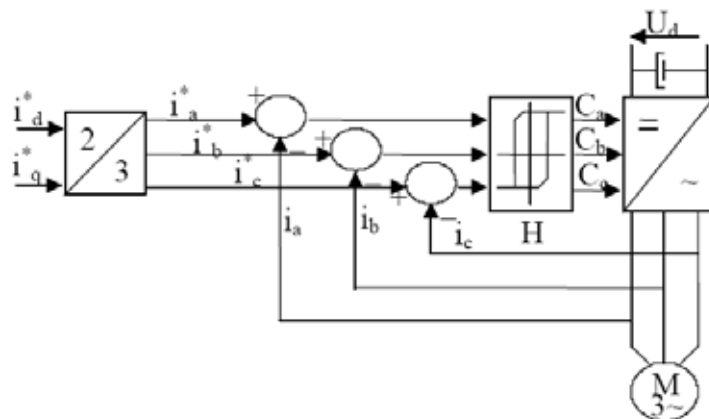


Рис. 1. Принцип широтной модуляции с реакцией по току

Цель: Обзор алгоритмов управления асинхронными электроприводами и выбор более подходящего алгоритма для тягового электропривода троллейбусов.

Основным условием для выбора алгоритма управления тяговым электроприводом троллейбуса это поддержание момента на валу двигателя, как при разгоне, так и при торможении. Так как мощность тягового электропривода большая необходимо учитывать тепловые потери. Исходя из этого, рассмотрим и сделаем анализ существующих алгоритмов управления

Векторное управление, ориентированное по роторному потоку, для асинхронного двигателя, питающегося от источника тока

Для создания источника тока, управление элементами инвертора определяются быстрыми местными петлями тока, контролируемые заранее описанными мгновенными значениями фазовых токов

Двухфазные компоненты статорного тока в установленной системе координат (i_d^* , i_q^*) полученных из петли управления скоростью (позицией). Они определяют мгновенные заранее описанные значения статорного тока (i_a^* , i_b^* , i_c^*), сравниваемые с реальными, измеренными, значениями статорных токов i_a , i_b , i_c . Управление элементами инвертора (всегда для каждой фазы противоположные состояния) определяются таким образом, чтобы, независимо от каждой фазы, лимитировать частоту переключений, предусматривая гистерезис в процентах от максимального значения заранее описанного тока.

Главными преимуществами этой стратегии модуляции являются:

1. Простота реализации;
2. Возможность реализации на аналоговых компараторах;
3. Хорошие динамические характеристики;
4. Нечувствительность системы векторного управления скоростью к изменениям параметров асинхронного двигателя.

Описанная стратегия имеет ряд недостатков:

1. Поскольку компараторы каждой фазы независимы, не существует способа генерации нулевого вектора напряжения;
2. На маленьких частотах существует тенденция появления переключений на высокой частоте в результате неправильной работы компаратора.

Система управления скоростью (позицией) вращения асинхронного двигателя в косвенной форме

Регулятор позиции $R\theta_r$ (пропорционального типа) перемещает заданное значение скорости ротора ω_r^* , которое сравнивается с реальным значением скорости ротора ω_r , а у регулятора скорости $R\omega_r$ в качестве выходного параметра выступает активное значение тока статора i^*_{sy} .

На этой основе вместе с реактивной составляющей тока статора i^*_{sx} , рассчитывается частота скольжения. Полученная величина суммируется с позицией ротора и таким образом определяется позиция r_r вектора потока ротора.

Блоки ($e^{j\theta_r}$) и (2→3) осуществляют трансформацию координат из вращающейся системы в фиксированную, из двухфазных ортогональных значений в трехфазные:

Система управления скоростью (позицией) вращения асинхронного двигателя в непосредственной форме

В случае этого метода управления позиция ротора r_r , необходимая для трансформации координат, получается на основании измеренных значений токов статора, используя модель потока.

В результате получаются два пути управления: моментом (активный ток) и потоком (реактивный ток).

В случае управления моментом заданной величиной может быть позиция или скорость ротора. В случае управления позицией её заданная величина θ_r^* сравнивается с измеренной, полученной в результате интегрирования скорости ротора. Разница между этими двумя параметрами передается регулятору позиции (пропорционального типа). Его выходное значение определяет заданное

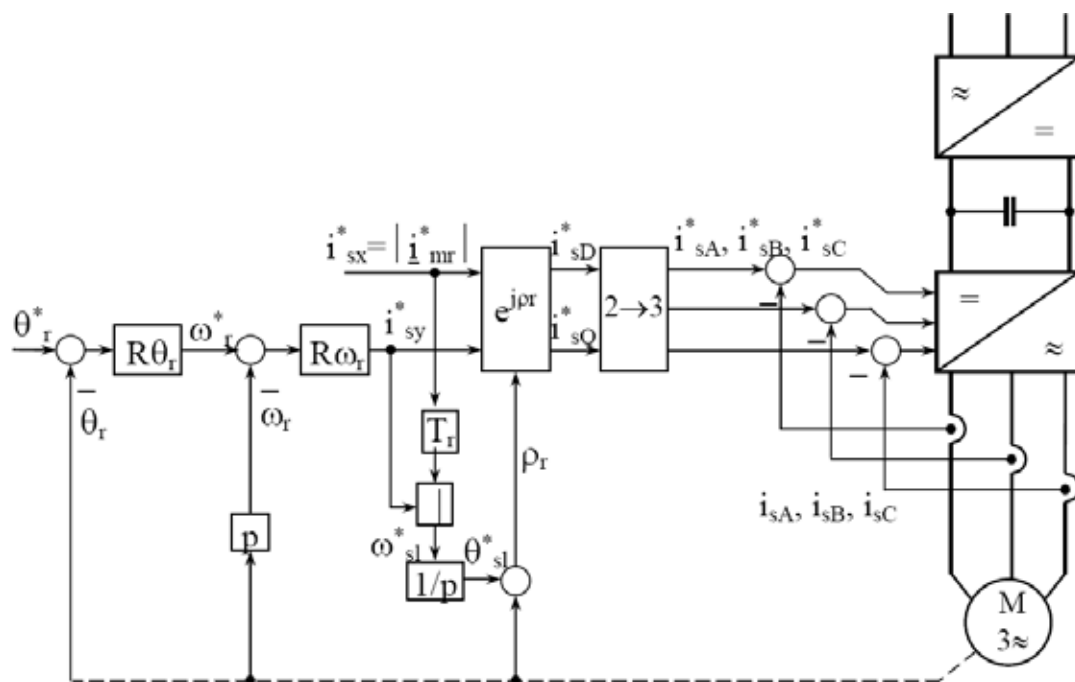


Рис. 2. Система управления позицией ротора косвенным методом

значение скорости вращения, которое сравнивается с реальной скоростью. Разница между этими двумя параметрами передается регулятору скорости (пропорционально интегрального типа), на выходе которого получается заданное значение электромагнитного момента. Значение момента сравнивается с измеренным параметром (расчитанным на основании компонентов статорных токов в результате использования модели потока). Регулятор

момента передает заданное значение активной составляющей статорного тока в систему потока ротора i_{sy}^* .

В случае управления потоком заданное значение тока намагничивания ротора, полученное на выходе трансформатора, сравнивается с измеренным значением, являющимся результатом работы модели потока. Результат сравнения используется регулятором реактивного тока, который в свою очередь передает заданное значение ре-

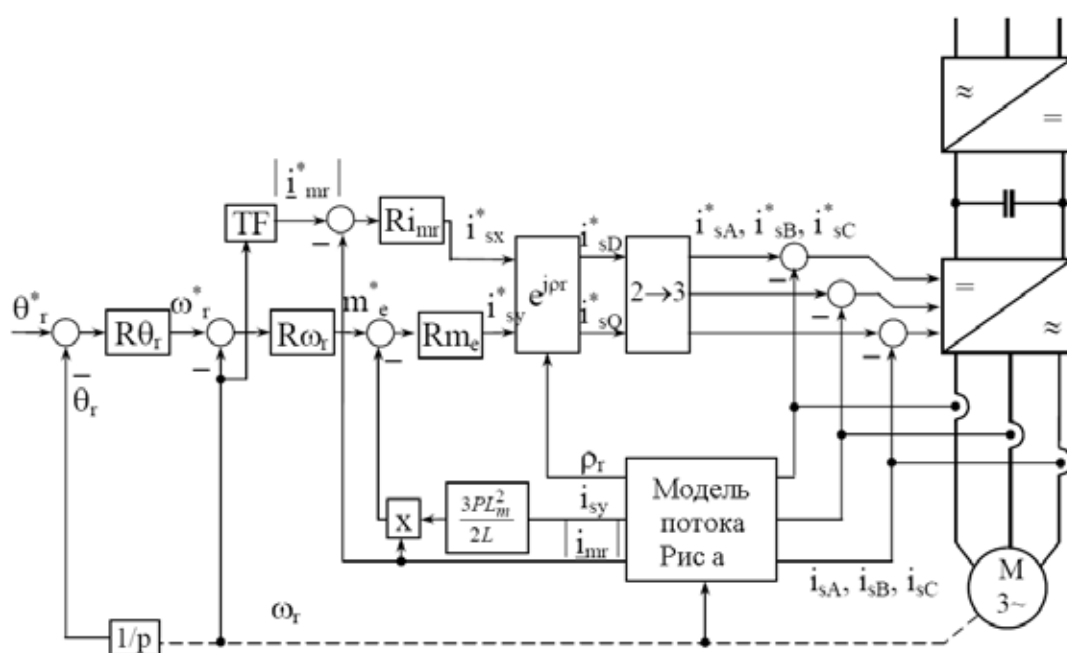


Рис. 3. Система управления позицией асинхронного двигателя прямым методом

тока, позволяет «мягко» управлять как моментом, так и скоростью вращения, что позволяет добиться хороших динамических характеристик.

Другими преимуществами этой стратегии модуляции являются:

- простота реализации системы;
- возможность реализации на аналоговых компараторах;
- нечувствительность системы векторного управления скоростью к изменениям параметров асинхронного двигателя.

Однако реализация привода мощностью выше 10 кВт таким методом не является эффективной. Это связано с тем, что частота переключений силовых элементов составляет порядка 10–20 кГц, вследствие чего выделяется большое количество тепла на коллекторе IGBT транзистора. Следовательно он не может использоваться в тяговом электроприводе троллейбусов.

В схемах, где инвертор выступает в качестве источника напряжения, частота переключений может быть ниже 10 кГц, в следствии количество тепла, выделяемое на инверторе, в 2 и более раза меньше, чем в предыдущем методе. Также преобразования проще, поскольку мы управляем только частотой и амплитудой напряжения.

Но при данном способе управления изменения параметров двигателя в процессе работы (изменение сопротивления и индуктивности обмоток) не позволяют добиться таких же динамических характеристик, как при управлении инвертором, выступающем в качестве источника тока.

Точность в электроприводе транспортных средств не самое важное: даже если скорость троллейбуса будет изменяться в пределах нескольких километров в час — это не существенно.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что данный алгоритм управления подходит для тягового электропривода троллейбусов.

Литература:

1. Шрейнер, Р.Т. «Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты» Екатеринбург: УРО РАН, 2000
2. Соколовский, Г.Г. «Электроприводы переменного тока с частотным регулированием» Москва: АСАДЕМА, 2006

4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Моделирование асинхронного двигателя со статическим эксцентриситетом ротора

Темников Юрий Валерьевич, аспирант
Московский энергетический институт, филиал в г. Смоленске

Представлена модель трехфазного асинхронного двигателя со статическим эксцентриситетом ротора; проанализирован гармонический состав тока статора при эксцентриситете ротора, выявлен диагностический критерий.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, эксцентриситет ротора, спектр фазного тока.

Эксцентриситет ротора — достаточно часто встречающаяся на практике причина выхода из строя электрических машин. Эксцентриситет ротора вызывает периодическое изменение плотности электромагнитного поля в зазоре машины, тем самым изменяя тяговое усилие от минимума (при максимальном воздушном зазоре) до максимума (при минимальном воздушном зазоре). Данное обстоятельство вызывает дополнительные вибрации машины, негативно влияющие, прежде всего, на подшипники.

Зазор в такой машине можно представить в следующем виде:

$$\delta(\theta) = R - r + d \cos(\theta) = \delta_m (1 + \varepsilon \cos(\theta)) \quad (1)$$

где R , r — радиусы расточки статора и ротора соответственно; δ_m — воздушный зазор между статором и ротором; d — смещение осей статора и ротора, вызванное эксцентриситетом; θ — угол положения рассматриваемого радиального сечения ротора; относительный эксцентриситет ротора [1]:

$$\varepsilon = \frac{d}{\delta_m} \quad (2)$$

С изменением величины зазора меняется удельная магнитная проводимость ротора в соответствии с выражением:

$$\lambda(\theta) = \frac{\mu_0}{\delta(\theta) \cdot k_\delta} \quad (3)$$

где k_δ — коэффициент Картера; μ_0 — магнитная постоянная.

Таким образом, зависимость главной взаимной индуктивности от угла θ приобретает следующий вид:

$$L_{m\varepsilon}(\theta) = \frac{L_{m0}}{1 + \varepsilon \cos(\theta)} \quad (4)$$

где L_{m0} — главная взаимная индуктивность при отсутствии эксцентриситета.

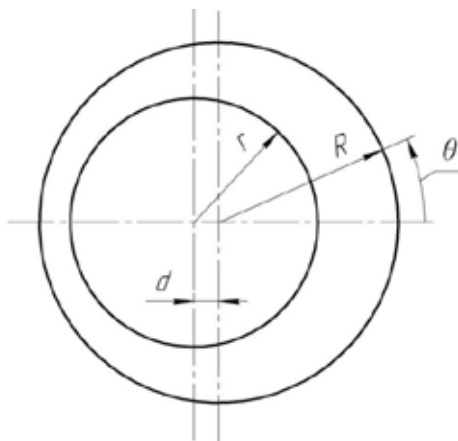


Рис. 1. Эксцентрично расположенный ротор

Индуктивности обмоток статора и ротора, соответственно:

$$L_{se}(\theta) = L_{os} + L_{me}(\theta) \quad (5)$$

$$L_{re}(\theta) = L_{or} + L_{me}(\theta) \quad (6)$$

Рассмотрим известную математическую модель асинхронного двигателя (7) — уравнения обобщенной машины, записанные через потокоцепления в системе координат $\alpha\beta$ [2]. При наличии статического эксцентриситета ротора элементы дифференциальных уравнений содержат периодически изменяющиеся значения индуктивностей. Такая особенность системы уравнений требует пересчета индуктивностей для каждого положения ротора.

$$\frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt} = a_1 u_{s\alpha} - a_2 \Psi_{s\alpha} + a_3 \Psi_{r\alpha};$$

$$\frac{d\Psi_{s\beta}}{dt} = a_4 u_{s\beta} - a_5 \Psi_{s\beta} + a_6 \Psi_{r\beta};$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = -a_7 \Psi_{r\alpha} + a_8 \Psi_{s\alpha} - \omega_r \Psi_{r\alpha};$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = -a_9 \Psi_{r\beta} + a_{10} \Psi_{s\beta} + \omega_r \Psi_{r\beta};$$

$$M = a_{11} (\Psi_{s\beta} \Psi_{r\alpha} - \Psi_{s\alpha} \Psi_{r\beta});$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = a_{12} (M - M_c);$$

$$i_{sa} = a_{13} \Psi_{s\alpha} - a_{14} \Psi_{r\alpha}, \quad (7)$$

$$a_1 = a_4 = 1;$$

$$a_2 = a_5 = R_s L_r / (L_s L_r - L_m^2);$$

$$a_3 = a_6 = R_s L_m / (L_s L_r - L_m^2);$$

$$a_7 = a_9 = R_r L_s / (L_s L_r - L_m^2);$$

$$a_8 = a_{10} = R_r L_m / (L_s L_r - L_m^2);$$

$$a_{11} = (m/p) L_m / (L_s L_r - L_m^2);$$

$$a_{12} = p/J;$$

$$a_{13} = L_r / (L_s L_r - L_m^2);$$

$$a_{14} = L_m / (L_s L_r - L_m^2).$$

Модель двигателя с эксцентриситетом ротора получаем заменой соответствующих индуктивностей в системе (7) на выражения (4–6). Модель реализуем в системе Matlab 7.8 с использованием базового инструментария Simulink.

При реализации модели были приняты следующие допущения:

1. Зазор между статором и ротором гладкий (не учитывается зубчатость магнитопроводов);
2. Магнитная система электрической машины ненасыщена.

Элементы системы дифференциальных уравнений представляем в виде соответствующих блоков и структур. Так выражение (4) примет следующий вид:

Функция (5) реализована блоком, изображенным на рис. 3. Аналогично можно представить функцию (6).

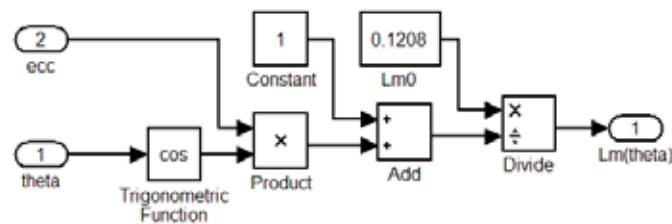


Рис. 2. Блок, реализующий зависимость главной взаимной индуктивности от угла θ

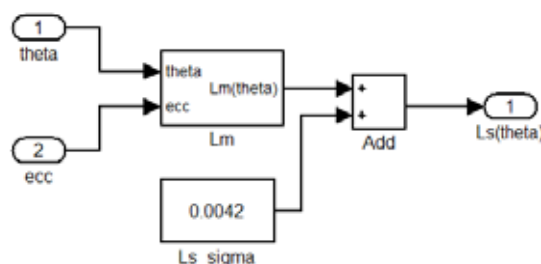


Рис. 3. Блок, реализующий зависимость индуктивности обмотки статора от угла θ

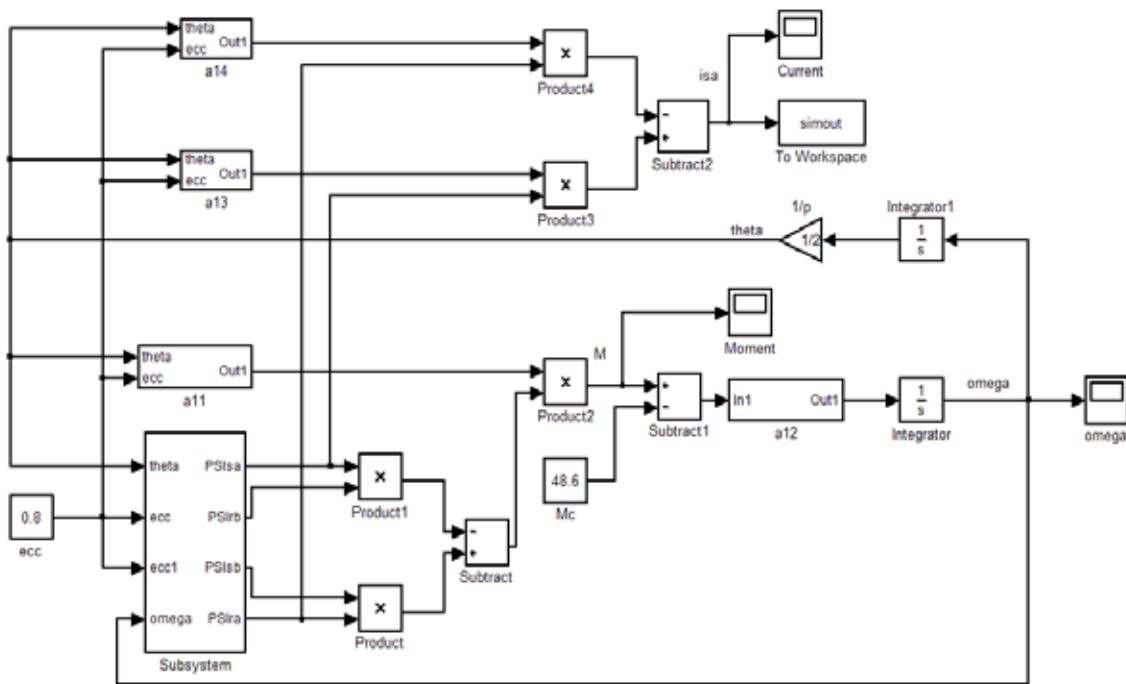


Рис. 4. Модель асинхронного двигателя со статическим эксцентриситетом ротора

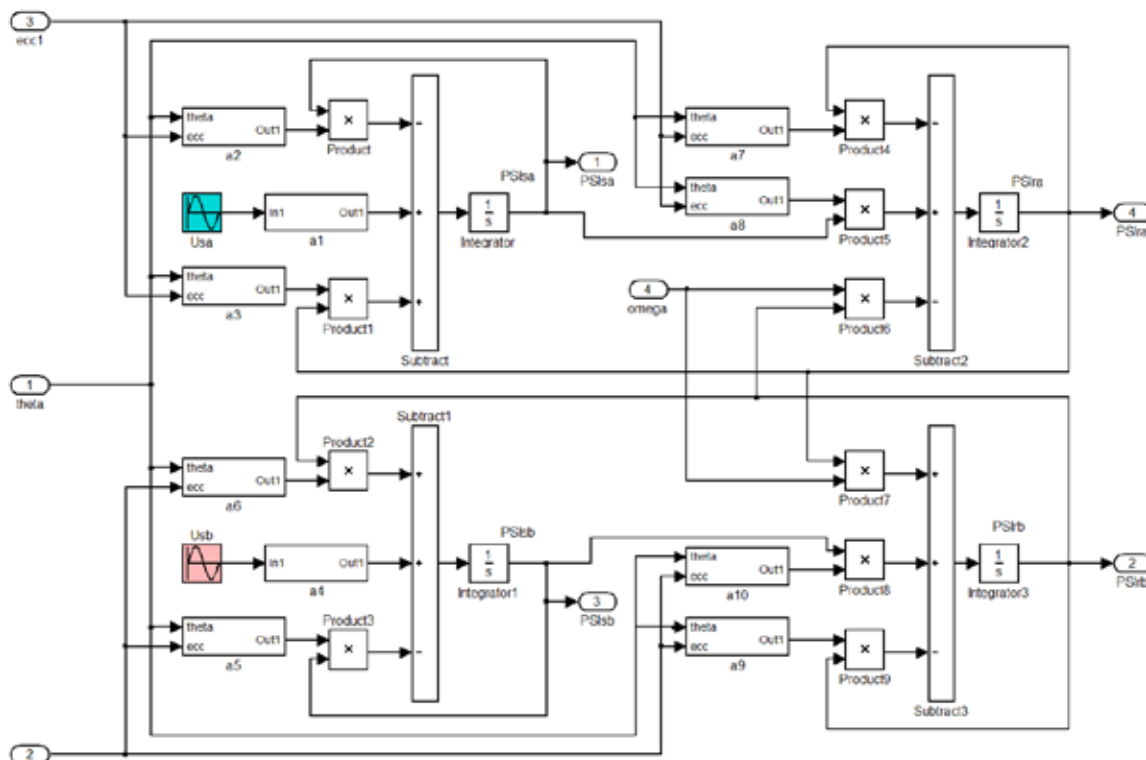


Рис. 5. Подсистема Subsystem

Из подобных блоков набираются коэффициенты в системе дифференциальных уравнений асинхронного двигателя (a_1 — a_{14}).

В результате мы имеем модель, позволяющую исследовать работу двигателя при различной величине статиче-

ского эксцентриситета ротора. Ограничим объем модели расчетом только проекции тока статора на ось α , соответствующей току статора в фазе А.

В модели задаются проекции напряжения обмотки статора u_{sa} на ось α и u_{sb} на ось β , величина относитель-

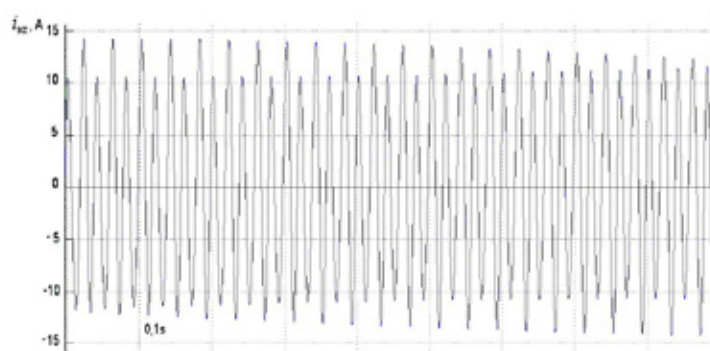


Рис. 6. Осциллограмма тока статора в фазе А

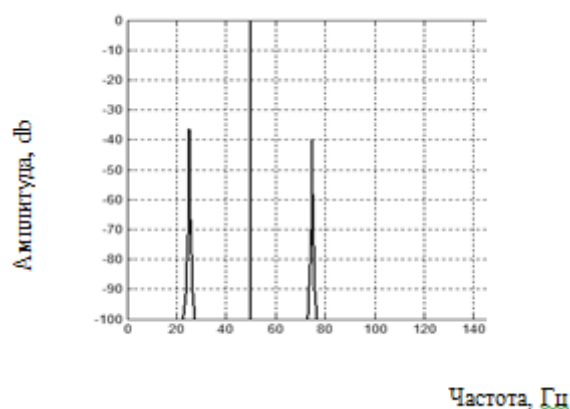


Рис. 7. Спектр тока статора в фазе А

ного эксцентриситета ecc и статический момент нагрузки M_s .

В модели регистрируются следующие величины: ток статора i_{sa} в фазе А, скорость вращения ротора ω_r , электромагнитный момент M .

Система, представленная на рис. 4, содержит подсистему Subsystem (см. рис. 5), решениями которой являются проекции потокосцеплений. Потокосцепления в основной системе дают решение — искомые функции.

Разработанная модель двигателя с эксцентриситетом ротора позволяет рассматривать как установившийся режим работы, так и переходные процессы, также возможно добавление в модель нестационарной нагрузки.

На рис. 7 представлен спектр тока статора в фазе А при номинальной нагрузке и относительном эксцентриситете $ecc=0,8$. На спектре видно, что при статическом эксцентриситете ротора имеют место гармоники, сдвинутые на одинаковый шаг относительно основной. Со-

гласно [3], частоты данных гармоник могут быть вычислены по выражению (8).

$$f_{ecc} = f_l \left(1 \pm \frac{1-s}{p}\right), \text{ Гц}, \quad (8)$$

где $f_l = 50 \text{ Гц}$ — частота сети; s — скольжение двигателя в исследуемом режиме работы; p — число пар полюсов.

Таким образом, разработанная модель предоставляет возможность изучения влияния статического эксцентриситета на потребляемый ток, электромагнитный момент и скорость вращения. Полученные данные о спектральном составе тока статора при эксцентриситете ротора показывают, что амплитуды составляющих тока на частотах f_{ecc} могут служить диагностическим критерием оценки эксцентриситета ротора. Диагностика эксцентриситета является одной из мер повышения надежности электродвигателя.

Литература:

1. Геллер, Б. Высшие гармоники в асинхронных машинах/Б. Геллер, В. Гамата/Пер. с англ. под ред. З.Г. Каганова. — М.: «Энергия», 1981. — 352 с.
2. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин/И.П. Копылов. — М.: Высшая школа, 2001. — 327 с.

3. Dynamic Analysis of Mixed Eccentricity Signatures at Various Operating Points and Scrutiny of Related Indices for Induction Motors/J. Faiz, B. M. Ebrahimi, B. Akin, H. A. Toliyat // IET Electric Power Applications. — 2010. — Vol. 4. — P. 1–16.

Реакция рекурсивной ЛДС с передаточной функцией в виде суммы простых дробей 1-й степени на аperiodическое воздействие

Тойдеряков Николай Александрович, магистрант
Чувашский государственный университет (г. Чебоксары)

Микропроцессорные реле имеют много особенностей по сравнению с электронными в части, касающейся обработки аналоговых сигналов, цифровой фильтрации преобразованных аналоговых сигналов, построения измерительных органов, каналов передачи данных и т. д.

Измерительные органы устройств релейной защиты, в которых при обработке информации выполняются операции с последовательностями чисел, зависящими от текущих значений входных напряжений и токов, являются цифровыми — ЦИО. Использование цифровой обработки сигналов и соответствующих методов их преобразования обуславливает новые свойства ЦИО, отсутствующие у аналоговых РИО, что требует учёта их при проектировании современных микропроцессорных комплексов РЗА. Для оценки поведения ЦИО в реальных режимах работы электрической системы необходимы исследования методов реализации их характеристик, влияния частоты дискретизации входных сигналов на характеристики ЦИО, частотных характеристик ЦИО, поведения их в динамических условиях и т. д.

В процессе цифровой обработки мгновенных значений вторичных токов и напряжений входных преобразователей, представляющих собой «смесь» полезного сигнала и помех, возникает задача «очистки» сигнала промышленной частоты от всех иных составляющих, которые в общем случае содержат аperiodическую слагаемую, слагаемые 3-й и 5-й гармоник, влияние которой особенно сильно сказывается в фильтровых и дифференциальных реле, а также другие высшие гармоники. Указанная задача решается, хотя и не полностью, цифровыми фильтрами, под которыми в общем смысле понимают цифровую систему, осуществляющую по заданному алгоритму выделение цифрового сигнала $x(nT_d)$ или его параметров из его воздействия $x_\Sigma(nT_d) = x(nT_d) = x_{\text{помех}}(nT_d)$, содержащего суммарную помеху $x_\sigma(nT_d)$.

В отношении селекции цифровых сигналов по частоте, как это понимается применительно к реле, в РИО которых ведётся аналоговая фильтрация сигналов с целью выделения сигнала промышленной частоты, цифровым фильтром называют частотно-избирательную систему, обрабатывающую только цифровые сигналы. К таким фильтрам относятся фильтры низких частот (ФНЧ), высоких частот (ФВЧ), полосно-пропускающие (ППФ) и полосно-заграждающие (ПЗФ).

Как любая цифровая система, цифровой фильтр реализуется аппаратными, программными или аппаратно-программными средствами. Первый способ подразумевает использование элементов различного функциональных назначения: логических схем, триггеров, регистров, сумматоров, умножителей, ячеек памяти и т. п. Второй — языков программирования высокого уровня либо ассемблеров. Аппаратно-программная реализация цифрового фильтра представляет собой комбинацию первых двух способов: какая-то часть функция выполняется аппаратно, а остальная часть — программно.

В цифровых системах ввод аналоговых сигналов производится путём их дискретизации в равноотстоящие моменты времени, когда вместо сигнала $x(t)$ используется дискретный сигнал $x_d(t) = x(nT_d)$, фиксируемый в цифровом виде с заданными уровнями квантования с определённой точностью. Для последующего использования цифровых сигналов обычно требуется их дополнительная обработка, позволяющая выделить содержащуюся в них необходимую информацию. В частности, как и в аналоговых устройствах, возникает необходимость выделения среднего или действующего значения сигнала по его выборкам, интегрирования и т. д. Для выполнения этих функций производятся операции с цифровыми последовательностями $x(nT_d)$, превращающие их в другие последовательности $y(nT_d)$, обладающие требуемыми свойствами.

Цифровые фильтры относятся к линейным дискретным системам (ЛДС), осуществляющим однозначное преобразование входной цифровой последовательности $x(nT_d)$ в выходную $y(nT_d)$.

В общем случае цифровой фильтр описывается разностным уравнением с вещественными коэффициентами

$$\sum_{r=0}^M b'_r y[(n-r)T_d] = \sum_{k=0}^N a'_k x[(n-k)T_d], \quad (1.1)$$

где a'_k, b'_k — коэффициенты разностного уравнения; M, N — число отсчётов реакции и выборки воздействия, учитываемых при цифровой обработке.

Решая уравнение (1.1) относительно текущего отсчёта $y(nT_d)$, имеем реакцию цифрового фильтра

$$y(nT_d) = \frac{a'_0}{b'_0} x(nT_d) + \frac{1}{b'_0} \left\{ \sum_{k=1}^N a'_k x[(n-k)T_d] - \sum_{r=1}^M b'_r y[(n-r)T_d] \right\} =$$

$$= a_0 x(nT_d) + \sum_{k=1}^N a_k x[(n-k)T_d] - \sum_{r=1}^M b_r y[(n-r)T_d]. \quad (1.2)$$

Уравнение (1.2) определяет алгоритм производимых микропроцессором вычислений, в котором используются как выборки входного сигнала $x(nT_d)$, так и предшествующие отсчёты реакции $y(nT_d)$, поэтому имеет рекурсивный характер и соответствует так называемому рекурсивному цифровому фильтру.

Рассмотрим передаточную функцию в виде суммы простых дробей 1-й степени ($N \leq M$):

$$H(z) = \sum_{r=1}^M \frac{A_r}{1 - \beta_r z^{-1}} \quad (1.3)$$

Где A_r — коэффициент разложения при β_r -м полюсе (константа), являющийся числом того же типа, что и полюс α_r (полюсы α_r в общем случае могут быть комплексно-сопряженными);

Возьмём $A_r = 1$ и $\beta_r = 1$, тогда передаточная функция примет вид:

$$H(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}} \quad (1.4)$$

Найдём нули и полюса функции и запишем соответствующее разностное уравнение.

Для отыскания двух нулей и двух полюсов приведём заданную дробно-рациональную функцию к виду с положительными значениями степеней при переменной z :

$$H(z) = \frac{z}{z - 1} \quad (1.5)$$

Нули функции $H(z)$ — корни приведенного квадратного уравнения, образованного из её числителя: z . Решение этого уравнения даёт одно значение корня:

$$z_k = 0$$

Полюса функции $H(z)$ — корни приведенного квадратного уравнения, образованного из её знаменателя: $z - 1$. Решение второго уравнения так же одно значение корня:

$$z_{II} = 1$$

Теперь запишем разностное уравнение, соответствующее передаточной функции:

$$y(nT_d) = x(nT_d) - y((n-1)T_d) \quad (1.6)$$

На основании этого уравнения построим временные зависимости реакции ЛДС на различные виды воздействия.

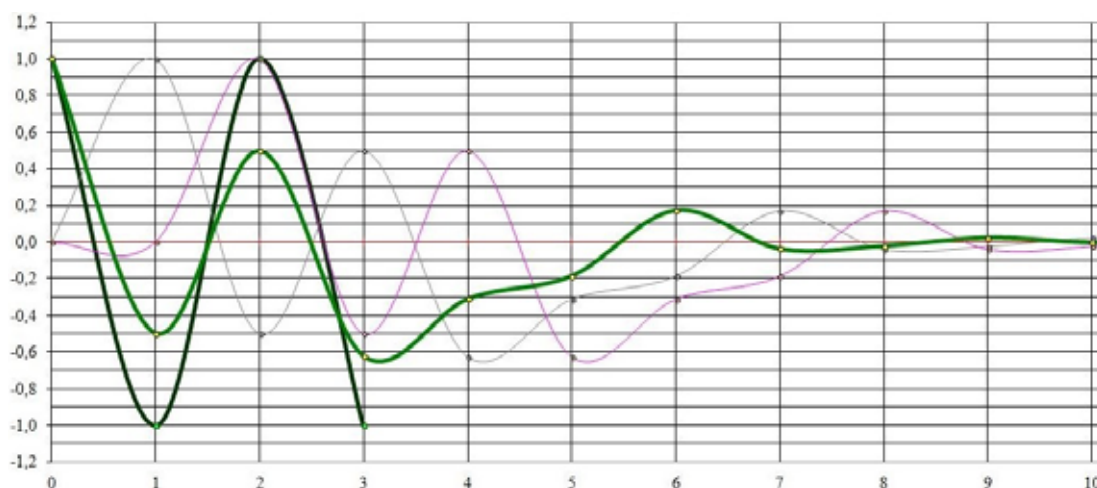


Рис. 1. Реакция ЛДС на дискретное воздействие в виде двух единичных импульсов

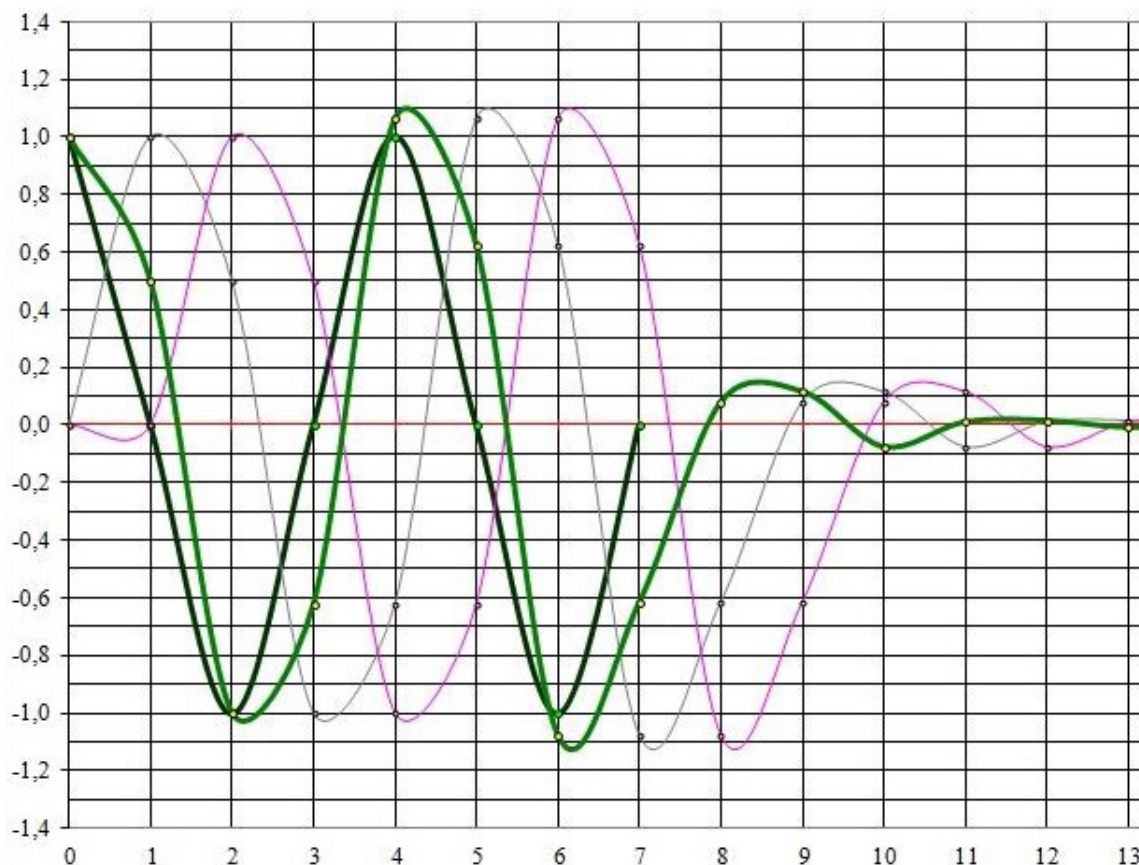


Рис. 2. Реакция ЛДС на дискретное воздействие в виде аperiodической единичной косинусоиды, дискретизированной четырьмя отсчетами

Рассмотрим реакцию рекурсивной ЛДС с передаточной функцией в виде суммы простых дробей 1-й степени на аperiodическое воздействие при разных выборках. Эти фильтры работают с 3 и 24 гармониками. Все гармоники имеют сдвиг по фазе 0.

Фильтр работает согласно разностному уравнению:

$$y(nT_d) = x(nT_d) - y((n-1)T_d) \quad (1.7)$$

При 6 выборках за период значительно подавляется 3 гармоника. Однако, если брать 12 выборок за период заметно подавление не только 3, но и 7 гармоники. При 24 выборках за период цифровой фильтр подавляет 15 и 9 гармоники.

Данный цифровой фильтр можно использовать в релейной защите, а именно в защите от однофазных замыканий на землю (ЗОЗЗ)

Литература:

1. Никитин, А. А. Электронные реле: Учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2005. 204 с.
2. Никитин, А. А. Микропроцессорные реле: Учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2006. 448 с.
3. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей: Учеб. пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 520 с.

5. ЭНЕРГЕТИКА

Исследование процессов лучистого теплообмена в излучающих системах различной конфигурации с поглощающей средой

Киселёва Елена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент;
Федоров Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент
Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар)

Теория переноса излучения и лучистого теплообмена представляет собой одну из важнейших областей общей теории необратимых процессов. Разработана математическая строгая общая теория переноса излучения и лучистого теплообмена.

Разнообразие математических методов, используемых в теории лучистого теплообмена, определяется многообразием ее применения в различных областях естествознания и техники, и прежде всего в астрофизике, высокотемпературной теплофизике, теплоэнергетике, теплотехнике различного рода промышленных печей, ядерной энергетике, авиационной и космической технике.

В связи с разработкой проблем теории переноса излучения и лучистого теплообмена, связанных с различными и многообразными ее приложениями, были созданы научные школы, разрабатывающие и развивающие различные научные направления в этой области. К числу основных и важнейших направлений дальнейших теоретических исследований проблем лучистого теплообмена следует отнести развитие и широкое применение обобщенного зонального метода теории лучистого теплообмена к определению основных характеристик поля излучения в излучающих системах различной конфигурации, заполненных поглощающей и анизотропно рассеивающей средой.

Применение указанного метода позволяет произвести численное исследование и всесторонний анализ тепловой работы.

В данной работе дано применение метода приближенного решения интегральных уравнений излучения, разработанного профессором Ю. А. Суриновым, к численному решению различных постановок задачи о лучистом теплообмене в излучающих системах различной конфигурации. При этом рассматриваются следующие системы, состоящие из четырех оптически однородных серых тел, разделенных изотермической поглощающей средой:

- а) камера прямоугольного сечения бесконечной длины (нижнее основание — зона 1, боковые поверхности — зона 2 и 3, верхнее основание — зона 4);
- б) цилиндрическая камера конечной длины, нижнее и верхнее основания которой составляют зоны 1 и 4, а боковая поверхность подразделена на две зоны — 2 и 3.

Поглощающая среда, заполняющая излучающую систему, составляет объемную зону 5.

Заданы температура среды и коэффициент объемного поглощения среды. Известны геометрические размеры и коэффициенты поглощения отдельных зон системы.

В зависимости от способов задания граничных условий рассматриваются следующие постановки задачи о лучистом теплообмене:

- а) фундаментальная — задаются температуры всех граничных тел;
- б) первая смешенная — для тела 2 задается безразмерная плотность результирующего излучения, а для остальных тел системы — температуры;
- в) вторая смешенная — для граничных тел 2 и 3 задаются безразмерные плотности результирующего излучения, а для тел 1 и 4 — температуры T_1, T_4 .

Решение интегральных уравнений излучения приводит к следующим выражениям, представленным в безразмерном виде.

- а) для фундаментальной постановки задачи

$$\Theta_{рез}(M_1) = \frac{E_{рез}(M_1)}{E_{s1}} = A_1 \{BI(M_1V) + A_2 \Theta_{21} A \Psi(M_1 F_2) + A_3 \Theta_{31} \Psi(M_1 F_3) + A_4 \Theta_{41} \Psi(M_1 F_4)\} \quad (1)$$

$$\Theta_{рез}(M_2) = \frac{E_{рез}(M_2)}{E_{51}} = A_2 \{BI(M_2V) - [1 - A_2\Psi(M_2F_2)]\Theta_{21} + A_3\Theta_{31}\Psi(M_2F_3) + A_4\Theta_{41}\Psi(M_2F_4)\} \quad (2)$$

$$\Theta_{рез}(M_3) = \frac{E_{рез}(M_3)}{E_{51}} = A_3 \{BI(M_3V) - [1 - A_3\Psi(M_3F_3)]\Theta_{31} + A_2\Theta_{21}\Psi(M_3F_2) + A_4\Theta_{41}\Psi(M_3F_4)\} \quad (3)$$

$$\Theta_{рез}(M_4) = \frac{E_{рез}(M_4)}{E_{51}} = A_4 \{BI(M_4V) - [1 - A_4\Psi(M_4F_4)]\Theta_{41} + A_3\Theta_{31}\Psi(M_4F_3) + A_2\Theta_{21}\Psi(M_4F_2)\} \quad (4)$$

а) для первой смешанной постановки задачи

$$\Theta_{рез}(M_1) = A_1 \{BI(M_1V) + A_3\Theta_{31}\Psi(M_1F_3) + A_4\Theta_{41}\Psi(M_1F_4) - \Theta_{рез,2}\Psi(M_1F_2)\} \quad (5)$$

$$\Theta_{рез}(M_3) = A_3 \{BI(M_3V) - [1 - A_3\Psi(M_3F_3)]\Theta_{31} + A_4\Theta_{41}\Psi(M_3F_4) - \Theta_{рез,2}\Psi(M_3F_2)\} \quad (6)$$

$$\Theta_{рез}(M_4) = A_4 \{BI(M_4V) - [1 - A_4\Psi(M_4F_4)]\Theta_{41} + A_3\Theta_{31}\Psi(M_4F_3) - \Theta_{рез,2}\Psi(M_4F_2)\} \quad (7)$$

$$\Theta_{рез}(M_2) = BI(M_2V) - 1 + A_3\Psi(M_2F_3)\Theta_{31} + A_4\Psi(M_2F_4)\Theta_{41} - \left[\frac{1}{A_2} + \Psi(M_2F_2) \right] A_{рез,2} \quad (8)$$

б) для второй смешанной постановки задачи

$$\Theta_{рез}(M_1) = A_1 \{BI(M_1V) + A_4\Theta_{41}\Psi(M_1F_4) - \Theta_{рез,2}\Psi(M_1F_2) - \Theta_{рез,3}\Psi(M_1F_3)\} \quad (9)$$

$$\Theta_{рез}(M_4) = A_4 \{BI(M_4V) - \Theta_{41}[1 - A_4\Psi(M_4F_4)] - \Theta_{рез,2}\Psi(M_4F_2) - \Theta_{рез,3}\Psi(M_4F_3)\} \quad (10)$$

$$\Theta(M_2) = BI(M_2V) - 1 + A_4\Theta_{41}\Psi(M_2F_4) - \Theta_{рез,2} \left[\frac{1}{A_2} + \Psi(M_2F_2) \right] - \Theta_{рез,3}\Psi(M_2F_3) \quad (11)$$

$$\Theta_{рез}(M_3) = BI(M_3V) - 1 + A_4\Theta_{41}\Psi(M_3F_4) - \Theta_{рез,2} \left[\frac{1}{A_3} + \Psi(M_3F_3) \right] - \Theta_{рез,3}\Psi(M_3F_2) \quad (12)$$

$$\text{где } \Theta(M_2) = \frac{T^4(M_2) - T_1^4}{T_5^4 - T_1^4}; \quad \Theta(M_3) = \frac{T^4(M_3) - T_1^4}{T_5^4 - T_1^4};$$

$$\Theta_{21} = \frac{E_{21}}{E_{51}} = \frac{T_2^4 - T_1^4}{T_5^4 - T_1^4}; \quad \Theta_{31} = \frac{E_{31}}{E_{51}} = \frac{T_3^4 - T_1^4}{T_5^4 - T_1^4}; \quad \Theta_{41} = \frac{E_{41}}{E_{51}} = \frac{T_4^4 - T_1^4}{T_5^4 - T_1^4};$$

$$\Theta_{рез,2} = \frac{E_{рез,2}}{G_o(T_5^4 - T_1^4)}; \quad \Theta_{рез,3} = \frac{E_{рез,3}}{G_o(T_5^4 - T_1^4)}$$

Аналогичные выражения можно получить для осредненных характеристик лучистого теплообмена.

Результирующий лучистый поток поглощающей среды определяется исходя из уравнения:

$$\text{где } \Theta_{рез,5} = -(\Theta_{рез,1} + \Theta_{рез,2} + \Theta_{рез,3} + \Theta_{рез,4})$$

$$\Theta_{рез,i} = E_{рез,i}F_i \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

$E_{рез,i}$ — плотность результирующего лучистого потока данного тела.

Локальные разрешающие угловые коэффициенты излучения $\Psi(M_i, F_\kappa)$ определяются решением конечной системы алгебраических уравнений:

а) для фундаментальной постановки задачи

$$\Psi(M_i, F_\kappa) - R_i\Psi(M_i, F_1)\Psi_{1\kappa} - R_2\Psi(M_i, F_2)\Psi_{2\kappa} - R_3\Psi(M_i, F_3)\Psi_{3\kappa} - R_4\Psi(M_i, F_4)\Psi_{4\kappa} = \Psi(M_i, F_\kappa) \quad (13)$$

б) для первой смешанной

$$\Psi(M_i, F_\kappa) - R_i\Psi(M_i, F_1)\Psi_{1\kappa} - \Psi(M_i, F_2)\Psi_{2\kappa} - R_3\Psi(M_i, F_3)\Psi_{3\kappa} - R_4\Psi(M_i, F_4)\Psi_{4\kappa} = \Psi(M_i, F_\kappa) \quad (i, \kappa = 1, 2, 3, 4) \quad (14)$$

в) для второй смешанной

$$\Psi(M_i, F_\kappa) - R_i\Psi(M_i, F_1)\Psi_{1\kappa} - \Psi(M_i, F_2)\Psi_{2\kappa} - \Psi(M_i, F_3)\Psi_{3\kappa} - R_4\Psi(M_i, F_4)\Psi_{4\kappa} = \Psi(M_i, F_\kappa) \quad (i, \kappa = 1, 2, 3, 4) \quad (15)$$

В работе определена локальная разрешающая поглощательная способность $BI(M_iV)$ — есть доля поглощенного средой лучистого потока, направленного от элемента поверхности системы, с учетом поглощений, обусловленных многократными отражениями системы.

Определяется эта характеристика на основании следующих оптико-геометрических уравнений замкнутости:

$$BI(M_iV) = 1 - \sum_{K_{31}}^4 A_\kappa \Psi(M_i, F_\kappa) \quad (M_i \in F_i, i = 1, 2, 3, 4) \quad (16)$$

В работе получены поля знаний локальной поглощательной способности среды $A(M_iV) = 1 - \sum_{K_{31}}^4 \Psi(M_i, F_\kappa)$ и

локальной поглощательной разрешающей способности среды $BI (M_iV)$ для разных постановок задачи. Равенство $A (M_iV) = BI (M_iV)$ выполнимо только в случае фундаментальной постановки задачи при условии, что все граничные тела являются черными. Для всех других постановок задачи $A (M_iV)$ всегда меньше $BI (M_iV)$.

Локальные и средние обобщенные угловые коэффициенты излучения $\Psi (M_i, F_k)$ и Ψ_{ik} определены для случая плоской задачи на основании приближенных методик. Численные значения в прилагаемых таблицах.

Используя полученные формулы и выражения, можно произвести численные расчеты локальных и средних характеристик излучения для рассмотренной постановки задачи с различными вариантами геометрических, оптических, температурных и энергетических параметров излучающих систем.

Результаты расчетов различных характеристик лучистого теплообмена в камере прямоугольного сечения бесконечной длины для фундаментальной постановки задачи, произведенные на ЭВМ, приведены в таблицах.

Результаты проведенного исследования могут найти применение в тепловых расчетах различных теплотехнических устройств.

Требования современной науки и техники заставляют все чаще обращаться к задачам теплообмена изучением с учетом поглощающей среды, заполняющей системы различной конфигурации.

Решена обобщенная задача о теплообмене излучением как для граничных, так и для объемных зон с диффузными оптическими свойствами.

Исследование выполнено для локальных разрешающих и энергетических характеристик прямоугольной камеры и локальных угловых коэффициентов излучения цилиндрической системы. Результаты численного исследования приведены в виде таблиц и графических зависимостей в безразмерном виде.

Результаты работы с учетом последующих этапов исследования в этом направлении могут быть использованы при расчетах и проектировании промышленных печей (электрических печей сопротивления), для расчета сушильных процессов и других способов обработки сырья и полуфабрикатов пищевой промышленности, при исследовании тепловой работы различных нагревательных устройств, где лучистый теплообмен играет ведущую роль.

Таблица 1

Средние угловые коэффициенты излучения для излучающей системы, состоящей из четырех зон

(прямоугольная камера бесконечной длины $h = \frac{H}{A} = 2$)

$Z=2A$	$\Psi_{12} = \Psi_{42} = \Psi_{13} = \Psi_{13}$	$\Psi_{41} = \Psi_{14}$	$\Psi_{21} = \Psi_{31} = \Psi_{24} = \Psi_{34}$	$\Psi_{32} = \Psi_{23}$	$\Psi_{11} = \Psi_{22} = \Psi_{33} = \Psi_{44}$
0,1	0,3455	0,1765	0,1726	0,5281	0,000
0,5	0,2432	0,0728	0,1216	0,3014	0,000
0,9	0,1821	0,0369	0,0910	0,1798	0,000
1,3	0,1428	0,02111	0,0714	0,1093	0,000
1,7	0,1160	0,0130	0,0580	0,6788	0,000

Таблица 2

Локальные обобщенные угловые коэффициенты излучения в излучающей системе, состоящей из четырех зон
(прямоугольная камера бесконечной длины)

$Z=2A$	x, y	$\Psi(M_1, F_2)$ $\Psi(M_4, F_2)$	$\Psi(M_1, F_3)$ $\Psi(M_4, F_3)$	$\Psi(M_1, F_4)$ $\Psi(M_4, F_1)$	$\Psi(M_2, F_1)$ $\Psi(M_3, F_1)$	$\Psi(M_4, F_1)$ $\Psi(M_3, F_2)$	$\Psi(M_2, F_4)$ $\Psi(M_3, F_4)$	$\Psi(M_1, F_1)$ $\Psi(M_4, F_2)$ $\Psi(M_3, F_3)$ $\Psi(M_4, F_4)$
0,1	0	0,5000	0,2305	0,1708	0,5000	0,3767	0,0405	0,000
	0,2	0,4225	0,2686	0,1815	0,2903	0,5213	0,0611	0,000
	0,4	0,3634	0,3123	0,1872	0,1654	0,5969	0,0976	0,000
	0,6	0,3126	0,3634	0,1872	0,0976	0,5969	0,1654	0,000
	0,8	0,2683	0,4225	0,1815	0,0611	0,5213	0,2903	0,000
	1,0	0,2305	0,5000	0,1708	0,0405	0,3767	0,5000	0,000
0,9	0	0,5000	0,0622	0,0253	0,5000	0,1203	0,0057	0,000
	0,2	0,2736	0,0872	0,0276	0,1606	0,1779	0,0122	0,000
	0,4	0,1799	0,1288	0,0288	0,0642	0,2058	0,271	0,000
	0,6	0,1238	0,1799	0,0288	0,0271	0,2058	0,0642	0,000
	0,8	0,0872	0,2736	0,0276	0,0122	0,1779	0,1606	0,000
	1,0	0,0622	0,5000	0,0253	0,0057	0,1203	0,5000	0,000

Таблица 3

Численные значения безмерной локальной плотности результирующего излучения для фундаментальной постановки задачи о лучистом теплообмене в прямоугольной камере бесконечной длины

Z=2A	xx, y	A ₁ =0,9; A ₂ =0,85; A ₃ =0,8; A ₄ =0,7 Θ ₂₁ =0,2; Θ ₃₁ =0,15; Θ ₄₁ =0,6				A ₁ =A ₄ =1; A ₂ =0,85; A ₃ =0,8 Θ ₂₁ =0,2; Θ ₃₁ =0,15; Θ ₄₁ =0,6			
		Θ _{рез} =(M ₁)	Θ _{рез} =(M ₂)	Θ _{рез} =(M ₃)	Θ _{рез} =(M ₄)	Θ _{рез} =(M ₁)	Θ _{рез} =(M ₂)	Θ _{рез} =(M ₃)	Θ _{рез} =(M ₄)
0,1	0	0,6695	0,5694	0,6182	0,2471	0,7426	0,5612	0,6137	0,3517
	0,2	0,6851	0,5888	0,6267	0,2480	0,7602	0,5836	0,6238	0,3529
	0,4	0,6939	0,6004	0,6318	0,2485	0,7700	0,5969	0,6297	0,3534
	0,6	0,6991	0,6087	0,6359	0,2484	0,7757	0,6055	0,6340	0,3535
	0,8	0,7006	0,6166	0,6406	0,2483	0,7774	0,6128	0,6380	0,3532
	1,0	0,6965	0,6251	0,6460	0,2477	0,7728	0,6197	0,6423	0,3526
0,9	0	0,7274	0,5929	0,6331	0,2597	0,8073	0,5846	0,6288	0,3708
	0,2	0,7932	0,6400	0,6571	0,2665	0,8805	0,6372	0,6556	0,0380
	0,4	0,8148	0,6520	0,6630	0,2685	0,9045	0,6507	0,6623	0,3833
	0,6	0,8205	0,6566	0,6653	0,2686	0,9109	0,6554	0,6643	0,3836
	0,8	0,8121	0,6582	0,6662	0,2669	0,9016	0,6562	0,6648	0,3811
	1,0	0,7719	0,6536	0,6635	0,2606	0,8568	0,6477	0,6595	0,3722

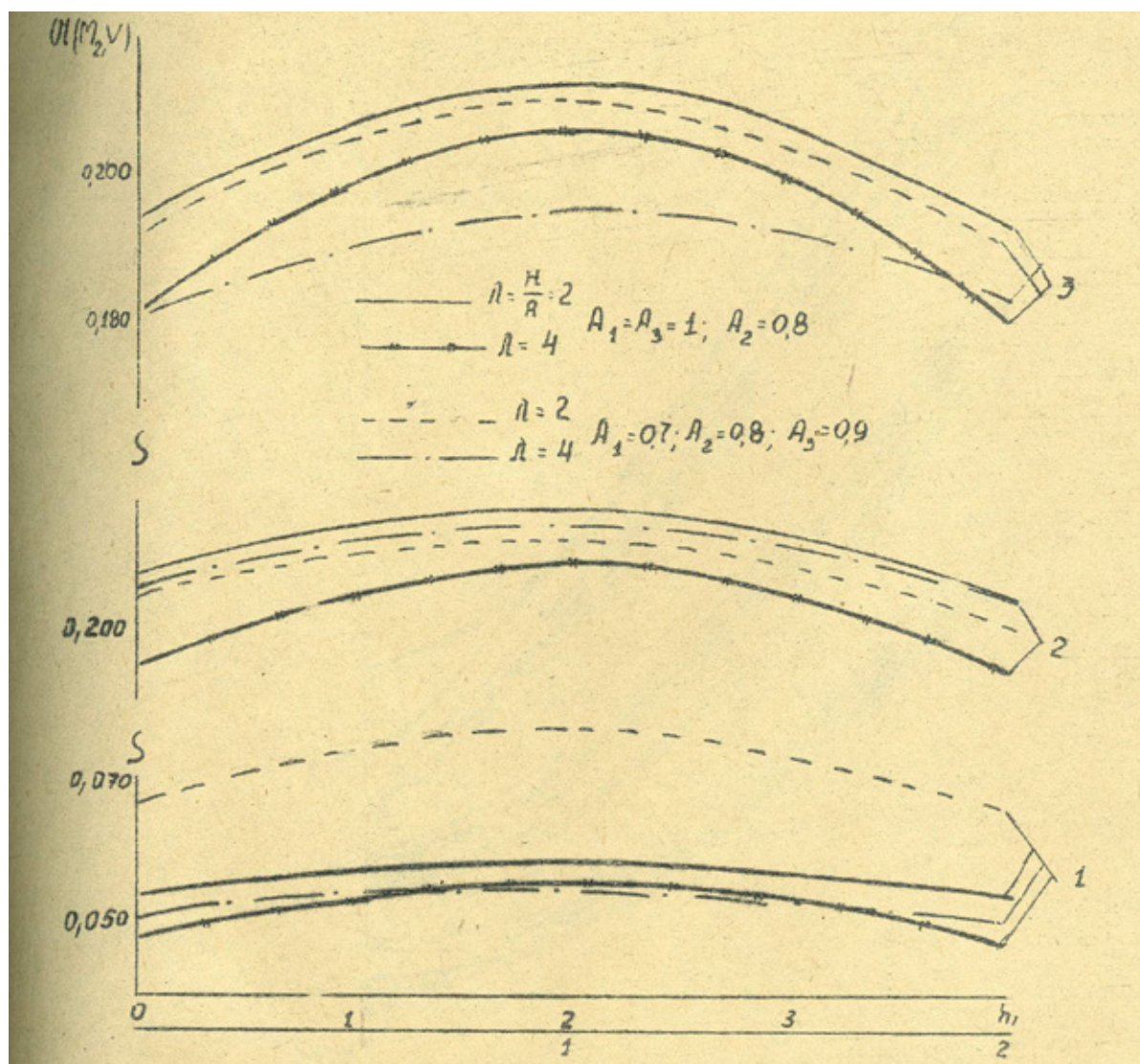


Рис. 1. Зависимость $\Theta(M_2V)$ от $h_1 = \frac{Z}{R}$ для цилиндра ($\lambda = 2; 4$), заполненного чисто поглощающей средой с $dR = 0,05$ (1); $0,1$ (2); $0,2$ (3)

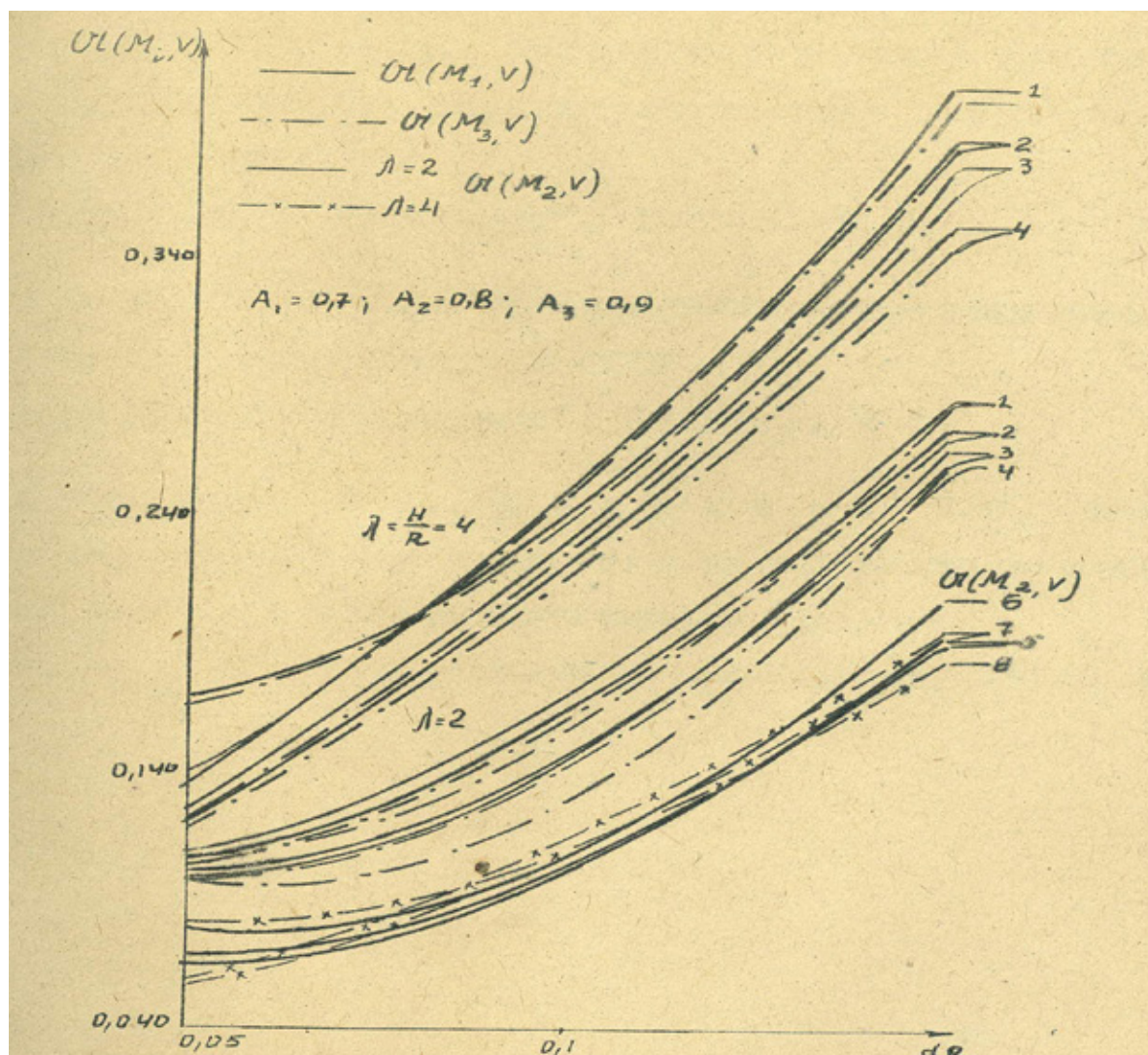


Рис. 2. Зависимость BI (MiV) от dR для цилиндра ($\lambda = 2; 4$), заполненного поглощающей средой при $r = 0$ (1); 0,5 (2); 0,8 (3); 1 (4); $h=0$ (5); 1 (6); 2 (7); 4 (8)

Литература:

1. Суринов, Ю. А. Методы определения и численного расчета локальных характеристик поля излучения. Изв. АН СССР. «Энергетика и транспорт», 1965. №5.
2. Суринов, Ю. А. К определению поглощательной способности среды. Изв. АН СССР. «Энергетика и транспорт», 1967. №4.
3. Суринов, Ю. А., Киселева Е. С. Исследование характеристики лучистого теплообмена в цилиндрической камере с учетом поглощения среды. Изв. АН СССР. «Энергетика и транспорт», 1971. №6.

Исследование резонансного режима плоских индукционных систем с емкостной связью

Мухаметшин Роман Романович, магистрант;

Науман Ольга Александровна, начальник отдела информатизации управления вузом;

Захаров Игорь Вячеславович, доктор технических наук, профессор

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова (Казахстан)

Использование в индукционных нагревательных установках плоских индукторов с емкостной связью (с эффектом самокомпенсации, рисунок 1) позволяют достигнуть значительного экономического эффекта за счет того, что отпадает необходимость в использовании средств искусственной компенсации их реактивной мощности. При этом наиболее рациональным режимом работы индукторов с самокомпенсацией является резонансный режим, с чисто активным входным сопротивлением.

Резонансный режим, достигаемый равенством индуктивного X_L и емкостного X_C сопротивлений пакета индуктора, зависит в частности от электрофизических параметров элементов, его составляющих и может быть поддержан их соответствующим выбором [1].

Задача расчета резонансного режима плоских индукторов с самокомпенсацией связана с созданием инженерной методики, позволяющей производить выбор массогабаритных параметров индуктора в широком диапазоне варьирования влияющих факторов.

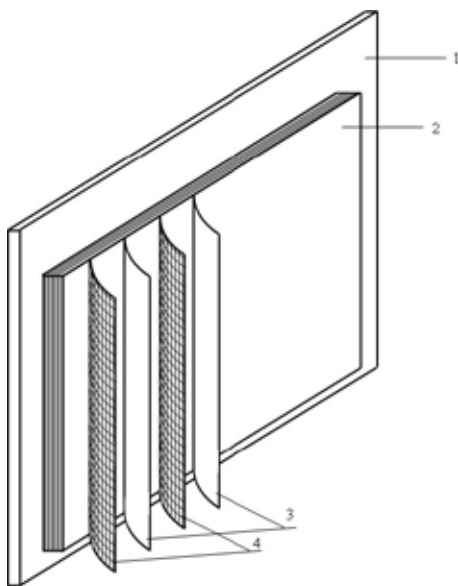


Рис. 1. Эскиз системы «плоский индукционный нагреватель с самокомпенсацией – нагреваемая поверхность»: 1 – нагреваемая поверхность; 2 – плоский индукционный нагреватель с самокомпенсацией; 3 – разноименные проводники нагревателя; 4 – диэлектрические ленты

Цель расчета состоит в получении зависимостей между параметрами плоского индуктора с самокомпенсацией, обуславливающих его работу в режиме резонанса: электрическими (частотой f , напряжением U источника питания); электрофизическими (удельным электрическим сопротивлением материала индуктора ρ_1 и загрузки ρ_2 , относительной магнитной проницаемостью материала загрузки μ , относительной диэлектрической проницаемостью диэлектрика ε) и геометрическими (высотой h и толщиной индуктирующего проводника обмотки b , толщиной диэлектрика δ , числом слоев индуктора W). Электрическая схема замещения секции плоского индуктора с самокомпенсацией при, например четном количестве проводников, в частности четырех, представлена на рисунке 2.

Важным при расчете резонансного режима является учет влияющих факторов (аксиальная неравномерность тока в проводниках обмотки, вносимые индуктивное X_2 и активное R_2 сопротивления загрузки). Собственная электрическая емкость C_1 и индуктивность L_1 обмотки индуктора рассчитывается как для плоской секции с чередующимися ленточным проводником.

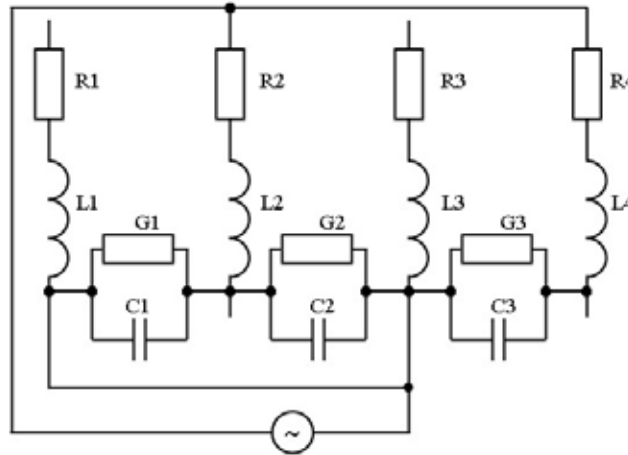


Рис. 2. Электрическая схема замещения секции индуктора с самокомпенсацией при четном количестве проводников

При расчете индуктивности обмотки необходимо учитывать, что плотность тока в аксиальном направлении уменьшается от места ввода тока к периферии, т. е. $j_a = i(x)$. Таким образом, индуктивность плоской секции L_1 , Гн можно считать эквивалентной проводнику прямоугольного сечения, имеющего те же размеры, что и секция и рассчитать по формуле [2]

$$L_1 = \frac{\mu_0 \cdot l}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{b + h} + 0,5 + 0,223 \frac{b + h}{l} \right),$$

где l , h , b — длина, высота и толщина секции соответственно, см.

Так как все проводники секции индуктора работают в электромагнитном поле, созданном током индуктора, то взаимное влияние этих проводников друг на друга определится как взаимная индуктивность двух одинаковых прямоугольников с параллельными сторонами

$$M = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \left[l \cdot \ln \left(\frac{1 + d_1}{1 + D} \cdot \frac{d_2}{x} \right) + h \cdot \ln \left(\frac{h + d_2}{h + D} \cdot \frac{d_1}{x} \right) + 2 \cdot (D - d_1 - d_2 + \delta) \right],$$

при $d_1 = \sqrt{l^2 + \delta^2}$, $d_2 = \sqrt{h^2 + \delta^2}$, $D = \sqrt{l^2 + h^2 + \delta^2}$,

где δ — толщина диэлектрика, см.

Собственная емкость секции индуктора C_1 , пФ рассчитывается по формуле [3] для плоской многопластинчатой секции, собранной из N проводников, соединенных через один параллельно

$$C_1 = \frac{0,0884 \cdot \epsilon \cdot h \cdot l \cdot (N - 1)}{\delta},$$

При приближении загрузки к рабочей области индуктора, ее влияние сказывается в увеличении активного сопротивления системы на величину вносимого активного сопротивления $R_{вн}$, что связано с потреблением активной мощности индуктором из сети и передачей ее в нагрузку. Вместе с тем, реактивное сопротивление системы уменьшается на величину реактивного вносимого сопротивления $X_{вн}$, что объясняется размагничивающим действием загрузки на ток в индукторе.

Таким образом, суммарное реактивное сопротивление системы X_{Σ} , Ом будет равно

$$X_{\Sigma} = X_{L1} - X_{C1} - k_{св}^2 \cdot X_{L2},$$

где X_{L1} , X_{C1} — индуктивное и емкостное сопротивления индуктора соответственно, Ом; X_{L2} — индуктивное сопротивление загрузки, Ом; $k_{св}$ — коэффициент связи.

Вносимое активное сопротивление $R_{вн}$, Ом, равно активному сопротивлению загрузки R_2 и определяется по формуле

$$R_{вн} = \frac{\rho_2 \cdot l}{h \cdot b},$$

где ρ_2 — удельное электрическое сопротивление материала загрузки, Ом·м.

Вносимое реактивное сопротивление $X_{вн}$, Ом, равно реактивному сопротивлению загрузки X_2 . Индуктивность загрузки L_2 , Гн, определяется по формуле для прямоугольного проводника с током с поперечным сечением, равным глубине проникновения электромагнитной волны в материал загрузки Δ , м.

$$L_2 = \frac{\mu_0 \cdot l}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{h + b} + 0,5 \right),$$

$$\Delta_3 = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho_k}{\mu_k \cdot f}}.$$

Индекс k в формуле соответствует 1 при расчете Δ_3 для индуктора и 2 при расчете Δ_3 для загрузки.

Коэффициент связи между индуктором и нагрузкой определяется по формуле

$$k_{CB} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot M_{12}}{\sqrt{R_{ВН}^2 + X_{ВН}^2}},$$

где M_{12} — взаимная индуктивность между индуктором и нагрузкой, Гн.

Взаимная индуктивность M_{12} определяется для двух одинаковых прямоугольников с параллельными сторонами.

Представленная методика расчета реализована в виде программы REZONANS PL (рисунок 3), созданной в программной среде Borland DELPHI для функционирования в оболочке WINDOWS. С использованием указанной программы проведен расчет резонансного режима плоского индуктора с самокомпенсацией реактивной мощности в широком диапазоне влияющих факторов: частоты источника питания, уровня охлаждения, металла обмотки индуктора, материала изолирующего диэлектрика, геометрических размеров пакета индуктора.

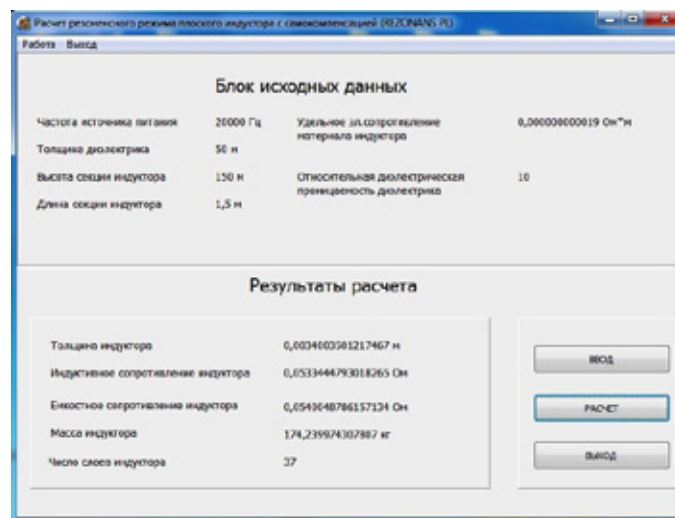


Рис. 3. Панель исполнительного модуля программы REZONANS PL

Результаты исследований в виде графических зависимостей представлены на рисунках 4÷7.

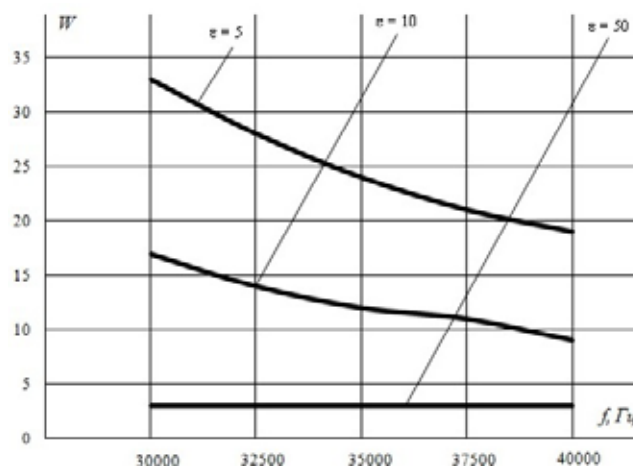


Рис. 4. Зависимость числа W слоев пакета индуктора от частоты f источника питания при различной ε диэлектрика и охлаждении на уровне 77 К

Исследования показали, что наиболее существенное влияние на число слоев W пакета индуктора оказывают следующие параметры: частота источника питания f ; толщина изолирующего диэлектрика δ ; относительная диэлектрическая проницаемость ϵ материала диэлектрика. Анализ зависимости W и расхода цветного металла G от ϵ изолирующего диэлектрика при разных частотах f источника питания, уровнях охлаждения, материалах токоведущего проводника показал их схожий характер.

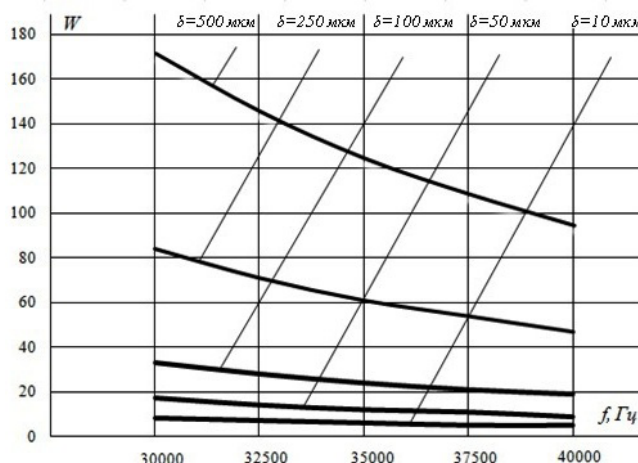


Рис. 5. Зависимость числа W слоев пакета индуктора от частоты f источника питания при различной толщине δ диэлектрика и охлаждении на уровне 77 К

При изменении частоты от 30 кГц до 40 кГц число слоев уменьшается с 33 до 19 или на 42 % при относительной диэлектрической проницаемости изолирующего диэлектрика $\epsilon = 5$. С увеличением ϵ до 50 это изменение стремится к нулю (рисунок 4). В интервале изменения ϵ с 5 до 50 число слоев пакета индуктора снижалось в 10 с лишним раз на частоте 30 кГц, с увеличением частоты до 40 кГц это изменение уменьшалось до 6 раз. При этом понижение уровня охлаждения с азотного (77 К) до неоновоего (27 К) и водородного (20 К) не сказывается на приведенных цифрах.

Существенным средством влияния на число слоев W пакета индуктора следует считать толщину изолирующего диэлектрика δ .

При изменении частоты от 30 кГц до 40 кГц число слоев уменьшается с 170 до 95 или на 44 % при толщине изолирующего диэлектрика $\delta = 500$. С уменьшением δ до 10 мкм число слоев пакета снижается с 40–47 %-ным уменьшением и в итоге, также стремится к нулю (рисунок 5). В интервале изменения δ с 500 до 10 число слоев пакета индуктора снижалось в 17 лишнем раз на частоте 30 кГц, с увеличением частоты до 40 кГц это изменение уменьшалось до 11 раз. Изменение уровня охлаждения с азотного (77 К) до неоновоего (27 К) и водородного (20 К) также не сказывается на приведенных цифрах.

Влияние площади активной части пакета индуктора на исследуемые параметры оказывается ожидаемо пропорциональным и сравнительно не очень значительным.

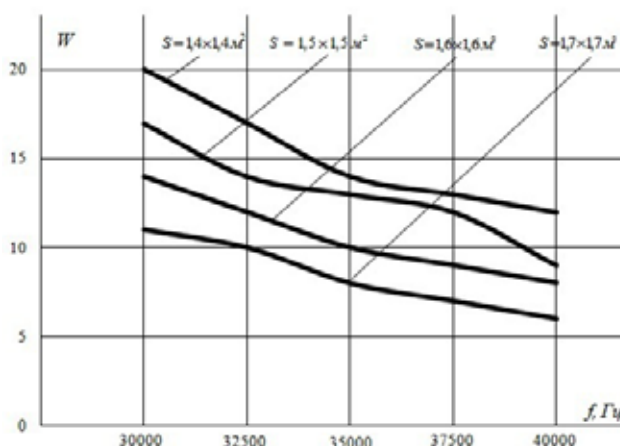


Рис. 6. Зависимость числа W слоев пакета индуктора от частоты f источника питания при различной площади S пакета и охлаждении на уровне 77 К

При изменении частоты от 30 кГц до 40 кГц число слоев уменьшается с 20 до 14 или на 30 % при площади активной части $1,4 \times 1,4 \text{ м}^2$. С увеличением S до $1,7 \times 1,7 \text{ м}^2$ число слоев пакета снижается с 40—47 %-ным уменьшением (рисунок 6). В интервале изменения δ с 500 до 10 число слоев пакета индуктора снижалось в 1,8 раза на частоте 30 кГц, с увеличением частоты до 40 кГц это изменение увеличилось до 2 раз.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 7, следует сказать, что число слоев W пакета индуктора перестает зависеть от частоты f при относительной диэлектрической проницаемости ϵ от 50 и выше. До этого значения изменение числа слоев происходит в приемлемом диапазоне, как по частоте источника питания f , так и по ϵ .

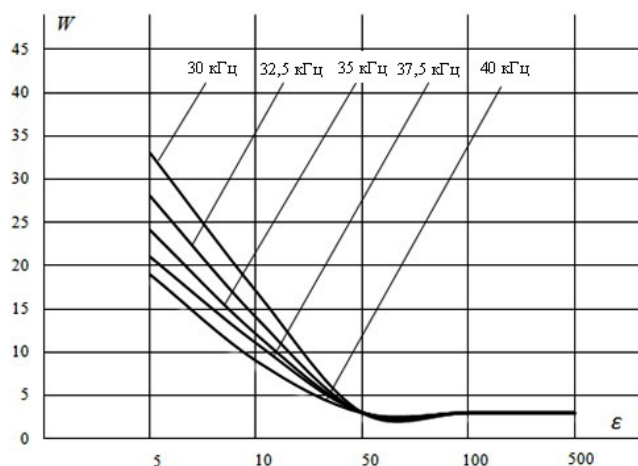


Рис. 7. Зависимость числа W слоев пакета индуктора от ϵ диэлектрика при различной частоте источника питания f и охлаждении на уровне 77 К

Традиционные полимерные материалы, перспективные для использования в индукционных системах с емкостной связью имеют относительную диэлектрическую проницаемость ϵ в диапазоне 3—5, что делает затруднительным их использование в индукторах, работающих в области промышленной частоты с приемлемым числом слоев W пакета и расходом цветного металла G . Рабочий диапазон для индукционных систем с подобным ϵ следует определить как 30 кГц и выше. Наиболее перспективным для использования в электроэнергетике на современном этапе следует считать композитные материалы на основе матрицы из смеси полимеров поливинилиденфторида (ПВДФ, фторопласт-2), полиамидбензимидазола (ПАБИ) и пьезокерамики НЦТС-1 в качестве наполнителя, а также ПВДФ с модифицирующей добавкой углеродных наночастиц и т.д. Подобные полимерные соединения с высоким удельным энергосодержанием (более 10^5 Дж/м^3) проходят всесторонние исследования. Ожидается, что эти материалы должны обладать следующими электрофизическими характеристиками: высокими значениями диэлектрической проницаемости ϵ , электрической и механической прочности, удельного объемного сопротивления, а также малым значением тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$) в широком диапазоне частот внешнего электрического поля и рабочих температур [4, 5].

Исходя из тех же условий, наиболее привлекательными диэлектрическими материалами для низкочастотных индукционных систем с емкостной связью являются сегнетоэлектрические материалы, имеющие ϵ 10^3 и более.

Во многих случаях при сравнении различных вариантов индукторов с самокомпенсацией реактивной мощности показательным может являться не число слоев пакета индуктора, а его масса, которая определяется по формуле

$$G = h \cdot L \cdot \left[\left(g_m \cdot W \cdot \frac{\Delta_3}{2} \right) + (W - 1) \cdot g_d \cdot \delta \right],$$

где g_m , g_d — удельный вес металла пакета индуктора и диэлектрика соответственно, кг/м^3 ; Δ_3 — глубина проникновения электромагнитной волны в материал проводника обмотки индуктора, м.

Существенным является то, что для плоских индукционных систем с емкостной связью не обнаружена зависимость между глубиной охлаждения металла пакета индуктора и числом его слоев, как это характерно для цилиндрических индукционных систем с самокомпенсацией реактивной мощности. Исследования показали, что охлаждение пакета индуктора и степень ее глубины влияет только на массу металла активной части пакета индуктора, но не на длину самокомпенсации, а, следовательно, на его резонансные характеристики.

Это объясняется тем, что снижение температуры охлаждения пакета индуктора с 77 К до 20 К напрямую влияет только на глубину проникновения электромагнитной волны в металл Δ_3 и приводит к ее уменьшению. Принятая соизмеримость Δ_3 и толщины разноименных проводников пакета индуктора позволяет использовать в качестве металла пакета тонкие металлические ленты из меди или алюминия. Таким образом, относительная толщина используемых лент

и определяет массу активной части металла пакета и ее диапазон изменения, а на резонансный режим плоского индуктора напрямую влияют частота источника питания f , относительная диэлектрическая проницаемость материала диэлектрика и его толщина ϵ , δ , а также габаритные показатели пакета индуктора.

Литература:

1. Калантаров, П. Л., Цейтлин, Л. А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. Л.: Энергоатомиздат. 1986. — 488 с.
2. Иоссель, Ю. Я., Кочанов, Э. С., Струнский, М. Г. Расчет электрической емкости. Л.: Энергоиздат. 1981. — 288 с.
3. A. B. Kuvaldin, N. F. Andryushin, I. V. Zakharov. Analysis of the electrical and energy parameters of a multilayer inductor with self-compensation of reactive power. Great Britain, Electrical Technology, 1995, No. 3.
4. Данилов, А. Ю., Пахомов П. М., Малышкина О. В., Платонова И. В. Исследование диэлектрических свойств композиционного материала на основе матрицы из смеси полимеров поливинилиденфторида и полиамидбензимидазола // Ползуновский вестник. — 2009. — №3.
5. Гефле, О. С., Лебедев С. М., Ткаченко С. Н. Влияние модифицирующей добавки нанопорошка никеля на основные электрофизические характеристики поливинилиденфторида // Известия Томского политехнического университета. — 2007. — Т. 310. — №3.

7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Комплексная мелиорация уплотнённых почв на орошаемых землях в условиях Туркменистана

Данатаров Агахан, кандидат технических наук, главный специалист
Министерство охраны природы Туркменистана (г. Ашхабад)

Рассматривается метод поддержания плодородия орошаемых земель с помощью комбинированного устройства для глубокого рыхления грунта с одновременным внутривспашечным внесением ЖОМУ.

Приводится схема устройства и описывается принцип его работы. Экспериментальными исследованиями установлено, что данное устройство отличается от известных аналогов совокупностью признаков, обеспечивая подготовку почвогрунта на глубину и ширину возделываемого рядковым способом растения при одновременном внесении ЖОМУ в слои разрыхлённой почвы на весь её объём.

Complex melioration of the condensed soils on irrigated lands in the conditions of Turkmenistan

There consider the method of support of fertility of irrigated lands by means of combined device for deep loosening of ground with simultaneous intersoil introduction of liquid organomineral fertilizations.

There is given a device scheme and described a principle of its work. By means of experimental researches there is established that the device differs from known analogues by the complex of signs, providing the preparation of soil on the depth and width of cultivated by row plant method at the simultaneous introduction of liquid fertilizations into layers of loosen soil on the whole of its volume.

Key words: *the combined device for deep loosening of soil with simultaneous intra soil introduction of liquid organic and mineral fertilizers.*

Уплотняющее воздействие машинно-тракторных агрегатов не только затрудняет эффективность промывных поливов и дренирования, но также нарушает водно-воздушный режим почвы, ухудшает питание растений, снижает урожайность сельскохозяйственных культур, а также усиливает эрозию почвы. Низкая культура земледелия на орошаемых полях привела к значительному ухудшению мелиоративной обстановки на хлопковых системах. При этом до 50% поливной воды отводится дренажной сетью безвозвратно, что приводит к истощению водных ресурсов и повышению эксплуатационных затрат орошаемого гектара.

Результаты исследований использованы при разработке принципиально новых конструкций ПР-50 и кротователей-рыхлителей, которые воплощены в НАД-2–60, прошли ведомственные приемочные испытания Госагропрома Туркменистана. Изготовлено и передано хозяйствам Туркменистана более 40 единиц оборудования. В течение 1990–1994 гг. с использованием НАД-2–60 обработано более 20 тыс. га тяжелых орошаемых земель

аридной зоны. А также, повышение эффективности использования жидких органических и минеральных удобрений (ЖОМУ) путем совершенствования агрегата для подпочвенного внесения.

В течение 2010–2013 гг. на базе НАД-2–60 разработана технология и рабочее оборудование универсальной агро-мелиоративных машин для внесения ЖОМУ НАД-2–60М, позволяющие улучшить мелиоративное состояние тяжелых почв орошаемых земель аридной зоны.

Технология разработана с учетом грунтовых условий и биологических требований к развитию корневой системы хлопчатника. Жидкий навоз является прекрасным органическим удобрением и для его внесения вместе с растворёнными в нём минеральными удобрениями можно использовать стандартные ёмкости объёмом 4–10 м³. Для перекачивания жидкого навоза используется типовой шламовый насос. При этом существенно экономятся затраты на удобрения и на топливо для тракторов, вследствие чего растут доходы сельхозпроизводителя.

Обеспечивает разработку и удобрение почвогрунта в условиях его высокой прочности только на объём корневой системы возделываемого рядковым способом культурного растения, что существенно снижает расход топлива при подготовке грунта к возделыванию данной культуры по сравнению со сплошным рыхлением поля. Готовый, приготовленный в стационарных условиях питательный раствор, доставляется на поле и заливается в агрегат, который осуществляет реализацию на практике предпосевной обработки тяжёлой, малопроницаемой почвы под культуру рядкового посева в условиях орошения.

Присутствие органического вещества в почве способствует созданию агрегатов, новых по качеству структурных формирований. А это уже переход на новый качественный уровень, ведущий к прогрессивному увеличению информации, появлению новых связей и соответственно новых свойств, расширению функциональных возможностей почв. Предельно допустимую норму навоза определяют по содержанию азота, необходимого для получения планируемого урожая хлопчатника при соответствующей компенсации за счет минеральных удобрений фосфора и калия.

Прибавка урожая хлопчатника возрастает при совместном внесении навоза с минеральными удобрениями. Дозы и состав минеральных удобрений дифференцируются по этапам вегетационного периода роста растения.

В результате внесения комплексных удобрений происходит формирование благоприятного водного, воздуш-

ного, теплового, светового и пищевого режима в почве за счёт её глубокого рыхления с одновременным внесением ЖОМУ на всю глубину разрыхлённого корнеобитаемого слоя. Сочетание органических и комплексных минеральных удобрений способно быстрее поднять плодородие почвы, чем использование каждого вида удобрений в отдельности. Улучшение водопроницаемости и водного режима при глубоком рыхлении почвы связано с улучшением воздухопроницаемости аэрации. Этот комплекс условий благоприятствует развитию микробиологической деятельности и улучшению количества растворимых питательных веществ во всём корнеобитаемом слое культурных растений.

Обоснована технология нарезки АД и рыхления подпахотного слоя глубокорыхлителем НАД-2—60, которая позволяет улучшить агротехнические показатели работы орудий при наименьших энергетических затратах. При этом значительно улучшается экологическая обстановка, сокращается поливная и промывная норма до 30 %, предотвращаются повышения уровня грунтовых вод и процесс засоления.

Универсальная агромелиоративная машина НАД-2—60М в качестве почвозащитной и энергоёмкой технологии, экономит органические удобрения в 4—5 раза, снижают потери минеральных удобрений: фосфора 40—50 %; азота 33 %; калия 12 %, укрепляет почву и корни хлопчатника, повышает урожай на 7—10 ц/га.

Выбор перспективного полиэтилена марки ПЭ-100 и направления его переработки

Петухова Евгения Спартаковна, кандидат технических наук
Институт проблем нефти и газа СО РАН (г. Якутск)

В настоящее время основным направлением расширения ассортимента полимерных материалов является разработка методов модифицирования полимеров на различных стадиях их получения и переработки. Полиэтилен (ПЭ) высокой плотности, являясь одним из основных материалов для изготовления трубопроводов различного назначения, занимает и одно из ведущих мест среди термопластов по разнообразию получаемых на его основе материалов [1].

ПЭ100 обладает хорошими технологическими свойствами. Считается, что, несмотря на высокую вязкость расплава (ПТР находится в диапазоне 0,2—0,5 г/10 мин.), наличие в расплаве более низкомолекулярной фракции играет роль смазки и облегчает экструзию полимера. Производство труб не вызывает особых проблем и не предъявляет дополнительных требований к современному оборудованию [2—3].

Одним из возможных способов повышения механической прочности, трещиностойкости и ударной вязкости

полимерных материалов является их модификация углеродными волокнами. Благодаря уникальным прочностным свойствам волокнистые наполнители используются для комплексного улучшения физико-механических свойств композиционных конструкционных материалов.

Выбор углеродного волокна для армирования трубных марок полиэтилена представляется перспективным, так как именно в этих изделиях желательны проявление анизотропных свойств, когда в продольном сечении необходима повышенная гибкость, а в поперечном — высокая прочность материала. Однако следует учитывать, что механизм действия на полимерную матрицу в первую очередь будет определяться химической природой волокна [4, 5].

В настоящее время существует необходимость повышения надежности, безопасности и эффективности эксплуатации техники и трубопроводов нефтегазового комплекса. Особенно остро данная проблема стоит в регионах Российского Севера, для которого характерны экстремальные климатические условия.

Кроме того, возможность использования анизотропных свойств этих материалов открывает совершенно новое поле деятельности для проектировщиков. Так, по-видимому, проявление анизотропных свойств будет перспективным при создании полиэтиленовых трубопроводов, когда в продольном сечении необходима повышенная гибкость, а в поперечном — высокая прочность материала.

В качестве полимерной матрицы выбран трубный полиэтилен марки ПЭ100 следующих производителей:

- 1) марка ПЭ2НТ11—9, производства ОАО «Казаньоргсинтез» (Россия);
- 2) марка PE 6949C black (486H3), производства ОАО «Нижнекамскнефтехим» (Россия);
- 3) марка PE 6949C (486H3), производства ОАО «Нижнекамскнефтехим» (Россия);
- 4) LH4100BL производства «Daelim Industrial Co., Ltd» (Корея);
- 5) H1000PC, производства «SCG Plastics Co. Ltd» (Тайвань).

Физико-механические характеристики композитов исследовали на универсальной разрывной машине UTS-2 согласно ГОСТ 11262—80. Температуру плавления и степень кристалличности исследовали методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе F1 Phoenix фирмы NETZSCH.

Основной задачей при выборе оптимальных технологических режимов переработки является изучение влияния наполнителей на реологические характеристики ПКМ.

Смешение ингредиентов проводили на стандартном смесительном оборудовании в пластикордере «Brabender» в при температуре 170°C с общим временем 10 мин. Для более точного выбора значений вязкости, напряжений сдвига и других данных, необходимых для расчета оборудования, пользуются экспериментальными кривыми, полученными для отдельных марок полиэтилена в определенных условиях переработки. Быстрее всех в расплав переходит H1000PC⁵ (Тайвань). ПЭ 100 обладают хорошими технологическими свойствами. Считается, что, несмотря на высокую вязкость расплава (ПТР находится в диапазоне 0,2—0,5 г/10 мин.), наличие в расплаве более низкомолекулярной фракции играет роль смазки и облегчает смешение полимеров.

Исследование степени кристалличности полученных материалов осуществлялось методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе F1 Phoenix фирмы NETZSCH.

Известно, что ПЭ 100 характеризуются высокой кратковременной прочностью и высокой стойкостью к растрескиванию. Бимодальное молекулярно-массовое распределение достигается за счет целенаправленного ведения технологического процесса (чаще всего по двухреакторной схеме). При этом получают две ярко выраженных

группы макромолекул — длинноцепных и короткоцепных. Сомономер вводится в высокомолекулярную часть полимера, что обеспечивает высокую стойкость полиэтилена к растрескиванию. Низкомолекулярная часть полимера образует кристаллические области, за счет которых повышается прочность, длительная и кратковременная.

Более высокая степень кристалличности обнаружена у ПЭВП марок H1000PC производства «SCG Plastics Co. Ltd» (Тайвань), LH4100BL производства «Daelim Industrial Co., Ltd» (Корея) и ПЭ2НТ11—9 (ОАО «Казаньоргсинтез»). Следует отметить, что среди пяти исследованных образцов полимеров H1000PC имеет наиболее большое значение степени кристалличности. С одной стороны, это хорошо, поскольку присутствует в явном виде сочетание прочностных свойств и перерабатываемости, с другой стороны, при переработке возможны на поверхности образцов образование «бугров», что может быть связано с протеканием реакций структурирования (разветвленность и сшивка) в высокомолекулярной части полимера.

Основной причиной, вызывающей различия в свойствах ПЭ, является разветвленность макромолекул: чем больше разветвлений в цепи, тем выше эластичность и меньше кристалличность полимера. Разветвления затрудняют более плотную упаковку макромолекул и препятствуют достижению степени кристалличности 100%; наряду с кристаллической фазой всегда имеется аморфная, содержащая недостаточно упорядоченные участки макромолекул. Соотношение этих фаз зависит от способа получения ПЭ и условий его кристаллизации.

Установлено, что наиболее высокими значениями физико-механических свойств обладают ПЭ100 марок «Тайвань» и «НК белый». «НК черный» характеризуется низким значением предела текучести, однако, удлинение при разрыве достигает 1000% и более. Промежуточное положение занимает ПЭ100 производства Казаньоргсинтез, его свойства близки к свойствам ПЭ80Б, применявшимся нами ранее.

Таким образом, физико-химический анализ качества полимерных материалов, включая теплофизические характеристики (степень кристалличности), исследования вязкости и реологии расплава позволит прогнозировать поведение материала в реальных условиях переработки или объяснить причину некоторых негативных эффектов, возникающих при изготовлении товарного продукта. ПЭ100, синтезированные различными производителями характеризуются различными показателями физико-механических свойств. Наиболее высокими показателями характеризуются ПЭ100 «Тайвань» и «НК белый», наиболее низкими ПЭ100 «НК черный» и ПЭ100 «Корея», свойства ПЭ100 «Казаньоргсинтез» близки к свойствам ПЭ80 «Корея».

Литература:

1. <http://www.truba-da.ru/information/obzor-polietilenov-marok-pe63-pe80-pe100>

2. <http://www.simplexnn.ru/?id=6882>
3. <http://www.camelotplast.ru/info/polietilen-pe2nt11,-9.php>
4. Семенова (Петухова) Е. С., Саввинова М. Е., Соловьева С. В. Применение макроуглеродных волокон для модификации трубного полиэтилена ПЭ80Б // Новые материалы и технологии в машиностроении. Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Выпуск 13. Брянск: БГИТА, 2011. с. 94–97
5. Соколова, М. Д., Шадрин Н. В., Давыдова М. Л., Сафронов А. Ф. Исследование межфазного взаимодействия в полимерэластомерных композициях методом атомно-силовой микроскопии // Электронный журнал «Инженерный Вестник Дона», 2010. №4. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/262>

Исследование углепластиков трубного назначения на основе полиэтилена марки ПЭ80Б

Саввинова Мария Евгеньевна, кандидат технических наук
Институт проблем нефти и газа СО РАН (г. Якутск)

В настоящее время широкое применение нашли полиэтиленовые трубы. Полиэтилен высокой плотности (низкого давления), являясь одним из основных материалов для изготовления трубопроводов различного назначения, занимает одно из ведущих мест среди термопластов по разнообразию получаемых на его основе материалов. Однако уровень прочностных характеристик существующих трубных марок полиэтиленов отечественного и зарубежного производства недостаточен для применения в условиях севера России.

Существующее многообразие добавок различного функционального назначения, нанопорошков, способных даже при небольших степенях наполнения кардинально изменить эксплуатационные характеристики полимеров, волокнистые армирующие наполнители, создают предпосылки для получения высокоэффективных трубных композиционных материалов, способных эксплуатироваться в экстремальных климатических условиях Севера России, для которого характерны большие перепады температур, как в течение года, так и в пределах суток.

В качестве армирующей макродобавки использовались углеродные волокна двух типов: УВИС АК-П (волокнистый материал на основе гидрата целлюлозы) и УКН-М (волокнистый материал на основе полиакрилонитрила), производства ООО «НПЦ УВИКОМ». Выбранные наполнители представляли собой рубленные волокна длиной 6–7 мм и диаметром 5–8 мкм.

Углеродные нановолокна были синтезированы в Институте катализа СО РАН. Разработанная технологическая установка каталитического пиролиза метансодержащего сырья позволяет получить углеродные нановолокна трех основных морфологических конфигураций — коаксиально-конической (55БР-ККМ), перистой (43БР-ПМ) и стопчатой (51БР-СМ) с длинами 1–50 мкм и диаметрами 10–50 нм.

Для исследования возможности использования наногликоидных волокон с целью усиления адгезионной связи

между макроволокном и полимерной матрицей были выбраны два технологических подхода. Первый подход заключался в использовании бинарного углеродного наполнителя, содержащего макро- и нановолокно. Второй подход предусматривал наращивание наногликоидных волокон на поверхности макроволокон. Поверхностно-модифицированные макроуглеродные волокна представляют собой макроволокна марки УНМ-М с наращенными на их поверхности нановолокнами, с различным массовым приростом. Массовый прирост нановолокон определялся количеством катализатора, вводимого в реакционную смесь: 66МР (катализатор — 1% Ni/C, прирост 22,3 мас. %); 67МР (катализатор — 2,5% Ni/C, прирост 24,3 мас. %); 68МР (катализатор — 5% Ni/C, прирост 32,5 мас. %).

Процесс получения полимерного композиционного материала (ПКМ) модифицированного углеродным наполнителями в трубных технологиях представляет сложную технологическую проблему, так как в зависимости от предназначения получаемых изделий, их размера и формы технологический процесс изготовления заготовок должен меняться.

В результате анализа проблем, возникающих при разработке материалов конструкционного назначения, выявлены приоритетные направления, связанные с созданием дисперсно-армированных материалов на полимерной основе, а именно:

— разработка технологии изготовления изделий, позволяющей максимально полно реализовать анизотропные свойства волокон, обеспечить необходимую адгезию к полимерной матрице и равномерное распределение волокон по объему материала при переработке ПКМ методом экструзии;

— целенаправленный выбор состава ПКМ, способствующего достижению высокого значения служебных характеристик.

При совмещении углеродных наполнителей с полимером необходимо учитывать следующие основные мо-

менты. С одной стороны, необходимо сохранять физическую целостность наполнителя без разрушения его структуры. С другой стороны, необходимым условием равномерного распределения частиц наполнителя в полимерном связующем является интенсивное перемешивание компонентов ПКМ. Кроме этого, следует учесть, что процессы смешивания компонентов ПКМ в экструдере и получение гомогенной смеси затруднены вследствие склонности волокон к агломерации [1–3]. Поэтому модельные образцы были изготовлены традиционным способом: композиционные смеси получали смешением полиэтилена и углеродных наполнителей в пластикордере «Брабендер» при температуре 170 °С (в расплаве) и скорости вращения валков 30 об./мин. Полученные смеси прессовали на прессе П 100–400 при нагрузке 0,1 МПа и температуре 170 °С. Смешение компонентов композиции в расплаве позволило обеспечить хорошее «схватывание» волокон пластичным связующим [4].

Установлено, что введение 10 мас. % углеродных волокон марки УВИС АК-П приводит к повышению предела текучести на 17 % и модуля упругости на 55 %, а использование волокон марки УКН-М приводит к повышению аналогичных характеристик на 12 и 52 %, соответственно. Применение углеродных волокон марки УКН-М приводит к повышению значений показателя трещиностойкости полиэтилена, введение в полимерную матрицу волокна марки УВИС АК-П приводит к снижению исследуемого показателя.

Принимая во внимание геометрические размеры углеродных нановолокон, была предпринята попытка применить их в качестве модифицирующей добавки к трубному полиэтилену ПЭ80Б [4]. Количество вводимых углеродных волокон составляло 0,1–1,0 мас. %.

Установлено, что применение углеродных нанонитей позволяет повысить модуль упругости на 10 % по сравнению с композитом, не содержащим нанонити, и на 65 % по сравнению с немодифицированным ПЭ80Б, т. е. жест-

кость системы повышается, следовательно, адгезионное взаимодействие между компонентами композита усиливается. Кроме того, применение углеродных нанонитей позволило повысить предел текучести исследованных материалов до 23 %.

Отрицательным результатом при этом является значительное снижение относительного удлинения при разрыве. С целью снижения этого негативного явления дальнейшие исследования были направлены на использование в качестве наполнителей углеродных макроволокон с напыленными на их поверхности нановолокнами.

Установлено, что в композите ПЭ80Б, содержащем 10 мас. % модифицированных углеродных волокон с массовым приростом нановолокон 24,3 мас. % предел текучести увеличивается на 24 %, а модуль упругости на 34 % по сравнению с ненаполненным полиэтиленом. Физико-механические характеристики остальных композитов, содержащих поверхностно-модифицированных макроволокон, практически не меняются.

Таким образом, исследования влияния углеродных волокон на свойства полиэтилена марки ПЭ80Б показали, что эффективность армирующего воздействия углеродных волокон на полимерную матрицу определяется их поверхностными характеристиками. Наиболее высокими физико-механическими характеристиками отличаются композиты, содержащие углеродное волокно марки УКН-М, поверхность которых отличается наличием технологических дефектов. Для усиления адгезионного взаимодействия в системе макроволокно — полимерная матрица были использованы наноуглеродные волокна, синтезированные в ИК СО РАН. Их применение, как компонента бинарного наполнителя, либо в качестве поверхностного модификатора макроуглеродных волокон, привело к существенному повышению предела текучести и модуля упругости полиэтиленовых композитов. Полученные результаты соответствуют известным литературным данным для других полиолефинов [5–10].

Литература:

1. Миллер, Т. Н. Плазмохимический синтез и свойства порошков тугоплавких соединений // Неорганические материалы. — 1979. — № 4. — с. 557–561.
2. Шпат, А. А., Циелен У. А., Крот О. И. Получение и свойства высокодисперсных порошков плазмохимического синтеза // Физикохимия ультрадисперсных соединений. — Рига: Зинатне, 1989. — с. 194–195.
3. Охлопкова, А. А., Петрова П. Н., Слепцова С. А., Ючюгяева Т. С., Гоголева О. В. Полимерные композиты с адаптивными к условиям эксплуатации свойствами // Сб. тр. XXIV межд. конф. «Композиционные материалы в промышленности. Славпо-ликом», 31 мая–4 июня 2004 г., Ялта. — с. 194–196.
4. Саввинова, М. Е., Петухова Е. С. Выбор перспективных наполнителей для полиэтиленов ПЭ80Б и ПЭ2НТ11 // Электронный журнал «Инженерный Вестник Дона», 2013. № 1. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1518>
5. Охлопкова, А. А., Петрова П. Н., Слепцова С. А., Гоголева О. В. Полиолефиновые композиты триботехнического назначения для узлов трения автомобилей // Химия в интересах устойчивого развития. — 2005. — Т. 13. — с. 797–803.
6. Охлопкова, А. А., Петрова П. Н., Гоголева О. В. Разработка полимерных триботехнических материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и нанодисперсных соединений // Наука и образование. — 2006. — № 1. — с. 78–82.

7. Петрова, П. Н., Гоголева О. В., Попов С. Н. Самосмазывающиеся триботехнические материалы на основе политетрафторэтилена // Сб. тез. докл. межд. науч. конф. «Полимерные композиты и трибология». Поликом-триб-2007. — Беларусь, Гомель, 2007. — с. 63–64.
8. Охлопкова, А. А., Петрова П. Н., Гоголева О. В. Самосмазывающиеся материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена // Сб. материалов 27 международной конференции «Композиционные материалы в промышленности». — Крым, г. Ялта, 2007, с. 426–428.
9. Бабенко, Ф. И., Сухов А. А., Федоров Ю. Ю. Влияние факторов холодного климата на прочность и трещиностойкость дисперсно-армированных термопластов // Электронный журнал «Инженерный Вестник Дона», 2011. № 4. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/551/>
10. Соколова, М. Д., Шадрин Н. В, Давыдова М. Л., Сафронов А. Ф. Исследование межфазного взаимодействия в полимерэластомерных композициях методом атомно-силовой микроскопии // Электронный журнал «Инженерный Вестник Дона», 2010. № 4. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/262>

Диффузия азота в нержавеющей стали

Федоров Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент
Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар)

В настоящее время для повышения долговечности деталей машин и режущего инструмента широкое распространение получили методы поверхностного легирования и нанесения износостойких, защитных покрытий. Среди методов химико-термической обработки наиболее технологичными, экономически выгодными представляются методы насыщения в тлеющем разряде. Способ химико-термической обработки в тлеющем разряде занял прочное место среди традиционных способов химико-термической обработки в газовых средах. Накопленный к настоящему времени экспериментальный материал по химико-термической обработке в тлеющем разряде свидетельствует о больших возможностях открывающихся как в чисто утилитарном плане, так и в плане дальнейшего развития этого способа. При использовании тлеющего разряда складываются более благоприятные условия для процессов адсорбции и хемосорбции диффундирующего элемента, что сказывается на ускорении диффузионного процесса. Среди различных процессов химико-термической обработки стали, азотирование стали — один из наиболее надежных методов повышения долговечности разнообразных деталей ответственного машиностроения, работающих в условиях сильного износа, усталостных нагрузжений и воздействия агрессивных сред [1].

В ответственных деталях машин и оборудования широкое применение нашли легированные стали обладающие особыми свойствами, среди которых особое положение занимают нержавеющие стали, обладающие высокой стойкостью против коррозии. Из всех нержавеющих сталей наибольшее применение находят аустенитные нержавеющие стали. Они имеют высокие антикоррозионные свойства, достаточно высокую прочность, высокую пластичность, хорошую свариваемость. Основными жаропрочными аустенитными сталями явля-

ются хромоникелевые стали типа 08X18H10T, применяемые для изготовления клапанов двигателей, лопаток газовых турбин и т. д., когда рабочая температура составляет 500...700°C.

Построение математической модели процесса катодно-плазменного азотирования [2] сводится к формализации трех основных физико-химических процессов, а именно: описанию процессов происходящих в активной среде, формализации связи между активностью среды, массопереносом (поток) диффундирующего элемента; описанию кинетики диффузионного насыщения.

Так как в случае катодно-плазменного азотирования предельная концентрация, равновесная с насыщаемой средой, достигается на обрабатываемой поверхности достаточно быстро, а кинетика скорости химических реакций на границе металл — газ обычно намного больше коэффициента диффузии, становится ясным, что интенсивность химико-термической обработки в основном определяется ее диффузионной стадией. Характер структуры диффузионной зоны, глубина ее залегания, а также характер распределения концентрации различных элементов по сечению служат теми критериями, по которым оцениваются результаты азотирования.

В случае, когда концентрация диффундирующего элемента не зависит от времени процесс диффузии описывается на основании первого закона Фика:

$$J = -D \left(\frac{dc}{dx} \right) \quad (1)$$

где J — поток диффундирующего элемента в направлении x ,

D — коэффициент диффузии, характеризующий скорость диффузии,

c — концентрация диффундирующего элемента, x — толщина диффузионного слоя.

Однако коэффициент диффузии не является независимой величиной и потому решение каждой конкретной диффузионной задачи сводится к нахождению решения второго уравнения Фика удовлетворяющего начальным граничным условиям рассматриваемой задачи:

$$\frac{\partial c(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \cdot \frac{\partial c}{\partial x} \right), \quad (2)$$

где τ — время процесса диффузионного насыщения.

В случае азотирования толщина диффузионного слоя, как правило, много меньше размера образца и потому следует рассматривать задачу диффузии в полуограниченный образец. Так как контролирующей стадией при катодно-плазменном азотировании является диффузия азота в глубь образца, что тем более верно для легированных сталей, то можно считать концентрацию азота на поверхности постоянной, не зависящей от времени. Полагая, что равновесная с окружающей средой концентрация азота на поверхности достигается за пренебрежимо малое время, а поток диффундирующего элемента на второй границе практически равен нулю в течение всего времени азотирования, получаем решение уравнения (2) в виде [1]:

$$c(x, \tau) = c^0(\tau) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot \tau}} \right) \right], \quad (3)$$

где $\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-x^2) dx$ — функция ошибок Гаусса

Из выражения (3) видно, что распределение концентрации по глубине азотированного слоя будет определяться азотным потенциалом насыщающей атмосферы, коэффициентом диффузии и длительностью процесса. Па-

раболический закон роста диффузионного слоя для своей реализации требует большого числа ограничений, которые редко выполняются на практике. Поэтому описание процесса образования диффузионного слоя на основе второго уравнения Фика следует рассматривать как моделирование реального физического процесса с помощью удобной математической модели. Определяемые из экспериментальных данных постоянные диффузии являются некими эффективными коэффициентами, учитывающими информацию о влиянии многочисленных факторов.

На рис. 1. отображено распределение концентрации азота и титана по глубине азотированного слоя на стали 08X18H10T полученное при температуре 833 К и длительности процесса химико-термической обработки в несамостоятельном разряде 2 часа.

Из рисунка хорошо видно, что азотированный слой образован вследствие реакционной диффузии и представляет собой зону соединений за исключением небольшого диффузионного участка, где концентрация азота плавно изменяется с увеличением глубины.

Сопоставление кривых распределения концентрации азота и титана обнаруживает софазность изменения их концентрации в высокоазотистой зоне азотированного слоя, что свидетельствует о наличии соединений азота с титаном (TiN_x). Значительная концентрация соединений азота с титаном, по всей видимости, и обуславливает повышенную коррозионную стойкость, так как понижается степень обеднения матрицы хромом. Несколько пониженная концентрация азота в приповерхностном слое, по всей видимости, обусловлена относительно высоким напряжением катодно-плазменного азотирования (800–2000 В), что приводит к более интенсивному, чем при ионном азотировании, распылению об-

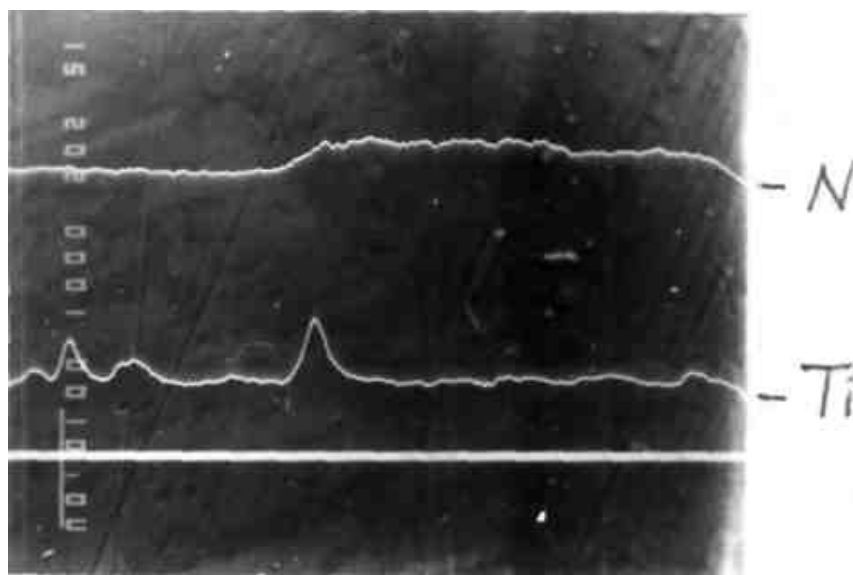


Рис. 1. Концентрационные кривые азота и титана в азотированном слое стали 08X18H10T полученные на микрорентгеноспектральном анализаторе

разующихся на поверхности высокоазотистых нитридных соединений и как бы оттеснению их вглубь азотированного слоя. В связи с этим, варьируя напряжением процесса катодно-плазменного азотирования, представляется возможным влиять на распределение концентрации азота по глубине слоя, а так же на распределение нитридных соединений в приповерхностном слое. Последнее обусловлено тем, что в приповерхностном слое концентрируются те нитриды, коэффициент распыления которых выше, а прочие образуются на некотором расстоянии от поверхности.

В случае постоянной концентрации азота на поверхности стали $c(0, \tau) = c^0(\tau) = \text{const}$ из уравнения (3) получаем:

$$\frac{x}{2\sqrt{D\tau}} = \text{const} = k$$

$$\frac{x^2}{\tau} = 4k^2 D = P$$

Имея экспериментальную зависимость $x = f(T)$ при $\tau = \text{const}$ [3] находим энергию активации из уравнения [1]:

$$Q = \frac{RT_1 T_2 \ln \frac{P_1}{P_2}}{T_2 - T_1}$$

В нашем случае $x_1 = 12,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ при $T_1 = 773 \text{ К}$ и $x_2 = 35,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ при $T_2 = 883 \text{ К}$ ($\tau = 2 \text{ ч}$). Подставив экспериментальные результаты в уравнения получаем

$Q = 108474 \text{ Дж/моль}$. Из таблиц интеграла ошибок находим

$$\frac{x}{2\sqrt{D\tau}} \approx 0,05$$

Откуда для $x_2 = 35,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ и $T_2 = 883 \text{ К}$ находим коэффициент диффузии азота в высокоазотистой фазе нержавеющей стали 08X18H10T при катодно-плазменном азотировании

$$D_\gamma = 1,75 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$$

Подставляя Q и D_γ в уравнение Аррениуса [4]

$$D = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right),$$

где $R = 8,31 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$ — универсальная газовая постоянная,

находим значение предэкспоненциального множителя (A). Таким образом, температурная зависимость эффективного коэффициента диффузии в высокоазотистой фазе нержавеющей стали 08X18H10T, при катодно-плазменном азотировании, описывается уравнением (рис. 2)

$$D_\gamma = 4,6 \cdot 10^{-5} \exp\left(\frac{-108474}{RT}\right)$$

Однако, полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что скорость диффузии азота в высокоазотистой фазе имеет максимум, и далее понижается с возрастанием температуры, что, по всей видимости, связано с интенсификацией процесса образования нитридов при более высоких температурах.

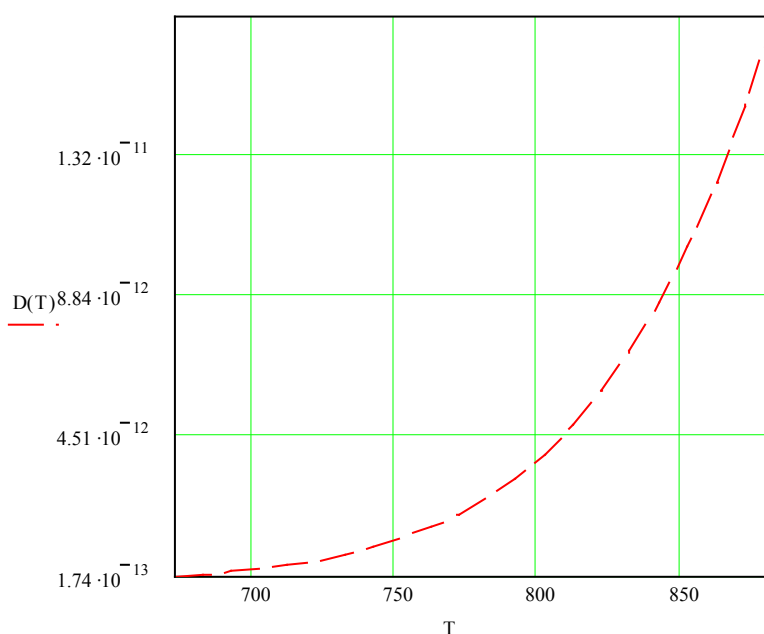


Рис. 2. Температурная зависимость эффективного коэффициента диффузии в высокоазотистой фазе нержавеющей стали 08X18H10T, при катодно-плазменном азотировании

Литература:

1. Лахтин, Ю. М., Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов. — М.: Металлургия, 1985. 255 с.
2. Федоров, А. А. Катодно-плазменное азотирование на агрегате «Булат»// Совершенствование конструкций пневмогидроарматуры: Тез. докл. научно-технического семинара. — Киев, 1987. — с. 42–43.
3. Ж. М. Бледнова, А. А. Федоров, М. И. Чаевский. Статистическое моделирование катодно-плазменного азотирования нержавеющей стали. — Черметинформация. — 1988. — №7. — с. 153.
4. Б. С. Бокштейн. Диффузия в металлах. М.: Металлургия, 1978. — 240 с.

Конечно-элементный анализ теплового состояния упругих элементов в процессе МДТМО

Шаврин Олег Иванович, доктор технических наук, профессор;

Скворцов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Рассматриваются результаты решение в программном комплексе ANSYS тепловой задачи при навивке пружины в ходе малодеформационной термомеханической обработки. Исследовано влияние материала оправки, различных охлаждающих сред и разделительного устройства на изменение теплового состояния навитой пружины в процессе последеформационной выдержки и закалки в закалочной ванне.

Ключевые слова: малодеформационная термомеханическая обработка, пружина, упрочнение

In article results the decision in program complex ANSYS of a thermal problem are considered at manufacturing of a spring during, low-deformation thermomechanical processing. Influence of a material a core, various cooling environments and the dividing device on change of a thermal condition of the wound spring in process post-deformation endurance and training in a hardening bath is investigated.

Key words: low-deformation thermomechanical processing, spring, hardening

Для конструкционных материалов и изделий, которые из них изготавливаются, под нанотехнологией нужно понимать процессы формирования каких-либо элементов структуры, получающих наноразмеры, соответствующие установленному требованию — менее 100 нм хотя бы в одном из направлений измерения. Упрочняющее воздействие наноразмерных элементов структуры — торможение дислокаций, обеспечивающее повышение сопротивления деформации под действием напряжений. Такими элементами структуры могут быть границы зерен, дисперсные выделения, границы субзерен, образующихся в результате перестроения дислокаций, образовавшихся в ходе пластической деформации, применяющейся либо при производстве металла, либо при изготовлении деталей. С точки зрения реализации нанотехнологий в производстве изделий машиностроения наиболее актуальным является создание технологий формирования наноразмерных элементов структуры металла в готовой детали.

Одной из практически реализованных технологий наносубструктурного упрочнения высоконагруженных деталей — упругих элементов, является малодеформационная термомеханическая обработка (МДТМО). Технология, технологическое оборудование, технологическая оснастка для производства пружин подвески железнодорожной техники разработаны и реализованы на вновь

созданном предприятии ООО НПЦ «Пружина» под руководством д. т. н., профессора О. И. Шаврина. Проведенные исследования показали перспективность внедренной технологии, в частности, получено значительное повышение долговечности при одинаковых условиях испытаний (200–300 тысяч циклов у пружин произведенных по обычной технологии, и более 10 млн. циклов по технологии МДТМО) снижение осадки (6 мм — у первых, 0.6 мм после МДТМО), повышение стабильности межвиткового зазора [1].

Проведение натурных экспериментов является процессом длительным и дорогостоящим. Альтернативой получения информации является использование пакетов конечно-элементного анализа. При проведении исследований использовался ANSYS v. 14.5 (лицензия — номер пользователя 607281).

Технология МДТМО винтовых пружин заключается в индукционном нагреве прутка, навивке нагретого прутка на оправку и последующей повитковой закалке с обязательной регламентированной последеформационной выдержкой. [2] Схема процесса — на рис. 1.

При непрерывно-последовательном нагреве продольно перемещающегося через секции индуктора прутка обеспечивается достаточная стабильность температуры по длине прутка и допустимый перепад по сечению. Разде-

лительное устройство (3, рис. 1) вводится для повышения производительности процесса.

Для изготовления качественных пружин важно знание теплового состояния витка навитой пружины во время последеформационной выдержки и в процессе охлаждения. Если контроль температуры поверхности возможен различными бесконтактными способами, то определение температуры по сечению при МДТМО возможно только расчетными методами [3]. После окончания обработки о тепловом состоянии в момент начала охлаждения и в его процессе можно судить по характеру структуры готовой пружины.

Для исследуемых вариантов принимается:

- диаметр прутка = 20 мм, диаметр оправки 192 мм;
- окончание выдержки после индукционного нагрева (начало навивки) — равномерное распределение температуры по сечению — 1000 С°;
- после навивки (контакт горячего витка с холодной оправкой из сталей 45, 20Х23Н18) при отсутствии охлаждения, время контакта 10 сек.;

— охлаждение витков пружины на оправке в ванне с жидкостью (время начала охлаждения — 10 сек., после навивки витка на оправку, охлаждающая среда — полимерная закалочная жидкость (ПЗЖ), длительность охлаждения 15 сек.);

— различные охлаждающие среды (вода, масло, ПЗЖ).

Изменение температуры на участках поверхности витка пружины (наружной и внутренней, контактирующей с оправкой) для рассматриваемых вариантов приведено на рис. 2–4.

Из приведенных расчетных графических зависимостей видно, что

— во время навивки и последеформационной выдержки температура прутка в зоне контакта с оправкой наиболее интенсивно снижается, материал оправки не оказывает влияния во время последеформационной выдержки на изменение температуры участка наружной поверхности витка пружины;

— материал оправки оказывает влияние на степень охлаждения прилегающей зоны прутка и для исклю-

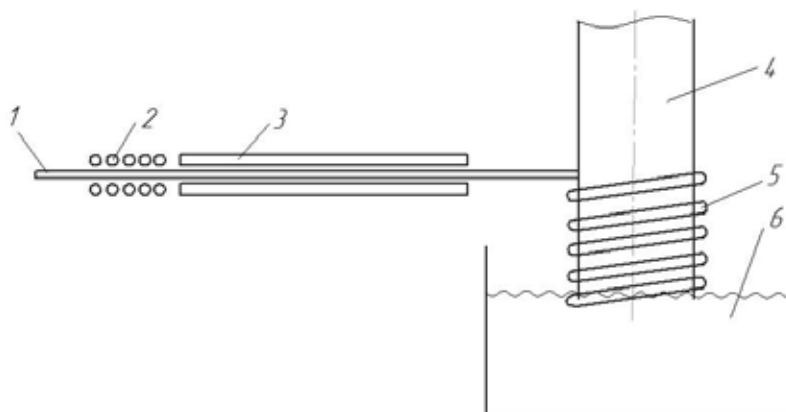
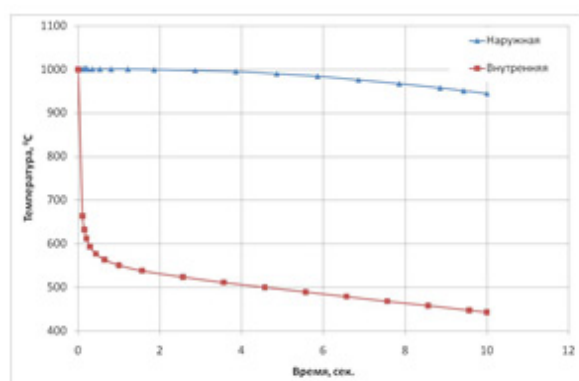
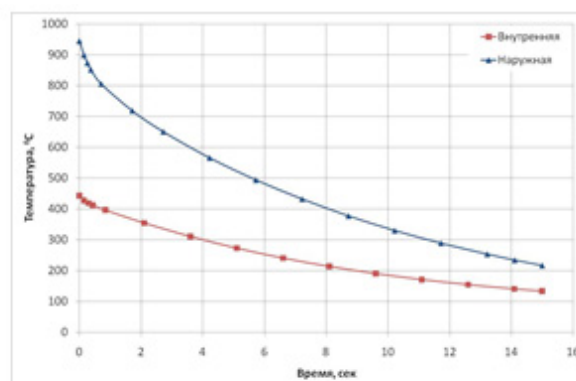


Рис. 1. Схема процесса: 1 — прут; 2 — индуктор; 3 — разделительное устройство; 4 — оправка; 5 — пружина; 6 — закалочная ванна

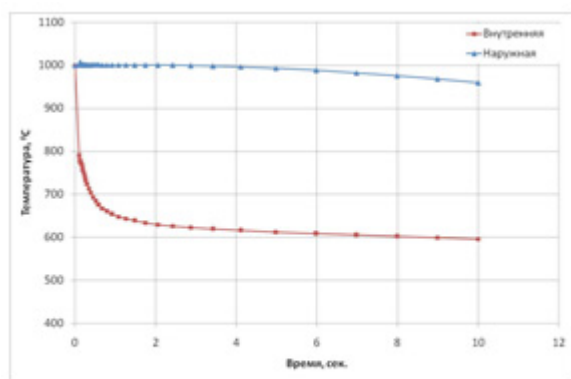


а

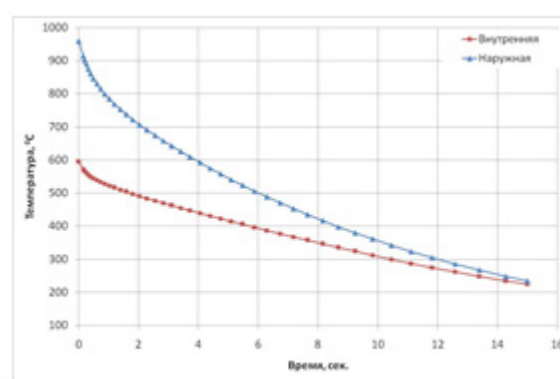


б

Рис. 2. Изменение температуры участков поверхности витка после навивки (оправка сталь 45): а — время контакта витка с оправкой; б — время охлаждения витка в ванне



а



б

Рис. 3. Изменение температуры участков поверхности витка после навивки (оправка сталь 20Х23Н18): а — время контакта витка с оправкой; б — время охлаждения витка в ванне

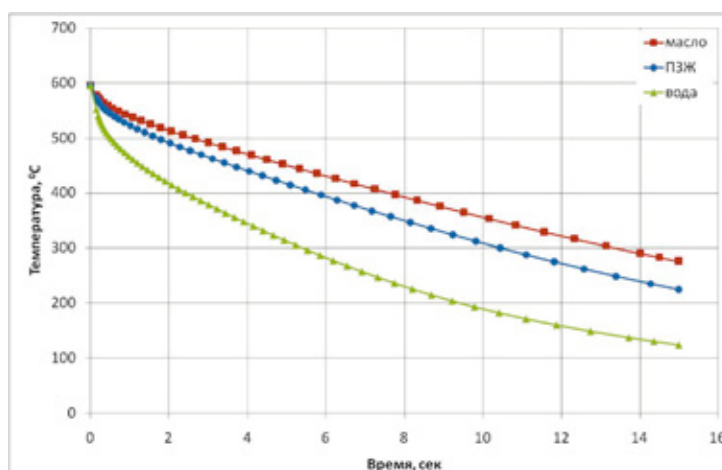


Рис. 4. Изменение температуры при охлаждении на оправке сталь 20Х23Н18, участок контакта пружина — оправка: вода ($\alpha = 4 \text{ кВт/м}^2\text{К}$), масло ($\alpha = 1,5 \text{ кВт/м}^2\text{К}$), ПЗЖ ($\alpha = 2 \text{ кВт/м}^2\text{К}$)

чения промежуточных превращений в материале витка пружины в зоне контакта его с оправкой следует применять оправки из высоколегированных сталей, например 20Х23Н18 (имеющих пониженный коэффициент теплопроводности по сравнению с конструкционной сталью 45).

С целью исследования изменения температуры прутка в разделительном устройстве перед навивкой было проведено ее конечно-элементное моделирование в ANSYS. При нахождении прутка в разделительном устройстве теплообмен возможен только излучением. В используемой конструкции устройства — расположение горизонтальное, длина устройства значительно превышает длину прутка — конвекционный обмен практически исключен. Результаты моделирования для прутков диаметром 20 и 30 мм при установившейся в разделительном устройстве температуре 500°C представлены на рис. 5.

Из графиков видно:

— при температуре в устройстве 500°C температура наружной поверхности прутка достигает температуры, применяющейся при печном нагреве для закалки (860°C) для прутка диаметром 20 мм через 36 сек., для прутка диаметром 30 мм через 56 сек.;

— температурный градиент центр — поверхность после выдержки 30 сек. для диаметра 20 мм — 14°C и для диаметра 30 мм — 24°C, после выдержки 60 сек. температурный градиент центр — поверхность для диаметра 20 мм. — 10°C, для диаметра 30 мм, — 19°C;

— при нахождении прутка в устройстве свыше 5 сек. температурный градиент центр — поверхность снижается незначительно, изменение температуры в радиальном направлении подчиняется практически линейному закону.

Из приведенных данных можно сделать вывод:

1. Применение в качестве материала оправки высоколегированных сталей, например 20Х23Н18, уменьшает степень охлаждения внутренней поверхности витка пружины перед закалочным охлаждением.

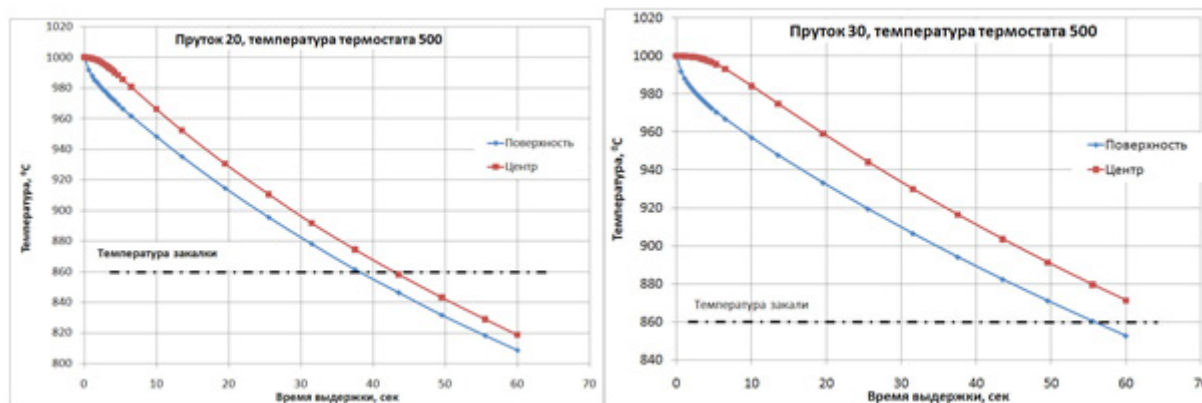


Рис. 5. Изменение температуры центра и поверхности прутка, находящегося в раздельном устройстве с температурой 500°C

2. Нахождение прутка, нагретого индукционно, в раздельном устройстве с температурой 500°C в течение 35 сек. не снижает температуру поверхности прутка ниже температуры нагрева применяемой при печной закалке.

3. Нахождение прутков диаметром 20 и 30 мм в раздельном устройстве с температурой 500°C в течение

60 сек. приводит к значительному снижению (на 200°C) температуры наружной поверхности с градиентом между поверхностью и осью прутка 10–24°C, данный градиент формируется после 5 сек. нахождения прутка в раздельном устройстве.

Литература:

1. Шаврин, О.И. Высокопрочные пружины для подвижного состава железнодорожных дорог. «Промышленный транспорт XXI век» №3, 2012 с. 16–18.
2. Патент на изобретение RU 2377091 Способ изготовления крупногабаритных пружин из стали.
3. Скворцов, А.Н. Твердотельное и имитационное моделирование прогрессивных технологических схем термомеханической обработки винтовым обжатием. Сб. ст. «Актуальные проблемы математики, механики, информатики». Ижевск., 2010, — с. 144–150.

Усовершенствование конструкции измельчителя стеблей хлопчатника

Шаммедов Мердан Назарович, аспирант

Туркменский сельскохозяйственный университет имени С.А. Ниязова (г. Ашхабад)

Содержание статьи посвящено интенсификации мероприятий, проводимых в сельскохозяйственном производстве, требованиям по усовершенствованию системы обработки различных видов почв и разработке новых технических средств. Это приводит к экономии средств, уменьшению трудовых затрат, увеличению плодородия орошаемых земель, а также к увеличению урожайности хлопчатника.

Ключевые слова: хлопчатник, техническая культура, измельчитель, конструкция и технология, технологические схемы.

Improvement of the construction of the grinder of cotton stalks

The contents of clause is devoted intensification of measures spent in agricultural manufacture, to the requirements on improvement of system of processing of various kinds of ground and development of new means. It results in economy of means, reduction of labour expenses, increase of fertility irrigation of grounds, and also to increase of productivity cotton.

Key words: Cotton, industrial crop, grinder, construction and technology, technological schemes.

Обработка почвы является важнейшим агротехническим приемом, требует решения ряда задач по совершенствованию систем земледелия и созданию новых технических средств, способствующих повышению плодородия пахотного слоя и урожайности сельхоз культур при минимальных энергетических и трудовых затратах. Придание почве при основной (зяблевой) обработке благоприятного сложения пахотного слоя, присущего данной почвенной разности и поддержание его в возможно больший период вегетации, является главной задачей землепользователя. Основной прием в системе обработки почвы — осенняя вспашка на глубину 30–35 см, которой предшествуют корчевание и удаление стеблей хлопчатника (на незараженных вилтом полях можно измельчать и оставлять стебли хлопчатника в качестве органических остатков), вычесывание корневищ многолетних сорняков, внесение навоза и части минеральных удобрений [1].

Для этих целей был сконструирован и испытан в сельскохозяйственном акционерном обществе имени Героя Туркменистана С. Розметова этрапа имени С.А. Ниязова Дашогузского веляята корчеватель-измельчитель с упрощенной конструкцией. Во время сельскохозяйственных работ данное приспособление хорошо зарекомендовало себя со стороны арендаторов и механизаторов общества.

Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению и может быть использовано для корчевания и измельчения стеблей сельскохозяйственных культур, в частности хлопчатника.

Целью изобретения является упрощение конструкции. Предложенный корчеватель-измельчитель для корчевания и измельчения надземной части хлопчатника, содержащий корпус корытообразного сечения, открытый в передней части с боковыми стенками, имеющими опорные

полозья, смонтированные на нем навесное устройство и привод.

Настоящее изобретение направлено на решение технической задачи по обеспечению многоярусной рубки стеблей хлопчатника с превращением его на отдельные элементы и фракции за счет лопастных ножей. Достижимый при этом технический результат заключается в повышении производительности очистки полей под зяблевую пахоту и эффективности измельчения стеблей хлопчатника. Указанный технический результат достигается тем, что приспособление оснащенное устройством навески, смонтированное с возможностью опускания на опорную поверхность в рабочем положении и подъема над опорной поверхностью в транспортном положении, при этом указанное приспособление включает в себя выполненный с возможностью вращения от привода ножевой узел, ножи которого расположены в рабочем положении указанного приспособления на заданном расстоянии над опорной поверхностью, в качестве транспортного средства использован колесный трактор, указанное приспособление представляет собой связанный с механизмом навески корытообразный корпус, открытый фронтально и снизу, разделенный поперечной вертикальной перегородкой на две полости, в каждой из которых с возможностью вращения вертикально установлен приводной вал, несущий съемно закрепленные на нем ножевые узлы, каждый из которых выполнен в виде двух оппозитно расположенных лопастей с ножами, а привод каждого указанного вала осуществлен через ременные передачи и редуктор от вала отбора мощности трактора.

Для обеспечения скольжения корытообразного корпуса по грунту поперечина и вертикально расположенные боковые стенки со стороны контакта с опорной поверх-

ностью оснащены опорными металлическими пластинами типа салазок или лыж.

Ширина корпуса должна охватывать 4 ряда хлопчатника с шириной междурядья 90 см, где общая ширина захвата корчевателя-измельчителя будет равна 360 см.

Указанные признаки являются существенными и взаимосвязаны между собой с образованием устойчивой совокупности существенных признаков, достаточной для получения требуемого технического результата.

Настоящее изобретение иллюстрируется конкретным примером, который, однако, не является единственно возможным, но наглядно демонстрирует возможность достижения приведенной совокупностью признаков требуемого технического результата.

Приспособление для измельчения стеблей хлопчатника представляет собой связанный с механизмом навески корпус, открытый фронтально и снизу, разделенный поперечной вертикальной перегородкой на две полости, в каждой из которых с возможностью вращения вертикально установлен приводной вал. Приспособление для измельчения стеблей хлопчатника включает в себя выполненные с возможностью вращения от привода ножевые узлы, выполненные в виде двух оппозитно расположенных лопастей (ножей). Привод каждого указанного вала осуществлен через шкивы и ременные передачи, которые через конический редуктор связаны с валом отбора мощности трактора. От вала отбора мощности через штатный редуктор трактора крутящий момент передается на карданный вал, который приводит во вращение закрепленный на ведомом валу конического редуктора ведущий шкив, охваченный четырьмя клиновыми ремнями. Каждый из указанных ремней охватывает ведомый шкив на соответствующем приводном валу.

Так как при рабочем положении приспособления корпус опирается на грунт и трактор его перемещает, то для снижения сопротивления вертикально расположенные боковые стенки корпуса со стороны контакта с опорной поверхностью оснащены опорными металлическими пластинами типа полозьев или лыж.

При перемещении трактора с опущенным на землю приспособлением осуществляют передачу крутящего момента на приводные валы, на которых закреплены лопасти (ножи). Попадающие под лопасти стебли хлопчатника перерубаются, увлекаются в полость корпуса,

где под действием вихревых воздушных потоков части стеблей перемещаются по окружности и в направлении от верха вниз с одновременным попаданием под действие ножевых узлов. В результате этого стебли хлопчатника превращаются в измельченные элементы и фракции, оседающие на землю.

Настоящее изобретение в виде опытного образца проходило испытание в сельскохозяйственном акционерном обществе имени Героя Туркменистана С. Розметова этрапа имени С.А. Ниязова Дашогузского велаята. Во время испытаний было выявлено, что процесс измельчения стеблей хлопчатника не определял скорость передвижения самого трактора, то есть времени на измельчение стеблей как препятствия тратилось существенно меньше. Практически измельчение происходило без снижения скорости передвижения трактора.

В ходе патентного анализа технических решений способов, предназначенных для корчевания и измельчения стеблей хлопчатника, не было найдено способов с существенными признаками аналогичными заявляемому решению, в котором корчевание и измельчение стеблей хлопчатника сочетается с одновременным разбрасыванием по полю измельченной массы. Таким образом, заявляемый объект соответствует критерию изобретения «новизна». Предложенная совокупность существенных признаков способа обеспечивает своевременное корчевание, измельчение стеблей хлопчатника и разбрасывание по полю измельченной массы, освобождение полей под зяблевую пахоту и эта совокупность признаков существенно отличает заявляемый способ от известных аналогов.

Настоящее изобретение промышленно применимо, так как может быть изготовлено с использованием известных технологий, применяемых при производстве сельскохозяйственной техники.

На основании 215 приказа министра сельского хозяйства Туркменистана от 11 декабря 2013 года составленная Экспертная комиссия провела научно-исследовательские испытания и в соответствии с актом испытаний составила протокол испытаний, одобренный и подтвержденный Научно-техническим советом в Отделе механизации сельского хозяйства при министерстве 15 января 2014 года, также агрономическую машину ИСХ-3,6 измельчитель стеблей хлопчатника предложили для широкого внедрения в производство сельского хозяйства страны.

Литература:

1. Хамзин, С.С. Руководство по применению лучшей практики возделывания сельскохозяйственных культур на демонстрационном участке, Беруни 2009, с. 7.

Перспективы создания средств выведения тяжелого и сверх тяжелого класса

Шевченко Валентин Васильевич, студент;
Давлетьяров Рустам Зуфарович, студент
Оренбургский государственный университет

Представлены результаты проектных проработок по техническим обликам и основным характеристикам перспективных (до 2040 г.) ракет-носителей (РН) тяжелого и сверхтяжелого классов. Приведены прогнозные программы целевого использования РН, основные принципы их создания и применения, в том числе принципы рациональной унификации, многоразовости, технико-экономической эффективности.

Вопросы развития космической деятельности в среднесрочной и долгосрочной перспективах, включая развитие орбитальных группировок космических комплексов и систем различного назначения на околоземных орбитах, исследование и освоение Луны, изучение планет Солнечной системы и дальнего космоса, широко обсуждаются российской и зарубежной общественностью.

В этой связи облик и основные технические характеристики средств выведения тяжелого и сверхтяжелого классов будут определяться совокупностью тех задач, решение которых на них возлагается.

Эти задачи диктуются общими концептуальными положениями и программными документами, определяющими развитие отечественной космонавтики на различные периоды. К ним относятся следующие:

— Закон Российской Федерации «О космической деятельности» от 20 августа 1993 г.;

— «Основы политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2020 года и дальнейшую перспективу»;

— Федеральная космическая программа России на 2006–2015 годы, утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 22 октября 2005 г. (ФКП);

— Федеральная целевая программа «Развитие российских космодромов на 2006–2015 годы» (ФЦП), утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 ноября 2005 г.;

— Указ Президента Российской Федерации от 06.01.1995 г. «О создании космического ракетного комплекса «Ангара»;

— Указ Президента Российской Федерации от 06.11.2007 г. «О космодроме Восточный»;

— «Система взглядов на осуществление Россией независимой космической деятельности (концепция развития) ... до 2040 года».

С учетом положений перечисленных документов процесс развития отечественной космонавтики условно может быть разделен на три этапа:

— ближнесрочная перспектива — до 2015 г. (реализация намеченных направлений ФКП, ФЦП);

— среднесрочная перспектива — 2016–2025 гг. (наращивание усилий и расширение присутствия в околоземном космическом пространстве, начало освоения бли-

жайшей планеты — Луны);

— долгосрочная перспектива на период 2026–2040 гг. (расширение планетных исследований, формирование условий постоянного присутствия человека на Луне, создание необходимого задела и практическая реализация пилотируемой марсианской экспедиции).

Трудно переоценить роль носителей тяжелого и сверхтяжелого классов в такого рода проектах. Такие носители должны обеспечивать выведение полезных нагрузок на все основные типы орбит: от низкой околоземной орбиты (НОО), характерной для пилотируемых комплексов и космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, до высокоэнергетических орбит, включая высококруговую (навигация), высокоэллиптическую (связь), геопереходную (ГПО), геостационарную (ГСО) (фиксированная связь, ретрансляция) орбиты и отлетные траектории.

При разработке предложений по перспективным РН тяжелого и сверхтяжелого классов специалисты ГКНПЦ им. М.В. Хруничева руководствовались следующими основными принципами.

Целевое использование:

— возможность осуществления запусков всей номенклатуры перспективных полезных нагрузок во всем диапазоне высот и наклонений целевых орбит;

— адаптивность к возможным изменениям целевых задач по запускам КА за счет быстрого создания и ввода в требуемые сроки оптимальных по комплектации и характеристикам ракет-носителей (РН) модульной конструкции;

— возможность целевого использования тяжелых и сверхтяжелых РН начиная с первого пуска, что обеспечивается их высокой начальной полетной надежностью за счет летной отработки универсальных ракетных блоков в составе более легких РН.

Повышение экономической эффективности разработки, изготовления и целевого использования:

— максимальное использование научно-технического, проектно-конструкторского и производственного потенциалов отрасли;

— оптимизация производственно-экспериментальной базы отрасли для создания и серийного производства РН;

— модульное построение РН, высокая степень внутрипроектной и межпроектной унификации;

- внедрение новых технологий и материалов, техническое перевооружение производства,
- снижение себестоимости серийного изготовления РН;

- внедрение многоразовых составных частей РН.

Повышение надежности и безопасности эксплуатации:

- минимизация числа ступеней РН (двухступенчатая пакетная схема);

- использование универсальных ракетных блоков одного типа с большим объемом летной отработки в составе РН одного семейства и высоким уровнем серийности их производства;

- запуск всех маршевых двигателей на старте (а не в полете);

- оснащение РН системами безопасности носителя, реализующими аварийные циклограммы работы РН при отказе одного двигателя (в целях спасения космонавтов и обеспечения сохранности стартового комплекса);

- снижение технического риска создания тяжелых и сверхтяжелых РН за счет отработки универсальных ракетных блоков в рамках опережающих пусков более простых и дешевых РН семейства.

Анализ современного уровня технологий, прогноз развития в области материаловедения, специальной химии, приборостроения, микроэлектроники и нанотехнологий не позволяют получить достаточно точные оценки массогабаритных и других характеристик перспективных космических комплексов и систем. Вместе с тем с определенной степенью достоверности в настоящее время могут быть сформулированы требования к энергетическим характеристикам ракет-носителей тяжелого и сверхтяжелого классов, которые позволят обеспечить решение этих масштабных задач.

В частности, до 2015 г. потребности по выведению полезных грузов не противоречат требованиям к энергетическим характеристикам РН тяжелого класса «Ангара-А5» (на НОО — до 24,5 т, на ГПО — до 8 т, ГСО — до 4,5 т).

Ближнесрочная перспектива связана с выполнением работ по созданию на космодроме Восточный РН среднего класса повышенной грузоподъемности (не менее 20 т на НОО), которую по устоявшейся классификации можно отнести к РН тяжелого класса.

В среднесрочной перспективе требования по энергетическим возможностям РН тяжелого класса возрастают

до 50 т на НОО. Это связано с началом работ по лунной программе, обеспечение которой потребует доставку на НОО и отлетную траекторию тяжелого полезного груза.

В дальнесрочной перспективе (2026–2040 гг.) потребуются сверхтяжелые носители размерностью более 100 т для обеспечения, главным образом, выведения элементов марсианского экспедиционного комплекса (их оптимальная размерность с технико-экономической точки зрения может достигать 100... 120 т).

Безусловно, возрастают требования к энергетическим характеристикам средств выведения для запусков традиционных полезных нагрузок, но скорее всего лунные и марсианские задачи в области РН сверхтяжелого класса будут определяющими.

Специалистами ГКНПЦ им. М.В. Хруничева проведены проектные проработки РН тяжелого и сверхтяжелого классов.

В ближнесрочной перспективе планируется завершить опытно-конструкторские работы (ОКР) и начать эксплуатацию космического ракетного комплекса (КРК) «Ангара» с РН легкого, среднего и тяжелого классов. Начало летных испытаний КРК «Ангара» планируется на 2010 г., первые пуски РН легкого и тяжелого классов предусматриваются в 2011 г. с космодрома Плесецк. Возможности КРК «Ангара» достаточны для решения всех задач этого временного интервала (таблица 1) [1].

Одновременно ведутся работы по созданию КРК «Байтерек» в рамках российско-казахстанского проекта, предусматривающего использование РН «Ангара-А5» с космодрома Байконур. Начало летных испытаний КРК «Байтерек» планируется после завершения летных испытаний КРК «Ангара» на космодроме Плесецк.

Предложения ГКНПЦ им. М.В. Хруничева по созданию космодрома Восточный и его узлового элемента — КРК с носителем среднего класса повышенной грузоподъемности (СКПГ), предназначенного для обеспечения запусков автоматических КА и пилотируемых космических кораблей (ПКК), — основаны на максимальном использовании научно-технического, конструкторского и производственного заделов по КРК «Ангара» (таблица 2) [1].

Основное отличие РН «Ангара-А5П» от РН «Ангара-А5» состоит в исключении из состава РН третьей ступени, введении сдвижных сопловых насадков в конструкцию основных маршевых ЖРД РД-191, облегчении конструкции РН за счет ее оптимизации и приме-

Таблица 1

Основные характеристики РН «Ангара-3, — 5»

	А3	А5
Стартовая масса, т	480	759
Масса полезной нагрузки (ПН), т: на орбите Нкр = 200 км; $i = 63,1^\circ$ на ГСО (с КВРБ)	14,6 1,6	24,5 4,5

Таблица 2

Основные характеристики РН СКПГ

Масса ПН, т:	
на орбите $N_{кр} = 200 \text{ км}$; $i = 51,7^\circ$	20
ГСО	5,1
ГПО	9,2
к Луне	9,7
Стартовая масса, т	714
Стартовая тяговооруженность	1,37
Масса САС (головного обтекателя), т	4,0 (3,7)
Рабочий запас топлива, т:	
1-й ступени	510,6
2-й ступени	127,5

нения новых конструкционных материалов. Кроме того, РН оснащена рядом новых систем, обеспечивающих повышение безопасности ее эксплуатации.

Такой подход позволяет резко снизить затраты на ОКР по РН и наземному комплексу (фактически речь будет идти о тиражировании значительной доли основных агрегатов и систем), а также минимизировать временной и техниче- ский риски создания РН. Варианты космической головной части для РН «Ангара-А5П» представлены на рис. 1.

Преимуществом предложенного проекта КРК является возможность эксплуатации всего семейства РН «Ангара» с одного наземного комплекса, включая модификации более тяжелой грузоподъемности (до 40... 50 т на НОО).

Размерность перспективного носителя обусловлена, в первую очередь, необходимостью реализации лунной

программы, а также необходимостью группового выве- дения тяжелых КА на высокоэнергетические орбиты.

РН тяжелого класса в размерности 40...50 т на НОО может быть эффективно использована для реализации лунной программы по так называемым однопусковой и двух- пусковой схемам. В первом случае реализуется «прямое» выведение на отлетную траекторию к Луне полезной на- грузки до 20 т. Во втором случае, если масса ПН превышает 20 т, на НОО выводятся первым пуском разгонная сту- пень массой более 40... 45 т и вторым пуском — «тяжелая» целевая нагрузка (взлетно-посадочный корабль, модули лунной орбитальной станции, модули лунной базы) с их по- следующей стыковкой и доставкой на окололунную орбиту.

Общий вид потенциальных «тяжелых» нагрузок для лунной миссии представлен на рис. 2.

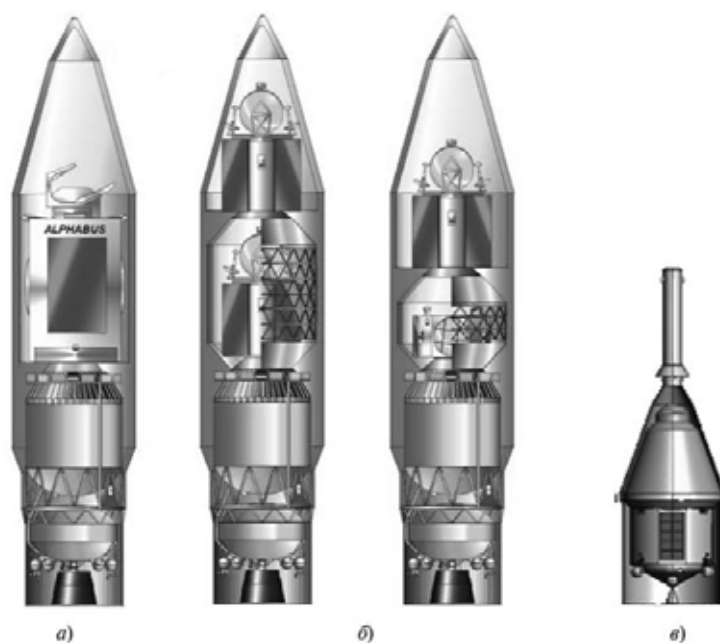


Рис. 1. Варианты космической головной части РН «Ангара-А5П» с КВРБ: а — с моноблочной полезной нагрузкой (ПН) ($V = 150 \text{ м}^3$); б — для парного выведения ПН ($V = 90 \text{ м}^3 + 50 \text{ м}^3$); в — с ПКК

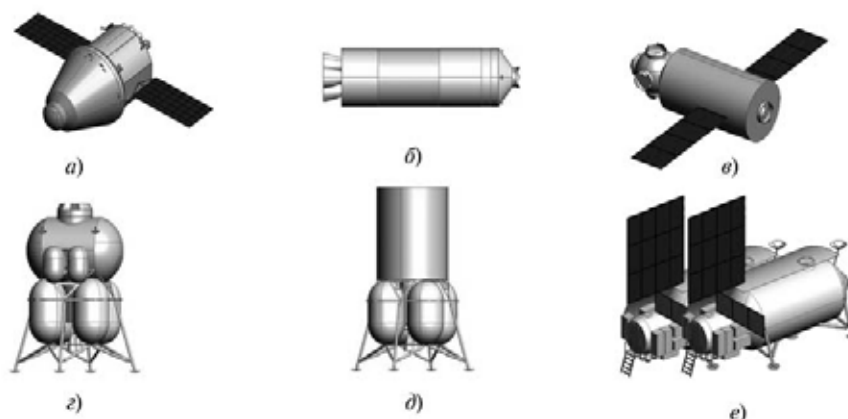


Рис. 2. Потенциальные тяжелые нагрузки для лунной миссии: а – ПКК для полетов на лунную орбиту и посадки на Землю; б – орбитальный ракетный блок; в – модуль лунной орбитальной станции; г – пилотируемый посадочно-взлетный лунный корабль; д – грузовой посадочный лунный корабль; е – модули лунной базы.

Ниже приведены основные характеристики возможных вариантов РН тяжелого класса, базирующихся на имеющемся научно-техническом заделе (таблица 3–5) [1].

Таблица 3

Основные характеристики РН «Ангара-А7»

Масса ПН на орбите $H_{кр} = 200$ км, $i = 51,8^\circ$, т	40,5
Стартовая масса, т	1154
Стартовая тяговооруженность	1,19
Масса головного обтекателя, т	3,5
Компоненты топлива 1-й и 2-й ступеней	O_2 + керосин
Маршевые двигатели (тяга, кН):	
1-й ступени	6хРД-191 (11760 у Земли)
2-й ступени	РД-191 (2160 в пустоте)
3-й ступени	2хРД-0146 (200 в пустоте)
Рабочие запасы топлива, т:	
1-й ступени	765,9
2-й ступени	240
3-й ступени	19,6

Таблица 4

Основные характеристики РН «Ангара-А7П»

Масса ПН на орбите $H_{кр} = 200$ км, $i = 51,8^\circ$, т	36
Стартовая масса, т	1125
Стартовая тяговооруженность	1,22
Масса головного обтекателя, т	3,5 (4,0)
Компоненты топлива 1-й и 2-й ступеней	O_2 + керосин
Маршевые двигатели (тяга, кН):	
1-й ступени	6хРД-191 (11760 у Земли)
2-й ступени	РД-191 (2160 в пустоте)
Рабочие запасы топлива, т:	
1-й ступени	765,9
2-й ступени	240

Таблица 5

Основные характеристики РН «Ангара-А7В»

Масса ПН, т:	
на орбите $H_{кр} = 200$ км, $i = 51,7^\circ$	50
ГСО	11,4
к Луне	20,7
Стартовая масса, т	1107
Стартовая тяговооруженность	1,20
Масса головного обтекателя, т	5,8
Рабочие запасы топлива, т:	
1-й ступени	765,9
2-й ступени	200

Для КРК, создаваемого на космодроме Восточный, можно будет использовать один стартовый комплекс, оборудованный сдвижными платформами, для пусков любой из предлагаемых РН (рис. 3).

В долгосрочной перспективе определяющей целевой задачей для РН сверхтяжелого класса после 2026 г. может стать задача пилотируемой экспедиции на Марс. В настоящее время существует множество вариантов по схеме организации подобной экспедиции.

ГКНПЦ им. М. В. Хруничева в рамках НИР проведен анализ этих вариантов. С учетом прогноза развития космической техники и технологий был выбран вариант марсианского экспедиционного комплекса (МЭК) с энергодвигательной установкой на основе бимодального ядерного ракетного двигателя (ЯРД). В качестве рабочего тела ЯРД предполагается использовать жидкий водород. В таблице 6 приведены характеристики МЭК с ЯРД.

Для реализации пилотируемой экспедиции на Марс, по оценкам наших специалистов, представляется необ-

ходимым превентивный запуск беспилотного комплекса для проведения испытаний и доставки на поверхность планеты резервного корабля взлета и посадки с последующим полетом пилотируемого комплекса.

Исходя из суммарной массы МЭК на уровне 700...750 т, можно сказать, что потребуются многопусковые схемы доставки его элементов в размерности ~120 т с последующей их стыковкой и сборкой на орбите. В связи с этим предлагается рассмотреть два типа РН сверхтяжелого класса — «Амур-5» и «Енисей-5». Их основные характеристики представлены в таблице 7 [1].

Очевидно, что после реализации начального этапа создания и развертывания околоземной и околопланетной инфраструктуры, на определенном этапе возникнет необходимость рутинной эксплуатации, характеризуемой массовой доставкой полезных грузов на целевые орбиты. В этом случае во главу угла будут поставлены экономическая и экологическая компоненты средств доступа в космос, поэтому вопрос создания экологически чистых,

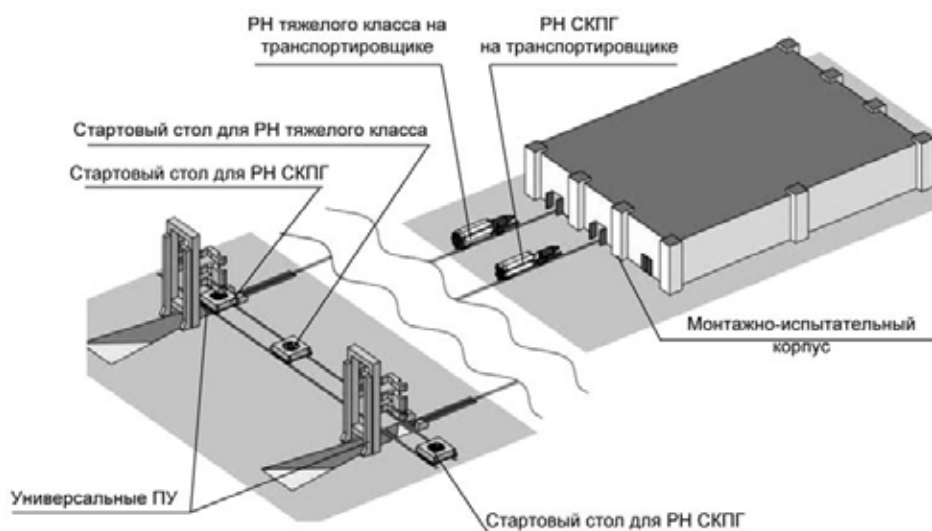


Рис. 3. Схема наземного комплекса РКК среднего и тяжелого классов

Таблица 6

Основные характеристики МЭК с ЯРД

Масса ПН, т	150
Стартовая масса комплекса, т	770
Время полета, сут	460
Мощность реактора, кВт: 1-й режим 2-й режим	200 $2 \cdot 10^5$
Удельный импульс, с	940
Топливо	H ₂
Общая масса ЯРД (4 модуля бимодального ЯРД), т	36,1
Число членов экипажа, чел	4 (6)

Таблица 7

Основные характеристики РН

	«Амур-5»	«Енисей-5»
Масса ПН, т: на орбите $H_{кр} = 200$ км, $i = 51,7^\circ$ ГСО к Луне (однопусковая/полуторاپусковая схемы)	125 30 49/65	125 30 49/65
Стартовая масса, т	2583	2397
Стартовая тяговооруженность	1,43	1,42
Масса головного обтекателя, т	7	7
Рабочие запасы топлива, т: 1-й ступени 2-й ступени 3-й ступени	1620 420 160	1520 548 —

экономичных средств выведения встанет со всей остротой.

На наш взгляд, этот вопрос может быть в значительной степени решен за счет использования многоразовых средств выведения. Работы по созданию такого рода систем ведутся в ГКНПЦ им. М.В. Хруничева на протяжении ряда лет.

К настоящему времени на уровне аванпроекта проработаны облик и основные характеристики многоразовой ракетно-космической системы (МРКС), представляющей на первом этапе частично многоразовую ракету-носитель с возвращаемыми блоками первой ступени (рис. 4).

Основу многоразовой ракеты составляет возвращаемый ракетный блок, оснащенный поворотным крылом, обеспечивающим вместе с турбореактивным двигателем и другими авиационными элементами возврат блока к точке старта в автоматическом режиме.

Маршевый двигатель возвращаемого блока представляет из себя ЖРД многократного использования на ком-

понентах топлива O₂ + керосин или O₂+CH₄. Предполагаемая кратность применения такого двигателя должна быть не менее 20 при кратности использования планера, равной 100.

Важнейшие преимущества МРКС:

- экономическая эффективность (снижение удельной стоимости выведения ПН);
- отсутствие континентальных полей падения отдельных частей;
- эффективность выполнения космических программ при интенсивном использовании средств выведения (высокий темп пусков).

Предложения по созданию такого ЖРД в рамках выпущенного аванпроекта представлены ведущими ответственными КБ — НПО Энергомаш и КБХА.

На базе такой концепции могут быть в перспективе созданы многоразовые системы с массой выводимой полезной нагрузки 21... 60 т на НОО, что, в принципе, на определенном этапе дает возможность в целевых задачах использовать многоразовые средства выведения.

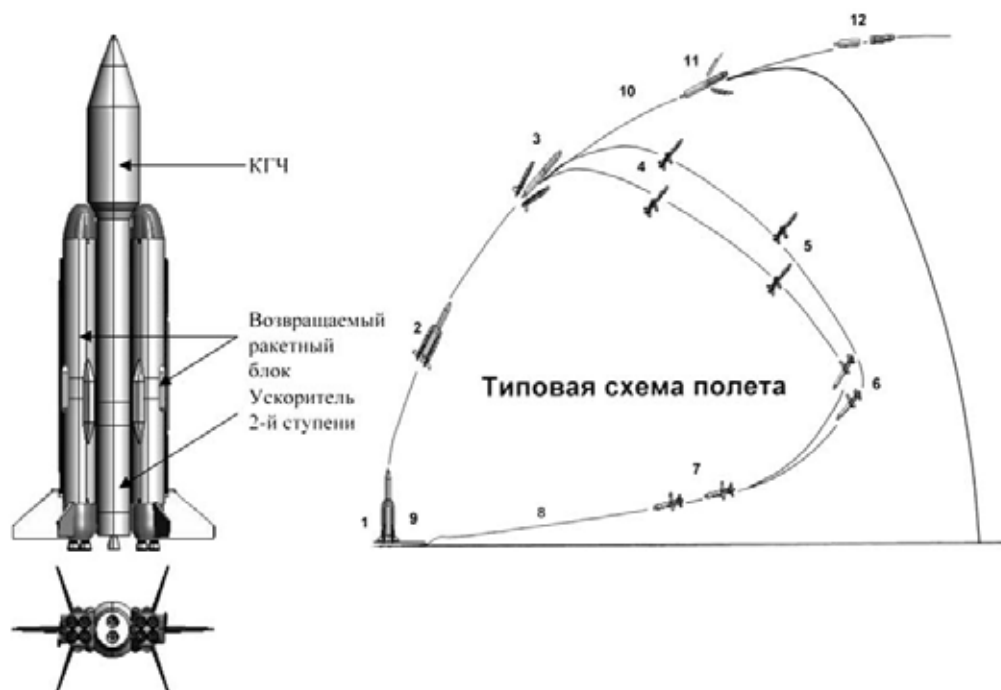


Рис. 4. Общий вид и типовая схема полета многоразовой ракетно-космической системы

Литература:

1. В. Е. Нестеров, А. И. Кузин, Ю. О. Бахвалов. Перспективы создания тяжелых и сверхтяжелых ракет-носителей. Общероссийский научно-технический журнал «Полет». 2009. № 3. с. 3–8.

Использование гусеничных тракторов в агропромышленном комплексе

Юферев Сергей Сергеевич, аспирант

Красноярский государственный аграрный университет

Гусеничные тракторы предназначены для выполнения основных сельскохозяйственных работ в агрегате с навесными, полунавесными и прицепными орудиями. С соответствующим оборудованием промышленные модификации могут использоваться на дорожно-строительных, мелиоративных, транспортных, погрузочно-разгрузочных и прочих работах.

В Российской Федерации парк гусеничных тракторов общего назначения в периоде 2012 г. по 2013г сократился на 10,5 % или 15057 ед., а парк специальных (бульдозерные, мелиоративные) машин — на 15,5 % или 2112. (рис. 1) [1. С 4].

Наибольшее сокращение (на 17 % или 4475 ед.) парка гусеничных тракторов произошло в Сибирском федеральном округе. В Северо — Западном федеральном округе он уменьшился на 13,4 % или 425 ед. Наименьшее сокращение отмечено в Дальневосточном федеральном округе (1,4 % или 60 ед.) (рис. 2) [1 с 5].

Сложные почвенно-климатические условия и наличие всех климатических зон в России предопределили невозможность эффективно возделывать большинство сельскохозяйственных культур без применения техники на гусеничном ходу. По сравнению с колесными гусеничные тракторы способны выполнять агротехнологические операции в оптимальные сроки, у них более высокий тяговый КПД, благодаря чему погектарный расход топлива ниже, а низкое давление на почву обеспечивает меньшее ее уплотнение.

Потребность АПК РФ в гусеничных тракторах на 100 га пашни составляет 5,86 эт. ед., что соответствует численности их парка 675,9 тыс. эт. ед. (при площади пашни на начало 2013 г. 115356,8 тыс. га). Однако по сравнению с колесным трактором гусеничный менее мобилен: металлические траки, разрушающие дорожное полотно, делают невозможным передвижение этих машин по дорогам общего пользования. По этим и другим причинам гусеничные

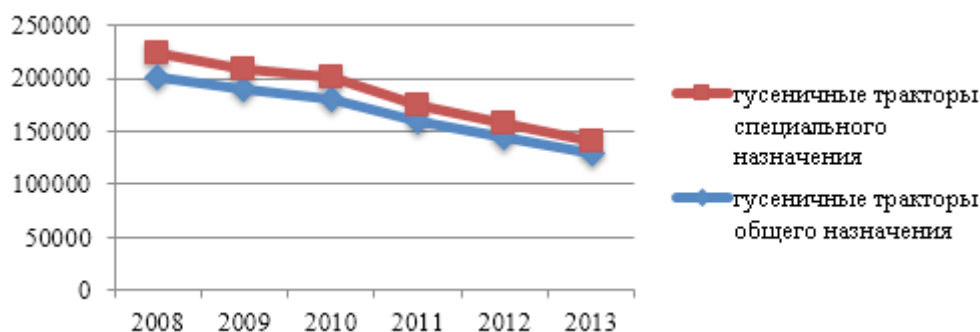


Рис. 1. Парк гусеничных тракторов в Российской Федерации

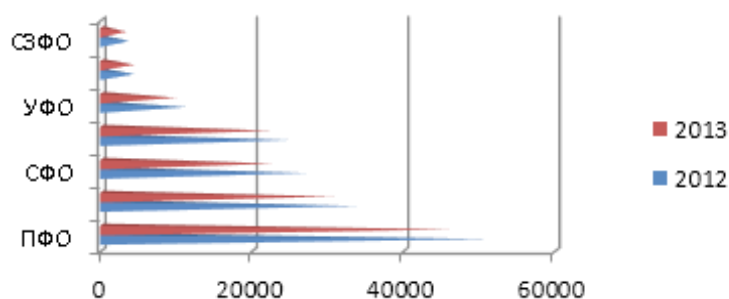


Рис. 2. Парк гусеничных тракторов в сельскохозяйственных организациях РФ

тракторы становятся менее популярными среди сельских товаропроизводителей, что снижает емкость рынка.

Сегодня платежеспособный спрос на рынке гусеничных сельскохозяйственных тракторов не обеспечивает не только увеличение парка, но и обновление уже существующего.

В среднем за 2008–2013 гг. данный показатель находится на уровне менее 2 тыс. ед. По оценке 2013 г. объем платежеспособного спроса сократился на 28,1 % к уровню 2013 г. и составил 1265ед.

Происходит частичное замещение гусеничных тракторов на колесные. Тенденция сокращения парка гусеничных тракторов сохраняется, несмотря на то, что в полевых условиях ему за частую нет альтернативы, особенно когда состояние почвы не позволяет использовать колесные. Современные агротехнологии, применяемые

в сельском хозяйстве, направлены на ресурсо- и энергоснабжение, и без гусеничных тракторов не возможно обойтись, так как 90 % посевных площадей требуют боронования озимых культур, а закрытие влаги проводится как на озимых культурах, так и на яровых.

Предложение на рынке гусеничной сельскохозяйственной техники, в отличие от рынка колесных тракторов, ограничено. Так, в сегменте рынка тракторов кл. 2 на российском рынке представлена одна модель — пропашной Т-70 Кишиневского тракторного завода «Траком». Среднегодовой объем продаж этих тракторов за 2008–2012 гг. составил 80 ед. В общем объеме рынка гусеничных тракторов доля «Тракома» — менее 1 % (табл. 1).

Аналогическая ситуация в сегменте рынка гусеничных тракторов кл. 3. Конкурентная позиция по сегменту характеризуется монопольным состоянием ОАО «ТК» ВгТЗ»

Таблица 1

Структура платежеспособного спроса на гусеничные тракторы за 2013 г.

Производитель	Доля в объеме рынка
ООО «ХТЗ»	5,68
ООО «Алттрак»	3,69
JD, CAT и др.	2,33
КТЗ «Траком»	0,85
ОАО «ТК» ВгТЗ»	87,45

и представлена гусеничным ДТ-75 и его модификациями.

До недавнего времени основными базовыми моделями ДТ-75 (ВгТЗ) служили ДТ-75ДТЕ-С4 и ДТ-75ДЕ-С4. В 2008 г. была создана рестайлинговая версия трактора ДТ-75 («Агромаш 90ТГ»), заменившая базу, как для сельскохозяйственных, так и для промышленной модификаций. В структуре платежеспособного спроса на рынке гусеничных сельскохозяйственных тракторов ОАО «ТК» ВгТЗ — лидер с долей рынка более 87 %.

Конкурентная позиция сегмента рынка гусеничных тракторов кл. 4 характеризуется состоянием между ОАО «ТК» ВгТЗ, ОАО «ХТЗ» и ООО «Алттрак» и представлена тракторами ВТ-150 (новое наименование «Агромаш 150ТГ») производства ВгТЗ, Т-4 (Алттрак), ХТЗ-150—05—09 (ХТЗ). С учетом нестабильного финансово — экономического положения ООО «Алттрак» предложение в сегменте в 2012 г. ограничится тракторами ВгТЗ и ХТЗ.

Сегмент рынка гусеничных тракторов кл. 5 и выше характеризуется доминированием предложения (95 % рынка) со стороны зарубежных производителей Challenger и John Deere. Перспективы вхождения на рынок других компаний слабые по причине необходимости осуществления больших вложений в производства при относительно небольших потребностях рынка.

Анализ цен на указанные выше модели показал, что в течение первого полугодия 2012 г. они были подняты всеми дилерами на рынке на одном уровне — 9–10 % (рис. 3). Однако во втором полугодии политика ценообразования разделилась. Наиболее агрессивное поведение в ценовой политике прослеживается у ОАО «ХТЗ». Так трактор Т-150—05—09 подорожал на 12 %, в тоже время на 3 % увеличилась цена промышленной модификации трактора Т-4А-01, Т-4АП2.01 (ООО «Алттрак»). Цены на Волгоградские тракторы не изменились и остались

на уровне первого полугодия. Таким образом, по итогам года цены на гусеничные тракторы ОАО «ХТЗ» увеличились на 23 %, ООО «Алттрак» — на 14 % и ОАО «ТК» ВгТЗ — на 9–11 % (в зависимости от модификации).

Так, цена реализации трактора Т-70 (КТЗ — «Траком») для конечного потребления составит 640 тыс. руб. с НДС, при этом стоимость 1 л. с. будет выше, чем продукции ООО «Алттрак» и ВТ-150Д (ВгТЗ). Наиболее дорогой (по стоимости 1 л. с.) гусеничный сельскохозяйственный трактор в исследуемой группе — ХТЗ-150—05—09 с двигателем ЯМЗ — 236Д, а самый дешевый ВТ-50Д: соответственно 9691,43 и 8955,7 руб./л. с.

В соответствии со складывающейся тенденцией рынка ни одна из перечисленных компаний не имеет стабильного положения. ОАО «ТК» ВгТЗ — абсолютный лидер рынка — находится в секторе быстрого ухудшения конкурентной позиции. Для ООО «Алттрак», КТЗ — «Траком» и производителей стран дальнего зарубежья (John Deere, Challenger) в сложившейся ситуации наиболее вероятен полный уход с рынка. Основание для роста сегмента их рынка:

Государственная поддержка сельских товаропроизводителей, в том числе на повышение плодородия почв, мелиорацию;

Высокая проходимость в условиях бездорожья и, наконец, непокрытая потребность в гусеничных тракторах.

Меньшее воздействие на почву и, как следствие, меньше потери урожая, возможность раньше выходить на поля весной и позже уходить осенью (выполнение сельскохозяйственных работ в оптимальные агротехнические сроки).

В АПК Красноярского края численность гусеничных тракторов общего назначения составляет 1128 ед. или около 13 % от общего количества. В основном они

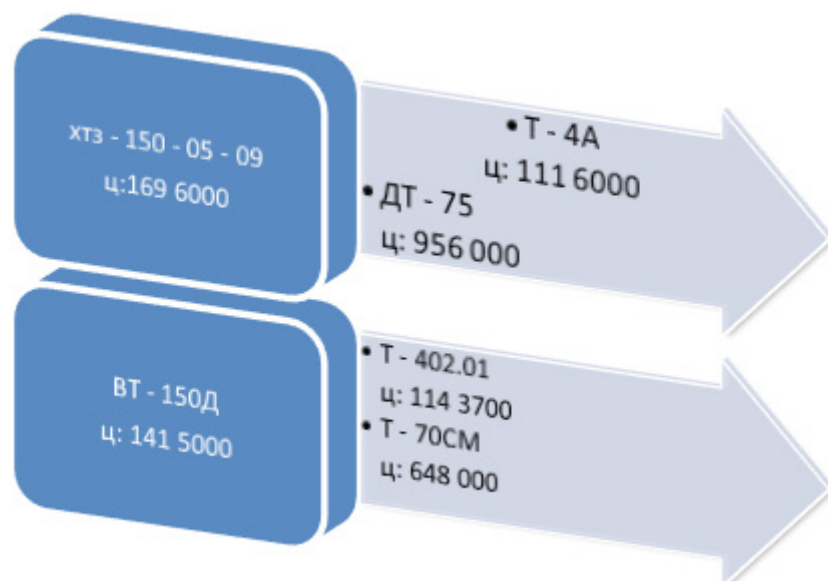


Рис. 3. Цены на некоторые модели гусеничных тракторов по состоянию на II кв. 2013 г., руб.

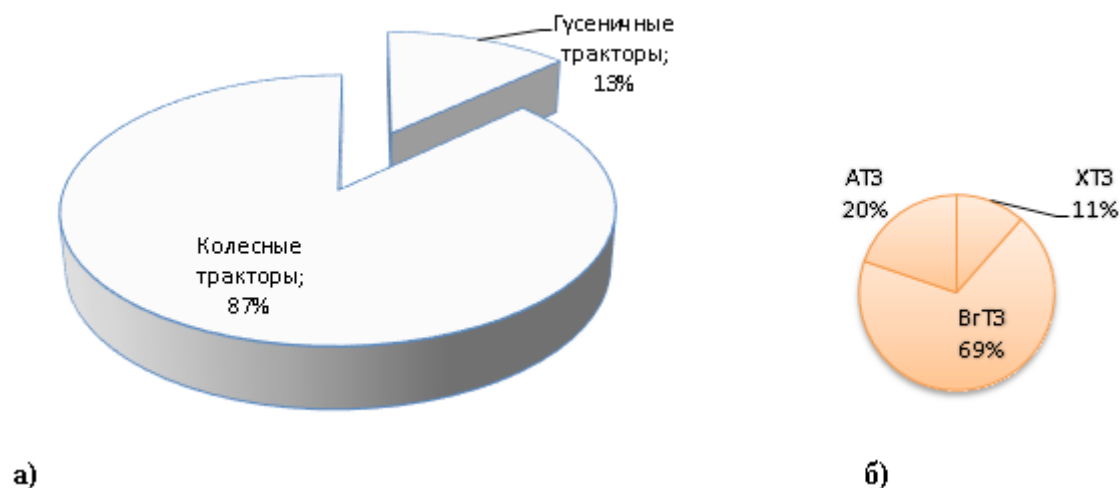


Рис. 4. а) количественный б) качественный состав парка гусеничных тракторов в АПК Красноярского края

представлены продукцией ООО «Алттрак» 20 %, ОАО «ТК» БГТЗ» 69 % и ХТЗ — 11 % (рис 4). Программой технического перевооружения отрасли до 2020 г. предусмотрено сокращение численности гусеничных тракторов до 10 % от общего состава тракторного парка (790–800 ед.).

Для природно-производственных условий АПК Красноярского края определены рациональные эксплуатационные параметры гусеничных тракторов общего назначения.

С учетом энергоемкости применяемых технологий и технического обеспечения операции основной обработки почвы разделены [2] на три группы:

— отвальная вспашка и глубокое рыхление на глубину 0,21–0,23 м и 0,40–0,50 м соответственно при $K_{01} = 11,0 - 13,65$ кН/м, $\Delta K_1 = 0,15 - 0,18$ с2/м2, $v_{K01} = 0,10$ и $V_1 = 1,8 - 2,1$ м/с;

— послеуборочная безотвальная комбинированная обработка (сплошная культивация) и чизелевание на глубину 0,06–0,12 м и 0,20–0,30 м соответственно при $K_{02} = 4,70 - 6,5$ кН/м, $\Delta K_2 = 0,10$ с2/м2, $v_{K02} = 0,07$ и $V_2 = 2,1 - 2,8$ м/с;

— послеуборочная поверхностная обработка (лушение стерни), предпосевная обработка, обработка и посев по нулевой технологии на глубину 0,06–0,12 м при $K_{03} = 3,10 - 5,10$ кН/м, $\Delta K_3 = 0,06$ с2/м2, $v_{K03} = 0,07$ и $V_3 = 2,8 - 3,8$ м/с.

Моделирование параметров проводилось с использованием экспериментальной оценки тягово-сцепных свойств тракторов с обычным и треугольным гусеничным обводом.

Взаимосвязь буксования движителя δ с коэффициентом использования веса $\varphi_{кр}$ установлена зависимостью [2. С 138]:

$$\delta = \frac{a + \varphi_{кр}}{(b - \varphi_{кр})}, \quad (1)$$

Тяговый КПД трактора η_T при известных значениях КПД трансмиссии $\eta_{тр}$, буксования η_b и перекачивания η_f рассчитывался по формуле:

$$\eta_T = \eta_{тр} * \left[\frac{\varphi_{кр}}{(\varphi_{кр} + f)} \right] * \left[1 - \frac{a + \varphi_{кр}}{(b + \varphi_{кр})} \right]. \quad (2)$$

Эксплуатационная мощность и масса трактора определялись из выражений [1. С 136]:

$$N_{эз\ j} = W_j^+ * K_{0j} * \frac{\mu_{kj}}{\eta_{Tni}} * \xi_{Nji}^+ \quad (3)$$

$$m_{эз\ j} = W_j^+ * K_{0j} * \mu_{kj} / V_{вj}^+ * \varphi_{крj} * q \quad (4)$$

где: W_j^+ — чистая производительность агрегата, м³/с;

K_{0j} — удельное сопротивление агрегата, кН/м;

$\mu_k = 1 + \Delta K_j (V_{вj}^2 - V_0^2)$; ΔR — приращение K_0 от скорости, с²/м²;

ξ_{Nji}^+ — коэффициент использования мощности при колебаниях тяговой нагрузки.

На рисунке 6 приведены зависимости тягового КПД от коэффициента использования веса трактора с классическим и треугольным гусеничным обводом. Оснащение трактора с балансирной подвеской треугольным обводом позволяет повысить на 3,0 % тяговый КПД и расширить зону эффективного использования от $\varphi_{кр1} = 0,40 - 0,66$ до $\varphi_{кр2} = 0,30 - 0,70$.

В таблице 2 показана зависимость эксплуатационных параметров гусеничного трактора на операциях основной обработки почвы при разной длине гона.

С учетом рациональных значений рабочей скорости для операций основной обработки почвы разных групп

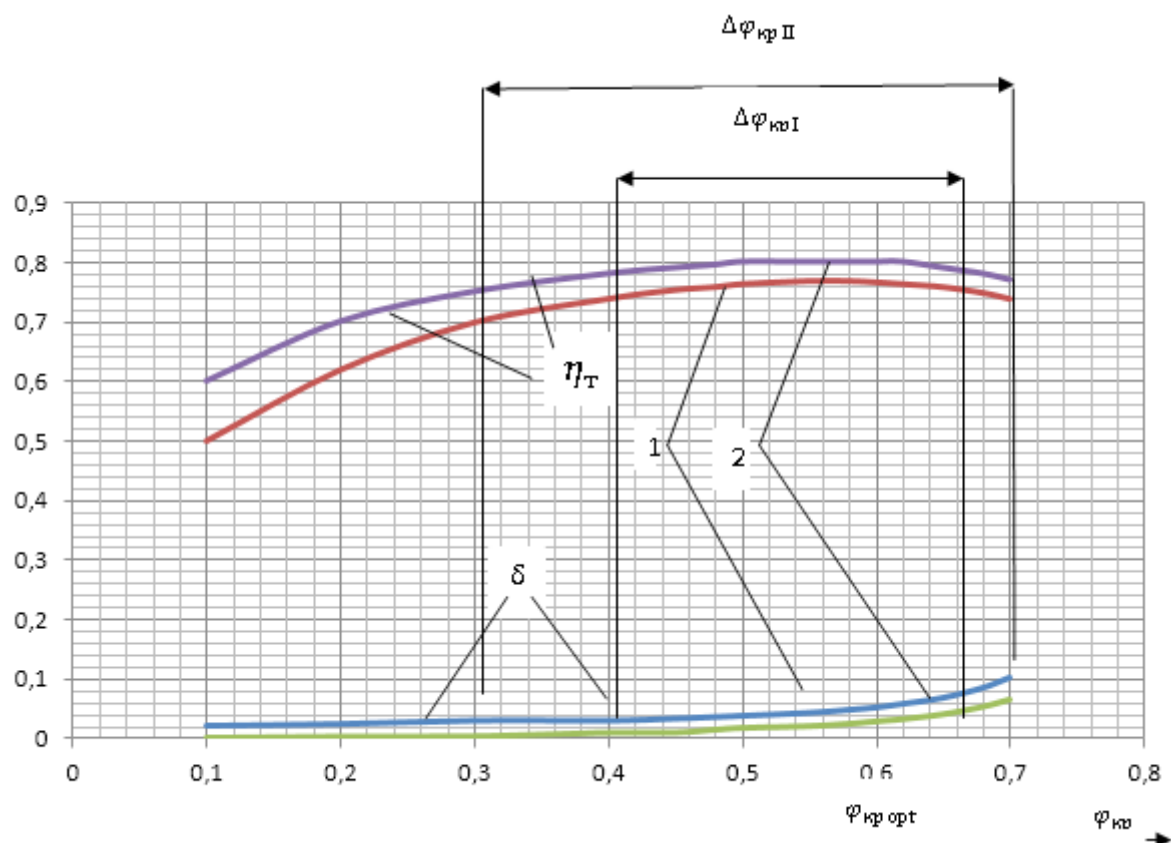


Рис. 6. Зависимость буксования гусеничного трактора от коэффициента использования веса:
1 — классический обвод; 2 — треугольный обвод

(2,1, 2,45, и 3,30 м/с) определены интервалы регулирования эксплуатационной мощности и массы тракторов для превалярующих классов длины гона (600–1000 м и более 1000 м).

С учетом природно-производственных условий новый парк гусеничных тракторов должен представлен мобиль-

ными энергетическими средствами с переменными массо-энергетическими параметрами на единой элементарно-агрегатной базе двух основных моделей. Первая модель 4–5 кл. мощностью 140–175 кВт и эксплуатационной массой 8,5–9,5 т. является наиболее рациональной на основной обработке почвы при длине гона 600–1000 м. Вторая мо-

Таблица 2

Зависимость осреднённых значений массоэнергетических параметров гусеничных тракторов на операциях основной обработки почвы от длины гона $[\bar{m}_3^*, t / (\bar{\xi}_N N_{es})^*, \text{кВт при } \bar{\varphi}_{крн} = \bar{\varphi}_{кр} = 0,5(\varphi_{кр \text{ опт}} + \varphi_{кр \text{ max}})]$

Виды родственных операций	$V_{\text{опт}}^*(V_{\text{max}}^*)$, м/с	Класс длины гона, м	
		600–1000	> 1000
Вспашка и глубокое рыхление	1,8	7,1	9,2
		104,6	135,9
	(2,1)	8,3	10,8
		143,4	186,9
Комбинированная обработка (сплошная культивация) и чизлевание	2,1	8,7	11,0
		149,5	190,0
	(2,8)	8,8	11,5
		207,6	272,0
Поверхностная обработка и посев	2,8	7,7	9,1
		182,0	215,6

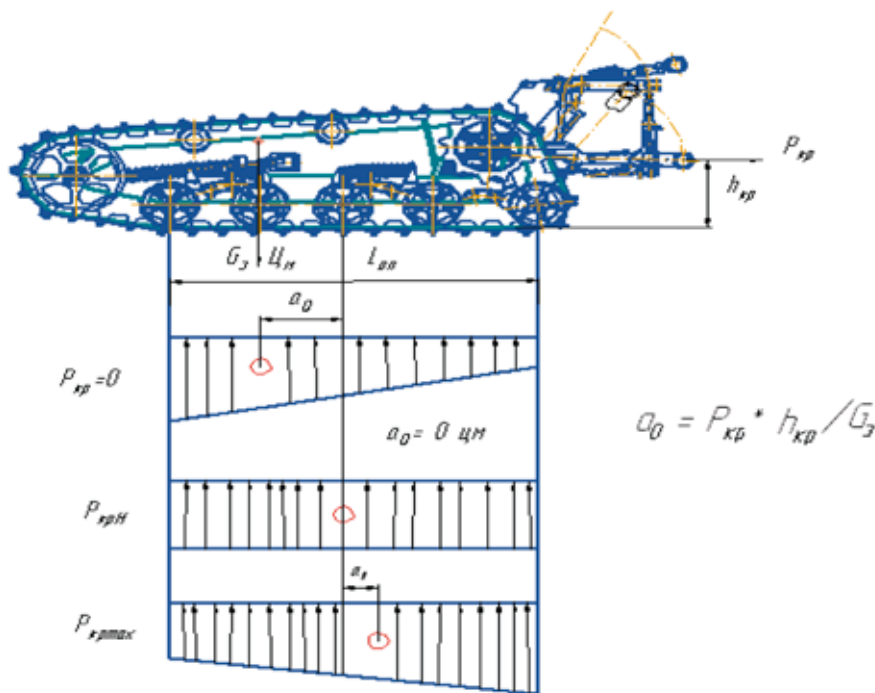


Рис. 5. Эпюра нормальных реакций на гусеничный движитель при различной координате центра давления

дель 5–6 класса мощностью 155–210 кВт и массой 10,5–12,0 т. предназначена для работы при длине гона более 1000 м. Указанным эксплуатационным параметрам соответствуют новые модели типоразмерного ряда тракторов ОАО «ТК» ВгТЗ» с треугольным гусеничным обводом.

На рисунке 5 показана рекомендуемая компоновочная схема гусеничных тракторов указанных типоразмеров.

Выводы

Анализ состояния производства и использования гусеничных тракторов общего назначения показал существенное сокращение их парка в АПК РФ и региона.

Показано что применение треугольного гусеничного обвода повышает на 3,0% тяговый КПД и существенно расширяет тяговый диапазон эффективного использования трактора.

Литература:

1. Елисеев, А. Г. Тракторы и сельхозмашины // Союзагромаш — 2010. — №3 — с. 6–8.
2. Селиванов, Н. И. Технологические основы адаптации тракторов [текст]/Н. И. Селиванов; — Краснояр. гос. аграр. ун-т. — Красноярск, 2012. — 256 с.
3. Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: Сборник статей студенческой научно-практической конференции с международным участием (12–14 марта 2013.). Часть II. — Иркутск: Издательство ИрГСХА, 2013. — 272 с.

Для преобладающих классов длины гона и технологии основной обработки почвы обоснованы массо-энергетические параметры гусеничных тракторов двух типоразмеров с треугольным гусеничным обводом; при $L_T = 600 - 1000$ м трактор 4–5 кл. с интервалом изменения эксплуатационной мощности и массы от 140 до 175 кВт и от 8,5 до 9,5 т соответственно; при $L_T > 1000$ трактор 5–6 кл. с интервалом изменения $N_{э3}$ и m_3 от 155 до 210 кВт и от 10,5 до 12,0 т.

Регулирование эксплуатационных параметров производится изменением коэффициента приспособляемости K_H двигателя от 1,2 до 1,4 регулированием подачи топлива и установкой балластных грузов массой $m_6 = (0,12 - 0,14)m_{3, \min}$ в передней части трактора.

8. СТРОИТЕЛЬСТВО

Использование отходов предприятий черной и цветной металлургии в строительной индустрии

Аксенова Людмила Леонидовна, кандидат технических наук, доцент;
Бугаенко Людмила Витальевна, магистрант
Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова

Высокие темпы развития материального производства, ускорение научно-технического прогресса обуславливают все более интенсивное использование природных ресурсов, особенно полезных ископаемых. Важность проблемы обеспечения минеральным сырьем народного хозяйства определяется, с одной стороны, тем, что последние являются основой развития промышленности, ее эффективность в первую очередь зависит от степени обеспеченности ресурсами, а с другой стороны, тем, что экономика страны функционирует при ограниченных запасах полезных ископаемых.

Вследствие постоянного роста взаимодействия между обществом и природой окружающая нас среда становится все более синтетической, и ее естественная структура вступает в конфликт с производительными силами и общественным потреблением. Назревает необходимость контроля над качеством окружающей среды. Проблему эффективного использования минерального сырья и, в частности, переход на безотходную технологию следует рассматривать с точки зрения устранения противоречий между экономическим ростом (необходимостью все большего вовлечения ресурсов в производство) и «производительной возможностью» окружающей среды (истощение запасов, снижение качества минеральных ресурсов, нарушение экологического баланса). Решение этих противоречий вероятно при рациональном и комплексном использовании добываемых ресурсов, а также отходов производства.

Главное направление снижения объема отходов производства — их утилизация в различных отраслях народного хозяйства и, особенно, в строительной индустрии.

Актуальность и необходимость расширения утилизации отходов производства с каждым годом возрастают вследствие истощения запасов богатых руд, сложившейся структуры их добычи, увеличения потребности в строительных материалах и обострения проблемы хранения отходов.

Развитие и совершенствование производства строительных материалов имеют решающее значение для выполнения программы строительных работ. Основные строительные материалы (цемент и другие вяжущие, сте-

новые материалы, хризотилцементные изделия, строительная керамика, тепло-, гидро- и звукоизоляционные материалы, строительное и техническое стекло и др.) производятся в основном на предприятиях Агропромышленного комплекса России.

Минерально-сырьевые отходы находят широкое применение в производстве строительных материалов.

Так, например, широко применимы отходы предприятий черной металлургии. Наиболее широкое применение при производстве строительных материалов находят доменные шлаки, выход которых на отечественных металлургических заводах составляет примерно 0,5–0,6 т на 1 т чугуна. При переработке доменных шлаков получают гранулированный шлак для производства цемента, закладки выработанного пространства, производства местных и шлакощелочных вяжущих заполнителей бетонов, шлакощелочной пемзы, используемой в качестве заполнителей бетона, минеральной шлаковой ваты, шлакоситаллов, щебня и песка.

Применение этих материалов в строительстве позволяет экономить первичные минеральные ресурсы (песок, известь, глину, щебень), клинкерный цемент и топливо. Так, например, использование гранулированных шлаков в качестве заполнителей бетона дает значительную экономию. Применение шлакового щебня и песка для строительных целей позволяет получить не только экономию средств, но и также исключить использование при производстве естественных заполнителей.

Одним из наиболее рентабельных видов употребления доменных шлаков является шлаковое литье. Разработана технология производства двухслойных металлошлаковых труб и отводов шлаковых плит и других изделий. Трубы предназначены для пневмо-гидротранспортирования абразивных материалов — щебня, песка, руд, бетона и др. Замена ими стальных трубопроводов позволила на каждом километре трубопровода экономить 150 т металла.

Ферросплавные шлаки используются для производства местных и шлакощелочных вяжущих в качестве заполнителей бетонов. При этом наблюдается снижение расхода естественных заполнителей. Большую ценность для про-

изводства автоклавных материалов представляют шлаки, получаемые при выплавке коуглеродистого феррохрома. При охлаждении шлак феррохрома в результате силикатного распада превращается в дисперсный порошок. Добавка шлака (3–4 %) к силикатной массе позволяет улучшить ее формовочные свойства, повысить прочность сырца, снизить расход извести.

Шлаки ферросплавного производства могут стать эффективным заполнителем огнеупорных бетонов. Огнеупорные бетонные композиции на основе заполнителей из ферросплавных шлаков могут применяться в различных тепловых агрегатах. Бетона на заполнителе из шлаков ферросплавного производства характеризуется высокой термостойкостью и может применяться в качестве высокотемпературной футеровки с циклическим режимом нагрева и охлаждения.

Основной потребитель шлаков — цементная промышленность, использующая до 75 % их объема для производства гидравлических добавок производства портландцементов, шлакопортландцементов, шлакощелочных цементов высоких классов. Немало цементных заводов расположены непосредственно около металлургических заводов. Это позволяет эффективно использовать шлаки для производства высококачественных цементов.

Также широкое применение получили и отходы предприятий цветной металлургии. Из минерально-сырьевых отходов цветной металлургии некоторое применение получили шлаки и шламы. Исследования физико-химических, физико-механических и технологических свойств шлаков, образующихся на горно-металлургических комбинатах вследствие переработки руд цветных металлов, показали, что для производства строительных материалов пригодны шлаки, полученные при переработке медных никелевых руд, которые по прочностным характеристикам, теплофизическим свойствам, износостойкости, кислотостойкости, как правило, значительно превосходят аналогичные показатели доменных шлаков.

Гранулированные шлаки этих производств являются хорошим сырьем для приготовления вяжущих веществ автоклавного твердения. На таком вяжущем получают бетоны следующих видов: тяжелый на крупном заполнителе, плотный мелкозернистый, легкий на пористом заполнителе, ячеистый. Такие материалы не нуждаются в дополнительной переработке, они лучше пиритных огарков.

Переработка шлаков руд цветных металлов на песок и щебень после извлечения ценных металлов — наиболее перспективный и экономически выверенный путь решения проблемы их утилизации.

Однако в настоящее время доля переработки шлаков на предприятиях цветной металлургии остается на низком уровне. Большую их часть сливают или вывозят в отвалы. В натуральном виде эти гранулированные шлаки могут быть использованы в качестве мелкого заполнителя в бетонах. В то же время проблема использования шлаков предприятий цветной металлургии, которых накопились

сотни миллионов тонн в народном хозяйстве, остается актуальной как с позиции комплексного использования минерального сырья, снижения себестоимости конечного продукта, так и с позиции охраны окружающей среды.

Перспективны для утилизации шлаки, получаемые при выплавке никеля. Они пригодны для переработки в строительный песок, дефицит которого непрерывно возрастает.

К настоящему времени разработана технология переработки гранулированных шлаков в качественный мелкий заполнитель. Тяжелые бетоны с заполнителем на шлаковом песке по расходу цемента, прочностным и деформативным характеристикам, морозостойкости соответствуют нормативным требованиям и не уступают бетонам, произведенным на основе природного стандартного песка.

Могут применяться гранулированные шлаки никелевого производства и в качестве кремнеземистого компонента автоклавного вяжущего. При этом требуемое количество извести снижается в 3–4 раза по сравнению с использованием кварцевого песка. Данным гранулированным шлаком можно полностью заменить природный песок в силикатной смеси при производстве кирпича. От такой замены не только повышается прочность кирпича, но и улучшаются теплоизоляционные свойства материала.

Заслуживают внимания шламы как побочный продукт при переработке глиноземсодержащего сырья. Они могут, по предварительным данным, использоваться для изготовления цемента. Каолиновый шлам по своему химическому составу близок к портландцементу. Нефелиновый (белитовый) шлам — побочный продукт (отходы) при производстве глинозема, на протяжении многих лет используется в промышленности строительных материалов. Промытый белитовый шлам — хорошее сырье для изготовления цемента высокой активности.

Производство цемента на основе этих шламов вследствие значительного количества в них готового двухкальциевого силиката является более экономичным. Так, расход известняка сокращается на 50–60 %, производительность вращающихся печей повышается на 25–30 %.

В результате совместного помола нефелинового шлама с портландцементным клинкером и гипсом получают высококачественные цементы самых разнообразных классов, отвечающие требованиям государственного стандарта и техническим условиям.

На нефелиновом цементе при расходе 200–230 кг/м³ можно получать конструкционно-изоляционный газобетон (например, керамзитобетон) хорошего качества крупнозернистой структуры.

В нашей стране много лет применяется безотходная технология по производству содопродуктов и цемента на базе комплексного использования нефелинов. Из каждых 4 т нефелинового концентрата и 15 т известняка получают без отходов 1 т глинозема, 1 т содопродуктов и 10 т цемента.

Кроме цементного производства на основе нефелинового шлама он может применяться в производстве строительных изделий (кирпич, блоки, плиты); в дорожном строительстве для укрепления грунтов в качестве подстилающего слоя; при производстве вяжущего для асфальтобетона, огнеупоров в качестве одного из основных компонентов шахты; при изготовлении цветного стекла.

Красные бокситовые шламы, образующиеся при производстве алюминия, могут использоваться в цементном производстве, при производстве шлакокаменного сырья, шлакоцебня, шлакоситаллов, различных составов местных вяжущих, для закладки горных выработок, устройства дорожных покрытий и т. д.

С 90-х годов XX века прослеживались два основных направления переработки красных бокситовых шламов:

1. комплексная переработка шламов с последовательным получением ряда ценных продуктов (чугуна, глинозема, цемента и др.);

2. непосредственное использование шлама в качестве добавки при производстве различных видов строительных материалов, например цемента.

Утилизация красных бокситовых шламов связана с небольшим объемом капитальных вложений в специализированные производства. Однако при погрузке, транспортировании и разгрузке их влажность не должна превышать 15–20 %. Исследования показали, что красный бокситовый шлам глиноземного производства является сырьем для промышленности строительных материалов, позволяющим интенсифицировать процесс производства портландцементного клинкера.

Таким образом, можно заключить, что использование отходов предприятий черной и цветной металлургии в строительной отрасли является перспективным направлением промышленного комплекса, поскольку при его развитии представляется возможным снижением напряженности во многих сферах народного хозяйства.

Литература:

1. Бобович, Б. Б. Переработка отходов производства и потребления/Б. Б. Бобович, В. В. Девяткин. — «Интермет инжиниринг», 2000. — 496 с.
2. Болдырев, А. С. Использование отходов в промышленности строительных материалов/А. С. Болдырев, А. Н. Люсов, Ю. А. Алехин. — М.: Знание, 1984. — 64 с.
3. Маннанова, Г. В. Техника и технология утилизации твердых отходов/Г. В. Маннанова. — М.: Знание, 2007. — 24 с.

Решение проблем эксплуатации длинных трубопроводов от кустов скважин до ЗПА, при обустройстве месторождений на Гыданском и Ямальском полуостровах

Гимпу Денис Сергеевич, инженер
ООО «НОВАТЭК-ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ» (г. Новый Уренгой)

Гимпу Максим Сергеевич, инженер
ЗАО «Ачимгаз» (г. Новый Уренгой)

В статье описано, с какими сложностями сталкиваются нефтегазодобывающие компании на стадии проектирования и обустройства газосборных сетей (ГСС) с кустов скважин на новых, труднодоступных месторождениях в районах крайнего севера. Представлены решения позволяющие оптимизировать работу ГСС на стадии проектирования.

Ключевые слова: шлейф, куст скважин, трехходовой кран для запуска поршня, ГСС, моделирование, ПО OLGA, ПО PIPESIM, Южно-Тамбейское месторождение, Салмановское (Утреннее) месторождение.

Разработка месторождений находящихся в районах крайнего севера Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) всегда была сопровождаема трудностями по постройке и эксплуатации нефтегазовых промыслов, особенно при отсутствии транспортной инфраструктуры на таких месторождениях, как Южно-Тамбейское и Салмановское (Утреннее). Капитальное строительство ведется в основном в зимнее время, так как местность пре-

имущественно болотистая и в теплое время года почва подтапливается. Содержание дорог от кустов скважин до установки по подготовки газа (УКПГ) также приводит к большим денежным затратам, так как в течение года сильно размывается и разрушается.

При учете выше перечисленного становится понятным, что строительство транспортной инфраструктуры на Южно-Тамбейском и Салмановском (Утреннем) месторождениях

потребуется больших денежных затрат. Учитывая большую площадь месторождений и их сложность, то для разработки Южно-Тамбейское месторождения потребуется пробурить около 200 скважин на 19 кустовых площадках, для разработки Салмановского (Утреннего) потребуется построить около 150 скважин на 27 кустовых площадках.

ГСС Салмановского месторождения обусловлена большой протяженностью газосборных шлейфов от скважин до УКПГ — до 25 км. Также для равномерной разработки месторождения скважины бурятся на разные продуктивные пласты с различными пластовыми давлениями, следовательно, шлейфа с кустов скважин имеют разный диаметр. Со временем при эксплуатации месторождения в ГСС появится проблема осушки шлейфов от выпадающей и скапливающейся жидкости внутри полости шлейфов, что может привести к большому перепаду давления и к гидроудару.

На сегодняшний день применяют следующие методы осушки шлейфов ГСС:

1. строительство камер запуска/приема очистных поршней;
2. продувка шлейфов путем перекрытия параллельных шлейфов, при наличии, тем самым увеличивая скорость газа до скоростей достаточных для выноса жидкости из шлейфа.

Применение стандартных методов требует больших затрат на строительство камер запуска и приема в первом способе и не возможность повсеместно использовать второй способ.

Для решения проблемы с осушкой проектируемых длинных шлейфов на Салмановском (Утреннем) месторождении и существующих шлейфов на Юрхаровском

нефтегазоконденсатном месторождении ведутся работы по моделированию ГСС при помощи программного обеспечения (ПО) OLGA и PIPESIM.

ПО PIPESIM — программный комплекс анализа системы добычи, предоставляющий пользователю средства для досконального и эффективного поиска способов увеличения добычи и определения потенциала пласта. PIPESIM позволяет:

- Рассчитывать сложные сети сбора и транспортировки добычи, включая лупинги, параллельные трубопроводы, учитывать взаимовлияние скважин, трубопроводов и технологического оборудования;
- Проектировать и анализировать работу вертикальных, горизонтальных, многозабойных, многоствольных скважин;
- Определять наиболее подходящий способ механизированной добычи и выполнять детальный дизайн эксплуатации газлифта, штангового насоса, ЭЦН;
- Выполнять комплексный анализ чувствительности с использованием нескольких параметров в любой точке гидравлической системы;
- Находить и прогнозировать «узкие места» системы сбора и транспортировки добычи, разрабатывать варианты «расширения узких мест»;
- Управлять гидратообразованием в системе сбора/транспортировки добычи (расчет изоляционного покрытия, определение оптимального количества закачиваемого химического ингибитора гидратообразования);
- Сохранять целостность трубопроводов с помощью прогнозирования эрозии и коррозии;
- Определять толщину отложений парафина на стенках трубопровода и НКТ с течением времени;

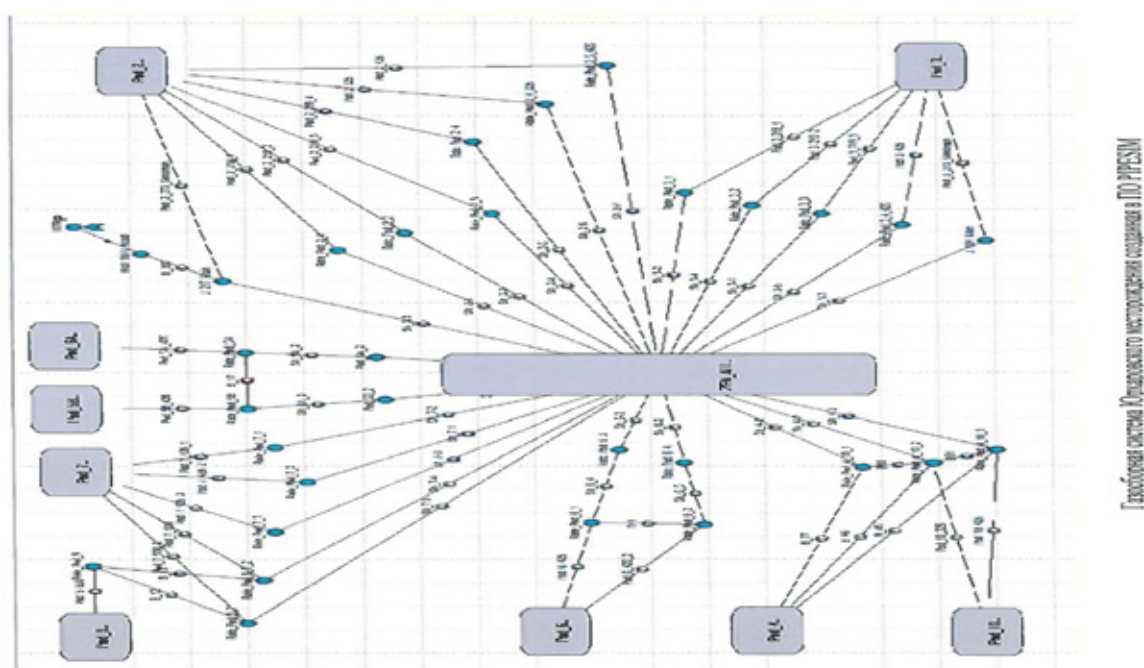


Рис. 1. Газосборная система Юрхаровского месторождения созданная в ПО PIPESIM

- Прогнозировать накопление жидкости;
- Прогнозировать появление жидкостной пробки и определять ее размеры.

При помощи PIPESIM были проведены работы по моделированию цифровой модели системы сбора и добычающих скважин Юрхаровского НГКМ, проведен анализ режимов работы добычающих скважин, системы сбора (рис. 1), схемы подготовки газа и конденсата Юрхаровского месторождения, были выданы рекомендации по повышению эффективности работы скважин и системы сбора, по оптимизации технологического режима УКПГ, УДК и ДКС на Юрхаровском месторождении.

ПО OLGA — программный комплекс, разработанный норвежской компанией SPT Group (Scandpower Petroleum Technology AS), дает возможность выполнять работы по имитационному моделированию систем любой сложности. Программа OLGA применяется при проектировании объектов газовой и нефтяной промышленности.

Анализ проблем эксплуатации:

— Решение задач дисбалансов при эксплуатации нефтепродуктопроводов со множеством поставщиков сырья, для которых характерны колебания пропорций флюидов и неравномерности распределения плотностей вдоль трубопроводов.

— Анализ работы трубопроводов, транспортирующих углеводороды с применением ингибиторов и противотурбулентных присадок.

— Анализ и решение проблем пробкообразования при транспорте УВ на базе изучения динамики движения многофазных систем.

— Пуск\остановка\изменение режимов работы трубопроводов

- Моделирование продувок\пуск поршней.
- Сбросы давления.

Термодинамические расчеты:

- Изоляция\заглубление.
- Образование гидратов и парафинов.
- Решения задач термодинамического взаимодействия трубопровода и грунтов (окружающей среды), что может быть полезно также при анализе проектных решений и прогнозировании работы подводных трубопроводов.

Стационарный режим течения:

- Расчет диаметра НКТ.
- Моделирование притока.
- Проект закачивания.
- Проектирование мехдобычи.
- Моделирование термодинамических процессов.

Нестационарные процессы:

- Пробкообразование.
- Оптимизация мехдобычи.
- Остановка скважины.
- Пуск в эксплуатацию.
- Накопление жидкости в стволе.
- Образование и таяние гидратов.
- Очистка скважины.
- Бурение на депрессии.

В данный момент ведутся работы по моделированию ГСС Юрхаровского НГКМ при помощи ПО OLGA. Это позволит добиться следующих результатов:

— анализ влияния типовых конструкций горизонтальных скважин, вскрывающих пласты ПК1, АУ-7, БУ1—2, БУ3—7 и БУ8—10;

— оценка влияние дебитов скважин на характер выноса жидкости для различных диаметров лифтовых колон;

— оценка условий выноса жидкости из скважин Юрхаровского НГКМ на примере типовых конструкций, работающих по схеме трубки + затруб. Определение условий перехода от эксплуатации трубки + затруб к эксплуатации только по НКТ;

— анализ режимов работ типовых газосборных шлейфов следующих основных диаметров: 273 мм, 325 мм, 377 мм, 426 мм, 530 мм и 720 мм с учетом различных расходов по газу, конденсату, воде и термобарических условий эксплуатации. По результатам анализа:

— определение возможности возникновения различных осложнений (образование жидкостных скоплений и гидратов);

— во избежание проявления осложнений предложить проведение предупреждающих и корректирующих действий, либо внедрение определенных технических решений по борьбе со скоплениями жидкости (продувка шлейфов, использование поршней);

— выполнение расчетов жидкостной пробки, проходящей на входные сепараторы при проведении мероприятий по борьбе со скоплениями жидкости; оптимизирование технологических режимов проведения данных операций в соответствии с ограничениями по объему входных сооружений;

— оценка сценария пуска/останова шлейфов, а также вероятность проявления различных осложнений в процессе проведения данных операций.

Так же применяется ПО OLGA для моделирования цифровой модели ГСС, цифровой модели системы подготовки Салмановского (Утреннего) НГКМ, гидравлического расчета трубопровода внешнего транспорта для завода СПГ и УКПГ. Также для проведения расчетов и выдачи рекомендаций по вариантам работы длинных шлейфов в условиях высокого влагосодержания и совместного транспорта и варианты работы междупромыслового транспорта для транспортировки ГКС с Геофизического НГКМ на Салмановское (Утреннее) НГКМ.

Применение ПО OLGA позволило моделировать нестационарные многофазные потоки в трубопроводах и скважинах, что нашло отражение в следующих работах:

1. Оценка условий выноса жидкости из скважин Юрхаровского НГКМ, работающих по схеме трубки+затруб

2. Произведен анализ проектных решений по системе сбора Южно-Тамбейского ГКМ с выдачей рекомендаций по их корректировке

3. Проведен анализ работы шлейфов кустов 7 и 9 Юрхаровского НГКМ и выданы рекомендации по исключению осложнений в процессе их эксплуатации

4. Создана постоянно-действующая модель конденсатопровода «Юрхаровское месторождение-Пуровский ЗПК» позволившая:

— оценить пропускную способность в условиях применения противотурбулентных присадок различных производителей при различных концентрациях;

— определить целесообразность строительства лупингов для обеспечения планируемых объемов поставки ДЭК;

— прогнозировать изменение технологических параметров при смене режима работы (успешное проведение безогневой врезки в конденсатопровод без необходимости остановки промысла ЮГНKM).

На основании проведенных научно исследовательских работ по моделированию ГСС Салмановского (Утреннего) НГKM планируется оборудовать «узкие места» газопроводов сбора и транспорта газа от кустов скважин до УКПГ чистяще-скребковыми шаровыми кранами (Рис. 2).

Кран монтируется в паре, т.е. один кран в начале участка шлейфа для запуска, второй кран в конце для приема очистного снаряда. По сравнению с камерами запуска/приема очистных снарядов чистяще-скребковые шаровые краны обладают рядом преимуществ:

— простой и быстрый метод запуска и приема очистного снаряда;

— конструкция чистяще-скребкового шарового крана позволяет монтировать и демонтировать шар без смешения по оси колец седла и без использования специальных инструментов;

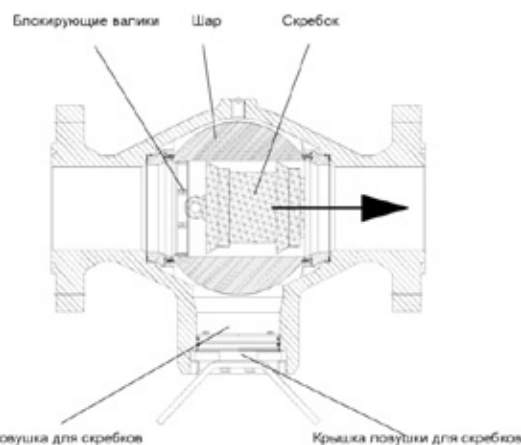


Рис. 1. Чистяще-скребковый шаровый кран

Рис. 2. Чистяще-скребковый шаровый кран

— в процессе запуска и приема скребка байпас способен обеспечить от 80 % до 100 % потока.

— не большая металлоемкость, и стоимость в сравнении со стандартными камерами запуска/приема поршня;

— большой диапазон рабочих условий (давление — 10 МПа, температура, диаметр шлейфа до 1000 мм включительно).

Чистяще-скребковые шаровые краны уже применяются в структуре компаний ОАО «НОВАТЭК», на Уренгойском месторождении, Самбургского ЛУ, на газосборных коллекторах кустов газовых скважин ОАО «Арктикгаз» (Ду 300 мм; Ру 16 МПа).

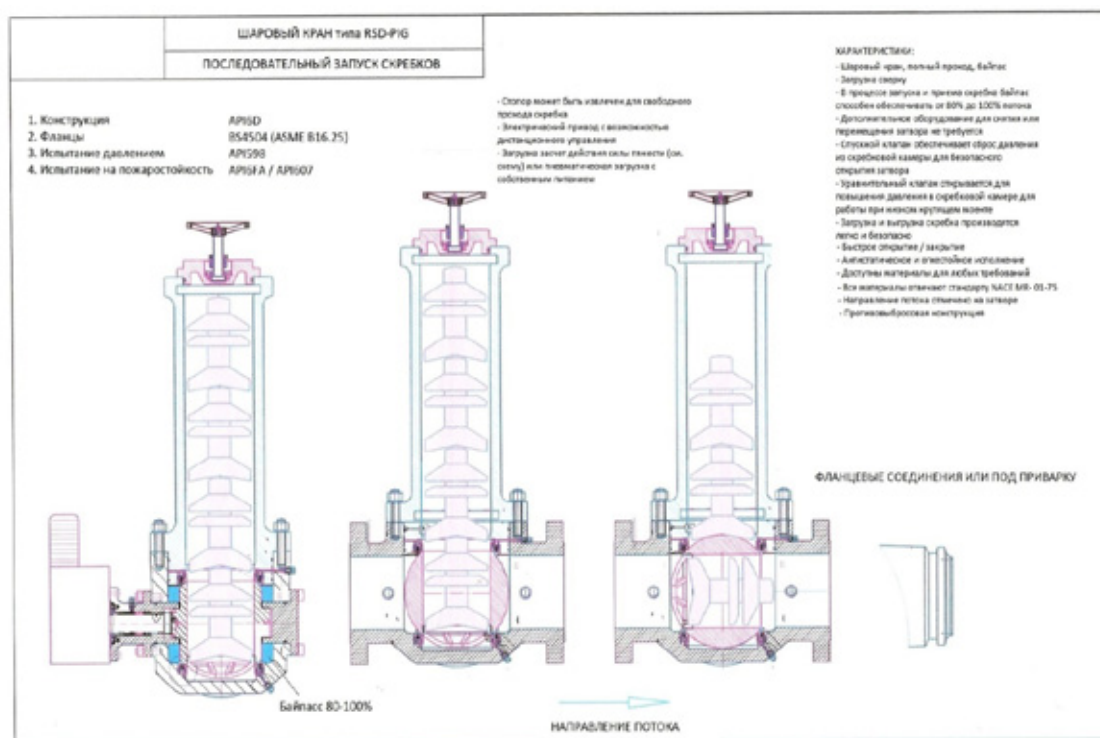


Рис. 3. Схема запуска очистных скребков из кассеты при помощи пневматической загрузки

Для Салмановского (Утреннего) НГКМ в виду большой протяженности шлейфов, для исключения необходимости непосредственного присутствия оператора для запуска очистных снарядов была разработана модель чистяще-скребкового шарового крана с последовательным запуском скребков из кассеты под действием сил тяжести или при помощи пневматической загрузки, с возможностью дистанционного управления краном с пульта

оператора на УКПГ (рис. 3 на стр. 112).

На сегодняшний день правильное и тщательное планирование существующих и проектируемых ГСС требует дополнительных вложений, но в дальнейшем эксплуатация таких ГСС приведет к существенному сокращению капитальных и эксплуатационных затрат, а также оптимизирует работу ГСС.

Развитие технологии управляемого роторного бурения при строительстве скважин с субгоризонтальным профилем

Шевченко Иван Александрович, аспирант

Сахалинский государственный университет, Технический нефтегазовый институт (г. Южно-Сахалинск)

Традиционные методы наклонно-направленного бурения с использованием винтовых забойных двигателей зачастую приводят к увеличению неоднородности ствола скважины при переходе от ориентированного к роторному бурению. Благодаря использованию управляемой роторной системы осуществляется непрерывное вращение бурильной колонны, что способствует значительному снижению локальной интенсивности искривления ствола скважины. Также возрастает эффективность управления траекторией при одновременном увеличении продолжительности рейсов и механической скорости бурения. Непрерывное вращение всей бурильной колонны значительно улучшает очистку ствола и снижает вероятность прихватов, а также позволяет вести непрерывные геофизические измерения в процессе проходки ствола.

Ключевые слова: роторная управляемая система, бурение, винтовые забойные двигатели.

Технологии наклонно-направленного бурения и изменений в процессе бурения обеспечили гораздо более высокую степень контролируемости траектории. Методы бурения также постоянно совершенствовались за счет синхронизации по времени, подбора долот, оптимизации нагрузки на долото, более эффективных методов очистки скважины.

Появление управляемых роторных систем бурения дополняет этот арсенал усовершенствований, появившихся за последнее десятилетие. При этом технология управляе-

мого роторного бурения (УРБ) продолжает развиваться. Новейшие системы УРБ облегчают бурение протяженных горизонтальных участков, обеспечивая полный контроль направления, возможность бурения в сложных условиях в рыхлых и неустойчивых породах. Кроме обеспечения возможности проведения сложных и специальных буровых операций, системы роторного управляемого бурения повышает эффективность обычных буровых работ.

Существуют различные модификации системы для широкого диапазона диаметров ствола. Все они обеспечи-

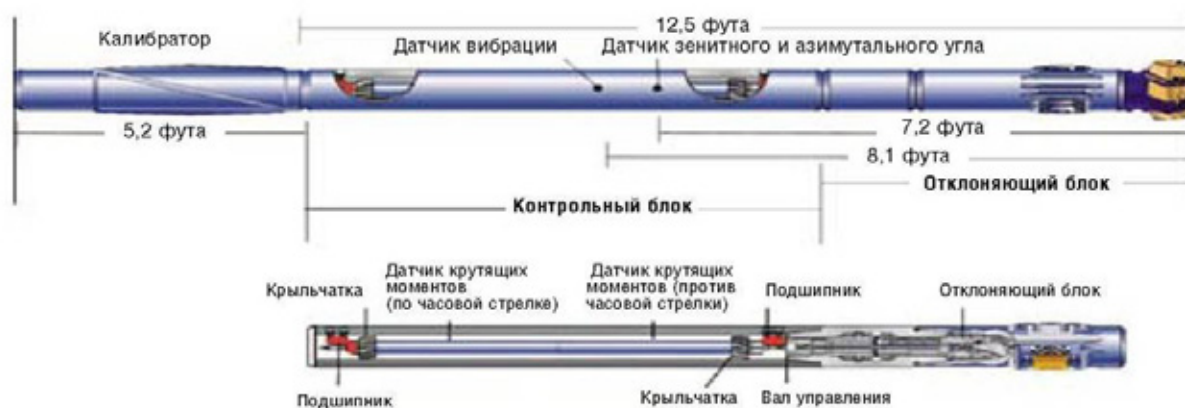


Рис. 1. Автоматическая роторная система

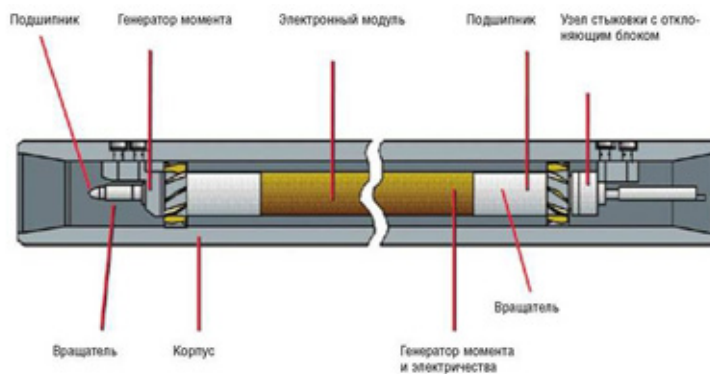


Рис. 2. Схема контрольного блока

вают высочайшее качество ствола и эффективную очистку скважины при непрерывном вращении системы, что снижает риск прихвата и предоставляет возможность поддерживать высокую скорость проходки. [2]

Система УРБ снабжена трехосевой системой датчиков, регистрирующих любые отклонения от заданной траектории, а также азимут и величину отклонения. При возникновении отклонения система автоматически определяет направление, необходимое для возврата к вертикали. Возврат осуществляется с помощью отклонителей, оттапливаемых от стенок скважины. Именно такой режим исключает необходимость контроля и регулировки работы системы с поверхности. [4]

Работа системы также не зависит от наличия системы измерений зенитного угла и азимута в процессе бурения. Тем не менее, использование несложной системы для измерения зенитного угла в процессе бурения обеспечивает возможность получения данных об отклонении ствола в режиме реального времени.

Скорость вращения может регулироваться для обеспечения оптимальной эквивалентной плотности раствора и параметров очистки скважины. Вращение всех компонентов обеспечивает высокую эффективность очистки и позволяет достичь оптимальной эквивалентной плотности раствора даже при бурении вертикальных скважин, когда мощности насосов имеют ограничения по давлению. Эти факторы играют важную роль при бурении глубоководных скважин, где возможны ограничения по удельному весу бурового раствора, а также при проходке напругенных, трещиноватых или неустойчивых пород.

Данная система обеспечивает также высокую точность размещения скважины, высокое качество ствола, высокую скорость проходки и эффективную очистку скважины. Помимо повышения эффективности бурения при использовании системы возможно сокращение численности буровой бригады, что позволяет снизить затраты и создает дополнительные преимущества при ограниченной площади буровой площадки.

Использование управляемых роторных систем для бурения скважин с большими отходами от вертикали позволило компании «Сахалинморнефтегаз» (СМНГ; дочерняя

фирма компании «Роснефть») улучшить показатели производительности бурения и качество ствола по сравнению со скважиной, пробуренной по обычной технологии с использованием винтового забойного двигателя. Бурение скважин производилось с наземной кустовой площадки, расположенной на севере острова Сахалин. В соответствии с техническим заданием горизонтальное смещение точки входа в пласт составляло 4000 м от побережья острова.

При бурении было задействовано 2 типоразмера управляемой роторной системы PowerDrive Xtra: диаметром 9 и 6³/₄ дюйма (228,6 и 171,45 мм). Эффективность бурения в секции 12¹/₄ дюйма (311 мм) повысилась на 41 %, при этом время на проработку и калибровку ствола скважины сократилось на 38 %. Суммарная локальная интенсивность искривления ствола скважины была снижена более чем на 30 % по сравнению с интенсивностью, полученной при использовании винтового забойного двигателя. На рисунке 3 представлен профиль скважины 216 пробуренной с использованием системы Power Drive Xtra.

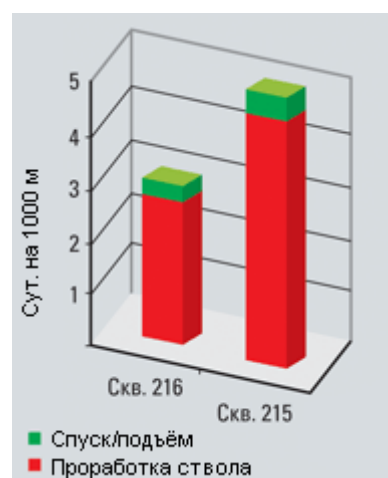
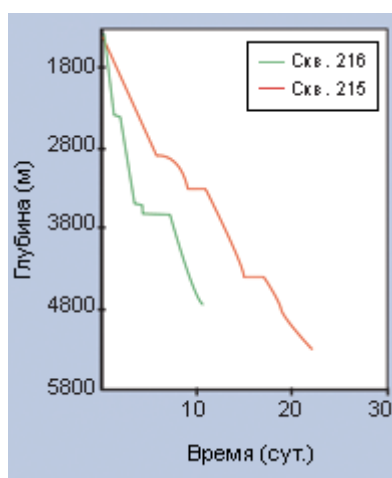
Бурение скважины 216 производилось с кустовой площадки, горизонтальное смещение точки входа в пласт составило 4000 м от побережья. Использование системы PowerDrive Xtra обеспечило эффективное управление траекторией и высокую степень очистки ствола скважины, а также снижение момента вращения бурильной колонны. Благодаря применению системы PowerDrive Xtra удалось добиться значительного уменьшения числа «затяжек», что в дальнейшем способствовало успешному спуску обсадной колонны. При этом затраты времени на ориентированное бурение с винтовым забойным двигателем были полностью исключены. [4]

В результате применения системы PowerDriveXtra на скважине 216, специалисты предприятия «Сахалинморнефтегаз» (СМНГ; дочерняя фирма компании «Роснефть») отметили:

- Эффективность бурения повысилась на 41 %
- Сократилось время на проработку и спускоподъемные операции на 38 %
- Непрерывное вращение бурильной колонны позволило добиться сглаженной траектории скважины



Рис. 3. Профиль скважины 216



Сравнительные графики строительства 121/4 дюймовых интервалов для двух скважин, при бурении которых использовались винтовой забойный двигатель (скважина 215) и управляемая роторная система PowerDrive Xtra (скважина 216).

При анализе временных затрат на проработку и проведение спускоподъемных операций было выявлено 38%-е улучшение показателей с использованием управляемой роторной системой.

— обеспечение эффективного управления траекторией и высокую степень очистки ствола скважины

— снижение момента вращения буровой колонны

В настоящее время в нашей стране наблюдается тенденция смены привычных способов на новые, более эко-

номичные системы. Возможно, это станет отправной точкой нового этапа в процессе развития российского бурения. И через несколько лет данные технологии станут привычными для российских специалистов в области бурения нефтяных и газовых скважин.

Литература:

1. Rotary Steerable Drilling Systems Directory. Offshore, April 2009, pp. 84–89
2. SPE 87168. U. Hahne, G. Risdal, J. Ruszka, L. S. Wahlen. Integrated BHA concept of the latest generation rotary closed-loop system for hole sizes from 57/8» to 18j». Paper pre-sent-ed at thw IADC/SPE Drilling Conference held in Dallas, Texas, U. S. A., 2–4 March 2011;
3. R. Vigheto, M. Naegel, E. Pradie. Total drills extended-reach record in Tierra del Fu-ego. Oil & Gas Journal, May 17, 1999, pp. 51–52, 54–56;
4. Oil Review Autumn 2012;

9. ТРАНСПОРТ

Статистика отказов шин легковых автомобилей

Дамзен Виктор Александрович, кандидат технических наук, доцент;
Елистратов Сергей Валерьевич, аспирант
Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

Автомобиль представляет собой сложную систему состоящую из множества элементов. Каждый из элементов вносит свой вклад в надежность всей системы. Одним из таких элементов являются автомобильные шины. И хотя процесс замены неисправного элемента на исправный не представляет больших трудностей автомобиль выходит из строя. Следовательно, происходит снижение показателей надежности транспортного средства. При отдельном рассмотрении автомобильных шин к ним применимы все свойства надежности: безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость. В большинстве случаев надежность шин оценивают по совокупности показателей. Показателями, определяющими надежность шины, могут быть износ протектора (до минимально допустимой величины протектора), пробой и порезы, усталостные дефекты каркаса или все показатели сразу. Так в [1] представлены функции вероятности безотказной работы грузовых шин по перечисленным показателям. Примеры распределения партии восстановленных шин снятых с эксплуатации по пробегу и определение ожидаемого пробега шин представлены в [2].

На основании статистических данных по обращениям в шиномонтажную мастерскую проведен анализ надеж-

ности автомобильных шин. В качестве показателей надежности предлагается использовать вероятность безотказной работы шин, вероятность отказов, частота отказов, интенсивность отказов, гамма-процентный ресурс шин, закон распределения выхода шин из строя по пробегу. Такие свойства надежности как ремонтопригодность и сохраняемость автомобильных шин в данной работе не рассматривались. При сборе информации о ресурсе шин фиксировался факт снятия шин с эксплуатации и ремонтные операции в статистических данных не отражались. В соответствии с нормативной документацией завод-изготовитель автомобильных шин гарантирует ее сохраняемость в течении 5 лет с даты изготовления.

По исходным данным было проведено распределение шин по пробегу со следующими параметрами: количество интервалов разбиения $m = 15$; длина интервалов $\Delta t = 11334$ км. В результате получена гистограмма частот распределения отказов шин по пробегу (рис. 1).

В соответствии с [3] вероятностью безотказной работы называется количественная мера того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа и определяется по формуле:

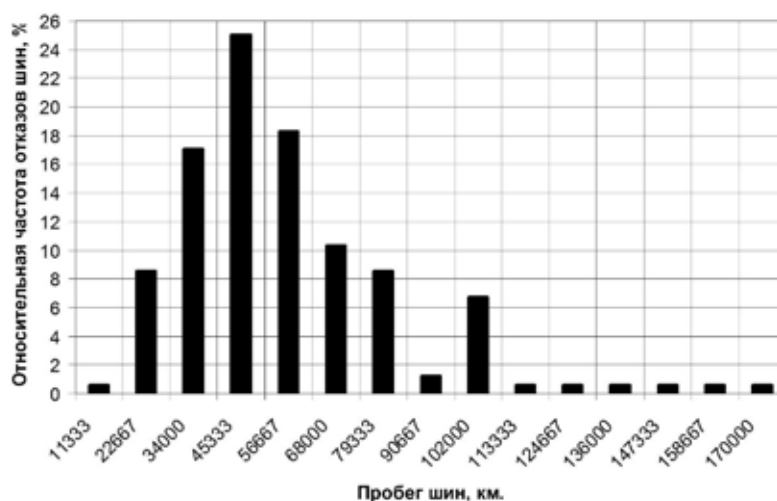


Рис. 1. Гистограмма частот распределения отказов шин по пробегу

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N} \quad (1)$$

где: N — число испытываемых объектов; $n(t)$ — число отказавших элементов за время t

Вероятностью отказа называется количественная мера того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникает хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа являются событиями несовместными и противоположными. Следовательно, вероятностью отказа определяется по формуле [3]:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (2)$$

Расчетные значения по формулам (1) и (2) представлены в виде графиков на рис. 2. По графику можно определить гамма-процентный ресурс шин. Он определяется как суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью гамма, выраженной в процентах [4]. Тогда 90 % гамма-процентный ресурс составит 23000 км пробега, что соответствует вероятности безотказной работы шин равной 0,9. кроме того из анализа интегральных функций (рис. 2) видно, что 50 % вероятность безотказной работы шин составляет 45000

километров пробега. Частотой отказов по статистическим данным называется отношение числа отказавших элементов в единицу времени к первоначальному числу работающих (испытываемых) и определяется по формуле [3]:

$$f(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t} \quad (3)$$

где: $n(\Delta t)$ — число отказавших элементов в интервале времени от $(t - \Delta t)/2$ до $(t + \Delta t)/2$

Интенсивностью отказов по статистическим данным называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени [3].

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t} \quad (4)$$

где: N_{cp} — среднее число исправно работающих изделий в интервале Δt

Величины частоты и интенсивности отказов имеют одинаковый порядок значений и размерность, поэтому могут изображаться в одних координатах. Результаты расчетов по формулам (3) и (4) представлены на рис. 3.

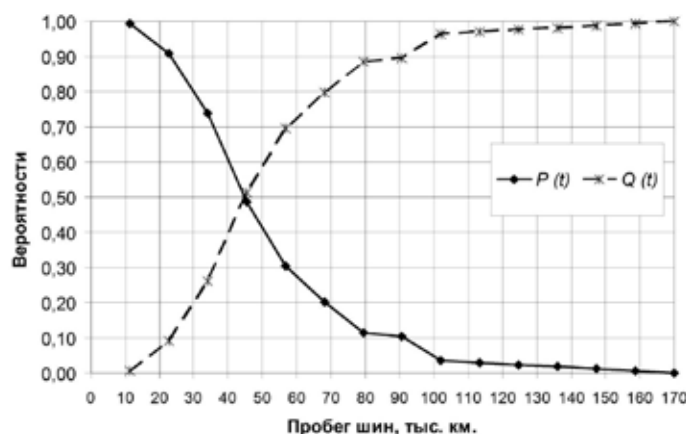


Рис. 2. Интегральные функции безотказной работы $P(t)$ и отказов $Q(t)$

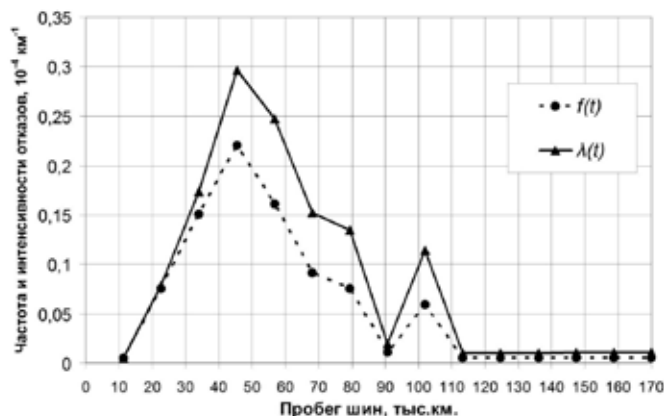


Рис. 3. График зависимости частоты $f(t)$ и интенсивности $\lambda(t)$ отказов шин от пробега

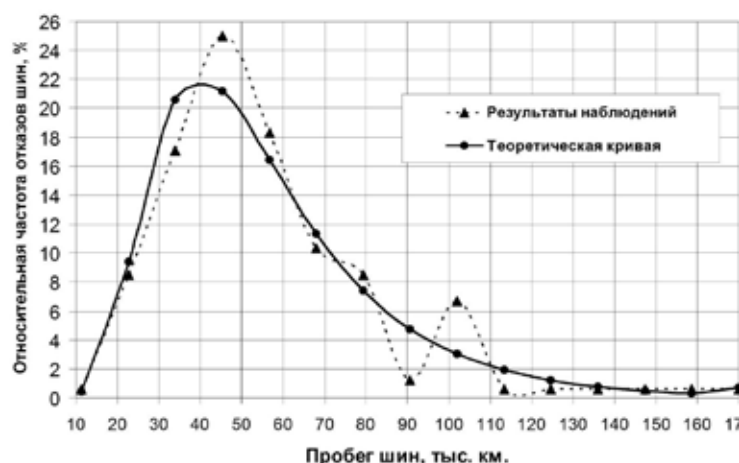


Рис. 4. Теоретическое распределение и экспериментальные данные отказов шин

Среднее время (пробег) безотказной работы вычисляется по формуле [3]:

$$T_1 \approx \frac{\sum_{i=1}^m n_i \cdot t_{cpi}}{N} \quad (5)$$

где: t_{cpi} находится по следующей формуле: $t_{cpi} = (t_{i-1} + t_i)/2$

где: t_{i-1} — время начала i -го интервала; t_i — время конца i -го интервала

В результате расчетов по формуле (5) получаем, что средний пробег безотказной работы шин составляет $T_1 = 50790$ км.

В общем случае результаты наблюдений выхода шин из строя (рис. 1) могут подчиняться некоторому теоретическому закону распределения. Проверку соответствия теоретического распределения проводится с помощью критерия соответствия χ^2 . Выбранное теоретическое распределение подтверждается, если выполняется условие [5]:

$$\chi^2 < \chi^2_{\alpha} \quad (6)$$

где: χ^2 — расчетное значение параметра; χ^2_{α} — теоретическое значение параметра

Для 10%-ного уровня значимости и числа степеней свободы равно 6, табличное значение $\chi^2_{\alpha} = 10,645$ [5]. При подборке теоретических распределений получены следующие результаты:

1. Нормальное распределение — $\chi^2 = 39,16$
2. Гамма распределение — $\chi^2 = 14,97$
3. Логарифмически нормальное распределение — $\chi^2 = 9,26$

Литература:

1. Третьяков, О.Б. Автомобильные шины. Конструкция, механика, свойства, эксплуатация/О.Б. Третьяков, В.А. Гудков, А.А. Вольнов, В.Н. Тарновский. — М.: КолосС, Химия, 2007. — 432 с.
2. Евзович, В.Е. Восстановление изношенных пневматических шин/В.Е. Евзович — М.: Автополис-плюс, 2005. — 624 с.

Условие (6) выполняется только для логарифмически нормального распределения:

$$9,26 < 10,645$$

Следовательно, при определении надежности шин принимается логарифмически нормальный закон распределения. На рис. 4 представлены кривые теоретического распределения и экспериментальных данных.

Соответствие экспериментальных данных логарифмически нормальному закону распределения означает, что случайная величина (пробег шины) зависит от большого числа независимых факторов [6]. Действительно, на надежность автомобильных шин влияют многие факторы: качество шин, состояние дороги, скорость автомобиля, мастерство водителя, давление в шинах, углы установки колес и другие.

На основании представленных данных можно сделать следующие выводы. Статистические данные по пробегу шин легковых автомобилей соответствуют логарифмически нормальному закону распределения. В соответствии с гистограммой (рис. 1) наибольшее количество шин, примерно 42%, выходят из строя при пробеге 45–56 тысяч километров. А по теоретическому закону максимум выходов из строя шин (41,5%) приходится на пробег 34–45 тысяч километров (рис. 4). В тоже время средний пробег безотказной работы составляет 50790 километров. Наибольший пробег шин доходит 170000 километров. До пробега более 90000 километров «доживают» лишь 12% шин и вероятность их отказа составляет 0,9. Однако это показывает, что имеется возможность увеличения надежности автомобильных шин в эксплуатации за счет повышения качества факторов, определяющих их ресурс.

3. Корчагин, А. Б. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие в двух частях. Часть 2. Практикум/А. Б. Корчагин, В. С. Сердюк, А. И. Бокарев. — Омск: Издательство ОмГТУ, 2011. — 140 с.
4. Курчаткин, В. В. Надежность и ремонт машин/В. В. Курчаткин, Н. Ф. Тельнов, К. А. Ачкасов и др.; под ред. В. В. Курчаткина. — М.: Колос, 2000. — 776 с.
5. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул/Е. Н. Львовский. Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1988. — 239 с.
6. Айвазян, С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное издание/С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 471 с.

Влияние личностных качеств на профессиональную успешность водителей пассажирского автотранспорта

Смирнова Светлана Викторовна, кандидат технических наук, доцент;

Дятлов Максим Николаевич, старший преподаватель;

Тодоров Алексей Николаевич, старший преподаватель;

Родин Евгений Евгеньевич, студент

Волгоградский государственный технический университет

Как правило, профессии неоднородны по своей психофизиологической характеристике. Задачи, составляющие профессиональную деятельность, требуют мобилизации различных психофизиологических функций, и для их успешного решения нужны различные индивидуальные особенности. Чем больше таких задач входит в профессиональную деятельность, и чем они разнообразнее, тем труднее овладение профессией [1, с. 218].

В нашей стране, как и во многих странах, наибольший объем перевозок приходится на городские автобусные маршруты.

Работа водителей в городах связана со значительными нервно-эмоциональными нагрузками, причинами которых являются повышенное внимание, быстро изменяющаяся ситуация на дороге, необходимость воспринимать и перерабатывать большое количество информации.

Организация труда водителей городского пассажирского транспорта по сравнению с водителями других транспортных средств имеет свои особенности. Их работа связана с выполнением социально значимого заказа — перевозки пассажиров. Водитель автобуса несет ответственность за находящихся в салоне пассажиров и не должен подвергать опасности своими действиями других участников дорожного движения. В отличие от большинства транспортных средств, движение автобусов происходит по заданному маршруту и строго регламентированному графику.

Водитель автобуса берет и высаживает пассажиров на остановках общественного транспорта. Остановки, особенно в «часы пик», бывают насыщены другим пассажирским транспортом (троллейбусы, маршрутные такси, автобусы других маршрутов), поэтому водитель должен быть предельно внимателен и дисциплинирован.

В случаях отсутствия кондуктора в салоне в обязанности водителя входят продажа и проверка проездных билетов.

Рабочий график водителя автобуса зависит от протяженности и интенсивности маршрута. На городских маршрутах это может быть работа в две смены или с утра до вечера по графику «два через два» [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что управление автотранспортными средствами, особенно перевозящими большое количество пассажиров, является сложным и ответственным делом. Чтобы эффективно и качественно управлять транспортным средством, водитель должен обладать необходимыми психофизиологическими, психологическими и личностными качествами.

При изучении отношения «человек — профессия» приходится принимать во внимание целый комплекс переменных, от которых в большей или меньшей степени зависит конечный результат: успех или неуспех. Эти переменные можно объединить в три группы, как это сделал Н. Д. Левитов.

Первая группа — мотивационные компоненты. В мотивах раскрывается, насколько данная профессия желательна или нежелательна человеку.

Вторую группу переменных составляют компоненты квалификации. Знания и умения, независимо от того, приобретаются ли они в учебном заведении или на практике, естественно, сказываются на отношении к профессии и на формирование пригодности к ней.

Подготовка, по крайней мере, в некоторых профессиях, не предусматривает всех тех ситуаций, которые возникают в трудовой деятельности, причем не из-за того, что что-то не учли при составлении программ обучения, а в силу специфики самой профессиональной деятельности. Вряд ли можно так обучить шофера, чтобы у него была готовая программа действий при любом дорожном происшествии.

Третью группу переменных составляют индивидуальные психофизиологические особенности личности [1, с. 9–10].

Особое место в изучении профессиональной деятельности специалистов занимает исследование психологических составляющих успешности. Изучение данных составляющих всегда привлекало внимание ученых.

Существуют исследования, рассматривающие характерологические и темпераментальные особенности в качестве ключевых факторов профессиональной успешности. Так, например, в исследованиях психологии операторской деятельности (В. А. Бодров, А. М. Емельянов, М. А. Котик, А. И. Куперман, Л. С. Нерсисян, Р. В. Ротенберг и др.) показано влияние личностных особенностей на эффективность и надежность профессиональной деятельности операторов в гражданской авиации, на железной дороге и автотранспорте.

В большинстве профессий с повышенными требованиями к людям имеются свои собственные «нужные» личностные характеристики, которые наряду с профессиональными навыками обеспечивают успех.

Огромная роль человеческого фактора проявляется и в процессе эксплуатации автотранспортных средств.

Для того чтобы спрогнозировать действия и поступки водителя в сложной и опасной дорожной обстановке, необходимо изучить не только его психофизиологические свойства, обеспечивающие высокий уровень водительского мастерства, но и личностные качества.

От поведения человека в семье, в обществе, по отношению к людям, его взглядов, интересов и убеждений будет зависеть его профессиональная надежность за рулем автотранспортного средства.

Люди, которые ведут себя в обществе агрессивно, нагло, надменно, эгоистично, проявляя явное неуважение к другим, и в качестве водителя создают много опасных дорожных ситуаций.

Личностные качества во многом определяются такими факторами, как семейное воспитание, круг общения, образование, семейное положение, возраст, стаж работы, и другими. Они, безусловно, могут быть изменены, но это довольно длительный процесс.

В исследованиях Митракова В. М. по определению психолого — акмеологических условий развития профессиональной готовности водителей автотранспорта к действиям в экстремальных ситуациях были выделены личностные качества, имеющие большое значение для профессиональной пригодности водителей и ряд социально-психологических качеств, которые создают predisposition к совершению ошибок в экстремальных ситуациях.

Личностные качества, имеющие большое значение для профессиональной пригодности водителей (по данным Митракова В. М.):

- отношение к работе, интерес к ней;
- точность, аккуратность, чувство ответственности;
- дисциплинированность;
- трудолюбие;
- отношение к другим людям: коллективизм, гуманность, чуткость, вежливость;

— отношение к себе (самооценка);

— скромность, самокритичность, способность правильно, объективно оценивать собственное поведение [3, с. 106].

В соответствии с действующими в Российской Федерации «Правилами дорожного движения», к управлению любым автотранспортным средством могут быть допущены граждане, достигшие определенного возраста, успешно прошедшие обучение и аттестацию, и получившие права на вождение.

Для того чтобы работать водителем автобуса необходимо иметь водительские права категории «D». К обучению на данную водительскую категорию допускаются заинтересованные лица, достигшие двадцатилетнего возраста.

Обучение вождению автомобиля по категории «D» может проводить любое учреждение, имеющее соответствующую государственную лицензию: как автомотошкола, так и автомотоклуб.

Прием квалификационного экзамена и выдачу водительского удостоверения категории «D» производит отделение ГИБДД, находящееся по месту жительства. Экзамен включает в себя две части: теоретическую — на знание «Правил дорожного движения (ПДД)» и практическую — на оценку навыков вождения. Права категории «D» выдаются по достижении 21 года [4].

В первые две недели после начала лекций, чтобы приступить к практическим занятиям, необходимо пройти медицинскую водительскую комиссию и получить справку установленного образца.

В состав водительской комиссии входят терапевт, хирург, невролог, офтальмолог, оториноларинголог (ЛОР — врач), нарколог и психиатр [5].

Выводы о несоответствии кандидата требованиям профессии водителя до обучения делаются на основании явных и резких отклонений от средних показателей состояния здоровья и функций органов зрения и слуха.

Таким образом, в настоящее время, пригодность водителя определяется медицинским отбором.

Продолжительность обучения в автошколе составляет около четырех месяцев с момента начала занятий до сдачи экзаменов в ГИБДД (ГАИ) и получения водительских прав.

Для тех, кто имеет водительские права категорий В или С, есть возможность пройти переподготовку на категорию «D» в течение 2,5 и 2 месяцев соответственно и стать водителем автобуса [6].

В настоящее время, практически любой желающий, который имеет права категории В или С, водительский стаж три года и достиг 21-летнего возраста, в течение нескольких месяцев обучения может стать водителем автобуса.

По мнению ряда отечественных психофизиологов, работающих в областях авиационного, железнодорожного и автомобильного транспорта (Н. А. Игнатов, В. В. Козлов и др.) обучаться и качественно выполнять

операторскую работу могут люди, психофизиологические особенности которых соответствуют требованиям профессии.

Люди различны по своим психологическим особенностям, а, следовательно, по психофизиологическим возможностям при управлении автомобилем. Дисциплинированный, старательный водитель в сложной дорожной ситуации может допустить ошибку в управлении автомобилем, если его психофизиологические возможности ограничены.

Возникает необходимость изучать психофизиологические особенности водителя не после дорожно-транспортного происшествия, а до его совершения или еще лучше до получения водительских прав [7, с. 45].

Большое, а иногда решающее значение в водительской деятельности имеет ответственное отношение к своим

профессиональным обязанностям. Каковы бы ни были психофизиологические данные, если у водителя не достаточно развиты морально — нравственные качества, он периодически будет подвергать опасности жизнь пассажиров из-за агрессивной езды, неоправданному риску и пренебрежительному отношению к водительскому труду.

Не стоит также забывать, что на качество и производительность любого труда влияет удовлетворенность человека своей профессией.

Таким образом, можно сделать вывод, что при профессиональном отборе водителей пассажирского транспорта, необходимо учитывать целый комплекс психофизиологических, психологических и личностных качеств конкурсантов. И применение только медицинского отбора нельзя считать средством для выявления профессиональной пригодности будущих водителей автобусов.

Литература:

1. Гуревич, К. М. Профессиональная пригодность и основные свойства нервной системы. — М.: Наука, 1970.
2. Дятлов, М. Н. Престиж профессии и профессиональный отбор водителей автобусов в России и Германии / М. Н. Дятлов, О. А. Мишустин, С. Н. Мишустина, С. Б. Хантимирова // Молодой ученый. — 2014. — № 10.
3. Митраков, В. М. Психолого — акмеологические условия развития профессиональной готовности водителей автотранспорта к действиям в экстремальных ситуациях. Дисс. канд. психол. наук. Шуя, 2004.
4. Автошкола «Аспект-Москва» (<http://aspekt-moskva.ru/obychniya/kategoriya-d>).
5. Автошкола «Университетская» (<http://univeravto.ru/abiture/medkomissiya>).
6. Автошкола «Чайка» (<http://school-chaika.ru/price/tseny-i-usloviya-obucheniya-v-avtoshkole>).
7. Игнатов, Н. А. Человек за рулем. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Транспорт», 1976. 184 с. с ил.

Математическая модель анализа эксплуатационной надежности технических средств системы управления движения судов

Тюфанова Анастасия Александровна, кандидат технических наук, старший преподаватель
Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

В статье предложена математическая модель анализа эксплуатационной надежности технических средств системы управления движением судов с помощью полумарковских процессов, которая позволяет учитывать их структуру, оценить влияние условий эксплуатации, эффективность действий обслуживающего персонала при восстановлении утраченной работоспособности.

Ключевые слова: надежность, математическая модель, техническое средство, отказ, ремонт.

Mathematical model for the analysis of operational reliability technical devices Vessels Traffic Service

Tyufanova A. A.
Federal State-Financed Educational Institution of Higher Professional Education Admiral Ushakov maritime state university,
Novorossiysk

The main aide of the article is to provide some information about mathematical model for the analysis of operational reliability technical devices Vessels Traffic Service. The offered mathematical model allows to consider structure, to es-

timate influence of conditions of operation, efficiency of actions of the attendants at restoration of the lost working capacity.

Keywords: *reliability, mathematical model, technical devices, failure, repair.*

Действующие системы управления движением судов (СУДС) являются восстанавливаемыми, резервированными, дублированными, частично обслуживаемыми, длительного непрерывного действия, с круглосуточным режимом работы. Совокупность технических средств СУДС, как объект эксплуатации представляет собой сложную техническую систему, состоящую из конструктивно оформленных элементов с разным уровнем надежности. В процессе функционирования технических средств происходят изменения их характеристик, параметров, процессы старения материалов, сбои и отказы. Другими словами, изменение состояний технической системы во времени, которые условно можно разделить на работоспособные и неработоспособные (состояния отказа). Работоспособные состояния характеризуются значениями определяющих параметров системы, удовлетворяющим требованиям технической документации. Кроме этого, к работоспособным состояниям будем относить состояния частичной работоспособности, т. е. при которых произошло ухудшение параметров до уровня близкого к предельно допустимому, но не превышающее его, или при которых после отказа основного элемента происходит переход на резервный элемент, при этом наблюдается частичное израсходование ресурса, но не возникает нарушения работоспособности всей системы. Таким образом, техническая система может находиться в нескольких работоспособных состояниях, каждое из которых характеризуется своей эффективностью, т. е. степенью приспособленности системы для выполнения поставленной эксплуатационной задачи.

Изменение состояний технической системы определяется влиянием внешней среды, процессом возникновения нештатных ситуаций, вызванных отказами системы в целом или ее отдельных частей, и управляемым процессом проведения восстановительных работ, под которыми понимаем произвольное, целенаправленное, предусмотренное заранее или вынужденное, неожиданное вмешательство технического персонала в работу всей системы или ее отдельных частей. Под это определение попадают внешние осмотры, капитальный ремонт и даже замена технической системы на новую идентичную.

Влияние внешней среды и процесс возникновения нештатных ситуаций носят случайный характер и не могут быть определены и предсказаны однозначно, поэтому нельзя заранее знать, как будет развиваться процесс эксплуатации в будущем. Следовательно, для адекватного анализа надежности технических средств СУДС целесообразно использовать модель случайного процесса. Анализ причин отказов технических средств СУДС показал, что в реальных условиях функционирования отказы технических средств определяются отказами элементов, происходящими как в результате воздействия внешних неблагоприятных факторов, так и в результате процессов старения и износа, приводящих к постепенному снижению основных параметров системы. Исходя из этого, следует рассматривать изменение показателей надежности при совместном проявлении внезапных и постепенных отказов. В этом заключается неоднородность случайного процесса изменения состояний технической системы во времени.

Изменение состояний технической системы во времени определяется также целенаправленным (управляемым) процессом проведения восстановительных работ, т. е. процессом технического обслуживания, который носит субъективный характер (человек принимает решение о том, когда и какие восстановительные работы необходимо производить), хотя и базируется на объективной информации о состоянии системы. Принимая решение о проведении той или иной восстановительной работе, сроках ее начала и реализуя это решение, техническая система переводится в новое состояние.

Функционирование технических средств СУДС во времени имеет циклический характер и по истечении каждого цикла ситуация, которая может привести или не привести к отказу возобновляется. В нулевой момент времени система новая и время ее безотказной работы — случайная величина α с функцией распределения $F(t) = P(\alpha \leq t)$. Индикация отказа осуществляется мгновенно и начинается его минимальное аварийное восстановление, которое длится случайное время β с функцией распределения $G(t) = P(\beta \leq t)$. Минимальное восстановление системы, проработавшей к моменту отказа время s , означает, что восстановленная система имеет «остаточную наработку» α_s с функцией распределения F_s

$(t) = \frac{F(s+t) - F(s)}{\bar{F}(s)}$. Поэтому, минимальное восстановление делает элемент работоспособным, но по его окончании интенсивность отказов $\lambda(t) = f(t)/\bar{F}(t)$ такая же, как непосредственно перед отказом. Поэтому влияние минимального аварийного восстановления на степень износа системы пренебрежительно мало. После второго минимального восстановления «остаточная наработка» элемента имеет функцию распределения $F_s(t)$, где s — суммарная наработка элемента после начала его эксплуатации и т. д.

Кроме минимального аварийного восстановления в системе предусмотрено проведение предупредительного технического осмотра, которое планируется проводить по наработке оборудования (τ). Время проведения технического обслуживания — постоянная величина β^p . Допустим, что после технического обслуживания все надежность характеристики элементов полностью обновляются, так наработка на отказ — случайная величина α и процесс функ-

ционирования системы повторяется. Временная диаграмма функционирования технических средств СУДС представлена на рисунке 1.

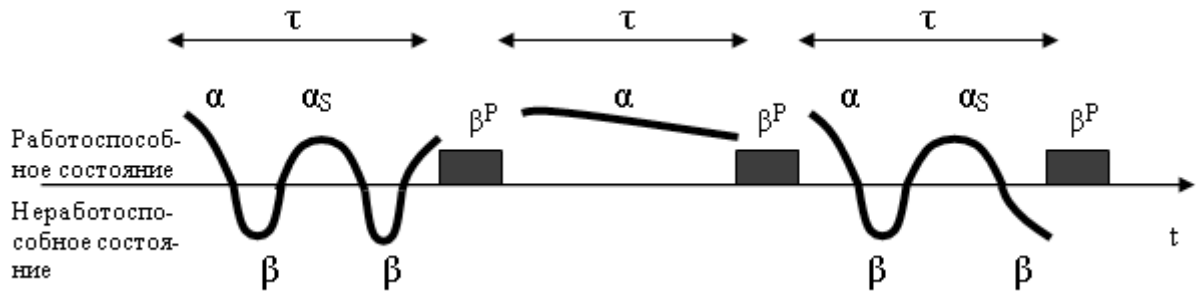


Рис. 1. Временная диаграмма функционирования технических средств СУДС: τ — периодичность проведения предупредительного технического осмотра; β^P — время проведения технического обслуживания; β — время, которое длится минимальное аварийное восстановление; α — время безотказной работы системы в начальный момент времени; α_s — «остаточная наработка» восстановленной системы

Исходя из статистических данных отказов технических средств СУДС, приходим к выводу, что наработка технических средств до отказа осуществляется по нормальному распределению [3, с. 131].

Предположим, что в моменты времени s_n , $n \geq 0$ включается резервный элемент и начинается процесс восстановления основного отказавшего элемента. Величина ξ_i — минимум двух величин: η_i , τ_i , где η_i — время безотказной работы элемента, τ_i — время, после которого не отказавший элемент заменяют. Если, $G(x) = P(\tau_i < x)$, то $P(\xi_i < x) = H(x) = 1 - [1 - G(x)][1 - T(x)]$. Отказ элемента до замены может произойти в полуинтервале $(s_n, s_{n+1}] = (s_n, s_n + \xi_{n+1}]$ с вероятностью:

$$q = P(\eta_i < \tau_i) = \int_0^{\infty} G(x) dT(x) > 0.$$

Условную функцию распределения ξ_i при условии, что в полуинтервале $(s_{i-1}, s_{i-1} + \xi_i]$ отказ до замены не произошёл, обозначим $H_0(x)$:

$$H_0(x) = P(\tau_i < x \mid \tau_i < \eta_i) = \frac{\int_0^x [1 - G(y)] dT(y)}{\int_0^{\infty} [1 - G(y)] dT(y)}, x \geq 0.$$

По формуле полной вероятности находим

$$F_{\zeta}(x) = P(\zeta < x) = q \sum_{n=0}^{\infty} (1-q)^n P_0(s_n < x),$$

где $P_0(s_n < x)$ — символ вероятности записанного в скобках события при условии, что $\zeta \geq n$, т. е. $s_n = \xi_1 + \dots + \xi_n$, где ξ_i независимы и распределены по закону $H_0(x)$. Применим следующую элементарную предельную теорему об асимптотической экспоненциальности распределения ζ .

Теорема: Если $H_0(x)$ — фиксированное распределение $\int_0^{\infty} x dH_0(x) = a < \infty$, $q \rightarrow 0$, то

$$\lim_{q \rightarrow 0} F_{\zeta}(ax/q) = 1 - e^{-x}, x \geq 0 \text{ [1, с. 234].}$$

Теорема дает основания для предположения, что описанный схемой процесс восстановления распределен по закону близкому к экспоненциальному.

Будущее поведение системы полностью определяется ее состоянием в настоящий момент времени и управлением принятым в этот момент времени. Связь с прошлым осуществляется только через управление, которое может выбираться на основе всей истории системы до настоящего момента, т. е. процесс, описывающий изменение состояний системы во времени, является марковским только в определенные «марковские моменты» времени, в которые осуществляется переход из состояния в состояние. При фиксированной реализации $\{s_n\}$ процесс в интервалах (s_n, s_{n+1}) протекает независимо, причем по закону, зависящему только от разности $s_n - s_{n+1}$. Таким образом, $\{s_n\}$ называется вложенным процессом восстановления, s_n — моментами восстановления, а (s_n, s_{n+1}) — интервалом восстановления. Таким образом, математическая модель для анализа эксплуатационной надежности технических средств СУДС обла-

дает с одной стороны свойствами марковского процесса (так в момент перехода из состояния в состояние будущее не зависит от прошлого), с другой стороны, свойствами процессов восстановления (именно, моменты последовательного попадания процесса в фиксированное состояние образуют процесс восстановления).

Если задать вектор начальных вероятностей (a_0, a_1, \dots, a_m) , то полученный процесс будет называться полумарковским. Если обозначить через $N_j(t)$ число попаданий процесса в состояние j на интервале $[0, t]$, то семейство векторов $[N_0(t), N_1(t), \dots, N_m(t)]$, $t \geq 0$, называется марковским восстановлением.

Для анализа эксплуатационной надежности технических средств СУДС в качестве математической модели целесообразно использовать полумарковский процесс.

В соответствии с выбранной моделью анализа эксплуатационной надежности в качестве количественного показателя надежности выберем коэффициент готовности (K_r) — вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается (профилактика или техническое обслуживание). Коэффициент готовности является комплексным показателем надежности, который характеризует безотказность и ремонтпригодность одновременно, и рекомендован для оценки эксплуатационной надежности оборудования СУДС. Согласно Рекомендации V-128 МАМС «Требования к эксплуатационным и техническим характеристикам оборудования СУДС» коэффициент готовности отдельного радиолокационного поста равен 99,9% [2, с. 54], который можно получить в виде суммы вероятностей всех работоспособных состояний в стационарном режиме функционирования. С учетом признака состояния: числа отказавших блоков в системе, составим структурные надежностные схемы рассматриваемых технических средств СУДС, которые являются представлением реальной технической системы в виде совокупности эквивалентных надежностных элементов. Они составляются таким образом, чтобы надежностные элементы представляли собой конструктивно оформленные модули и блоки рассматриваемой системы. Для количественной оценки вероятности реализации состояний составляется система m обыкновенных линейных дифференциальных уравнений Колмагорова-Чепмена первого порядка.

Таким образом, предлагаемая математическая модель анализа эксплуатационной надежности с помощью полумарковских процессов позволяет учитывать структуру рассматриваемых технических средств СУДС, оценить влияние условий эксплуатации, эффективность действий обслуживающего персонала при восстановлении утраченной работоспособности.

Литература:

1. Коваленко, И. Н. Анализ редких событий при оценке эффективности и надежности систем/И. Н. Коваленко. — М.: Советское радио, 1980. — с. 718.
2. Рекомендации МАМС V-128 — Operational and Technical Performance Requirements for VTS Equipment Ed. 2.0. — Dec. 2005. Annex 7. Performance requirements for closed circuit television Service in VTS.
3. Тюфанова, А. А. Влияние надежности обслуживаемых систем на безопасность мореплавания// Изв. Вузов Сев.-Кавк. регион. Технические науки. — Ростов-на-Дону: ЮРГТУ (НПИ), 2008. — с. 130—133.

10. АРХИТЕКТУРА

Классицистические мотивы в архитектуре Кубанских православных храмов первой половины XIX века

Береговина Надежда Борисовна, аспирант
Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет

Начиная с XVII в. пространственная целостность русских городов, сформированная не только определенными социально-функциональными процессами, но и образовавшая свою архитектурно-художественную систему, под влиянием научно-технических и геополитических достижений претерпевает закономерную эволюцию.

«Изменяется облик городов. Начался процесс отмирания ставших ненужными крепостных сооружений в городах, далеко отстоявших от пограничных рубежей. В подавляющем большинстве городов крепости были деревянными, и их массовая ликвидация приводила к общим изменениям в структуре городов, в застройке и композиции их центров. Одновременно идет интенсивное строительство каменных церквей, чаще всего заменявшие старые деревянные, возводятся палаты». [1, с. 9]

Город Екатеринодар был основан в 1793 г. и длительное время существовал как военно — колонизационный центр присоединенных к России кубанских земель. [2, с. 9]

«Екатеринодар первых десятилетий своего существования был не городом, а регулярно спланированной станицей. Для большинства преобразованных или образованных в екатерининское время городов центром была городская площадь. По периметру ее сосредотачивались важнейшие в городе здания, она являлась зримым художественным воплощением идеи регулярности и, как следствие, свидетельством причастности населенного пункта к цивилизованности и порядку. Екатеринодар подобной площади не имел. Городской осью должна была стать улица Красная ...» [3, с. 49]

Поначалу общественные здания не отличались своими архитектурными формами от обычных жилищ, но с 30–40-х гг. XIX в. на главной улице города и возле крепости возводились отдельные постройки, решенные в приемах классицизма. [2, с. 9]

Русский классицизм, трансформирующийся в каждой фазе своего развития, не был явлением однородным, и преображался в зависимости от региональных предпочтений и под влиянием индивидуального опыта и профессионализма того или иного зодчего, внесившего в образ

сооружения свой сюжет в достижении «идеала» классицистических идей.

«Роль крупных зданий в организации городской среды основывалось на принципе их широкого обозрения в соответствии с традиционным принципом выделения в общей пространственной композиции города системы свободно взаимосвязанных городских ориентиров. Некоторые из них превращаются в крупные ансамбли, построенные строго геометрически в плане и объемах, но расположенные живописно, в местах удобных для обозрения, обычно в ключевых точках города». [1, с. 21]

Первое время существования Екатеринодара, такой градостроительной доминантой, подчеркивая не только административное значение нового элемента городской структуры, но и его композиционную роль, становится комплекс богадельни и больницы с церковью, спланированный ансамблем, и занявшим полностью один из кварталов города, организованным в соответствии с регулярным планом 1818 г. на пересечении двух основных улиц.

Зодчий проекта, инженер капитан Петров, центральным ядром комплекса определяет церковь во имя иконы Божьей Матери «Всех скорбящих Радость». В благословительной грамоте, выданной архиепископом Новочеркасским и Георгиевским Афанасием, на постройку в Екатеринодаре храма во имя Божьей Матери «Всех Скорбящих радость» от 29 июля 1840 г., касательно архитектуры церкви приводится следующее: «Благославляем мы войска Черноморского в гор. Екатеринодаре среди здания войсковой богадельни соорудить храм во имя Скорбящей Божией Матери, но вступить с испрашением помощи Божией в начинание сие с тем, чтобы храм сей устроен был по сделанному архитектором плану и фасаду прочною и добротную и всем нужным и пристойным снабжен: алтарем на востоке по обычаю Восточной Грекороссийской церкви, и алтарь тот был бы не тесный и не темный, при том вышиною в аршин шесть вершков, а шириною и длиною по мере алтаря». [4, с. 191]

Объемно-планировочное решение здание храма во имя Божьей Матери «Всех Скорбящих Радость», согласно плану не является типичным, имея не четко выра-

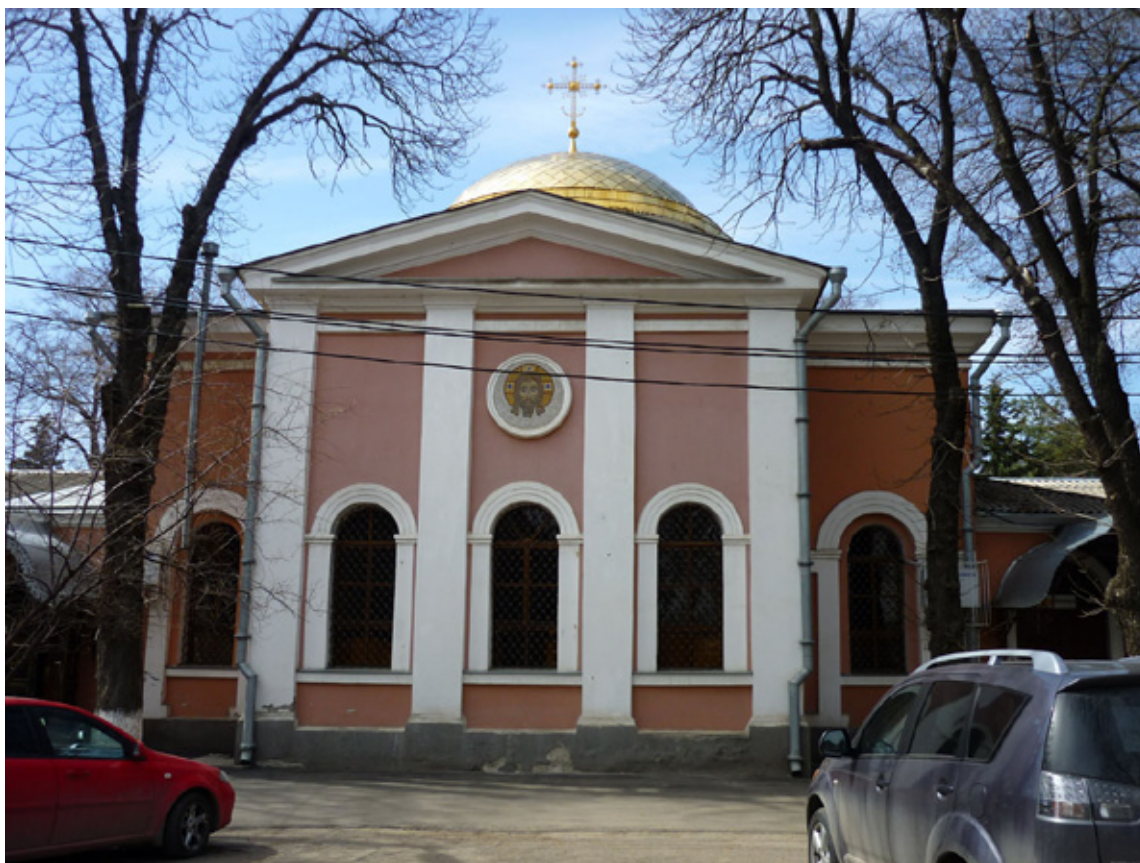


Рис. 1. Храм во имя Божьей Матери «Всех скорбящих Радость» (восточный фасад) г. Краснодар



Рис. 2. Интерьер храма во имя Божьей Матери «Всех скорбящих Радость» г. Краснодар

женную крестообразную форму (несмотря на тяготение к конфигурации креста латинского образца) и композиционное расположение помещений в свободной «траптовке». Два притвора, устроенных с западного и восточного фасада, расположены в анфиладном порядке и разделены между собой коридором. Восточный притвор примыкает к дьяконнице и имеет с ней сообщающийся дверной проем. Здесь же, в помещении, организована церковная звонница, компенсирующая отсутствие храмовой колокольни. В западном притворе имеется дополнительный проход, ведущий в помещения ризницы и крестильной комнаты. К трехнефному внутреннему пространству, не имеющего хоров, горизонтально вытянутого храма, разделенного шестью центральными столпами, на молельный зал, левый и правый приделы, примыкает с западной стороны, прямоугольное в плане подобие «трапезной», служащей естественным продолжением молельного помещения, и с восточной стороны встроена апсида, в основе которой лежит прямоугольной форма, выраженная на фасаде параллелепипедом ризалитного выступа. Эффектная выразительность центрального пространства в интерьере храма достигается путем ступенчатого подъема потолочных перекрытий, выполненных в ритмической последовательности нарастания, тянущихся от ячейки «трапезной», перекрытой крестовым сводом, через молельный зал с цилиндрическими сводами, к главной световой вертикали подкупольного пространства. В построении структуры одноэтажного храма использован крестово-купольный тип здания, при котором купол опирается на барабан, поддерживаемый четырьмя массивными подпружными арками, переходы к которым заполнены парусами, но в храме во имя Божьей Матери «Всех скорбящих Радость», их форма и размеры имеет некоторые отступления. «Они заглублены в углы, образуемые арками, вследствие чего имеют малую площадь, а толщина арок, напротив полностью прочитывается». [3, с. 50]

Пропорциональное соотношение размеров основного объема храмового здания выявляет следующие параметры; ширина по восточному фасаду (без учета пристроенных в южном крыле вспомогательных помещений) составляет 18,6 м., длина церкви около 26 м., общая площадь 342,7 м², высота в интерьере варьируется от 4 до 7 м.

Стилистическая композиция оштукатуренных фасадов кирпичного храма во имя Божьей Матери «Всех скорбящих Радость» отличается ясностью, в которой элементы классицизма выведены в деликатной последовательности деталей. Пилястры и лопатки слабого выноса, фланкирующие основные объемы, уравновешиваются горизонталями: каменного цоколя, подоконным карнизом и венчающим гзимсом, декорированным зубчиками. В эту «сетку» вписаны оконные проемы с полуциркульным завершением, обрамленные профилированными наличниками рамочного типа. Использованный архитектурно-художественный прием построен на сочетании единообразных рельефных элементов, подчерки-

вающих, но не разрушающих плоскость стены. Ризалит апсиды восточного фасада увенчан фронтоном, треугольный тимпан которого остался свободным, под ним расположен круглый каменный медальон с изображением лика Иисуса Христа. Западный фасад заканчивается раскрепованным фронтоном, устроенным только над пространством центрального окна. Объем храма завершает прорезанный люнетами световой барабан, поддерживающий классицистический полусферический купол. В местах пересечения продольной и поперечной стен западного фасада запроектированы низкие боковые компартименты, в плане здания, создающие скошенные углы.

Особенностью храма во имя Божьей Матери «Всех скорбящих Радость» является несоответствие экстерьера церкви, проявленного как локальная линия провинциальной архитектуры классицистического направления и его интерьера, в развитии которого определяется мотив традиционного «русского» стиля.

«Создание и заселение Кавказских линий непосредственно связано с русской политикой в этом регионе. Военно-оборонительные сооружения и постоянно растущее казачье население с его сторожевой службой в значительной мере стабилизировали политическую обстановку на Кавказе...» [1, с. 298]

Пограничная станция Темижбекская была основана казаками в 1802 г. Каменный храм во имя Святого Михаила Архангела построили в станице Темижбекской первым на Кавказской линии в 1811 г. В основу его первичного функционального предназначения закладывается фортификационный смысл, что предопределило возведение мощных кирпичных стен толщиной 1,5 м. При выборе архитектурно — художественного решения, примененного для храма во имя Святого Михаила Архангела, стилистическим образчиком становится классицистическое направление в архитектуре зданий.

В объемно-пространственной композиции одноэтажный храм представляет классическое построение «кораблем», на базе четырехчастной структуры деления плана: алтарь — храм — трапезная — притвор (колокольня). Основной крестообразный в плане и завершенный купольной ротондой объем продолжается на запад равновысокой и близкой по ширине трапезной, к которой пристроена двухъярусная колокольня, увенчанная глухим барабаном с куполом луковичной формы. Крестообразная система восточной части основного объема, образована путем примыкания апсиды, северного и южного рукава креста, над которыми возвышаются купола, устроенные на глухих барабанах. Со стороны западного фасада к трапезной и притвору примыкают пониженные объемы компартиментов.

Относительно скромное декоративное убранство храма во имя Святого Михаила Архангела представлено прямоугольными оконными проемами ротонды, чередующимися с глухими нишами, в обрамлении рамочных наличников, имеющих центральный замковый камень, сдво-



Рис. 3. Храм во имя Святого Михаила Архангела (западный фасад) ст. Темижбекская (Фото И. Платонов)

енными пилястрами, ступенчатыми гизмсами, зубчатыми карнизами, угловыми полуколоннами колокольни, подоконными прямоугольными нишами малого заглубления и круглой формой окон второго света.

По характеру организации внутреннего пространства храм во имя Святого Михаила Архангела является четырехстолпным, трехнефным, с пристроенными левым

и правым приделами, позакомарное полукруглое покрытие которых в интерьере отражено цилиндрическими сводами. В образе церкви имеется знакомый дисбаланс между экстерьером и интерьером храмового здания, выраженный в сочетании «иностранного» классицистически выраженного внешнего вида храма с основой «русской» стилистики внутри.

Литература:

1. Петербург и другие новые российские города XVIII — первой половины XIX веков // Под общей ред. Н. Ф. Гуляницкого. М., Стройиздат, 1995.
2. Бондарь, В. В. Краснодар: судьба старого центра. К проблеме современного кризиса историко-архитектурного облика города. Краснодар. И. Платонов, 2007.
3. Филиппова, А. Л. Архитектура Екатеринодара конца XVIII — начала XX века. Краснодар. Просвещение — Юг, 2008.
4. Православная церковь на Кубани (конец XVIII — начало XX в.) Сборник документов (К 2000-летию христианства)/Упр. По делам архивов Краснодарского края. Госархив Краснодарского края. Госархив Ставропольского края. Краснодар, 2001.
5. И. Платонов. Фотоальбом «Кубань Православная — Первозванная». Краснодар. И. Платонов, 2000.

Проектирование и моделирование пространственной среды на примере проекта жилого комплекса, предназначенного для строительства на сложном рельефе

Щербакова Екатерина Николаевна, студент;
Никифорова Мария Олеговна, студент
Смоленский государственный университет



Овраги — весьма широко распространённое явление в нашей стране. Во многих случаях овраги занимают до 15–20% территории города. Овражная сеть является серьёзным препятствием для городского строительства. Она разобщает городские территории и осложняет их транспортные связи, вызывая необходимость строительства различных инженерных сооружений; так же в процессе своего роста угрожает устойчивости расположенных вблизи оврагов зданий и сооружений, дорог, инженерных подземных сетей. Кроме того овраги засоряют своими выносами городские водоёмы. Всё это сильно затрудняет планировку города. Характер освоения и благоустройства овражных территорий зависит от местоположения оврага в городе и ценности территории, занимаемой оврагом, для городского строительства. При расположении оврага в центральных застроенных или застраиваемых частях города, где каждый участок земли представляет для города большую ценность, может оказаться технически возможным и экономически целесообразным засыпать овраг или организовать овраг в комплекс различных сооружений.

Поэтому данная работа направлена на организацию наиболее органичной пространственной среды районов со сложными геологическими условиями и рельефом.

Цель работы — формирование комфортной пространственной среды жилых районов, расположенных на сложном рельефе, методами проектирования с применением инженерных технологий и ландшафтного дизайна.

В соответствии с поставленной целью, задачи работы сформулированы следующим образом:

- обеспечение максимально комфортного и удобного проживания жителей;

- рациональная организация территории оврага с помощью инженерных систем и ландшафтного дизайна;

- разработка архитектурной концепции будущих зданий и комплекса в целом (микрорайона);

- определение наилучшего местоположения объектов внутренней инфраструктуры жилого комплекса;

- разработка наиболее экономичного конструктивного решения;

- составление плана транспортного обслуживания комплекса;

- поддержание экологического равновесия на территории комплекса;

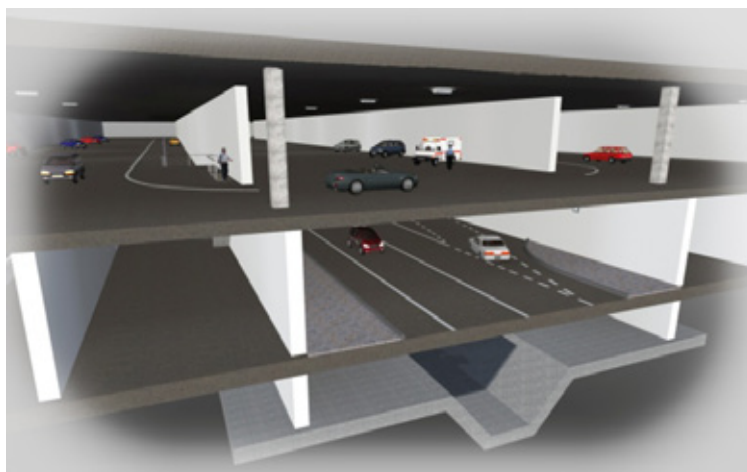
- обеспечение безопасности жителей и др.

Нашей творческой группой был осуществлен поиск аналогов по теме исследования и отражен поиск форм пластического решения объемов современных сооружений на основе произведенного исследования.

В процессе выполнения работы нами была разработана уникальная система организации оврага, способствующая сохранению естественного рельефа местности, обеспечивающая безопасность дорожного движения и доступность среды для маломобильных групп населения.

Наш проект жилого комплекса разработан для застройки районов со сложным рельефом, а именно территории оврага по улице Шевченко города Смоленска.

Мы предлагаем часть оврага задействовать под устройство закрытой системы, состоящей из трёх уровней, это позволит рационально использовать территорию. В первом уровне предполагается устройство дренажа или искусственного русла для реки Рачевки. Во втором уровне — организация подземного тоннеля с пандусами для въезда



на третий уровень, а так же устройство коммуникаций. Третий уровень — предназначается для устройства подземной автостоянки с выходами на территорию жилой застройки, на которой предусмотрены дороги только для обслуживающего транспорта, что также делает комплекс более экологически чистым и безопасным для пешеходов.

Рельеф местности — это основа, «скелет» данного ландшафта. Он как индивидуальное «лицо» характеризует участок земли. Поэтому необходимо внимательно и бережно отнестись к рельефу местности, на которой будет производиться благоустройство и озеленение, и максимально сохранить его.

Овраги и холмы, пологие и крутые откосы, террасы и валуны — все это с успехом можно использовать для создания неповторимой пейзажной композиции.

Существуют различные способы благоустройства рельефа. Это такие элементы ландшафтной композиции, как подпорные стенки, пешеходные мостики, лестницы, откосы, пандусы, парапеты, гроты.

С целью сохранения естественного рельефа местности, благоустройства и озеленения мы предлагаем вторую часть оврага укрепить подпорными стенками, тем самым организуя систему зелёных террас, которые позволят ре-

шить проблему недостатка рекреационных зон и мест массового отдыха.

Проблема безопасности дорожного движения носит многогранный характер, напрямую связана с экономической и социальной сферами жизни общества. Со всей определенностью можно сказать, что от уровня разрешенности этой проблемы во многом зависит стабильность нашего общественного организма, его нормальное функционирование.

Исходя из этого, для регулировки людских и транспортных потоков, предупреждения ДТП с участием пешеходов и с целью улучшения экологической обстановки комплекса, нами была разработана двухуровневая система движения в зоне торгово-общественного центра. Первый уровень предназначается для транспортных средств. Второй уровень — пешеходный.

Проблему создания доступной среды для маломобильных групп населения в нашем жилом комплексе мы решаем оснащением его различными пандусами, лифтами и разворотными площадками.

Проблема выбора конструктивного решения и строительных материалов для строительства на сложном рельефе решается применением монолитных технологий,





так как спрос на монолитное жилье сейчас большой, а разница в себестоимости по сравнению с другими материалами не столь значительна. Например, из-за облегчения веса конструкций монолитного здания уменьшается материалоемкость фундаментов, соответственно, его строительство удешевляется. Кроме того, за последние десять лет монолитное строительство заняло свое достойное место и стало наиболее перспективным из существующих технологий возведения зданий и сооружений. Оно обеспечивает более высокое качество и увеличивает

скорость строительства. Помимо вышеперечисленных преимуществ, этот метод позволяет возводить сейсмостойкое жилье. Это делает проект жилого комплекса «GreenWave» пригодным для строительства в районах повышенной сейсмической активности.

Кроме того, разработанный нами проект является актуальным, технически применимым, экономически выгодным, эстетически привлекательным и коммерчески реализуемым не только для нашего региона, но и для других территорий с аналогичным рельефом.

Литература:

1. Баймуратова, С.Х. Динамика освоения неудобных территорий в структуре крупного города (на примере города Уфы): Дис. канд. архитектуры: 18.00.04. — Защищена 17.03.05; Утв. 11.04.05; 04820016743. М., 2005. — 175е.: ил. — Библиогр.: с. 165–174.
2. Буадзе, В.Ш., Овесов Г.Т., Какабадзе М.В. — Борьба с транспортным шумом на сложном рельефе. Обзор. — М., 1973
3. Вергунов, А.П. Архитектурно-ландшафтная организация крупного города. — Ленингр. отделение: Стройиздат, 1982.
4. Вергунов, А.П., Денисов М.Ф., Ожигов С.С. Ландшафтное проектирование. — Н.: Высшая школа, 1991.
5. Гуцаленко, В.И. Ландшафтные факторы в планировке городов. Обзорная информация. — М., 1977, №6.
6. Крогиус, В.П. Градостроительство на склонах. — М.: Стойиздат, 1988.

11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Напряженно-деформированное состояние режущей части спирального сверла при температурной нагрузке

Чемезов Денис Александрович, магистр техники и технологий, преподаватель
Владимирский химико-механический колледж

Спиральные сверла работают в тяжелых условиях: постоянно изменяющиеся температурные нагрузки и силы резания, действующие на режущую часть (особенно при сверлении глубоких отверстий), приводят к неравномерному износу режущих кромок инструмента, тем самым снижается производительность и качество обработки. Температура, действующая на режущие кромки при сверлении труднообрабатываемых материалов изменяется в интервале от 300 до 630 К в зависимости от диаметра сверла и расположения кромки относительно оси инструмента. При этом максимальная температура отмечается на режущей кромке находящейся на расстоянии 0,9 диаметра сверла, минимальная — ближе к оси инструмента. В результате действия температурной нагрузки, режущая часть сверла подвергается деформации и напряжению. Определение критических значений деформации и напряжения режущей части сверла, позволяет прогнозировать прочность инструмента. Целью данного

исследования явилось моделирование изменения напряженно-деформированного состояния режущей части спирального сверла в динамическом режиме при температурной нагрузке, возникающей в процессе сверления.

В качестве объекта исследования выбрано цилиндрическое спиральное сверло, диаметром 20 мм и общей длиной 200 мм, изготовленное из вольфрамосодержащей быстрорежущей стали Р6М5. Физико-механические свойства материала сверла: $\sigma_{в.р.}$ (предел прочности при растяжении) = $3,1 \cdot 10^8$ Н/м²; E (модуль упругости) = $1,24 \cdot 10^{11}$ Н/м²; μ (коэффициент Пуассона) = 0,28; G (модуль сдвига) = $1,6 \cdot 10^{11}$ Н/м²; β (коэффициент теплового расширения) = $4,5 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹. Для сверла была принята следующая геометрия заточки: 2ϕ (угол при вершине) = 118°; $\psi_{св.}$ (угол наклона поперечной режущей кромки) = 52°; α (задний угол) = 12°; γ (передний угол) = 3°.

Для выполнения исследования, была построена твердотельная 3D модель спирального сверла (рис. 1, а) со сле-

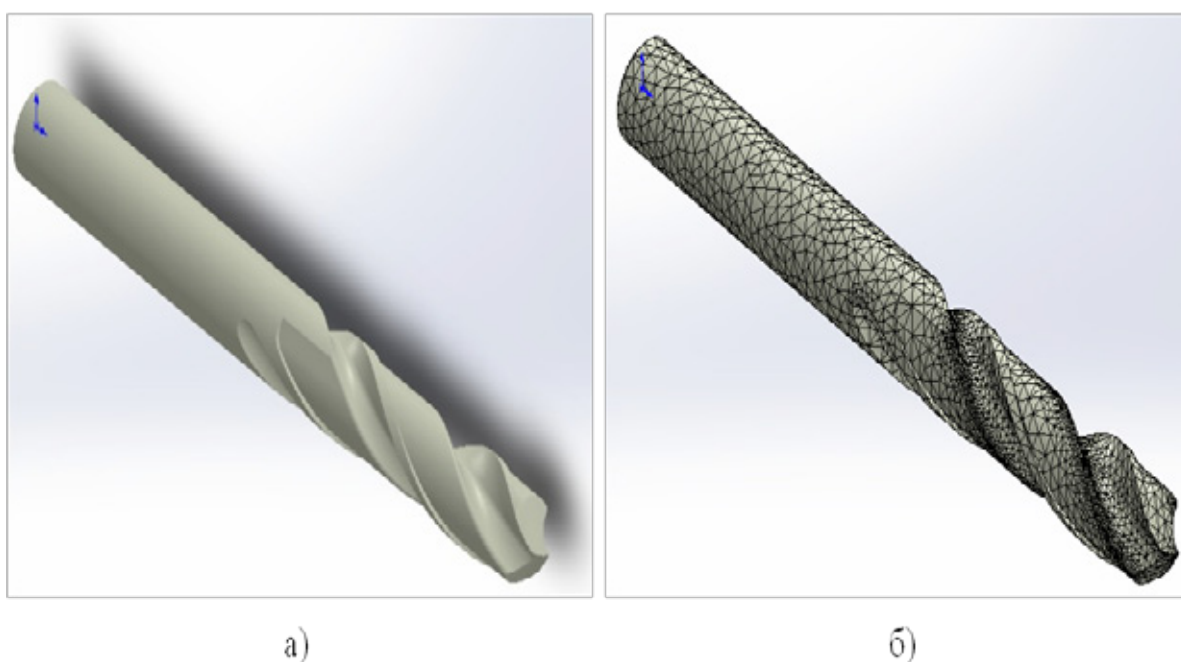


Рис. 1. 3D (а) и конечно-элементная (б) модели спирального сверла

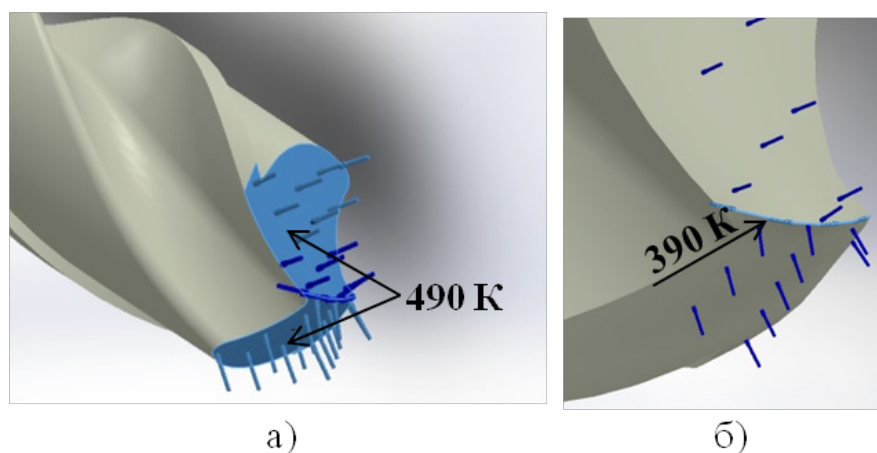


Рис. 2. Температурные нагрузки действующие: а – на главные режущие кромки (задние поверхности); б – на поперечную кромку (перемычку)

дующими объемными свойствами: m (масса) = 0,95 кг; V (объем) = $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$; ρ (плотность) = 19000 кг/м³.

Процесс моделирования осуществлялся в программном продукте SolidWorks (модуль Simulation). Конечно-элементная модель сверла (рис. 1, б) получена путем разбиения модели твердого тела (сетка на основе кривизны) на 49758 узлов и 32439 элементов. Максимальный размер элемента составил 3,68483 мм, минимальный — 0,736966 мм. Температурная нагрузка (рис. 2) действовала на главные режущие кромки (490 К) и на поперечную кромку (390 К). Время действия нагрузки — 10 секунд, с шагом изменения 0,1 секунда.

Результаты решенной задачи представлены в виде интерактивных эпюр (рис. 3–8): напряжение по Мизесу, результирующее перемещение, эквивалентная деформация, результирующая скорость деформации, результирующее ускорение деформации и Design Insight. Эпюры

демонстрируют динамическое распределение деформированных и напряженных участков режущей части спирального сверла на 100 шаге (10 секунде).

На эпюре напряжения по Мизесу показана площадь (задние поверхности) и глубина (около 5 мм) напряжений режущей части спирального сверла. Максимальное значение напряжения $5,2431 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ определено в 858 узле (на рисунке обозначено красным цветом и далее), минимальное 12,8234 Н/м² в 21750 узле (на рисунке обозначено синим цветом и далее).

Эпюра результирующего перемещения представляет максимальное (0,00213889 мм в 46 узле) и минимальное (0 мм в 467 узле) смещение режущей части сверла. Отмечено, что максимальному смещению подвергается режущие кромки.

Эпюра эквивалентной деформации описывает площадь и глубину (около 5 мм) деформации. Максимальное зна-

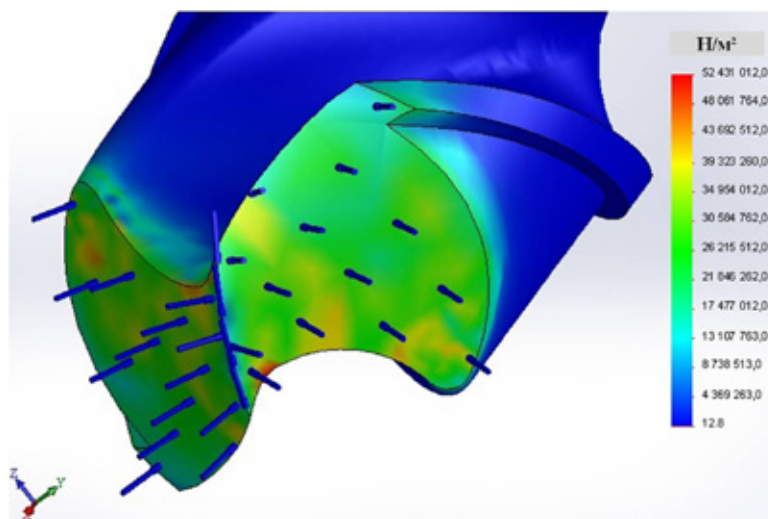


Рис. 3. Эпюра напряжения по Мизесу

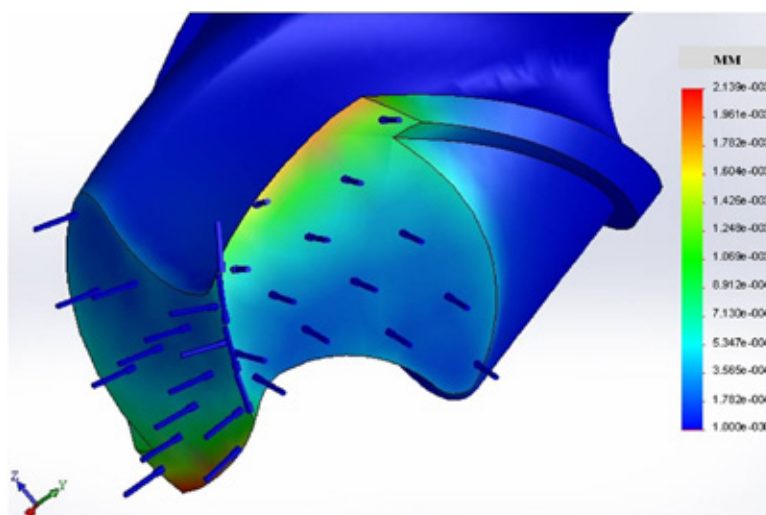


Рис. 4. Эюра результирующего перемещения

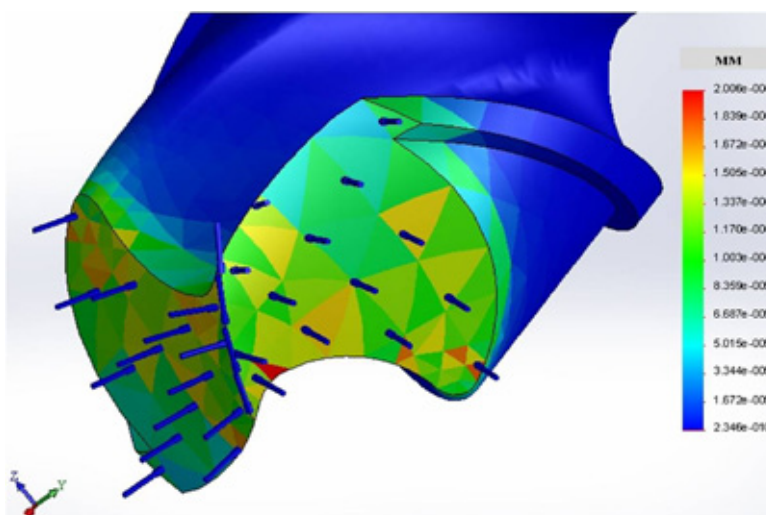


Рис. 5. Эюра эквивалентной деформации

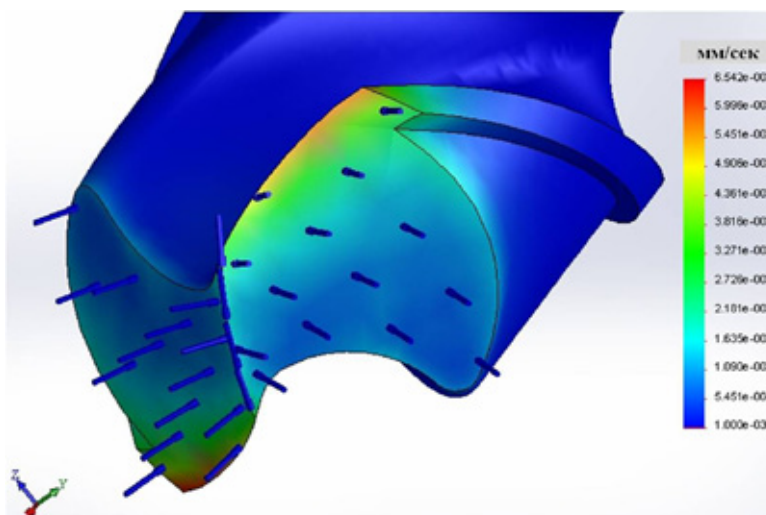


Рис. 6. Эюра результирующей скорости деформации

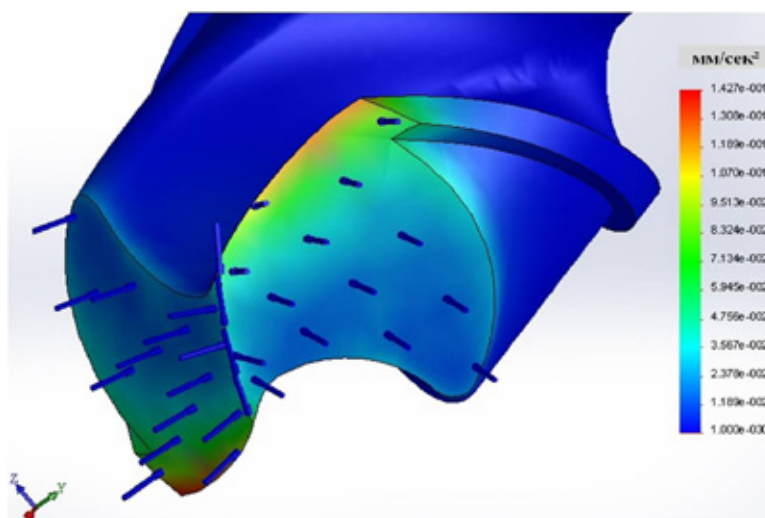


Рис. 7. Эпюра результирующего ускорения деформации

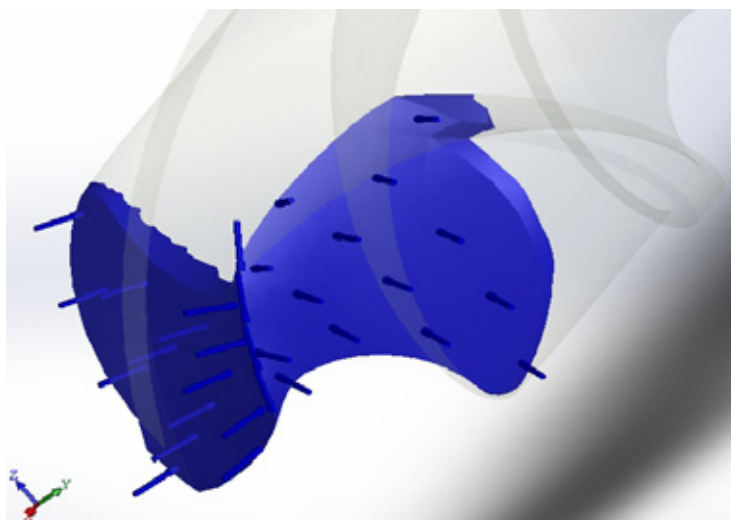


Рис. 8. Эпюра Design Insight

чение деформации в 13723 узле составляет 0,000200616 мм, минимальное ($2,34584 \cdot 10^{-10}$) — в 1099 узле.

Эпюры результирующей скорости деформации и результирующего ускорения деформации режущей части сверла демонстрируют максимальную (в 46 узле: для скорости — 0,00140797 мм/сек., для ускорения — 0,139367 мм/сек².) и минимальную (в 467 узле: для скорости — 0 мм/сек., для ускорения — 0 мм/сек².) временные интенсивности процесса деформации. Наиболее нагруженный участок — главные режущие кромки.

Эпюра Design Insight характеризует наиболее нагруженный участок спирального сверла, составляющий 1,95 % от общего объема инструмента.

На графиках зависимости (рис. 9–12) представлен характер изменения напряженного, деформированного состояния режущей части сверла, а также скорости и ускорения деформации от времени приложения температурной нагрузки.

Максимальные значения напряжения (рис. 9) и перемещения (рис. 10) достигаются на 2,76 секунде процесса, минимальные — на 8,48 секунде. График можно разделить на 3 нелинейные функции: первая — возрастающая в интервале времени от 0,1 сек. до 2,76 сек.; вторая — убывающая в интервале времени от 2,76 сек. до 8,48 сек.; третья — возрастающая в интервале от 8,48 сек. до 10 сек.

График можно разделить на 2 нелинейные функции: первая — убывающая в интервале времени от 0,1 сек. до 2,8 сек.; вторая — возрастающая в интервале времени от 2,8 сек. до 10 сек. Максимальная скорость деформации составляет 0,0025 мм/сек., минимальная — 0 мм/сек.

Нелинейная функция ускорения процесса деформации имеет затухающий колебательный характер. Максимальные колебания отмечаются в начале процесса и стабилизируются на 9,4 сек.

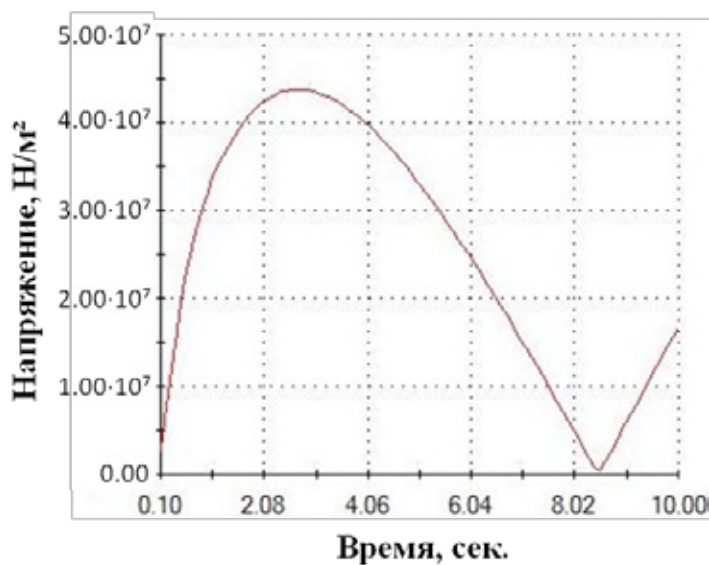


Рис. 9. Зависимость напряженного состояния режущей части спирального сверла (21 узел) от времени приложения температурной нагрузки

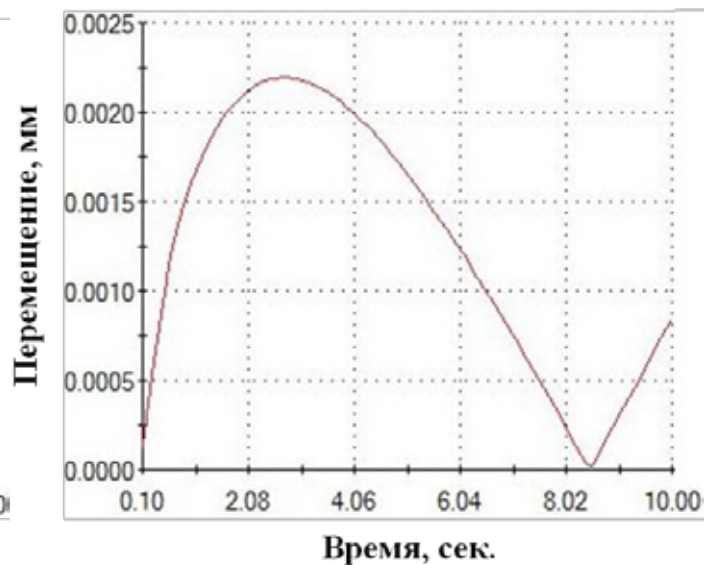


Рис. 10. Зависимость деформации режущей части спирального сверла (21 узел) от времени приложения температурной нагрузки

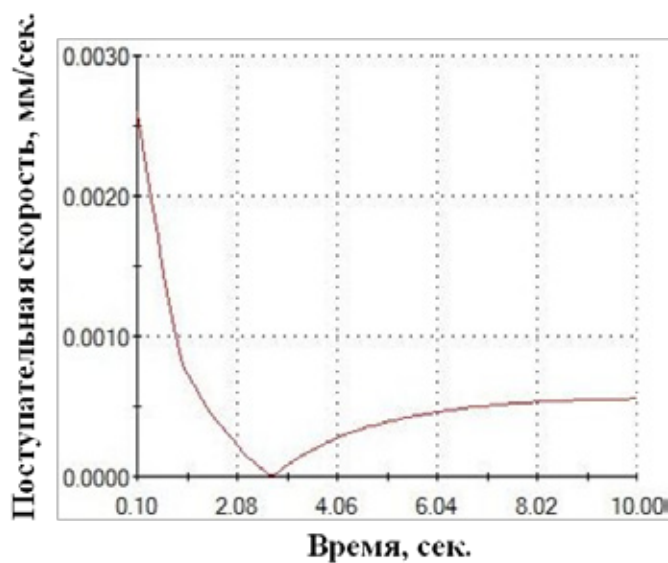


Рис. 11. Зависимость скорости деформации режущей части спирального сверла (21 узел) от времени приложения температурной нагрузки

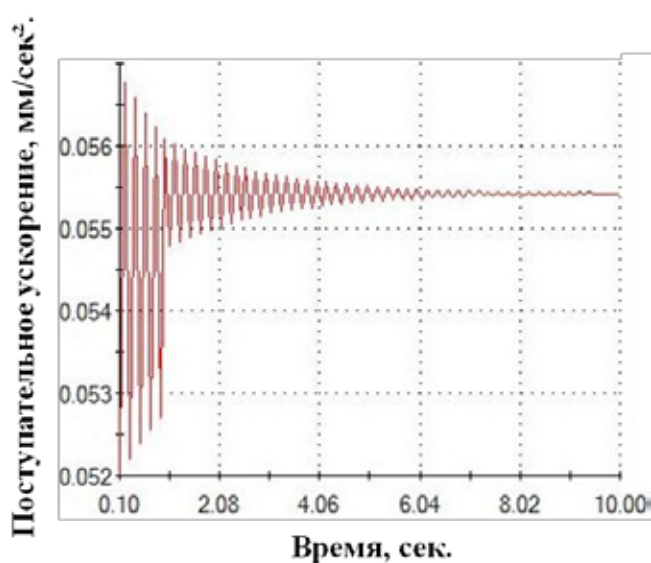


Рис. 12. Зависимость ускорения процесса деформации режущей части спирального сверла (21 узел) от времени приложения температурной нагрузки

Моделирование динамики процесса деформации режущей части сверла, при воздействии на нее различных нагрузок, позволяет определить «слабые» места при про-

ектировании и последующего изготовления режущего инструмента.

Научное издание

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

III Международная научная конференция
Москва, июль 2014 г.

Материалы печатаются в авторской редакции

Дизайн обложки: *Е.А. Шишков*

Верстка: *П.Я. Бурьянов*

Подписано в печать 24.07.2014. Формат 60х90 ¹/₈.
Гарнитура «Литературная». Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 18,08. Уч.-изд. л. 12,23. Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии «Ваш полиграфический партнер»
127238, Москва, Ильменский пр-д, д. 1, стр. 6