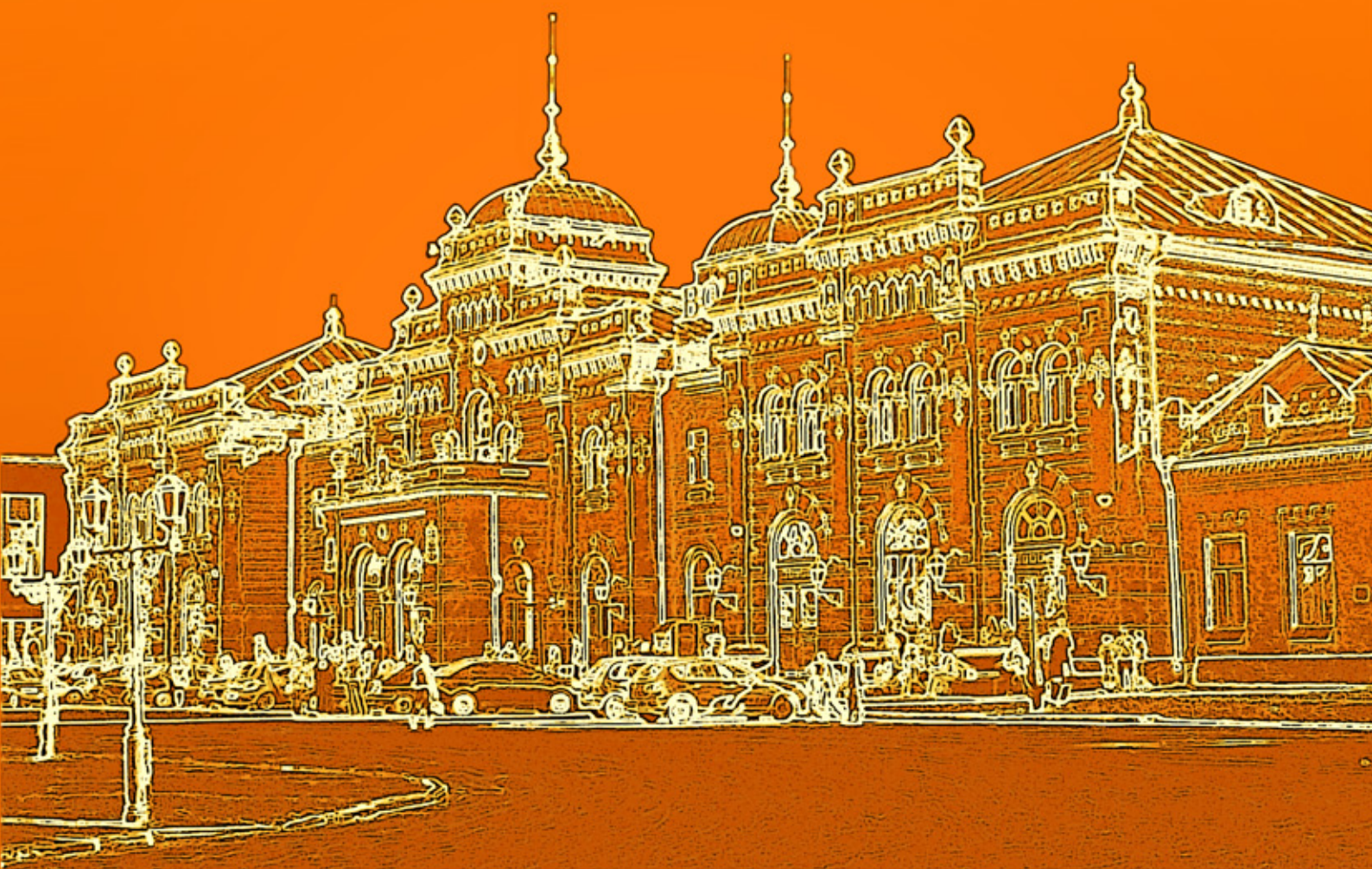




III Международная научная конференция

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



Казань

УДК 62(01)
ББК 30
С56

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, А. В. Каленский, В. В. Коварда, М. Г. Комогорцев, А. В. Котляров,
В. М. Кузьмина, 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), И. Б. Кайгородов (Бразилия),
А. В. Каленский (Россия), 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)*

Современные тенденции технических наук: материалы III Междунар. науч. конф.
С56 (г. Казань, октябрь 2014 г.). — Казань: Бук, 2014. — iv, 98 с.
ISBN 978-5-9905861-0-9

В сборнике представлены материалы III Международной научной конференции «Современные тенденции технических наук».

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. Проекция в OpenGL ES	1
Бутенко Д.С. Разработка модуля анализа данных в интеллектуальных системах.	4
Ерёмин Д.И., Ягфарова Н.И., Абишев Д.А. Алгоритм Лерча-Гроссмана и его реализация на центральном и графическом процессорах	8
Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Трахтенгерц М.С. Представление и интеграция данных по свойствам веществ в рамках технологий Linked Open Data ...	13
Ле Ньят Зуи, Данг Хоанг Минь Эллиптические кривые в алгоритме Диффи-Хеллмана над полем GF (2m)	16
Шинкаренко А.Ф., Казанцев Д.И. Особенности подходов к построению ИТКС.	19

2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Гудков С.М. Радиотепловое излучение земных покровов	22
Радьков А.В. Несимметричные полумостовые преобразователи	25
Ющенко М.А. Беспроводная передача информации в медицинском оборудовании	29

3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Зарубин М.Ю. Нейронные сети в системах управления процессами измельчения и обогащения руд черных металлов	33
Мухамадиева К.Б. Снижение трафика информации в коммутаторной нейронной сети	40
Назаров А.Ш. Об одном подходе к разработке электронных блоков авиационной автоматики	44
Скоков А.А., Карих В.П. Трёхмерная визуализация результатов томографического контроля.	46
Ульянов А.В. Система управления активно управляемой газомангнитной опорой	49

7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Полканов Е.Г., Горин Н.А. Прогнозирование прочности шлифовального круга по прочности исходной абразивной массы	53
--	----

Полканов Е.Г., Рябцев С.А.

Применение высокопористых кругов для шлифования зубчатых колес. 56

Шаврин О.И., Скворцов А.Н., Домнин А.К.Конечно-элементный анализ работоспособности упругих элементов с наносубструктурой
и прогнозирование долговечности в условиях циклического нагружения. 58

8. СТРОИТЕЛЬСТВО

Аксенова Л.Л., Бугаенко Л.В., Хлебених С.Н.

Переработка и утилизация строительных отходов для получения эффективных зеленых композитов .. 63

9. ТРАНСПОРТ

Смирнова С.В., Долгов К.О., Дятлов М.Н., Родин Е.Е.Значимость и методы диагностики психологических качеств будущих водителей пассажирского
автотранспорта на этапе профессионального отбора. 66**Тюфанова А.А.**

Анализ надежности Центра системы управления движением судов на примере порта Новороссийск .. 69

11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Захаров П.В., Лысыч М.Н., Шабанов М.Л.

Математическое моделирование процесса работы ротационного культиватора. 77

Кабылова А.Р.

Ингибиторная защита от парафиноотложений при нефтедобыче 81

Крылов И.О., Юшина Т.И., Дунаева В.Н., Епихин А.Н.Использование природной железомарганцевой руды в качестве катализатора для получения
нанотрубчатого углеродного материала 84**Лысыч М.Н., Захаров П.В., Шабанов М.Л.**

Объемное тензометрирование почвообрабатывающих орудий. 87

Пичугин Е.А.Подходы и технологические решения по ликвидации накопленного экологического ущерба
от загрязнения окружающей среды буровыми отходами. 90**Сулушаш К.**

Исследование применения виброакустического метода воздействия на призабойную зону пласта. 94

1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

Проекции в OpenGL ES

Бутенко Вероника Вячеславовна, аспирант

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

Работа посвящена двум способам отображения графики в OpenGL ES: ортогональному методу и отображению объектов в перспективе.

Введение

Существует два типа проекций, которые обычно используются в 3D-графике.

Параллельная, или ортогональная, проекция. В этом типе проекций неважно, насколько предмет удален. Он всегда будет одного и того же размера на конечном изображении.

Перспективная проекция. Предметы, более удаленные от нас, кажутся меньше.

В обоих случаях необходима плоскость проекции. Именно на эту плоскость падает свет, и образуется конечное изображение. Плоскость проекции на языке OpenGL ES называется ближней плоскостью отсечения. Все стороны отображения имеют похожие названия [3, с. 291].

Проекция зависит от того, как мы определим плоскости отсечения. В случае перспективной проекции левая, правая, верхняя и нижняя плоскости неперпендикулярны ближней и дальней плоскостям отсечения (Рис. 1).

В случае с параллельной проекцией эти плоскости перпендикулярны (Рис. 2), благодаря чему OpenGL ES отображает все предметы в одинаковом масштабе независимо от того, насколько предмет удален от камеры.

Нормализованное пространство устройства

OpenGL ES в первую очередь работает с треугольниками. Один треугольник имеет три точки в 3D-пространстве. Чтобы визуализировать такой треугольник в фреймбукфере, OpenGL ES необходимо знать координаты этих 3D-точек

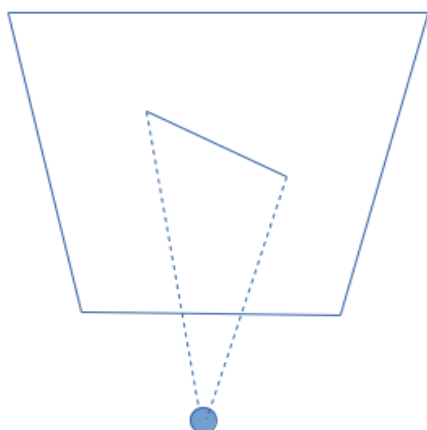


Рис. 1. Перспективная проекция

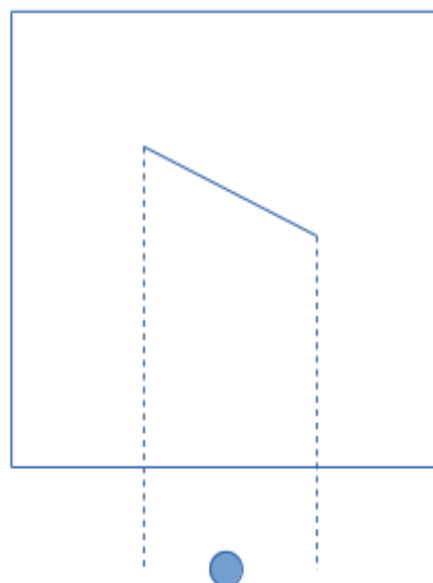


Рис. 2. Параллельная проекция

в пиксельной координатной системе фреймбуфера. Если ему известны три данные координаты точек, он может просто нарисовать в фреймбуфере все пиксели, которые находятся внутри треугольника.

Когда OpenGL ES уже известны проецируемые на ближнюю плоскость отсечения точки треугольника, можно перевести их в пиксельные координаты фреймбуфера. Для этого необходимо трансформировать точки в так называемое нормализованное пространство устройства. Основываясь на координатах нормализованного пространства устройства (Рис. 3), OpenGL ES подсчитывает конечные пиксельные координаты фреймбуфера [4, с. 53].

$(-1;1)$	$(1;1)$
$(-1;-1)$	$(1;-1)$

Рис. 3. Нормализованное пространство устройства

Настройка отображения

OpenGL ES выражает проекции в виде матриц. Матрица задаёт преобразования, которые следует применить к точке. При умножении матрицы на точку мы применяем изменения к точке. Например, при умножении точки на матрицу, в которой закодирован переход на 5 единиц по оси x , точка передвинется на 5 единиц по оси x и, как следствие, изменит свои координаты.

Можно объединять преобразования, хранящиеся в нескольких матрицах, в одну матрицу путем умножения матриц друг на друга. Когда умножают одну объединенную матрицу на точку, все преобразования, хранящиеся в этой матрице, применяются к этой точке. Порядок, в котором будут применяться преобразования, зависит от порядка, в котором мы перемножали матрицы.

OpenGL ES содержит три вида матриц, применяемых к точкам моделей.

- Модельно-видовая матрица применяется для изменения размеров и положения точек треугольника, ориентации камеры.

- Матрица проекции задаёт преобразования для точек треугольника.

- Матрица текстур применяется для управления координатами текстур.

OpenGL ES отслеживает эти три матрицы. Каждый раз, когда мы устанавливаем одну из них, она сохраняется в памяти до тех пор, пока мы снова ее не изменим.

Определение матрицы проекции

Для перевода координат, проецируемых на ближнюю плоскость отсечения OpenGL ES использует область просмотра.

```
gl10. glViewport (0, 0, width, height);
```

В нашем случае она равна размеру экрана. Можно было бы указать использовать только часть экрана, тогда отображаемая графика автоматически была бы вписана в нужный размер.

Перед тем как мы начнём использовать матрицы, мы должны указать OpenGL ES какой матрицей будем управлять. Делаем это методом `glMatrixMode`. В качестве параметра передаем нужный тип матрицы.

```
gl10. glMatrixMode (GL10. GL_PROJECTION);
```

Все последующие вызовы методов управления матрицами будут направлены на матрицу, которую мы установили в этом методе, до тех пор, как снова не изменим активную матрицу, еще раз вызвав этот метод.

Перспективная проекция

Для установки в активной матрице перспективной проекции будем использовать метод `glFrustumf`.

```
gl10. glFrustumf (-ratio, ratio, — 1, 1, 1, 25);
```

Задаём область видимости в форме усеченной пирамиды. Параметры задают левую, правую, нижнюю, верхнюю, ближнюю и дальнюю плоскости отсечения соответственно (Рис. 4).

```
public void onSurfaceChanged (GL10 gl10, int width, int height) {
    gl10.glViewport (0, 0, width, height);
    float ratio = (float) width/height;
    gl10.glMatrixMode (GL10.GL_PROJECTION);
    gl10.glLoadIdentity ();
    gl10.glFrustumf (-ratio, ratio, -1, 1, 25);
}
```

В нашем случае glLoadIdentity значит, что мы сбрасываем матрицу проекций в исходное состояние.

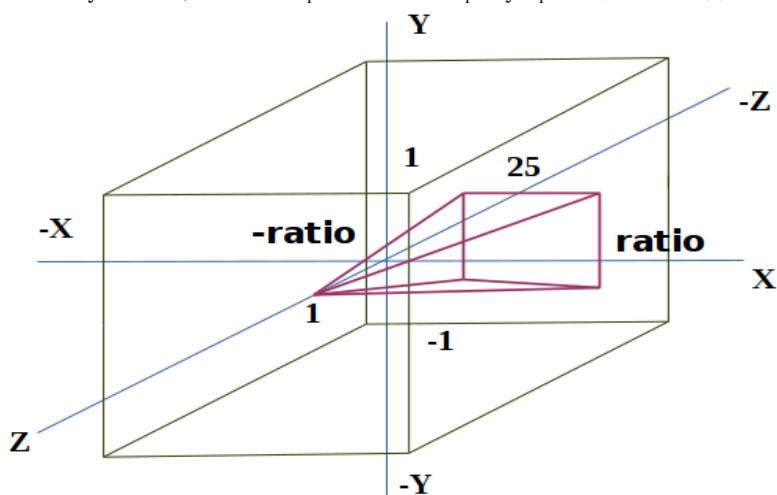


Рис. 4. Пример перспективной проекции

Параллельная проекция

Параллельная проекция устанавливается посредством метода glOrthof. Область видимости в этом случае будет иметь форму куба. Фактически метод glOrthof определяет два внешних угла области просмотра (Рис. 5).

```
public void onSurfaceChanged (GL10 gl10, int width, int height) {
    gl10.glViewport (0, 0, width, height);
    gl10.glMatrixMode (GL10.GL_PROJECTION);
    gl10.glLoadIdentity ();
    gl10.glOrthof (0, 480, 0, 320, 1, -1);
}
```

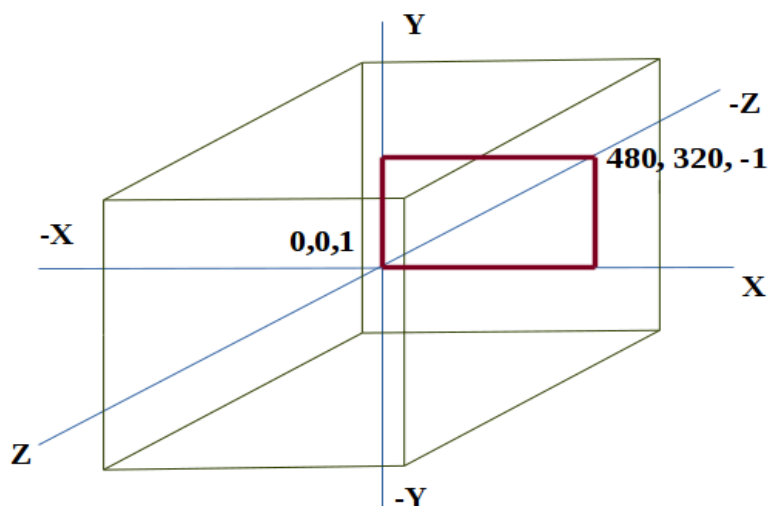


Рис. 5. Пример ортогональной проекции

Вывод

В заключении несколько слов о том, когда использовать параллельную проекцию, а когда перспективную. Перспективная проекция выполняется дольше параллельной. Её целесообразно использовать в 3D-играх и приложениях. Параллельная проекция больше подходит для визуализации 2D-графики.

Литература:

1. Projection and camera view in OpenGL ES 1.0. [Электронный ресурс]. URL: <http://developer.android.com/guide/topics/graphics/opengl.html>
2. GLSurfaceView. Renderer. [Электронный ресурс]. URL: <http://developer.android.com/reference/android/opengl/GLSurfaceView.Renderer.html>
3. Zechner Mario. Beginning Android Games. — 2013. — 688 pages. — ISBN 978–1430230427
4. Meht Prateek. Learn OpenGL ES for Mobile Game and Graphics Development. — 2013. — 209 pages. — ISBN 978–1430941341
5. Munshi A, Ginsburg D, Shreiner. OpenGL ES 2.0 Programming Guide. — 2008. — 457 pages. — ISBN 978–0321502797

Разработка модуля анализа данных в интеллектуальных системах

Бутенко Дмитрий Сергеевич, аспирант

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

Статья описывает прототип работы модуля анализа данных в интеллектуальной системе анализа информационных потоков с целью обеспечения защиты пользовательских данных и рабочего окружения.

Введение

На сегодняшний день существует множество реализаций интеллектуальных систем, основной задачей которых является обработка большого количества данных. Такие системы могут использовать различные методы анализа информации, например, ассоциации, классификации, кластеризацию, прогнозирование, деревья решений и так далее. Каждый из методов обладает своими преимуществами и недостатками, поэтому может быть использован в каких-то определенных областях.

Для обеспечения защиты информации компании или офиса требуется в реальном времени обрабатывать большое количество информации из нескольких источников: локальная сеть, Интернет, файловая система, оценивать возможные риски в зависимости от действий пользователя или программного обеспечения и принимать решения касательно этих действий (разрешить или запретить). При этом нужно учитывать множество факторов для каждого действия для принятия верного решения (модифицирует файл пользователь или система). Одни и те же действия (например, модификации файла) могут быть осуществлены по разным причинам (действия пользователя, операционной системы, вредоносного программного обеспечения) при различных состояниях рабочего окружения. То есть необходима не только обработка большого массива данных, а еще самообучение

системы анализа, подстраивание под работу пользователя и операционной системы, при этом обеспечение защиты информации и предотвращение от атак злоумышленников.

Обоснование выбора типа интеллектуальной системы

После анализа разновидностей интеллектуальных систем выбор пал на искусственные нейронные сети (ИНС). Во-первых, определенные их разновидности (самоорганизующаяся карта Кохонена и нейронная сеть Хопфилда) самообучаемы. Во-вторых, у них широкая область применения: от распознавания образов до кластеризации. В том числе они отлично подходят для анализа данных. И наконец, на сегодняшний день существует достаточное количество реализаций для различных операционных систем.

В общем случае схема ИНС достаточно проста (Рис. 1).

На рисунке зеленым цветом изображены входные нейроны, желтым выходные, а синим так называемые «скрытые». Именно в них и заключена вся мощь ИНС: благодаря скрытым слоям и осуществляется обработка информации со входа и выдача результата на выходе. Чем больше в системе скрытых слоев, тем эффективнее работает вся система.

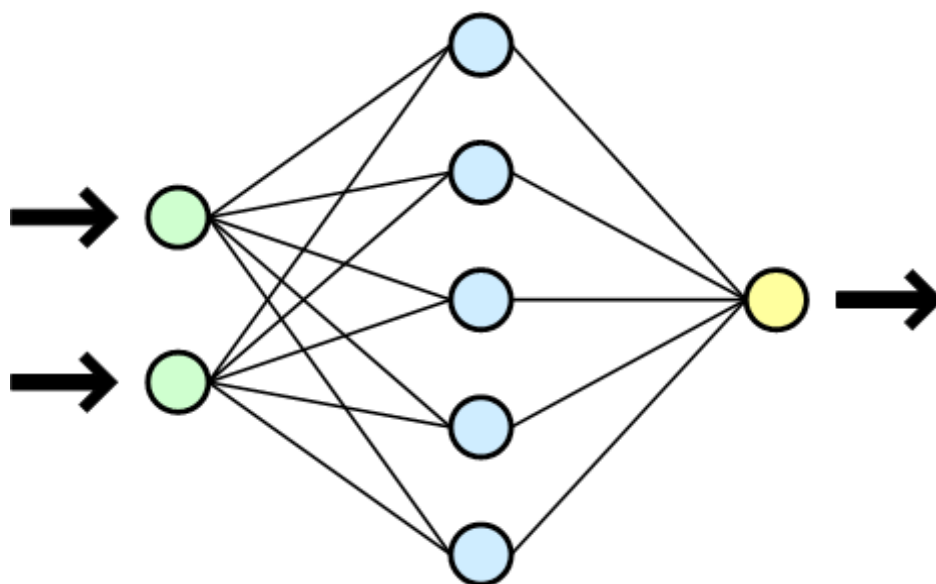


Рис. 1. Схема ИНС

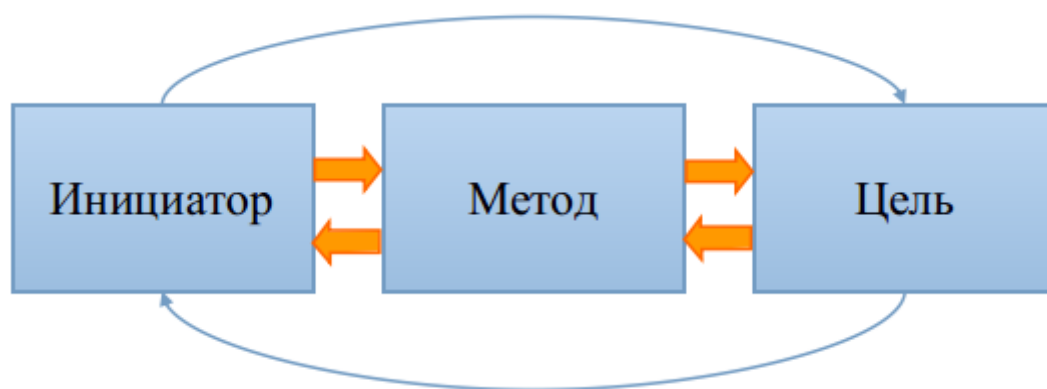


Рис. 2. Информационные потоки системы

Представление модуля в ИНС

Для описания движения всех информационных потоков системе введено три понятия: инициатор, метод и цель (Рис. 2).

Инициатор — объект в информационной системе, который начинает обмениваться информацией. Цель, соответственно, объект, с которым обменивается инициатор (Рис. 3).

Метод — канал передачи данных (Рис. 4).

При этом важно понимать, что обмен информацией не всегда двусторонний, может не быть ответа от цели. Например, рассмотрим ситуацию сохранения документа на запоминающее устройство. Программа для редактирования документов (процесс в операционной системе) является инициатором, соответственно, цель — файл на запоминающем устройстве. Инициатор взаимодействует с целью с помощью файловой системы (метод). В данном случае инициатор передает информацию и не ждет ответа

от цели. Однако, если рассмотреть посещение пользователя веб-страниц в сети Интернет, то ситуация меняется, ресурс в сети будет отвечать на каждый новый запрос браузера.

Тремя вышеописанными понятиями возможно описать любой информационный поток в системе, но для его анализа необходимо еще несколько объектов: сборщик информационных потоков, анализатор и база принятия решений. В задачу сборщика входит сбор сведений о всех текущих попытках передачи информации для последующей передачи анализатору. Также задачей сборщика является классификация каждой попытки передачи и приведение ее к виду инициатор >> метод >> цель. Анализатор принимает данные от сборщика, обрабатывает их в соответствии с базой принятия решений. Сначала ищется решение для информационного потока в базе (разрешить или запретить). Если решение для данного информационного потока не обнаружено, то анализатор на основе имеющихся создает новое решение, принимает его

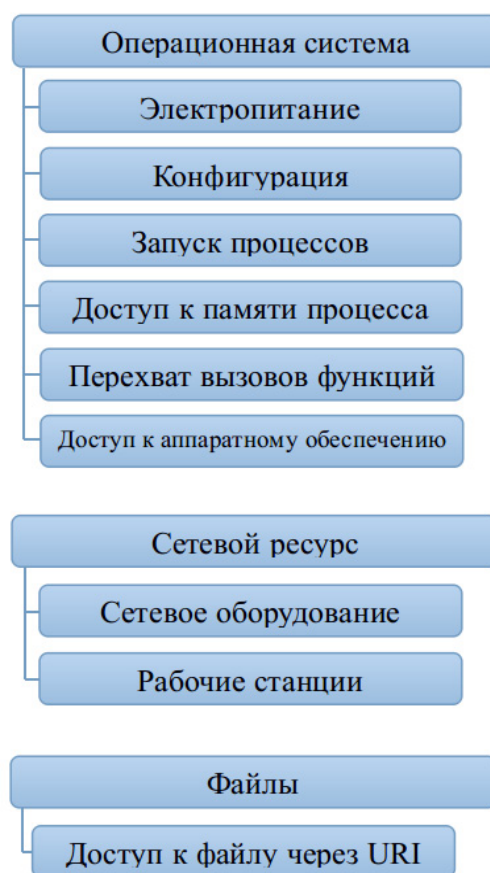


Рис. 3. Классификация целей



Рис. 4. Классификация методов

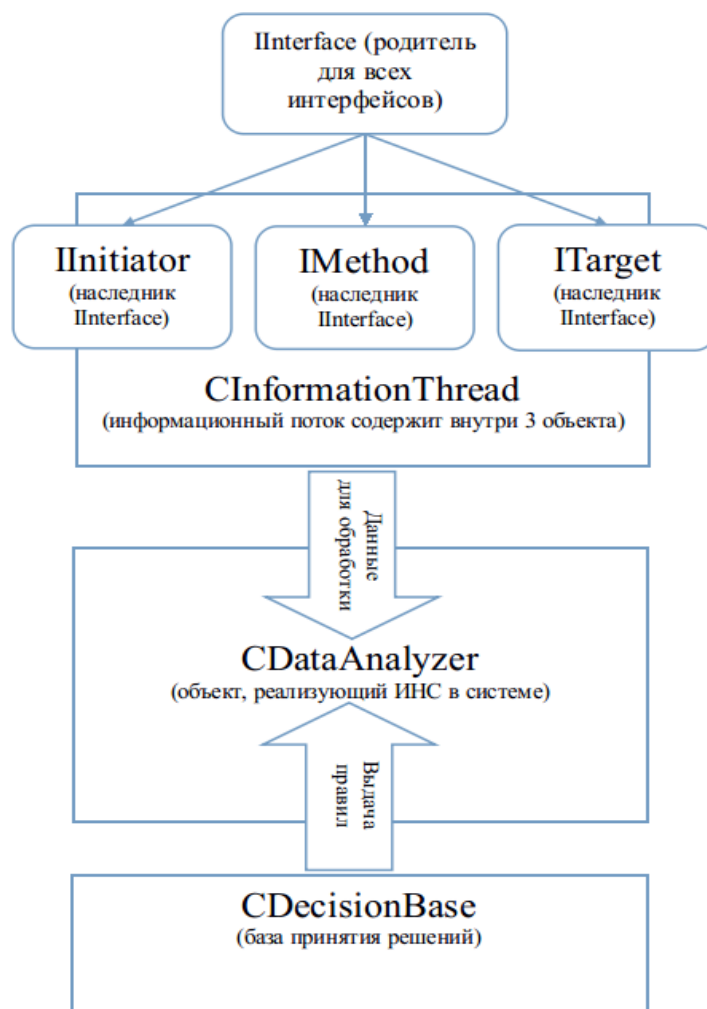


Рис. 5. Зависимость классов ИИС

и помещает в базу. Например, пользователь через файловый менеджер запускает исполняемый файл (по умолчанию запуск разрешен для системных процессов). У анализатора может не быть нужного правила, но на основе правил «разрешить порождаемый процесс не имеющий вредоносной активности», «разрешить работу файлового менеджера — процесс, который использует пользователь» и «разрешить запуск процесса в результате действий пользователя» создается правило «разрешить запуск процессов через файловый менеджер».

В базе принятия решений помимо самих правил, могут быть и высказывания, например: «вредоносная активность — запись в память другого процесса» или «пользовательская активность — сигналы с устройств ввода и ввод данных в поля графического интерфейса программы».

Представление модуля в программном обеспечении

Для описания модуля анализа информационных потоков взята объектная модель языка с++. Каждый из описанных ранее объектов выглядит как интерфейс с общим набором методов, которые могут быть у потомков (Рис. 5).

Такой подход сильно упрощает реализацию и дает гибкость разработчику: конечный программный продукт можно легко дополнять новыми возможностями, либо убирать лишнее для лучшей производительности и более узкого направления. Последнее очень актуально, например, во встраиваемых системах. В итоге становится возможным применять ИИС не только для обеспечения защиты информации, но и для любых других целей, где требуется анализ данных с каким-либо заключением по этим данным (медицина, военное дело и так далее).

Литература:

1. Кластерный анализ. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кластерный_анализ

1. Методы интеллектуального анализа данных. [Электронный ресурс]. URL: www.ibm.com/developerworks/ru/library/ba-data-mining-techniques/
2. Искусственная нейронная сеть. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная_нейронная_сеть
3. Самоорганизующаяся карта Кохонена. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сам-организующаяся_карта_Кохонена
4. Нейронные сети Хопфилда и Хэмминга. [Электронный ресурс]. URL: ai.obrazec.ru/hopfield.htm

Алгоритм Лерча-Гроссмана и его реализация на центральном и графическом процессорах

Ерёмин Денис Иванович, магистр, зав. лабораторией;
Ягфарова Надия Ильдусовна, магистр, научный сотрудник;
Абишев Данияр Аргынбекович, ведущий инженер-программист
Институт космической техники и технологий (г. Алматы, Казахстан)

Введение

Ограниченность минеральных и органических образований на нашей планете, их несоизмеримый период естественного воспроизводства относительно нарастающих темпов развития мировой промышленности, а так же современная проблема истощения природных ресурсов, привела к насущной потребности комплексного извлечения и рационального использования полезных ископаемых. [1]. Горные предприятия ориентированы на четком планировании горных работ, что напрямую сказывается на максимизации получаемой прибыли конкретного месторождения.

Прикладная математика нашла ответы на непростые вопросы горнодобывающей отрасли, такие как моделирование месторождения на основании данных опробования, и нахождение предельных контуров открытого карьера. Для решения первого вопроса применяются методы пространственной интерполяции, а второго методы, основанные на теории графов. В данной статье приводится описание применения алгоритма нахождения оптимального карьера Лерча-Гроссмана, основанное на теории графов.

Проектирование открытого карьера, можно произвести разными методами, однако одним из наиболее результативных является алгоритм Лерча-Гроссмана. Единственным существенным недостатком алгоритма является время его работы. Тем не менее методы построения карьеров, которые акцентируют внимание на сокращении времени работы алгоритма, теряют точность вычислений. В соответствии с сложившейся ситуацией на рынке решений для горнодобывающей отрасли, алгоритм Лерча-Гроссмана является наиболее востребованным алгоритмом построения открытого карьера.

Альтернативные методы построения открытого карьера

Проектирование открытого карьера можно рассматривать как процесс оптимизации, когда чистая приведенная стоимость месторождения увеличивается до максимально-возможного значения. Чистая приведенная стоимость — это показатель экономической эффективности вовлечения инвестиций в разработку месторождения. [2]. Процедура построения открытого карьера для месторождения, чистая приведенная стоимость которого равна максимально-возможному значению, происходит благодаря алгоритмам построения открытого карьера.

Пикард и Керан, предложили решение проблемы минимального разреза методом квадратичного программирования, которое оказало большое влияние в определении оптимального контура бортов открытого карьера.

Чжао и Ким, представили алгоритм, основанный на теории графов для определения оптимального открытого карьера, которому необходимо меньше компьютерных ресурсов относительно алгоритма Лерча-Гроссмана.

Хочбаум и Чэнь, рассматривали проблему нахождения оптимального открытого карьера, принимая во внимание подробные экономические данные и вопросы инженерного снабжения.

Лерч и Гроссман, создали первый метод оптимизации, который можно было применить в построении больших открытых карьеров за разумное время работы. Метод Лерча-Гроссмана широко используется в программном обеспечении для проектирования открытых карьеров, как промышленный стандарт. [3].

Определение предельного контура открытого карьера считается одной из основных проблем горнодобывающей отрасли. Данные предельного контура карьера предоставляют информацию, необходимую в оценке экономиче-

ского потенциала месторождения полезных ископаемых, а также необходима для формирования долгосрочных, промежуточных и ближайших планов открытой разработки месторождения. Для решения этой задачи было предложено ряд математических методов, наиболее оптимальным среди которых является алгоритм Лерча-Гроссмана. Алгоритм Лерча-Гроссмана является полноценным алгоритмом, который производит процедуру нахождения предельного контура открытого карьера, начиная от блочной модели месторождения и заканчивая оптимальным открытым карьером, а также он не зависит от каких-либо других методов. [4].

Алгоритм Лерча-Гроссмана

Алгоритм построения открытого карьера Лерча-Гроссмана — это первый подобный алгоритм, который начали применять в практике на больших месторождениях. Алгоритм основан на теории графов, и за разумные сроки по времени позволяет определить предельный контур открытого карьера. Цель алгоритма Лерча-Гроссмана заключается в процедуре разработки такого контура открытого карьера, который увеличивает разницу между общей стоимостью содержания полезного компонента в месторождении, и стоимостью добычи полезного и неопытного компонентов месторождения. [3]. В процессе работы алгоритма Лерча-Гроссмана создается граф модели месторождения и показывается, что оптимальное решение задачи нахождения предельного контура открытого карьера заключается в поиске конечного контура на графе модели месторождения.

Далее описано решение задачи определения максимального конечного контура открытого карьера, которая первоначально была предложена математиками Лерчем и Гроссманом.

Графу модели месторождения G , добавляется фиктивный узел x_0 , и фиктивные арки (x_0, x_i) . Узлу x_0 присваивается отрицательный вес, для того чтобы он

не входил в максимальный конечный контур. Дерево T с выделенным узлом x_0 (называемым корнем T), является корневым деревом. Работа алгоритма начинается с построения дерева T^0 в графе G . Построенное дерево в дальнейшем последовательно преобразуется в деревья T^1, T^2, \dots, T^n , следуя установленным правилам, пока дальнейшее последовательное преобразование будет невозможным. В результате искомый максимальный конечный контур содержит хорошо определенные ветви полученного дерева. [5].

Каждая арка a_i дерева определяет ветвь T^i . Арка a_i поддерживает ветвь T^i . Вес p_i ветви является суммой весов всех узлов ветви. Этот вес ассоциируется с a_i , а a_i поддерживает вес p_i . В дереве T с корнем x_0 , ветка T^i характеризуется ориентацией арки a_i относительно корня x_0 . Арка a_i называется p -аркой (положительной аркой), если она направлена в сторону T^i , т. е. если конечный узел a_i является частью T^i . Тогда ветка T^i называется p -веткой (положительной веткой). Если a_i направлена в противоположную сторону от T^i , тогда она называется m -аркой (отрицательной аркой), а ветка называется m -веткой (отрицательной веткой).

P -арка (ветка) называется сильной, если она поддерживает положительный вес. M -арка (ветка) называется сильной, если она поддерживает вес, который равен нулю или отрицателен. Арки (ветви), которые являются не сильными, называются слабыми. Узел x_i является сильным, если на пути следования к корню x_0 дерева T , находится хотя бы одна сильная арка. Узлы, которые являются не сильными, называются слабыми. В итоге дерево называется нормализованным, если корень x_0 является общим для всех сильных арок. Максимальный конечный контур, нормализованного дерева — это, набор сильных узлов.

Чтобы проиллюстрировать эти понятия, рассмотрим граф модели месторождения изображенный на рисунке 1. Значения, присвоенные каждому узлу, являются весом этого узла. Каждая арка помечена в формате (\pm, p_i)

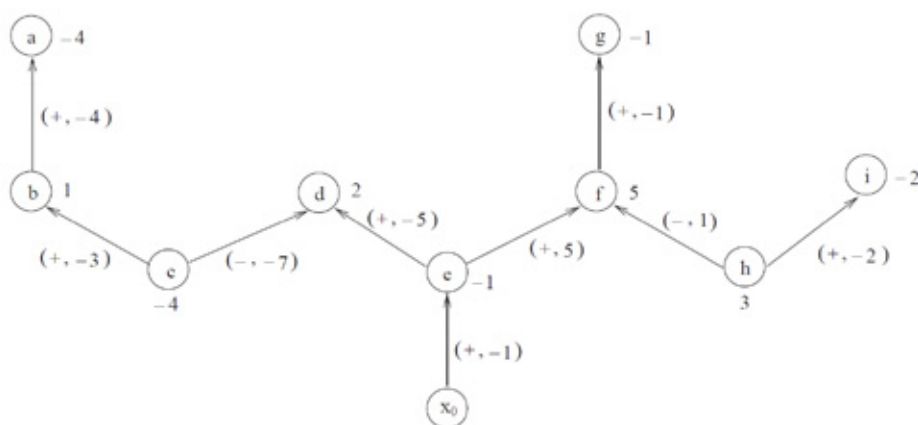


Рис. 1. Граф модели месторождения, с добавленным фиктивным узлом x_0

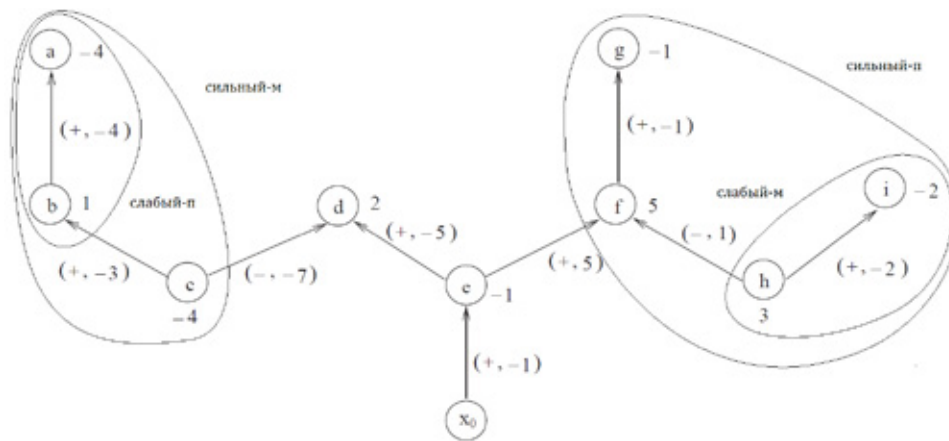


Рис. 2. Сильные и слабые ветви

для определения состояния. Здесь знак \pm , представляет p -арку или m -арку соответственно, и p_i это вес поддерживаемый аркой. При раскрытии метки арки, мы можем выяснить состояние (сильный или слабый). Арки (c, d) и (e, f) являются сильными, а все остальные слабыми. Поэтому, узлы a, b, c, f, g, h и i являются сильными, когда d и e являются слабыми. Иллюстрация сильных и слабых веток показана на рисунке 2. На рисунке 3 представлено дерево, полученное после нормализации. Заметим, что все фиктивные арки являются p -арками, все сильные арки нормализованного дерева также должны быть p -арками.

Следом приведены шаги необходимые для нахождения максимального конечного контура [6].

Шаг 1 — Инициализация.

Построить нормализованное дерево T^0 . T^0 берется в качестве связующего дерева (дерево максимального набора арок, которое не содержит циклов) набор арок, который $\{(x_0, x_i) : x_i \in V\}$. Определить набор Y^0 сильных узлов T^0 (узлы, имеющие положительный вес). Установить $i = 0$, и перейти к шагу 2.

Шаг 2 — Тестирование оптимальности.

Поиск арки (x_k, x_l) в графе G такой, что $x_k \in Y^i$ и $x_l \notin Y^i$ далее переходим к шагу 3. Если такой арки не будет найдено, необходимо остановить работу, следовательно, Y^i является максимальным конечным контуром графа G .

Шаг 3 — Обновление.

Определить уникальный (x_0, x_k) путь P , в ветви T^i . Пусть x_0 связан с x_m , на пути P . Построить дерево T^i , заменив (x_0, x_m) ветки T^i на арку (x_k, x_l) , и перейти к шагу 4.

Шаг 4 — Нормализация.

Нормализовать дерево T^i . В результате получим дерево T^{i+1} . Определить набор Y^{i+1} сильных узлов дерева T^{i+1} , и перейти к шагу 2.

Отметим, что $T^{i+1} = T^i + (x_k, x_l) - (x_0, x_m)$. Нормализованное дерево T^{i+1} , получается путем перемещения вдоль уникального (x_m, x_0) пути, и если встретится сильный узел — он будет удален, а x_0 переходит к корневой ветви дерева T^{i+1} . Таким образом, полученный

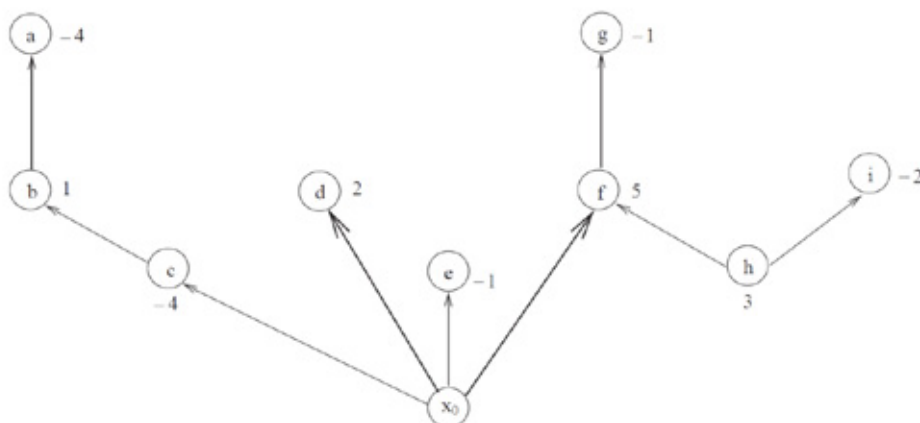


Рис. 3. Дерево, полученное после нормализации

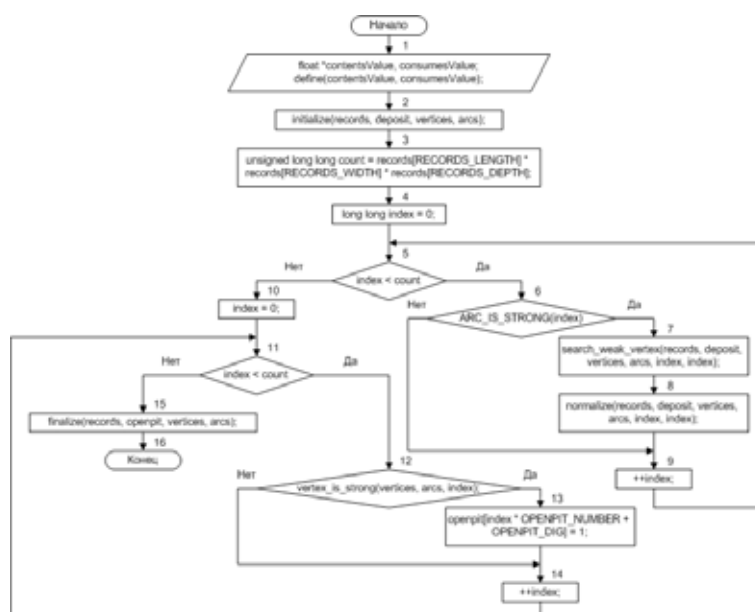


Рис. 4. Алгоритм Лерча-Гроссмана на CPU

максимальный конечный контур является предельным конечным контуром, что и является оптимальным открытым карьером.

Реализация алгоритма Лерча-Гроссмана

Рассмотрим более подробно реализацию алгоритма Лерча-Гроссмана на CPU и GPU. Блок-схема алгоритма Лерча-Гроссмана на CPU приведена на рисунке 4.

Описание к блок-схеме алгоритма Лерча-Гроссмана на CPU:

1. производится расчет весов всех вершин, входящих в модель месторождения;
2. создаются две структуры: структура вершины, которая содержит значения рассчитанных весов, и структура арки, которая содержит знак («+» или «-») и вес, начало арки изначально находится в корневой вершине и конец арки, находящийся в текущей вершине;
3. рассчитывается общее количество вершин, содержащихся в модели месторождения;
4. производится инициализация переменной, указывающей на перебираемую вершину;
5. проверка выхода за предел общего количества вершин, содержащихся в модели месторождения. Если условие верно, то переходим к пункту 6, если нет, к пункту 10;
6. проверка, является ли арка перебираемой вершины сильной аркой. Если да, то переходим к пункту 7, если нет, к пункту 9;
7. производится поиск слабой вершины, которая входит в конус, строящийся при извлечении текущей сильной вершины. Началу арки слабой вершины, которая была найдена, присваивается адрес текущей сильной вершины, а также производится перерасчет веса данной арки;

8. производится процедура нормализации ветви, расположенной между текущей сильной вершиной и найденной слабой вершиной;

9. производится переход к следующей вершине;

10. производится инициализация переменной, указывающей на перебираемую вершину;

11. проверка выхода за предел общего количества вершин, содержащихся в модели месторождения. Если условие верно, то переходим к пункту 12, если нет, к пункту 15;

12. проверка, является ли перебираемая вершина сильной. Если да, то переходим к пункту 13, если нет, к пункту 14;

13. отмечаем перебираемую вершину на извлечение;

14. производится переход к следующей вершине;

15. удаление структур, вершины и арки;

16. все отмеченные на извлечение вершины, образуют предельный контур карьера.

Блок-схема алгоритма Лерча-Гроссмана на GPU приведена на рисунке 5.

Описание к блок-схеме алгоритма Лерча-Гроссмана на GPU:

1. производится расчет весов всех вершин, входящих в модель месторождения;
2. создаются две структуры: структура вершины, которая содержит значения рассчитанных весов, и структура арки, которая содержит знак («+» или «-») и вес, начало арки изначально находится в корневой вершине и конец арки, находящийся в текущей вершине;
3. рассчитывается общее количество вершин, содержащихся в модели месторождения;
4. производится инициализация переменной, указывающей на перебираемую вершину;
5. проверка выхода за предел общего количества вершин, содержащихся в модели месторождения.

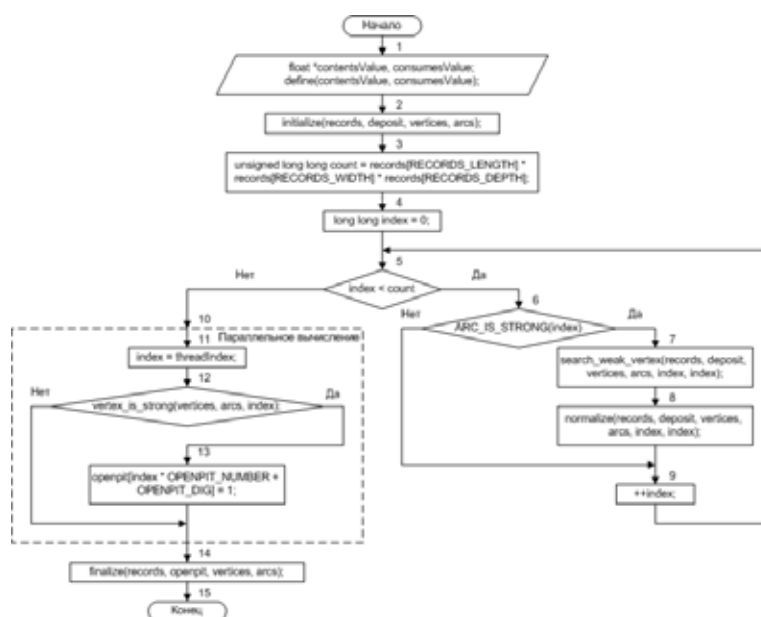


Рис. 5. Алгоритм Лерча-Гроссмана на GPU

Если условие верно, то переходим к пункту 6, если нет, к пункту 10;

6. проверка, является ли арка перебираемой вершины сильной аркой. Если да, то переходим к пункту 7, если нет, к пункту 9;

7. производится поиск слабой вершины, которая входит в конус, строящийся при извлечении текущей сильной вершины. Началу арки слабой вершины, которая была найдена, присваивается адрес текущей сильной вершины, а также производится перерасчет веса данной арки;

8. производится процедура нормализации ветви, расположенной между текущей сильной вершиной и найденной слабой вершиной;

9. производится переход к следующей вершине;

10. начало параллельного участка кода;

11. производится инициализация переменной, указывающей на рассматриваемую вершину;

12. проверка, является ли рассматриваемая вершина сильной. Если да, то переходим к пункту 13, если нет, к пункту 14;

13. отмечаем рассматриваемую вершину на извлечение;

14. удаление структуры вершины, и структуры арки;

15. отмеченные вершины составляют предельный контур карьера.

Вывод

Процедура оптимизации построения открытого карьера, может быть произведена методом целочисленного программирования. Однако реализация такого вида программирования имеет определенные трудности, влияющие на сложность реализации метода и на ограниченность количества блоков блочной модели месторождения участвующих в расчете. Принимая во внимание эти практические трудности, решение задачи нахождения предельного контура открытого карьера на большинстве горнодобывающих предприятиях разделяют на три основных этапа. Основополагающим этапом является генерирование оптимального предельного контура открытого карьера методом Лерча-Гроссмана, который описан в этой статье. Далее, в полученном ранее максимальном конечном контуре создаются вложенные конечные контуры, путем изменения потенциала арок между узлами графа, данный процесс называется параметризацией открытого карьера. На третьем этапе, вложенные предельные контуры комбинируются для получения проекта препятствий, а затем эта информация вносится в график производства горнодобывающего предприятия.

Литература:

1. Закон Республики Казахстан о недрах и недропользовании, статьи 107–115, 2010 год.
2. Чистая приведенная стоимость, статья из сайта Wikipedia, https://ru.wikipedia.org/wiki/Чистая_приведенная_стоимость.
3. H. Amankwah, Mathematical optimization models and methods for Open-Pit Mining, страницы 12–15, 2011 год.
4. H. Lerchs и I. F. Grossmann, Optimum design of Open-Pit Mines, страницы 51–54, 1965 год.
5. L. Caccetta и L. M. Giannini, An application of discrete mathematics in the design of an Open-Pit Mine, страницы 9–13, 1988 год.

6. N. Stuart, An introduction of the theory of Open-Pit Optimization, статья из сайта Resource Dynamics, <http://www.agt.net/public/nstuart/pan/main.htm>

Представление и интеграция данных по свойствам веществ в рамках технологий Linked Open Data

Еркимбаев Адильбек Омирбекович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией;
Зицерман Владимир Юрьевич, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник;
Кобзев Георгий Анатольевич, доктор физико-математических наук, советник;
Трахтенгерц Михаил Самойлович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
Объединенный институт высоких температур РАН (г. Москва)

В последнее десятилетие возникла новая тенденция в технологии хранения и распространения научной информации — переход от изолированных баз данных (БД) к международной информационной инфраструктуре, способной обеспечить глобальный доступ к ресурсам в сочетании со стандартизацией понятийного аппарата, терминологии и форматов. Предпринят ряд инициативных проектов, в частности, проект GRDI20 (Global Research Infrastructure Data), с целью выработки единых концептуальных и организационных решений по интеграции научных исследований на базе единой информационной платформы. Сводку докладов, подготовленных в рамках проекта, можно найти в дорожной карте [<http://bit.ly/18kLWFw>] и работах [1, 2]. Один из основных выводов, полученных экспертами, работавшими в рамках проекта — необходимость главного акцента в обозримом будущем на создании предметно-ориентированных (domain-specific) структур, унифицирующих практики и технологии работы с данными.

Теплофизика, с этой точки зрения, представляется идеальным полигоном для отработки соответствующих средств. Данные по теплофизическим свойствам веществ являются широко востребованным продуктом научной деятельности, притом, что их логическая структура заведомо проще, чем даже в сопредельных областях, скажем, в молекулярной физике или физике твердого тела. Несколько упрощая картину, можно сказать, что структура данных по свойствам сводится к трем базовым элементам: вещество, свойство и сам набор данных, типовая форма которого есть таблица значений нескольких функций и нескольких констант. Именно эта простота позволила нам предложить достаточно универсальную онтологию теплофизических свойств [3], которая предназначена для использования в рамках Semantic Web, которая является более сложной разновидностью Интернет. Она обеспечивает публикацию в сети структурированных документов и их включение в глобальное пространство данных. Хотя Semantic Web далеко не единственный подход к созданию

научной инфраструктуры, опыт последних лет показал его богатый потенциал для естественных наук [4]. Предполагается, что примерно к 2020 году ученый сможет совершать в глобальном пространстве свободный поиск релевантных наборов данных так же, как сегодня проводится поиск публикаций. Существенный элемент этой технологии — представление данных в машинно-читаемой форме с явным определением семантики, что обеспечивает автоматизм и эффективность интеграции тематически родственных данных.

Здесь мы кратко рассмотрим, применительно к теплофизике, возможности технологии связывания данных (Linked Open Data, LOD), являющейся порождением и развитием концепций Semantic Web. Т. Berners-Lee, выдвинувший идею LOD [5], предложил четыре базовых принципа, на основе которых генерируются и распространяются эти данные в сети: 1) каждая сущность (вещество, абстрактное понятие типа свойство и т. п.), однозначно определяется уникальным идентификатором, так называемым URI (Uniform Resource Identifiers); 2) доступ к этой сущности в сети обеспечивает обращение HTTP URI; 3) полезная информация при обращении по URI извлекается за счет использования стандарта RDF (resource definition framework); 4) ссылки на другие URI позволяют находить родственную информацию по тематике исходного документа.

Согласно третьему принципу, в качестве единой модели связанных данных предлагается RDF, состоящая из пригодных для машинной обработки утверждений, каждое из которых имеет формальный вид «субъект — предикат — объект» и называется *триплетом*. RDF обеспечивает построение моделей данных, не касаясь самой семантики, отсылая за интерпретацией смысла данных к имеющимся в сети словарям и онтологиям. Подробнее использование RDF для формализации научных данных, включая данные о свойствах вещества, обсуждается в работах [4, 6]. Указанные принципы требуют идентификации каждого ресурса посредством URI, который служит

не только его идентификатором, но и обеспечивает представление структурированных данных. С помощью идентификаторов устанавливаются гиперссылки между сущностями в различных документах LOD. Тем самым происходит связывание данных в сетевом пространстве, что позволяет LOD приложениям обнаруживать новые источники данных, неизвестные авторам на момент публикации.

Таким образом, ключевой момент в использовании технологии LOD — запись намеченных к публикации данных в формате RDF. В руководстве [7], применимость которого существенно шире медико-биологической тематики, для работы с которой оно исходно предназначалось, обсуждается несколько путей трансформации данных. В качестве наиболее эффективного авторы [7] рассматривают способ конверсии в RDF первичных реляционных данных (храняемых в реляционных БД), хотя в принципе имеются инструменты конверсии из других форматов, например XML, CSV, BibTex. Более того, при работе с исходно неструктурированными документами технология включает предварительную разработку схемы данных и основанной на ней БД с тем, чтобы импортировать документы в БД с последующей их конверсией в RDF-формат. Сущности, представленные в научных БД, как правило, подвержены сложным соотношениям — логическим ограничениям, математическим связям типа равенств энергии Гиббса в сосуществующих фазах, и т.п. Именно эта технология принята здесь, причем первичное хранение документов в БД позволяет обеспечить выполнение логических и математических связей между понятиями. Соответствующие процедуры логического контроля используемых данных на предмет отсутствия физических и логических несоответствий предложены в дипломной работе [8].

Для конверсии данных из реляционной БД в RDF/XML вид выбран D2R сервер, как наиболее простое некоммерческое средство, поддерживающее *дереференсирование* HTTP URI ресурсов [9]. Файлы отображения, необходимые для работы D2R сервера, генерируются им автоматически и затем обрабатываются вручную для совместимости с онтологией.

В полуавтоматическом режиме сгенерированы связи набора публикуемых данных с внешними наборами данных. На первом этапе определен целевой набор данных для поиска связей и вручную создан файл конфигурации связывания. Файл записан с использованием декларативного языка **Silk — Link Specification Language** (Silk-LSL), который является элементом **Silk Link Discovery Framework** [10]. Это приложение позволяет определить, какие типы RDF линков следует установить между источниками данных и каким условиям должны удовлетворять элементы данных, чтобы быть связанными с исходным набором. Приложение содержит сведения о доступе к внешнему набору данных и правила связывания, состоящие из путей к сравниваемым свойствам в RDF-документе и метрикам, по которым оценивается близость значений заданных свойств. Приложение

запускается вручную и при помощи **Silk Link Discovery Framework** генерирует прямые связи между нашим набором данных о веществах и их свойствах и заданным внешним набором данных.

Затем приложение траверсирует RDF представления внешних ресурсов, то есть находит связи **owl: sameAs**, **rdf: seeAlso** и **skos: closeMatch** с ранее связанными ресурсами, связи следующих порядков. Связи группируются по внешним наборам данных, которые идентифицируются при помощи их **VOID-дескрипторов**, обеспечивающих RDF наборы метаданными [11]. Глубина поиска задается в конфигурации. Найденные связи сохраняются в реляционной БД, откуда затем публикуются при помощи D2R сервера. За счет связи собственного набора данных с наборами данных, которые являются центрами кластеров предметно-ориентированных данных (в данном случае, данных по физическим свойствам) в пространстве LOD, удалось получить цепочки связей, ведущих от оригинальных данных к данным из других областей.

Для решения задач семантической интеграции публикуемых в LOD данных о свойствах веществ, ключевую роль играют словари и онтологии, позволяющие отразить базовые понятия. Первая из онтологий, которая выбрана для представления понятий, связанных со свойствами вещества, **QUDT** — Quantities, Units, Dimensions and Data Types in OWL and XML [<http://qudt.org/>]. Семантика **QUDT** основана на анализе размерностей, записанном на языке OWL. Здесь же конкретизируется семантика величин и единиц измерения. Спецификация QUDT обеспечивает интероперабельность и обмен данными за счет доступности в машинно-читаемой форме.

Наиболее полный словарь химических форм, то есть названий веществ, стандартизованных в международной практике, включен в **ChemSpider** [www.chemspider.com/], открытую в сети БД, поддерживаемую Королевским химическим обществом (RSC) Великобритании. Он содержит данные для более, чем 30 млн. соединений примерно из 400 источников записей. Используется как платформа для аннотирования и сопровождения существующих данных. БД рассматривается как полезный источник сведений о веществе, особенно при отображении его названий. В частности, БД позволяет провести отображение между **ChemSpider identifiers (CSIDs)** и оригинальным источником данных. Например, при поиске в БД вещества под названием «hydrogen» БД выдает его уникальный номер и соответствующий URI, CSID:762 [<http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.762.html>]. По запросу **ChemSpider** выдает подробную запись, включая перечень названий-синонимов, данные о свойствах, источниках и т.п., причем название вещества в запросе ChemSpider меняет на рекомендованное — «dihydrogen».

Наряду с этими специализированными источниками, полезным оказался и универсальный в плане тематики ресурс **DBpedia** [<http://dbpedia.org/>]. В этом ресурсе можно найти сведения различной полноты практически для всех

физических свойств наиболее распространенных веществ, причем для последних используются различные синонимы. Преимущества ресурса: охват множества предметных областей; согласованные действия сообщества; автоматическое отслеживание изменений в исходном ресурсе Википедия; поддержка множества языков. Как следствие, использование ссылок на **DBpedia** позволяет достаточно адекватно и всестороннее отражать содержание публикуемого в LOD документа. При дальнейшей работе предполагается использовать общий список доступных словарей и онтологий **LOV** [12]. Этот ресурс может рассматриваться как исходная точка при поиске в постоянно расширяющемся множестве RDFS словарей

или онтологий, классифицируемых посредством метаданных и взаимно связанных посредством спецификации **VOAF** [<http://purl.org/vocommons/voaf>], идентифицирующих словари, используемые в **Linked Data Cloud** [13].

Таким образом, нам удалось отработать достаточно универсальную и хорошо адаптированную к предметной области технологию представления и связывания (по сути, интеграции) численных данных по теплофизическим свойствам. Тем самым обеспечена принципиальная возможность глобального распространения публикуемых в LOD данных при унификации, за счет доступных словарей и онтологий, всей необходимой терминологии, единиц измерения и прочих элементов.

Литература:

1. Thanos, C. A Vision for global research data infrastructures, *Data Science Journal*, 2013, Volume 12, 71–90
2. Karagiannis, F., Keramida D., Ioannidis Y., et al. Technological and organizational aspects of global research data infrastructures towards year 2020. *Data Science Journal*, 2013, Volume 12, GRDI1 — GRDI5
3. О.М. Атаева, А.О. Еркимбаев, В.Ю. Зицерман, Г.А. Кобзев, В.А. Серебряков, К.Б. Теймуразов, Р.И. Хайруллин. Интеграция данных по теплофизическим свойствам веществ методами онтологического моделирования. В сборнике: Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции. XV Всероссийская научная конференция. Ярославль, Россия, 14–17 октября 2013 года. — Ярославль: ЯрГУ, 2013. — 422 с. ISBN 978-5-8397–1004–7. Доступно по ссылке http://rcdl2013.uni Yar.ac.ru/doc/full_text/rcdl_ataeva_i_dr.pdf
4. А.О. Еркимбаев, В.Ю. Зицерман, Г.А. Кобзев, В.А. Серебряков, К.Б. Теймуразов. Технология научных публикаций в среде «Открытых связанных данных». Научно-техническая информация. Серия 1. 2013, №12, стр. 1–11.
5. Т. Berners-Lee. Design Issues: Linked Data. Доступно по ссылке: www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html.
6. И.А. Радченко Использование открытых данных в научных исследованиях. Информационное общество, 2013, вып. 1–2, стр. 93–101
7. Health Care and Life Science (HCLS) Linked Data Guide. Доступно по ссылке: www.w3.org/2001/sw/hcls/notes/hcls-rdf-guide/
8. Устинова, Е.С. Дипломная работа «Интеграция данных по свойствам веществ в специализированное пространство связанных данных». МГУ им. М.В. Ломоносова. Факультет вычислительной математики и кибернетики. Кафедра системного программирования. 2014.
9. Satya, S. Sahoo et al. A Survey of Current Approaches for Mapping of Relational Databases to RDF. W3C RDB2RDF Incubator Group January 082009. Доступно по ссылке: http://www.w3.org/2005/Incubator/rdb2rdf/RDB2RDF_SurveyReport.pdf
10. Volz, J. et al. Silk — A Link Discovery Framework for the Web of Data. Proceedings of the 2nd Workshop on Linked Data on the Web. (LDOW2009).
11. Keith Alexander (Talis) et al. Describing Linked Datasets with the VoID Vocabulary. W3C Interest Group Note 03 March 2011. Доступно по ссылке <http://www.w3.org/TR/void/>
12. Linked Open Vocabularies, Доступно по ссылке <http://lov.okfn.org/dataset/lov/>.
13. The Linking Open Data cloud diagram, Доступно по ссылке <http://lod-cloud.net>

Эллиптические кривые в алгоритме Диффи-Хеллмана над полем $GF(2^m)$

Ле Ньят Зуи, кандидат физико-математических наук;
Данг Хоанг Минь, кандидат технических наук, преподаватель
Индустриальный государственный университет (г. Хошимин, Вьетнам)

Рассмотренная криптосистема Диффи-Хеллмана основана на том, что проблема логарифмирования в конечном простом поле является сложной с вычислительной точки зрения.

Ключевые слова: Криптосистема Диффи-Хеллмана, эллиптические кривые, абелева группа, суперсингулярная кривая.

1. Введение

Рассмотрим протокол, криптографическая стойкость которого основана на трудности решения проблемы дискретного логарифма. Эта проблема имеет место в случае, когда задана некоторая конечная группа. Известна степень $y = g^x$ некоторого ее элемента и требуется найти значение показателя степени x — дискретный логарифм элемента y . Для аддитивной группы, заданной на множестве вычетов множества Z целых чисел по модулю простого числа эта проблема легко решается с использованием алгоритма, подобного алгоритму Евклида. Для группы точек супер-сингулярной эллиптической кривой сложность проблемы дискретного логарифма меньше сложности этой проблемы в общей постановке для произвольной группы. В этом случае, проблема дискретного логарифма решается эффективно.

Определение 1. [1] Пусть $p > 3$ — простое число. Пусть $a, b \in GF(p)$ такие, при которых $4a^2 + 27b^2 \neq 0$. Эллиптической кривой E над полем $GF(p)$ называется множество решений (x, y) уравнения:

$$y^2 = x^3 + ax + b \quad (1)$$

Над полем $GF(p)$ вместе с дополнительной точкой ∞ , называемой точкой в бесконечности или нулевой точкой O .

Представление эллиптической кривой в виде уравнения (1) носит название эллиптической кривой в форме Вейерштрасса.

Обозначим количество точек на эллиптической кривой E через $|E|$. Теорема Хассе гласит, что [2]

$$|E| = p + 1 - t,$$

где $|t| \leq 2\sqrt{p}$, $|E|$ называется порядком кривой E , а t — следом кривой E .

Введем бинарную операцию на E (в аддитивной записи) следующими правилами [3]:

$$\infty + \infty = \infty;$$

$$\forall P = (x_P, y_P) \in E, P + \infty = P$$

$$\forall P = (x_P, y_P) \in E, (x_P, y_P) + (x_P, -y_P) = \infty \quad (2)$$

$$\forall P = (x_P, y_P), Q = (x_Q, y_Q); P, Q \in E, x_P \neq x_Q : P + Q = R,$$

где

$$x_R = s^2 - x_P - x_Q,$$

$$y_R = s(x_P - x_R) - y_P,$$

и

$$s = \frac{y_Q - y_P}{x_Q - x_P}.$$

$$\forall P = (x_P, y_P) \in E, y_P \neq 0, 2P = R, \text{ где}$$

$$x_R = s^2 - 2x_P, \quad (3)$$

$$y_R = s(x_P - x_R) - y_P,$$

и

$$s = \frac{3x_p^2 + a}{2y_p}.$$

Множество точек эллиптической кривой E с заданной таким образом операцией образует абелеву группу.

Если $|E| = p + 1$, то кривая E называется супер-сингулярной.

Эллиптическая не являющаяся супер-сингулярной кривая E над полем $GF(2^m)$, характеристики 2 задается следующим образом.

Определение 2. [1] Пусть $m > 3$ — целое число; $a, b \in GF(2^m)$, $b \neq 0$. Эллиптической кривой E над полем $GF(2^m)$ называется множество решений (x, y) уравнения:

$$y^2 + xy = x^3 + ax^2 + b \quad (4)$$

Над полем $GF(2^m)$ вместе с дополнительной точкой ∞ , называемой точкой в бесконечности.

Количество точек на кривой E также определяется теоремой Хассе [2]:

$$q + 1 - 2\sqrt{q} \leq |E| \leq q + 1 + 2\sqrt{q},$$

где $q = 2^m$. Более того, $|E|$ чётно.

Операция сложения на E в этом случае задается следующими правилами:

$$\infty + \infty = \infty;$$

$$\forall P = (x_p, y_p) \in E, P + \infty = P$$

$$\forall P = (x_p, y_p) \in E, (x_p, y_p) + (x_p, x_p + y_p) = \infty \quad (5)$$

$$\forall P = (x_p, y_p), Q = (x_q, y_q); P, Q \in E, x_p \neq x_q, P + Q = R,$$

где

$$x_R = s^2 + s + x_p + x_q + a,$$

$$y_R = s(x_p + x_R) + x_R + y_p,$$

и

$$s = \frac{y_q + y_p}{x_q + x_p}$$

$$\forall P = (x_p, y_p) \in E, x_p \neq 0, 2P = R,$$

где

$$x_R = x_p^2 + \frac{b}{x_p^2},$$

$$y_R = x_p^2 + (s + 1)x_R$$

и

$$s = x_p + \frac{y_p}{x_p}.$$

В этом случае множество точек эллиптической кривой E с заданной таким образом операцией также образует абелевую группу.

Пользуясь операцией сложения точек на кривой, можно естественным образом определить операцию умножения точки $P \in E$ на произвольное целое число n :

$$nP = P + \dots + P,$$

где операция сложения выполняется n раз.

2. Алгоритмы вычисления nP

Алгоритм 1. [2]

Рассмотрим алгоритм вычисления координат точки nP , где n — целое число ($n > 0$), $P = (x_p, y_p) \in E$ —

заданная точка плоскости ($P \neq 0$).

Пусть x_P, y_P — многочлены из поля $GF(2^m)$.

Разложим число n в двоичной системе:

$$n = \sum_{i=0}^{k-1} a_i 2^i, \quad a_i \in \{0, 1\}, \quad (6)$$

где $k = \lfloor \log_2(n+1) \rfloor$.

Пусть i_1, i_2, \dots, i_t ($i_1 < i_2 < \dots < i_t$) — индексы единичных компонент в наборе a_0, a_1, \dots, a_{k-1} . Тогда

$$nP = \left(\sum_{j=1}^t 2^{i_j} \right) \cdot P \quad (7)$$

Найдем последовательность $A_j = 2^{i_j} \cdot P$, $j = 1, 2, \dots, t$ по формуле:

$$A_1 = 2^{i_1} P,$$

$$A_j = 2^{i_j - i_{j-1}} A_{j-1}, \quad j = 2, 3, \dots, t.$$

Итак, получим искомое произведение nP :

$$nP = \sum_{j=1}^t A_j.$$

Этот алгоритм использует не более $\log_2 t$ умножений многочленов на двойку и не более r операций сложения многочленов (число r — двоичное разложение n).

Алгоритм 2. Метод аддитивных цепочек [2]

Разложим n в системе счисления по основанию 2^k :

$$n = \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{m}{k} \rfloor} a_i 2^{ki},$$

по схеме Горнера [7]:

$$nP = \left(\left(\dots \left(a_{s-1} 2^k + a_{s-2} \right) 2^k + \dots + a_1 \right) 2^k + a_0 \right) P, \quad (8)$$

где

$$s = \left\lfloor \frac{m}{k} \right\rfloor.$$

В [2], оценка сложности 2-ого алгоритма имеет вид

$$2^{k-1} (M + K) + M \cdot \frac{m}{k} + mK,$$

где M и K — сложность сложения и удвоения точек соответственно.

Выбирая

$$k = \lfloor \log_2 m - \log_2 \log_2 m - \log_2 \log_2 \log_2 m \rfloor$$

получаем асимптотически точную в общем случае оценку сложности

$$mK + M \cdot \frac{m}{k} + o\left((M + K) \cdot \frac{m}{k}\right). \quad (9)$$

3. Применение эллиптических кривых в алгоритме Диффи-Хеллмана

Опишем криптографический протокол, аналогичный известному протоколу Диффи-Хэллмана. Для установления защищенной связи два пользователя А и В совместно выбирают эллиптическую кривую E и точку P на ней.

1 этап.

Пользователь А выбирает свое секретное целое число a (b — большое число) и вычисляет произведение aP . Далее А пересылает вычисленное значение получателю В.

Пользователь В генерирует свое секретное большое число b (b — целое число) и вычисляет произведение bP . В пересылает его получателю А.

При этом параметры самой кривой, координаты точки на ней и значения произведений являются открытыми и могут передаваться по незащищенным каналам связи. Предполагается, что злоумышленник может получить оба этих значения, но не модифицировать их.

2 этап.

А на основе имеющегося у пользователя числа a и полученного по сети bP вычисляет значение

$$K_A = a \cdot bP$$

В на основе имеющегося у пользователя числа b и полученного по сети aP вычисляет значение

$$K_B = b \cdot aP$$

В силу свойств операции умножения на число $a \cdot bP = b \cdot aP$, или $K_A = K_B$. Таким образом, оба пользователя получают общее секретное значение (координаты точки abP), которое они могут использовать для получения ключа шифрования.

4. Стойкость алгоритма

Отметим, что злоумышленнику для восстановления ключа потребуются решить сложную с вычислительной точки зрения задачу определения a и b по известным E, P, aP и bP . Если эта проблема имеет эффективное решение, то и проблема Диффи-Хеллмана для эллиптических также легко решается и рассмотренный протокол не имеет смысла. В то же время гипотеза об эквивалентности проблем дискретного логарифма и проблемы Диффи-Хеллмана для эллиптических кривых не доказана.

Протокол Диффи-Хеллмана отлично противостоит пассивному нападению, но в случае реализации атаки «человек посередине» он не устоит. В самом деле, Атакующий заменяет сообщения переговоров о ключе на свои собственные и таким образом получает два ключа — свой для каждого из законных участников протокола. Далее он может перешифровывать переписку между участниками, своим ключом для каждого, и таким образом ознакомиться с их сообщениями, оставаясь незамеченным.

Литература:

1. Алферов, А. П., Зубов А. Ю., Кузьмин А. С., Черемушкин А. В. Основы криптографии. 3-е изд., испр. и доп. — М.: Гелиос АРБ. 2005.
2. Болотов, А. А., Гашков С. Б., Фролов А. Б., Часовских А. А. Алгоритмические основы эллиптической криптографии. М. Мэи. 2000.
3. Коблиц, Н. Введение в эллиптические кривые и модулярные формы. М.: Мир. 1988.
4. Прасолов, В. В., Соловьев Ю. П. Эллиптические функции и алгебраические уравнения. М.: Факториал. 1977.
5. Степанов, С. А. Арифметика алгебраических кривых. М.: Мир. 1991.
6. Яковлев, А. В., Безбогов А. А., Родин В. В., Шамкин В. Н. Криптографическая защита информации. Издательство ТГТУ. 2006.
7. William Stallings. Cryptography and Network Security Principles and Practice. Prentice Hall. 2011.

Особенности подходов к построению ИТКС

Шинкаренко Антон Федорович, адъюнкт;

Казанцев Денис Иванович, начальник отделения ИТ

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург)

Развитие информационных технологий, объединение вычислительных ресурсов и построение на их основе центров обработки данных, повседневное внедрение технологий виртуализации постепенно послужило причиной пересмотра особенностей подходов к построению инфотелекоммуникационной сети (ИТКС).

В традиционном виде ИТКС представляют, как иерархическую модель (рис. 1), где представлены три уровня: базовый, распределения и доступа [1].

Стоит отметить, что эти уровни являются логическими, а не физическими. Основная задача базового уровня состоит в максимально быстрой и надёжной передаче ин-

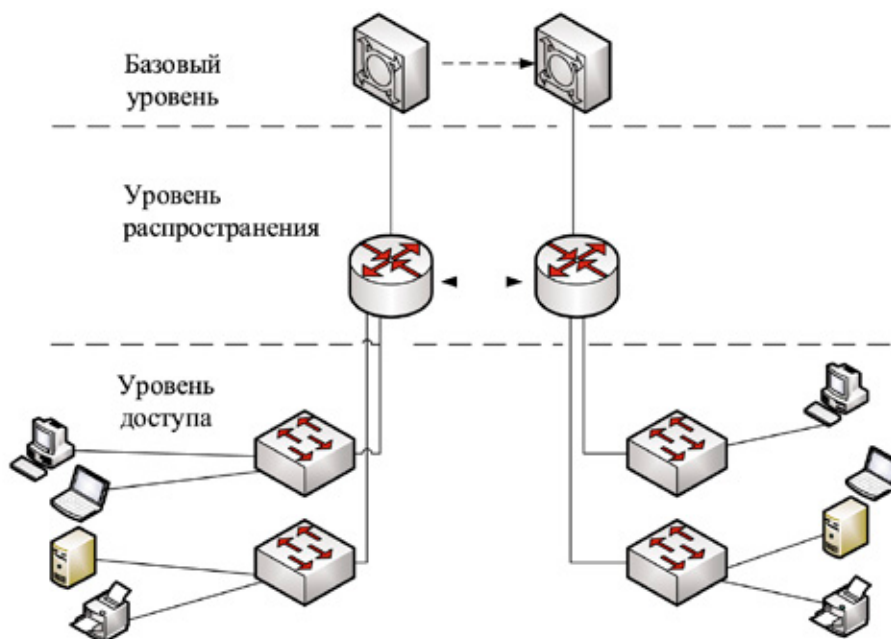


Рис. 1. Иерархическая модель ИТКС

формации. К основным функциям уровня распределения можно отнести маршрутизацию трафика и установление политик доступа пакетов к базовому уровню. На уровне доступа реализовано управление пользователями и рабочими группами.

Постепенно с развитием сетевых технологий появилось стремление к конвергенции услуг связи, объединению двух направлений — коммутации каналов (передачу голоса) и коммутации пакетов (передачу данных). Кратко концепцию мультисервисной сети, основанная на пакетной коммутации, и обеспечивающая предоставление неограниченного спектра телекоммуникационных услуг — NGN (Next Generation Network) [2, 3]. В общем смысле NGN является результатом слияния Интернета и телефонных сетей.

В мультисервисной сети NGN выделяют следующие уровни:

- уровень услуг осуществляется передача услуг данных;
- уровень управления поддержка ресурсов услуг;
- транспортный уровень проводит передачу данных пользователям, управление и поддержка транспортных ресурсов;
- уровень доступа подключает конечных пользователей к сети, производит управление качеством обслуживания сетевого трафика пользователей.

В стремлении оптимизации расходов, активно используются частные и/или публичные облака на центрах обработки данных. В связи с этим усложняется архитектура компьютерных сетей, так, на одной физической сети осуществляется работа множества виртуальных сетей. Также постоянные проблемы с масштабируемостью, сложностью управления различных сервисов ИТКС дали толчок

для развития концепция программно-конфигурируемых сетей (SDN) [4], данная технология реализуется на протоколе OpenFlow. В SDN управление сетью осуществляется в приложениях, которые работают на отдельном сервере (контроллере), а на сетевом оборудовании осуществляется передача данных. Архитектура программно-конфигурируемых сетей представлена на рис. 2.

Контроллер SDN содержит сетевую операционную систему, которая представляет собой программу, обеспечивающую мониторинг, доступ и управление ресурсами всей сети, а не ее конкретного узла [5]. В результате этого упрощается механизм администрирования.

К преимуществам программно-конфигурируемых сетей относят:

- возможность централизованного управления узлами коммутации ИТКС;
- уменьшение сложности управления ИТКС за счет автоматизации различных сервисов;
- увеличение надежности и безопасности;
- повышение пропускной способности передаваемой информации;
- упрощение логической структуры ИТКС;
- снижение стоимости коммутационного оборудования сетевой инфраструктуры.

Таким образом, при проектировании ИТКС необходимо более тщательно подходить к анализу решаемых в ней задач. Поскольку выбор сетевой архитектуры разрабатываемой или модернизируемой сети зависит от типа используемого аппаратно-программных средств и особенностей их работы. Необходимо грамотное составление технического задания, выполнения предпроектного исследования объекта и решаемых задач, разработка проекта с сопутствующей документацией.

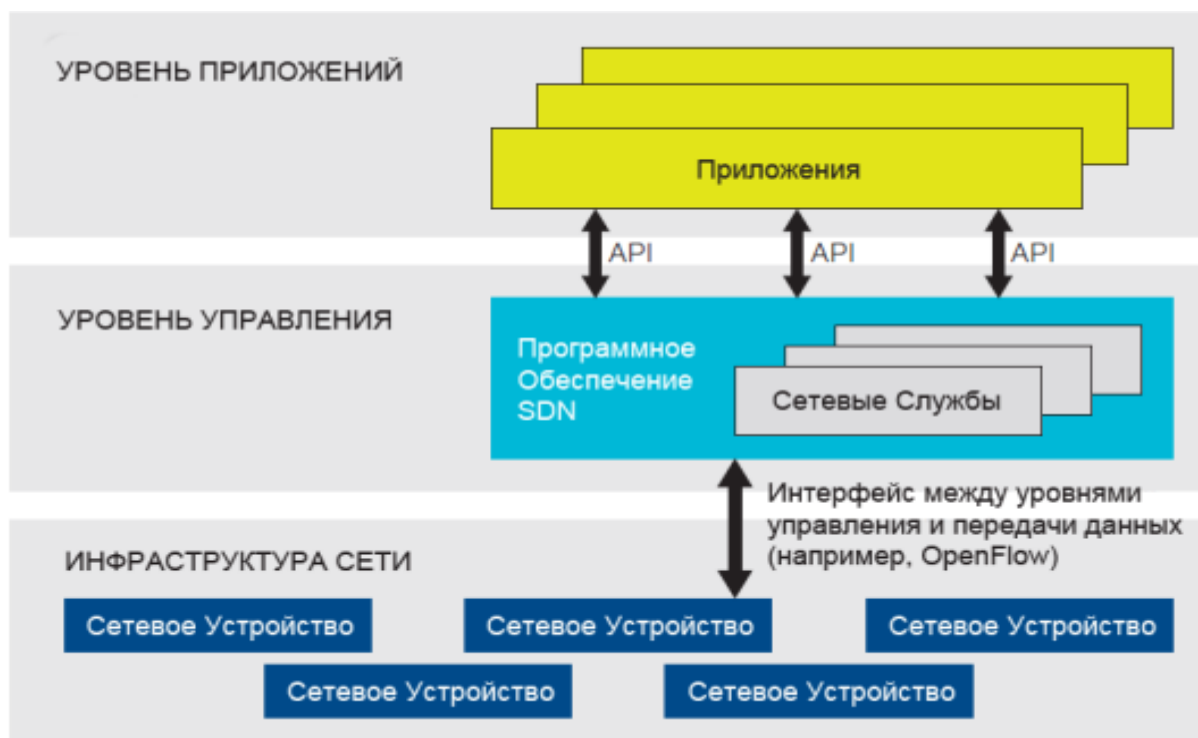


Рис. 2. Архитектура программно-конфигурируемых сетей

Современное программное обеспечение позволяет проводить моделирование, симуляцию работы компьютерной сети (как бесплатные программные продукты, такие как GNS3, Cisco Packet Tracer, Dynamips, NetSim, так и платные OPNET, Bosson NetSim, NetVisualizer, Network Sims и др.) максимально приближенной к реальной, но каждая из них решает только определенный круг задач.

С учетом вышесказанного можно сделать общий вывод о проблеме (сложностях) выбора сетевых элементов ИТКС. Для успешного построения сетей необходимо проведение анализа в области моделирования компьютерных сетей, поиска и формирования методов принятия решения по выбору архитектуры ИТКС и обеспечение защищенности её функционирования.

Литература:

1. Трехуровневая иерархическая модель компании Cisco, URL: http://www.network.xsp.ru/8_5_7.php (дата обращения: 29.09.2014).
2. Кулябов, Д. С., Королькова А. В. Архитектура и принципы построения современных сетей и систем телекоммуникаций: Учеб. пособие. — М.: РУДН, 2008. — 281 с.: ил
3. И. И. Власов, «Тестирование сетей NGN: коммутаторы, шлюзы, трафики», URL: http://www.tssonline.ru/articles2/support/testir_setey_ngn_kommutat_shlyuzy_trafiki (дата обращения: 28.09.2014).
4. Casado, M., Garfinkel T., Akella A., Freedman M. J., Boneh D., McKeown N., Shenker S. SANE: A Protection Architecture for Enterprise Networks // 15th Usenix Security Symposium, Vancouver, Canada. August 2006. 15 p.
5. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks [Electronic resource] // Open Networking Foundation. — [2012]. — Mode of access: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/white-papers/wp-sdn-newnorm.pdf>.

2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Радиотепловое излучение земных покровов

Гудков Сергей Михайлович, аспирант

Рязанский государственный радиотехнический университет

Собственное тепловое излучение сред определяется видом и строением молекул вещества, объемными неоднородностями плотности и неровностями поверхности, присутствием примесей веществ и термодинамической температурой. Интенсивность теплового излучения сред зависит от характеристик приемной аппаратуры: длина волны и полоса частот, вид поляризации и частотно-пространственные характеристики антенны, ориентация электрической оси антенны относительно нормали к излучающей поверхности.

Электрофизические характеристики типовых земных покровов

«Комбинированные» модели атмосферы были получены для среднемесячных условий января и июля на $\varphi = 45, 60$ и 75° с. ш. и отражены в виде отдельных таблиц для широт; $\varphi = 45$ и 60° — до высоты 45 км, и для $\varphi = 75^\circ$ — до высоты 30 км.

Радиояркие характеристики фоновых покровов определяются геометрическими и электрофизическими параметрами: комплексной диэлектрической проницаемостью поверхностного слоя покрова, которая для открытых почвогрунтов зависит от относительной объемной влажности почвы q , и определяется плотностью сухого грунта ρ_c , среднеквадратичным тангенсом угла наклона неровностей γ .

В простейшем случае излучения изотермичной и однородной средой коэффициент излучения χ полностью определяется ее комплексной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon''$ и описывается через коэффициенты отражения Френеля R

$$\chi(\theta) = 1 - R^2(\theta), \quad (1.1)$$

где θ — угол приема излучения.

В таблице 1 исходные данные для оценки параметров типовых покровов приведены как значения диэлектрической проницаемости для природных и антропологических образований в миллиметровом диапазоне волн.

Таблица 1

Электрофизические и геометрические параметры покровов

Вид покрова	λ , мм	$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon''$	γ
Бетон	8,6	$5,5 - i0,5$	0,037
	3,3	$5,55 - i0,36$	
Песчаный грунт: $\rho_c = 1,4 \text{ г/см}^3; q = 0,1$	8,6	$4 - i1,1$	0,1
	3,3	$3,4 - i0,7$	
Глинистый грунт: $\rho_c = 1,8 \text{ г/см}^3, q = 0,1$	8,6	$4,8 - i1,2$	0,1
	3,3	$4,1 - i0,77$	
Пресная вода	8,6	$16,1 - i27,3$	0
	3,3	$6,8 - i11,9$	

Поскольку при $\varepsilon'' \ll 1$ коэффициент излучения определяется значением ε' покрова, то по своим излучательным свойствам, все покровы можно условно разделить на три группы:

покровы с $\varepsilon' \leq 3$ (соответственно $\chi \leq 0,93$ при $\theta = 0^\circ$): грунты, песок, лед, асфальт;

бетон с $\varepsilon' = 5 \dots 5,5$ (соответственно $\chi = 0,84 \dots 0,855$ при $\theta = 0^\circ$);

пресная вода, имеющая, в отличие от вышеперечисленных покровов, существенно выраженную спектральную зависимость ϵ от λ и ϵ'' , соизмеримую с ϵ' , при этом ее коэффициент излучения при $\theta = 0^\circ$ имеет значения 0,46 при $\lambda = 8,6$ мм; при 0,6 — $\lambda = 3,3$ мм, т. е. заметно меньше, чем у бетона, льда и почвогрунтов.

Рассмотренные покровы представляют собой достаточно однородные среды, поскольку коэффициент затухания миллиметровых волн в этих средах весьма высок (выше 30 дБ/м), вследствие чего интенсивность излучения определяется параметрами приповерхностного слоя.

Эффективная температура земных покровов с учетом состояния атмосферы

Эффективная температура ($T_{эфф}$) земных покровов без растительности в ММ-диапазоне волн складывается из двух составляющих, характеризующих интенсивности собственного излучения покрова и атмосферного излучения. Поэтому $T_{эфф}$ почвогрунтов без растительности зависит от профиля рельефа поверхности, характера ее неровностей, диэлектрической проницаемости почвы, атмосферных условий, отличающихся большим разнообразием. При разработке модели излучательных свойств открытых почвогрунтов в миллиметровом диапазоне волн были приняты следующие допущения.

1. Рассматривались однородные, в среднем плоские горизонтальные участки поверхности без регулярного рельефа, покрытые хаотическими неровностями, как с горизонтальной, так и с наклонной средней плоскостью.

2. Считалось, что радиус корреляции высот неровностей существенно меньше размеров участка, формирующего излученное и отраженное поля.

3. Неровности поверхности являются крупномасштабными по сравнению с длиной волны и рассеяние на них можно описывать в приближении метода касательной плоскости с учетом затенений. Высоты неровностей статистически однородны и изотропны и распределены по нормальному закону.

4. Почва была достаточно однородной и диэлектрическая проницаемость поверхностного слоя не зависела от координат. Допускалось также, что почва была двухкомпонентной и состояла из сухого грунта и жидкой пресной воды.

Эффективная температура шероховатой поверхности $T_{эфф}$ на горизонтальной (h) и вертикальной (v) поляризациях с учетом допущений 1–5 определяется формулой

$$T_{эфф}^{h,v}(\theta^*) = k^{h,v}(\theta^*)T_z + T_s^{h,v}(\theta^*), \quad (1.2)$$

где $k^{h,v} = 1 - a^{h,v}$ — коэффициент излучения поверхности с хаотическими неровностями ($a^{h,v}$ — отношение потока излучения, рассеиваемого поверхностью, к потоку, падающему на неё) при горизонтальной и вертикальной поляризациях; T_z — термодинамическая температура земной поверхности в К; $T_s^{h,v}$ — яркостная температура атмосферного излучения, рассеянного поверхностью покрова в направлении зенитного угла θ^* .

Яркостная температура отраженного излучения и $a^{h,v}$ могут быть найдены из соотношений:

$$a^{h,v}(\theta) = \frac{1}{4\pi \cos \theta} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} d\vartheta \sin \vartheta [I_{\theta\theta}^{h,v}(\theta^*, \vartheta, \varphi) + I_{\varphi\varphi}^{h,v}(\theta^*, \vartheta, \varphi)]; \quad (1.3)$$

$$T_s^{h,v}(\theta) = \frac{1}{4\pi \cos \theta^*} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} d\vartheta \sin \vartheta [I_{\theta\theta}^{h,v}(\theta^*, \vartheta, \varphi) + I_{\varphi\varphi}^{h,v}(\theta^*, \vartheta, \varphi)] T_b, \quad (1.4)$$

где T_b — яркостная температура нисходящего излучения неба; I — компоненты рассеяния, просуммированные по двум ортогональным поляризациям падающего излучения при фиксированной поляризации рассеянного излучения (верхние индексы соответствуют поляризации рассеянного излучения, нижние — падающего).

Эффективная температура поверхности грунта на ортогональных поляризациях вычислялась для чистой атмосферы на 60° с. ш. в при $\lambda = 2,2; 3,3; 8,6$ мм. Расчеты проводились для песчаной почвы с плотностью сухого грунта $1,4$ г/см³, относительной объемной влажностью $q = 0,1$ при термодинамической температуре земной поверхности $T_z = 287$ К, соответствующей среднеиюльской температуре.

В таблице 1.2 приведены значения эффективных температур песчаного грунта на длинах волн $\lambda = 8,6; 3,3$ и $2,2$ мм для зенитных углов $\theta^* = 0^\circ$ и $\theta^* = 45^\circ$ на горизонтальной и вертикальной поляризациях; плотность сухого грунта $1,4$ г/см³; относительная объемная влажность $q = 0,1$; термодинамическая температура земной поверхности $T_z = 287$. Диэлектрическая проницаемость бетона $\epsilon = 5,5 + i0,5$ на $\lambda = 8,6$ мм и $\epsilon = 5,55 + i0,36$ на $\lambda = 2,2$ и $3,3$ мм, среднеквадратичный тангенс угла наклона неровностей $\sqrt{\langle \gamma^2 \rangle} = 0,037$.

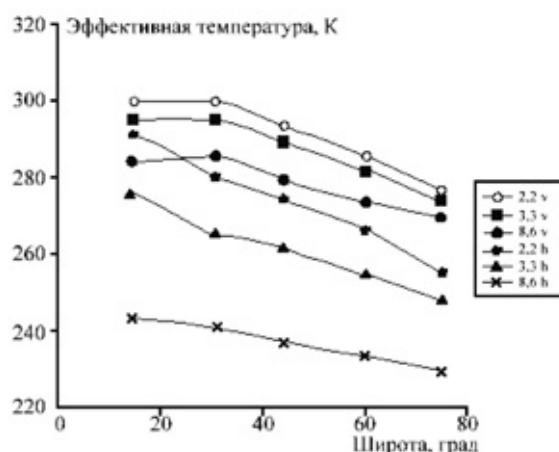


Рис. 1. Графики зависимости эффективной температуры песчаного грунта от широты при зенитном угле $\theta^* = 45^\circ$ для длин волн $\lambda = 8,6; 3,3$ и $2,2$ мм на горизонтальной и вертикальной поляризациях излучения

Таблица 2

Электрофизические и геометрические параметры покровов

Вид по- крова	θ^* , град	0			45					
	λ , мм	8,6	3,3	2,2	8,6		3,3		2,2	
	поляри- зация	гориз.	гориз.	гориз.	гориз.	вертик.	гориз.	вертик.	гориз.	вертик.
Песчаный грунт: $\sqrt{\langle \gamma^2 \rangle} = 0,037; q = 0,1$		54,7	267,0	273,5	231,4	273,7	253,7	280,1	267,1	282,9
Бетон $\sqrt{\langle \gamma^2 \rangle} = 0,037$		243,6	251,4	260,6	217,2	267,8	234,4	272,5	252,7	277,5
Водная поверхность		143,3	201,3	235,1	120,0	179,1	186,5	235,0	230,0	261,4
Лес		287								

Из таблицы 2 следует, что эффективные температуры указанных покровов на вертикальной поляризации больше, чем на горизонтальной при зенитном угле, отличном от нуля. Из рассмотренных покровов максимальная эффективная температура у песчаного грунта (250...270 К при $\theta^* = 0$), у бетона меньше на 10... 15 К и существенно меньше (на несколько десятков К) — у гладкой поверхности воды. Эти закономерности подтверждены экспериментами.

Экспериментальные исследования, выполненные при длинах волн 2,2 и 8,6 мм, показали, что по своим излучательным свойствам растительные покровы близки к абсолютно черным телам и при решении многих прикладных задач могут быть использованы в качестве эталонных излучателей.

Результаты исследований фоновых характеристик покровов северного полушария

Эффективные температуры земных покровов существенно зависят как от электрофизических и геометрических свойств покрова, так и от термодинамической температуры поверхности T_z и углового спектра яркостной температуры неба T_b .

На рисунке 2 приведены зависимости эффективных температур песчаной почвы от местоположения точки наблюдения для зенитных углов $\theta^* = 0$. Видно, что с перемещением точки наблюдения на верхние широты эффективная температура грунта монотонно падает на 15...30 К. Максимальные значения эффективных температур соответствуют длине волны 2,2 мм на вертикальной поляризации, минимальные — $\lambda = 8,6$ мм — на горизонтальной поляризации. Медленнее всего меняется с широтой эффективная температура грунта при $\lambda = 8,6$ мм на горизонтальной поляризации.

Таким образом, интенсивность радиотеплового излучения земных покровов определяется, в основном, диэлектрическими свойствами покровов, видом поляризации и углом приема излучения. Причем при зенитном угле 0° она близка

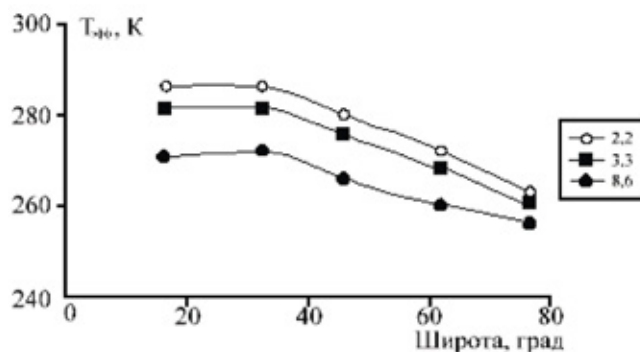


Рис. 2. Графики зависимости эффективной температуры песчаного грунта от широты при зенитном угле $\theta^* = 0^\circ$ для длин волн $\lambda = 8,6; 3,3$ и $2,2$ мм (сплошная линия — горизонтальная поляризация, штриховая линия — вертикальная поляризация)

их термодинамической температуре, а при вертикальной поляризации находится в диапазоне углов до 60° . Наименьшей эффективной температурой обладают водные поверхности.

Литература:

1. Голунов, В. А., Зражевский А. Ю., Розанов Б. А. и др. Пассивная радиолокация на миллиметровых волнах. // Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография. Под ред. А. В. Соколова. — М.: Радиотехника, 2003, с. 393—463.
2. Андреев, Г. А., Черная Л. Ф. Интенсивности миллиметровых волн, рассеянных хаотическими поверхностями. — Радиотехника и электроника, 1981, т. 6, №6, с. 1198—1206.
3. Кислов, В. Я., Залогин И. И., Мясин Е. А. — Радиотехника и электроника, 1979 т. 24, №6, с. 1118.
4. Исхаков, И. А., Аганбекян К. А., Зражевский А. Ю. Поглощение и излучение безоблачной атмосферы Земли в миллиметровом диапазоне волн. // Препринт №4 (307). — М.: ИРЭ АН СССР, 1981.

Несимметричные полумостовые преобразователи

Радьков Арсений Владимирович, студент

Брянский государственный технический университет

Несимметричные полумостовые преобразователи относятся к преобразователям с мягким переключением. Область применения таких преобразователей — получение постоянного выходного напряжения при постоянном и достаточно высоком входном напряжении (составляет сотни вольт), большой частоте коммутации ключей, которая составляет десятки и сотни кГц.

Режим мягкого переключения, то есть включение транзистора при нулевом напряжении на нем, позволяет значительно уменьшить потери на переключении.

Одним из вариантов построения несимметричного полумостового преобразователя (НПП) является преобразователь с выходным сглаживающим LC-фильтром и двухполупериодным выпрямителем (рис. 1). Однако стоит учесть тот факт, что выходная часть рассматриваемого преобразователя может быть выполнена следующими схемотехническими решениями: с одно- или двухполупериодным выпрямителем, с удвоителем тока,

с емкостным фильтром и др. Но в любом случае сохраняются основные особенности, присущие несимметричному полумостовому преобразователю.

Режим мягкого переключения, то есть включение транзистора при нулевом напряжении на нем, позволяет значительно уменьшить потери на переключении.

Несимметричные полумостовые преобразователи обладают рядом достоинств перед другими схемными решениями: позволяют реализовать переключение транзисторов при нуле напряжения (ПНН), используют только два транзистора на стороне первичной обмотки трансформатора, напряжение на запертых ключах не превышает значение входного напряжения $U_{вх}$. Перечисленные достоинства рассматриваемых преобразователей очень важные, позволяющие использовать их в преобразователях и системах электропитания различного назначения.

Недостатки НПП обнаруживаются при работе преобразователей в широком диапазоне входного или вы-

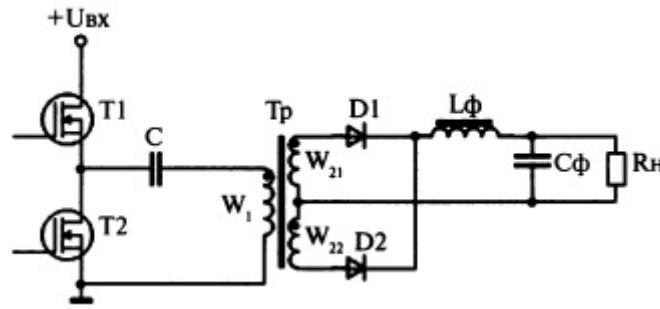


Рис. 1. Несимметричный полумостовой преобразователь с LC-фильтром и двухполупериодным выпрямителем

ходного напряжения. Такие недостатки являются существенными. Они сужают возможные области применения и не позволяют увеличивать удельную мощность источника питания.

Примем обычные для анализа преобразователя допущения: транзисторы и диоды — идеальные переключающиеся элементы, а конденсаторы C и C_Φ неограниченно большой емкости, индуктивности рассеивания и активные сопротивления обмоток трансформатора равны нулю. Под интервалом импульса $t_{\text{и}}$ понимается включенное состояние транзистора $T1$ и выключенное состояние транзистора $T2$ (рис. 1). Коэффициент заполнения импульсов определяется по формуле:

$$D = \frac{t_{\text{и}}}{T},$$

где T — период переключения транзисторов. Также коэффициент заполнения импульсов обозначается как γ . Схема замещения НПП показана на рис. 2. Параллельно включенные элементы $C_\Phi, R_\text{н}$, а также дроссель L_Φ (рис. 1) заменены источником тока $I_\text{н}$, реальный трансформатор заменен индуктивностью намагничивания L_μ , приведенной к первичной обмотке, и идеальным (обмотки W_1, W_{21}, W_{22}) трансформатором (рис. 2).

Регулировочная характеристика преобразователя (РХ) имеет вид:

$$U_{\text{ввх}} = (n_1 + n_2) \cdot U_{\text{вх}} \cdot D \cdot (1 - D) \quad (1)$$

Если в исходной схеме (рис. 1) предположить, что W_{21} или $W_{22} = 0$, получим преобразователь с однополупериодным выходным выпрямителем, РХ которого соответствует выражению:

$$U_{\text{ввх}} = n_1 \cdot U_{\text{вх}} \cdot D \cdot (1 - D), (n_2 = 0) \quad (2)$$

или

$$U_{\text{ввх}} = n_2 \cdot U_{\text{вх}} \cdot D \cdot (1 - D), (n_1 = 0) \quad (3)$$

Из выражений (1–3) можно видеть, что зависимость выходного напряжения от D — параболическая, где максимум соответствует $D = 0,5$. Обычно при управлении преобразователем используется диапазон D от 0 до 0,5.

При равенстве витков W_{21} и W_{22} трансформатора коэффициент трансформации будет иметь вид:

$$n_1 = n_2 = \frac{W_{21}}{W_1} = \frac{W_{22}}{W_1} = n$$

Тогда РХ преобразователя (в режиме непрерывного тока дросселя) определяется по формуле:

$$U_{\text{ввх}} = 2 \cdot U_{\text{вх}} \cdot n \cdot D \cdot (1 - D). \quad (4)$$

Коэффициент передачи постоянного напряжения от входа $U_{\text{вх}}$ к выходу $U_{\text{ввх}}$ выразим из (4):

$$M = \frac{U_{\text{ввх}}}{U_{\text{вх}}} = 2 \cdot n \cdot D \cdot (1 - D). \quad (5)$$

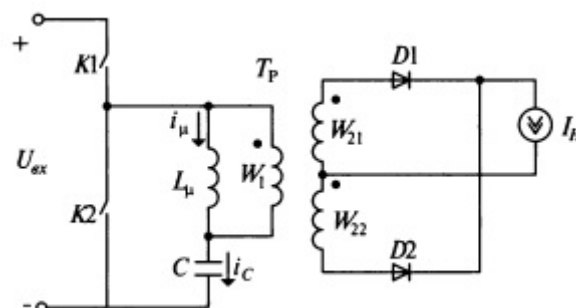


Рис. 2. Схема замещения несимметричного полумостового преобразователя

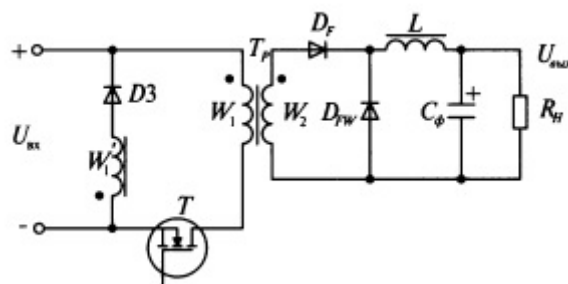


Рис. 3. Однотактный полумостовой преобразователь

Выбор коэффициента трансформации n выполняется для максимального значения DD , для идеального случая $D = 0,5$. Используя (5) получим следующие выражение:

$$n = \frac{M_{max}}{2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)} = 2 \cdot M_{max}. \quad (6)$$

Напряжение на запертых диодах могут быть определены с помощью выражений:

$$U_{D1} = -\frac{U_{вых}}{1-D} \quad (7)$$

$$U_{D2} = -\frac{U_{вых}}{D} \quad (8)$$

с учетом (5) и (6):

$$|U_{D1}| = 4 \cdot U_{вх} \cdot M_{max} \cdot D \quad (9)$$

$$|U_{D2}| = 4 \cdot U_{вх} \cdot M_{max} \cdot (1-D) \quad (10)$$

При проектировании DC–DC преобразователей возможны два предельных случая:

1. Входное напряжение $U_{вх}$ изменяется в широком диапазоне, в то время как выходное напряжение $U_{вых}$ стабилизируется в узких пределах и остается почти постоянной величиной;

2. Входное напряжение $U_{вх}$ практически не меняется.

Из (9) и (10) можно сделать вывод, что напряжение на запертых диодах становятся не равными при уменьшении D , причем различия в напряжении тем больше, чем меньше D . При малых значениях D к запертому диоду $D2$ приложено очень большое напряжение, которое может превосходить выходное в несколько раз. Кроме того, при уменьшении D возрастает средний ток в диоде $D2$ за период.

Такое состояние одного из диодов схемы ($D2$), то есть возрастания среднего прямого тока и обратного напряжения при уменьшении D характерно для НПП при любом построении его вторичной стороны.

Произведем сравнение НПП с двумя широко известными схемами: однотактным прямоходовым преобразователем (рис. 3) и мостовым преобразователем (рис. 4). Сравним обратные напряжения на диодах НПП с напряжениями на диодах в схемах прямоходового и мостового преобразователя.

На рис. 5 и 6 показаны нормализованные напряжения на диодах для тех схем в функции относительного коэффициента $PX(M)$ для двух случаев:

- 1) стабилизация $U_{вых}$, когда $U_{вх}$ меняется (рис. 5);
- 2) изменение $U_{вых}$ в широких пределах при постоянных значениях $U_{вх}$.

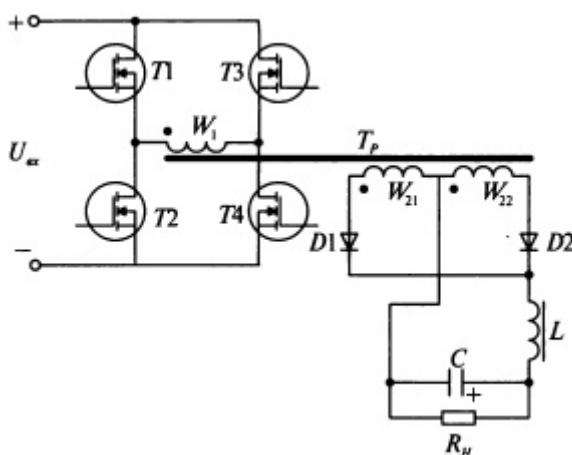


Рис. 4. Мостовой преобразователь

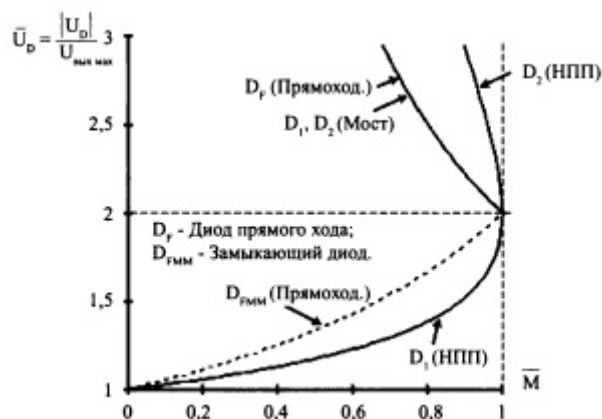


Рис. 5. Относительные напряжения на диодах в зависимости от коэффициента передачи регулировочной характеристики для различных схем при $U_{вых} = const$ и изменяющимся $U_{вх}$

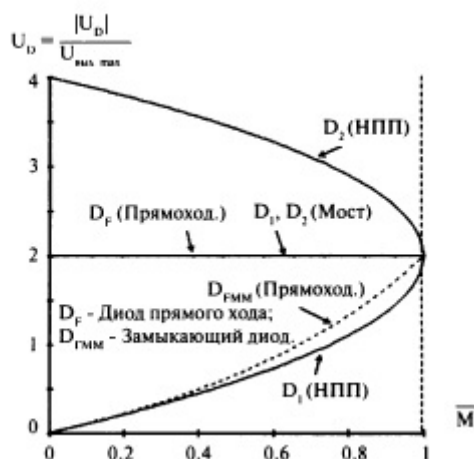


Рис. 6. Относительные напряжения на диодах в зависимости от коэффициента передачи регулировочной характеристики для различных схем при $U_{вх} = const$ и изменяющимся $U_{вых}$.

Параметр \bar{M} определяется по формуле:

$$\bar{M} = \frac{M}{M_{max}}. \quad (11)$$

В первом случае $M_{max} = \frac{U_{вых}}{U_{вх. min}}$, а во втором —

$$M_{max} = \frac{U_{вых. max}}{U_{вх}}.$$

В любом из этих случаев напряжение на диоде D_2 в НПП значительно превышает напряжения на диодах в других схемах (рис. 3,4). Это является существенным

недостатком НПП — тяжелые условия работы одного из выходных диодов и, как следствие, необходимость выбора этого диода с более высоким допустимым напряжением. В результате могут быть ухудшены основные параметры преобразователя.

Вторым серьезным недостатком является потеря включения транзистора T_1 при нуле напряжения при уменьшении коэффициента заполнения.

При возрастании «несимметричности» НПП, что происходит снижение D , увеличиваются потери в ключах первичной стороны, обмотках трансформатора и выходных диодах.

Литература:

1. Мелешин, В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями электроэнергиями, Москва: Техносфера, 2011—576 с.
2. Мелешин, В.И., Транзисторная преобразовательная техника, Москва: Техносфера, 2006—632 с.

Беспроводная передача информации в медицинском оборудовании

Ющенко Мария Александровна, студент

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева (Республика Татарстан)

Введение

Медицинские учреждения во всем мире сегодня испытывают острую нехватку среднего и младшего медицинского персонала, с чем связано до 25 % всех врачебных ошибок. Достижения науки увеличивают среднюю продолжительность жизни, в результате чего растет доля стареющего населения, требующего постоянного внимания со стороны работников здравоохранения. Мобильные технологии помогают предоставить качественное обслуживание большему числу пациентов. На протяжении многих лет задача беспроводной передачи данных в ближнем поле представляла значительную проблему для разработчиков медицинских датчиков. В данной области исследований требуется использование современной технологии передачи данных для усовершенствования медицинского оборудования, позволяющего измерять такие характеристики пациента, как ЭКГ, уровень насыщения крови кислородом, уровень кровяного давления, вес, уровень содержания глюкозы в крови и т. п. Необходимость применения высокотехнологичных медицинских датчиков широко проявляется во всех областях медицины, где кабельные соединения приборов представляют большое неудобство для врачей, пациентов и обслуживающего персонала. Особенно остро эта проблема стоит в спортивной медицине, медицине сна, экстренной медицине и реанимации.

Разработка

Учитывая хорошие характеристики в области энергопотребления, диапазона, безопасности данных, а также сетевых возможностей для передачи результатов измерений была выбрана единая стандартная технология беспроводной передачи Bluetooth.

Поскольку цифровые данные пересылаются на приемную станцию с использованием технологии Bluetooth, первичная обработка измерений может осуществляться непосредственно в датчике, а не в мониторе.

Структура беспроводных измерительных датчиков

Современные системы отведения включают электрод или датчик на теле пациента, кабель и систему обработки измерений в приемнике (рис. 1). Соединительный кабель вполне возможно может быть длиной в несколько метров. Слабые аналоговые сигналы датчика, проходящие эти несколько метров кабеля, подвержены воздействиям помех от различных источников. Достигнув монитора, аналоговые сигналы, находящиеся в милливольтовом диапазоне, затем усиливаются, фильтруются и впоследствии оцифровываются аналого-цифровым преобразователем. Приобретая цифровую форму, данные измерений могут быть обработаны и показаны на мониторе.

Если бы кому-нибудь в настоящее время потребовалось разработать медицинское оборудование для пе-

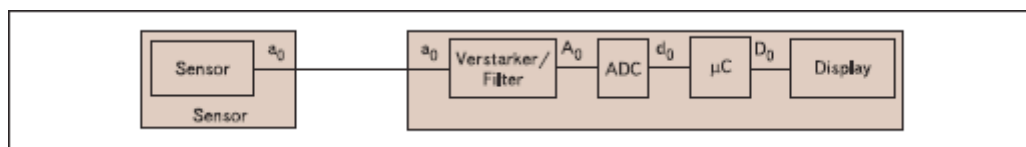


Рис. 1. Блок-диаграмма передачи медицинских данных

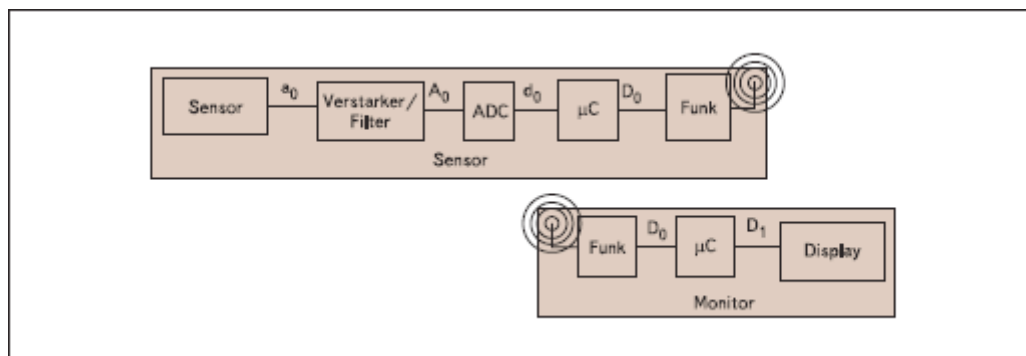


Рис. 2. Блок-диаграмма беспроводной передачи данных

редачи сигналов на монитор, используя беспроводную технологию передачи данных, основную трудность вызвала бы задача интеграции всего объема предварительной обработки измерений в датчике. Аналоговые усилители, фильтры, ADC, микроконтроллеры и модуль передачи данных должны располагаться непосредственно на теле пациента (рис. 2).

Поскольку в медицинских аппаратных системах нельзя гарантировать соединения в пределах прямой видимости, вопрос беспроводной передачи данных сосредотачивается на радиоволновом диапазоне. Также рекомендуется использовать стандартизованную форму передачи данных. Это облегчает использование уже существующих радиомодулей, которые работают по трансмиссионным протоколам с исправлением ошибок и которые могут противостоять воздействию помех.

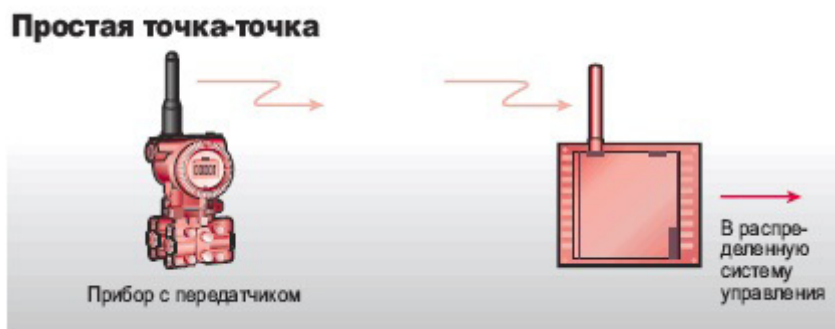
Технология Bluetooth широко используется во многих областях. Этот стандарт изначально использовался для соединения компьютеров, лэптопов, PDA, а также мобильных телефонов и периферийных устройств. Данная

технология применяется также в беспроводных телефонных гарнитурах.

В разработках часто возникает необходимость одновременного подключения нескольких периферийных устройств (например, мышь, клавиатура и принтер). Использование технологии Bluetooth позволяет одновременно работать с 7 терминальными устройствами. В медицине необходимо также, чтобы связь с данными устройствами была свободной от ошибок. Исследования этой проблемы показали, что ошибки передачи, возникающие на уровне радиоканала, полностью исправляются, так что на пользовательском уровне их не возникает.

Точка-точка.

Самая старая и самая простая технология беспроводной передачи информации — точка-точка, где отдельный прибор с собственным радиопередатчиком посылает сигнал на шлюз (приемник), который подключен к системе управления. Шлюз получает сигналы только от передатчика. Такое решение хорошо работает только на относительно небольших сетях.



Некоторые платформы поддерживают функции предупреждения, где устройство с большим периодом опроса может прервать ожидание и передать аварийное сообщение, если значение переменной достигло критического уровня. Для этого необходимо, чтобы датчик продолжал работать во время нахождения радиопередатчика в спящем режиме. Это может показаться не очень важной функцией, однако она имеет большое практическое значение, позволяя вам установить большое время опроса датчика, и в то же время быть уверенным, что в случае возникновения проблемы, сообщение об этом появится сразу же.

Протоколы связи.

Учитывая сложности в создании коммуникационных протоколов, производители приборов часто используют те же протоколы, которые применяются в информационных системах и в товарах широкого потребления. Ваш беспроводной преобразователь давления может отправлять свои показания по ZigBee или Bluetooth. В качестве беспроводного транспортного канала для сегмента полевой шины наиболее вероятно использование Wi-Fi или Bluetooth.

Во многих отношениях коммуникационный протокол не обязательно должен быть главным критерием выбора. Беспроводной датчик давления от компании «А», вероятнее всего, не спроектирован для взаимодействия с датчиком компании «Б», даже если они оба используют ZigBee. Технические возможности и ограничения каждого протокола будут определять границы его применения.

Варианты питания.

Аккумуляторы имеют ограниченный срок службы, даже если он исчисляется годами, и ограничение на мощность, отдаваемую передатчику. Сигналы большой мощности, как правило, меньше подвержены ошибкам и более надежны, поэтому, если это возможно, лучше подключать внешний источник питания. Есть и другие альтернативы, включая солнечные коллекторы, которые могут помочь, когда питание от сети невозможно, или потребляемая мощность настолько велика, что затрудняет использование традиционных аккумуляторов.

Приняв все это во внимание, мы рассмотрим приборы для беспроводной передачи информации и на их основе создадим свой, с улучшенными модификациями.

Размеры

Ширина	18 мм
Высота	58 мм
Глубина	8 мм

Окружающие условия

Температура окружающей среды (при эксплуатации)	0°C... 70°C
Высота	5000 м (Ограничение см. в заявлении производителя)
Степень защиты	IP20
Помехоустойчивость	Не существенно, длина кабеля < 3 м

Последовательный интерфейс

Интерфейс 1	USB 2.0
Интерфейс	USB 2.0
Тип подключения	USB, тип А, штекер
Формат файла/кодирование	синхронно/асинхронно
Дальность передачи	макс. 5 м
Контроль потока данных/протокол	Прозрачно в отношении протоколов, включ. протокол 3964 R
Скорость последовательной передачи данных	до 2,1 Мбит/с

Интерфейс беспроводной связи

Описание интерфейса	Bluetooth 2.0
Диапазон частот	2,402 ГГц... 2,48 ГГц (Диапазон ISM)
Параметры передачи	1,6 кГц (FHSS)
Излучаемая мощность, минимальная	20 dBm
Чувствительность приемника, минимальная	— 80 dBm
Антенна	внутренний
Дальности передачи	20 дБм (100 мВт) = 80 м... 150 м

Питание

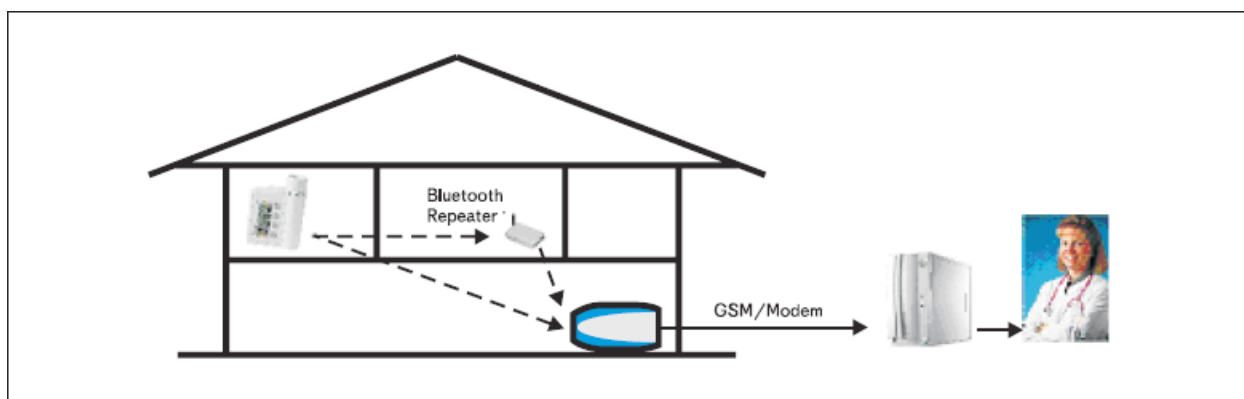
Номинальное напряжение питания	5 В DC (непосредственно через USB-интерфейс)
Диапазон напряжения питания	
Потребляемый ток, типовой	100 мА (5 В постоянного тока)

Общие сведения

Электромагнитная совместимость	Соответствует директиве R&TTE 1999/5/EG
Излучение помех	EN 55022/класс B

Для того чтобы необходимая медицинская помощь была оказана оперативно, в случае, например, критического состояния сердца, на теле пациента фиксируется прибор, который способен анализировать в постоянном режиме данные о здоровье человека. Если устройство обнаруживает данные пациента, угрожающие жизни, автоматически устанавливается связь с мобильным телефоном по технологии Bluetooth. Телефон, при получении

сигнала от прибора сообщение тревоги, которое пересылаются в центр слежения за пациентом и службу скорой медицинской помощи, где специалистами проводится анализ данных и, например, в случае обнаружения опасного состояния, оповещается специалист неотложной медицинской помощи. Данная схема гарантирует пациенту оказание своевременной медицинской помощи и, как следствие, спасение жизни.



Заключение

Данные новые подходы к мониторингу пациентов в их домашних условиях позволяют реализовывать концепции, которые не были возможны в прошлом. В таких областях, как спортивная медицина, медицина сна, экстренная медицина, реанимация, а также мониторинг в домашних условиях, у врачей и обслуживающего персонала появляется больше уверенности в проведении обычных процедур.

Обычный аналоговый модем с Bluetooth-приемником, установленный в доме пациента, превращается в приемную станцию. Мобильные телефоны и смарт-фоны

могут выполнять роль подходящих принимающих станций. С этих принимающих станций данные идут на веб-сервер, который осуществляет оценку измерений с возможной постановкой диагноза. Подобным образом реализуются медицинские порталы, позволяющие осуществлять интегрированное наблюдение за пациентами в рамках программ профилактики заболеваний.

Мы, как раз, занимаемся изобретением подобного передающего прибора, который будет передавать информацию о состоянии пациента на телефон, а тот в свою очередь, будет отсылать экстренное сообщение на веб-сайт больницы, либо, непосредственно, врачу.

3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Нейронные сети в системах управления процессами измельчения и обогащения руд черных металлов

Зарубин Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент
Рудненский индустриальный институт (Казахстан)

В статье рассматриваются результаты разработки адаптивных систем управления горно-обогательным оборудованием, построенных на основе баз знаний на искусственной нейрноподобной сети радиально-базисной функции.

Ключевые слова: обогатительная фабрика, адаптивная система управления, нейрноподобная сеть, радиально-базисная функция.

Повышение эффективности производства и снижение себестоимости получаемой продукции является одной из основных задач для Республики Казахстан, которую выделил в Стратегии индустриально-инновационного развития РК и в своем Послании Президент Республики Казахстан Н. Назарбаев.

Инновационное развитие предприятий производства на современном этапе немыслимо формирования эффективной системы управления. Причем главное внимание на всех уровнях управления и руководства должно быть сосредоточено на наиболее рациональном использовании материальных, трудовых и финансовых ресурсов, природных богатств, устранении излишних издержек и потерь. Именно эти вопросы являются стержневыми при решении задач управления современного предприятия [1].

Основой теоретико-методологической базы в вопросах, посвященных управлению процессами при обогащении полезных ископаемых, являются фундаментальные работы М. Джелали, С. Квина, К. Вонга и МакГриви, Р. Изермана, В.А. Бесекерского, Е.П. Попова, В.В. Солодовникова, А.В. Нетушила, В.А. Лукаса. Вопросы автоматизации обогатительных фабрик рассматривались в работах Г.А. Хака, Б.Д. Кошарского, А.Н. Марюты, В.В. Стальского, А.Е. Козина, В.З. Тропа, Дж. Форрестера и многих других.

Несмотря на предисторию исследований в области систем автоматического управления, данные вопросы остаются актуальными и важными для современного производства. Основными ограничениями применения для железорудных комбинатов имеющихся классических адаптивных систем управления являются:

- отсутствие или недостаточная точность контрольно-измерительной аппаратуры,
- усложнение условий работы обогатительного оборудования в связи с истощением минерально-сырьевой базы и работой на разнорудных рудах,

— необходимость многопараметрической оптимизации и проведения исследований для предварительной настройки оборудования,

— значительное влияние, а точнее взаимовлияние, технологических процессов и линий друг на друга,

— постоянный «дрейф» зоны оптимальной работы в связи с нестабильностью входного рудопотока и износом оборудования.

Вместе с тем, развитие раздела систем искусственного интеллекта — искусственных нейрноподобных сетей — дает основание предположить, что такие системы управления могут быть разработаны и эффективны именно на искусственных нейрноподобных сетях, поскольку нейросети ориентированы на обработку больших массивов информации, в том числе и слабоструктурированной, способны к обучению и адаптации.

Применение аппарата систем искусственного интеллекта в управлении современным производством является одним из потенциально перспективных направлений развития систем автоматического управления многими компаниями, занимающимися вопросами автоматизации производства и изготовления аппаратуры систем управления.

Однако, на сегодняшний день, и для применения искусственных нейрноподобных сетей есть свои нерешенные вопросы. В частности, не разработано систематизированной методики по применению аппарата искусственных нейрноподобных сетей (ИНС) для решения конкретных прикладных задач, в том числе и задач повышения эффективности горно-перерабатывающего комплекса, не выявлены закономерности по выбору необходимой структуры нейрноподобной сети и достаточного количества нейрноподобных элементов для конкретной производственной задачи, нет ответов по вопросам обеспечения устойчивости систем построенных на нейросетевых тех-

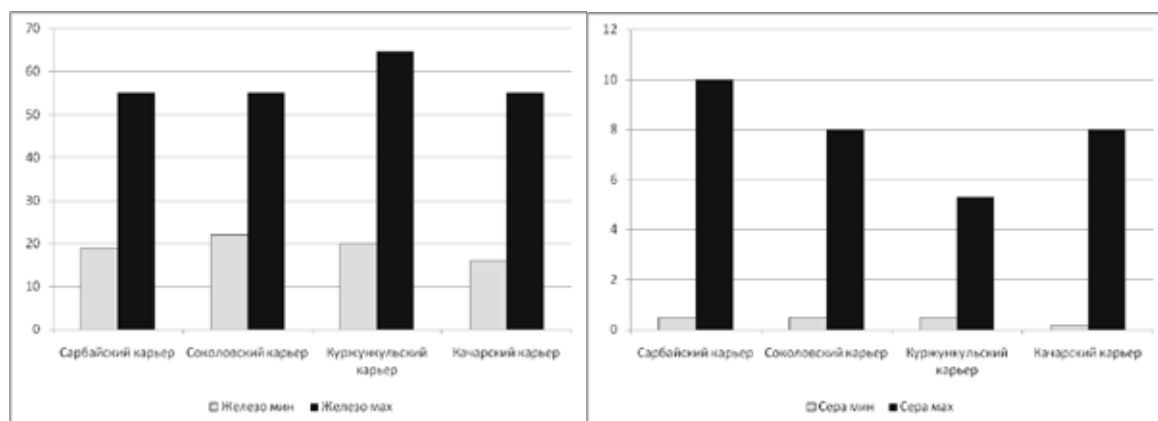


Рис. 1. Колебания процентного содержания полезного ископаемого (железа) и вредных примесей (серы) по карьерам северного региона Казахстана

нологиях, и типовых решений подавления возникающих при работе сети шумов.

Анализ состава руд, проведенный в рамках данного исследования показал, что руды месторождений, поставляющих свою продукцию на переработку для обогащения комплекса АО «ССГПО», даже после внутри-карьерного усреднения, имеют значительные колебания по физико-механическому составу (рисунок 1), что значительно усложняет процесс ее переработки и накладывает дополнительные требования по адаптации к аппаратуре управления технологическим оборудованием.

В рамках выполняемого исследования на грант МОН РК (№госрегистрации 0113РК00617) нами проведен анализ состояния технологических процессов крупнейших железообогатительных комбинатов Республики Казахстан — АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» и ТОО «Оркен». По результатам выбран один из наиболее энергоемких технологических процессов — процесс измельчения руд черных металлов в стержневых мельницах.

Обогащение руд черных металлов, как самостоятельная отрасль горно-металлургического производства, осуществляется методами механической обработки, не связанной с химическими превращениями минералов. Химический состав минералов при этом остается неизменным. Изменяется лишь количественное соотношение между содержанием ценных минералов и пустой породы в исходном сырье и продуктах обогащения.

На фабриках обогащения руд черных металлов Северного Казахстана наиболее распространены двухстадиальные (для легкоизмельчаемых руд) и трехстадиальные (для трудноизмельчаемых руд) циклы измельчения.

В первой стадии установлена стержневая мельница, работающая в открытом цикле, а во второй и третьей стадиях — шаровые мельницы, работающие в замкнутом цикле [38, с. 15].

В стержневых мельницах работа дробящей среды (стержней) происходит по прямой линии во многих точках. Крупные куски руды отделяют стержни друг от друга и за-

ставляют их у загрузочного конца мельницы подниматься выше, чем концы стержней у разгрузочного конца. Поднимающаяся масса стержней образует промежутки клинообразной формы, через которые проходят, как через отверстия грохота, мелкие частицы руды. То есть в стержневой мельнице происходит и классификация руды по крупности, что позволяет получать более равномерный по крупности зернистый продукт. При измельчении кинетическая энергия падающих стержней должна быть достаточной для разрушения максимальных кусков исходной руды.

При постоянном коэффициенте заполнения мельницы с изменением размера стержней число соударений в мельнице увеличивается. Поэтому необходимо применять измельчающие тела минимально допустимых размеров. При заполнении мельницы стержнями одного размера измельчение протекает менее эффективно, чем при использовании стержней разных размеров. В процессе измельчения происходит истирание и разрушение стержней, поэтому в процессе работы мельницы через определенный интервал времени производят удаление стержней меньших определенного диаметра и дозагрузку новых стержней [53].

Большинство технических операций обогатительной технологии проводят в водной среде. Механическая смесь твердого материала с жидкостью называется пульпой. Основной характеристикой пульпы является масса твердого материала.

Количество воды, подаваемое на мельницу, влияет на измельчение. При измельчении крупного материала (от 10 мм и более) достаточно 65–76% твердого материала в пульпе, для более мелкого материала — 50–70%.

Плотность пульпы, находящейся в мельнице, существенно влияет как на производительность по исходному сырью, так и по вновь образовавшемуся готовому продукту. Водный режим измельчения регулируется подачей воды в барабан мельницы. Установлено, что с увеличением подачи воды в мельницу ее производительность сначала быстро возрастает, а затем медленно падает, а производи-

тельность по питанию возрастает. В стержневых мельницах содержание твердого в пульпе до предела, при котором она остается подвижной, повышает производительность процесса. Это объясняется увеличением числа зерен, попадающих в зону ударных воздействий стержней.

При содержании твердого более 85% возможно слипание стержней и резкое снижение производительности. При избыточной подаче воды в мельницу налипание зерен руды на мелющие тела резко уменьшается, и интенсивность измельчения падает. Этим объясняется снижение производительности по готовому продукту при разжижении пульпы.

Рыхлые разновидности руд с большим содержанием глинистых примесей создают в мельнице вязкую пульпу, увлекающую недоизмельченную фракцию в слив мельницы. Эффективность измельчения этих руд повышается при более низкой плотности.

В связи с этим интерес представляет управление процесса по параметру соотношения «руда-вода» в питании мельницы.

Разработка системы управления должно опираться на существующий комплекс программно-аппаратных средств обогатительной фабрики. Поэтому нами произведен анализ технологических схем измельчения применяемых на АО «ССГПО» и ТОО «Оркен».

По технологической инструкции АО «ССГПО» [38, с. 16] из бункеров технологических секций I–II очереди участка ММО конвейерами №37 и №38 с регулируемыми приводами и конвейером №39 промпродукт

подается на измельчение в стержневые мельницы МСЦ 3200×4500 (секции 1–5) или МСЦ 3600×4500 (секции 6–9).

Расход промпродукта, поступающего на измельчение, измеряется автоматическими тензометрическими конвейерными весами типа ЛТМ-1М, 4561К, 4449К (или как на 12 секции весами ВЕР-10 фирмы Schenck). Регулирование нагрузки осуществляется с помощью вторичных приборов со щитов контроля с помощью задатчиков ДЗФМ (или как на 12 секции цифровой станцией Contronic S). Исполнительными механизмами являются конвейеры №37 и №38. Приводами конвейеров №37 и №38 являются ДПТ серии П101 или ПБ86. Мнемосхема процесса измельчения в стержневых мельницах приведена на рисунке 2.

В качестве датчиков расхода воды используются индукционные расходомеры фирмы «Endress & Hauser», «Promag 30» или «Promag 30R». Исполнительным механизмом для данного контура является задвижка на трубопроводе воды в мельницу. На задвижке использован линейный привод RS10.

Как уже говорилось выше, раскрытие минерала зависит от соотношения «жидкое-твердое» в мельнице. Это соотношение не является константой, оно зависит от свойств руды. Для горных пород из-за сложности их состава, неоднородности структуры и плотности, наличия дефектов и других факторов автоматическое измерение параметров руд, характеризующих их физико-механические свойства, затруднено или невозможно. Но с учетом вне-

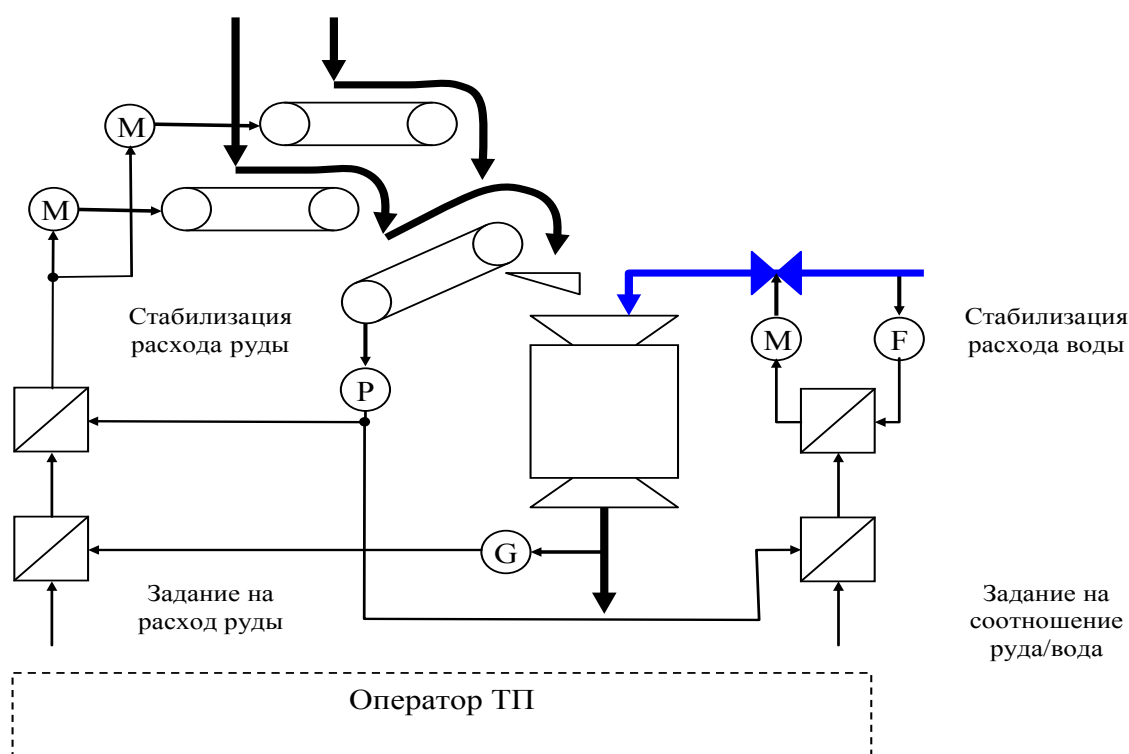


Рис. 2. Мнемосхема первой стадии измельчения на фабрике ММО АО «ССГПО»: P – конвейерные весы, G – гранулометр, F – расходомер, M – электромоторы

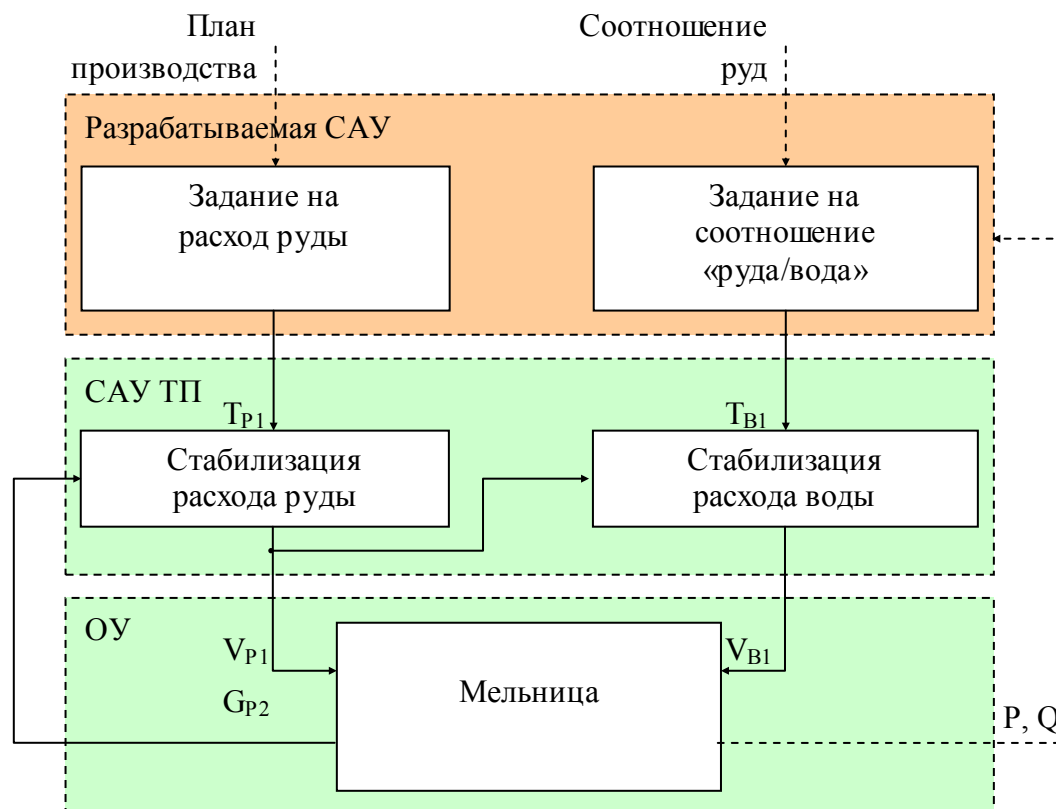


Рис. 3. Структура схемы управления первой стадии измельчения

дрения комплексных систем автоматического управления технологическим процессом (например, таких как «Автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления» — «АСОДУ»), становится возможен учет объема поступающих руд в приемные бункера комплекса обогащения. Поэтому, при учете транспортных задержек и перемешивания возможен косвенный учет соотношения руд в продукте, подаваемом на измельчение.

Как следствие, становится возможным создание системы автоматического задания оптимального соотношения «руда/вода» для процесса измельчения. Такие системы позволят оптимизировать данный процесс, что повлечет за собой: улучшение качества продукта измельчения, уменьшение времени технологического цикла, снижение энергозатрат на измельчение и, как следствие, снижение себестоимости.

Согласно, существующих схем управления технологическим процессом измельчения, применяемой на АО «ССГПО» и ТОО «Оркен», разрабатываемая система должна заменить оператора технологического процесса. Поэтому в ней необходимо реализовать функции задания на расход руды и задания оптимального соотношения «руда/вода» в соответствии с соотношением полученных руд. В таком случае система будет иметь вид, представленный на рисунке 3.

Для создания данной системы необходимо реализовать два блока: автоматическое управление расходом руды и соотношением «руда/вода».

Блок задания на расход руды реализует зависимость $Y=F(X)$, задание на расход руды как функция от плана производства, и может быть в простейшем случае реализован разомкнутой САУ.

Блок управления соотношением «руда/вода» должен обеспечивать задание определенного соотношения «руда/вода» в зависимости от соотношения руд в питании мельницы. При неизвестности оптимальных значений, наиболее простым вариантом реализации систем являются системы с самонастройкой. В данной работе предложена структура системы управления соотношением «руда/вода» процесса измельчения в стержневой мельнице. В связи с тем, что система должна являться адаптивной с самонастройкой и самообучением, то в ней необходимо наличие

- модуля поиска для адаптации и нахождения оптимального значения при изменении внешних воздействий на объект управления и саму систему;

- модуля или блока памяти, для хранения предыдущего опыта оптимизации и имеющихся оптимальных настроек;

- модуля сравнения, для возможности обучения и улучшения хранимых значений. Структурно систему можно представить схемой на рисунке 4.

Работу данной САУ можно описать следующим алгоритмом:

- 1) если значение Y при текущем X , хранимое в БП, лучше полученного с ОУ и уменьшается абсолютное

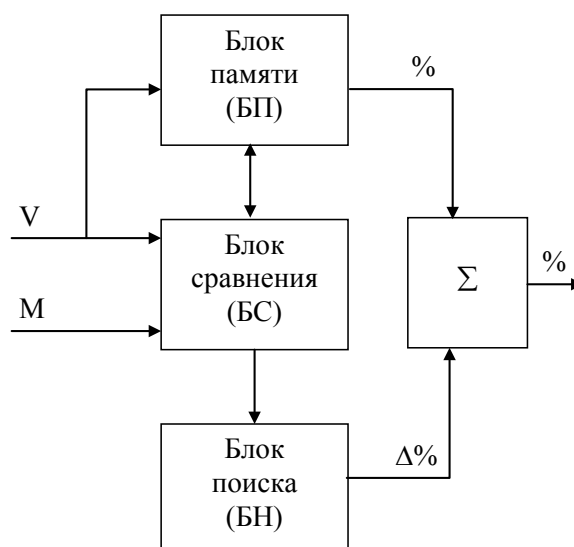


Рис. 4. Структура САУ с самонастройкой и обучением: V — входные параметры (объемы руд месторождений); M — параметры оптимизации; % — управляющий параметр (соотношение «руда/вода»)

значение их разности, то направления уточнения оптимального значения сохраняется. БС не выдает никаких сигналов. БН сохраняет знак ΔX . Значения БП не изменяются.

2) если значение Y при текущем X, хранимое в БП, лучше полученного с ОУ и увеличивается абсолютное значение их разности, то необходимо изменить направление уточнения оптимального значения. С БС подается сигнал на БН. БН меняет знак ΔX . Значения БП не изменяются.

3) если значение Y при текущем X, хранимое в БП, хуже полученного с ОУ, то получено более точное оптимальное значение. БС передает в БП значение пары X и Y. БН сохраняет знак ΔX . Значения БП изменяются.

Соответственно, в любой момент времени выходной управляющий сигнал X САУ состоит из геометрической суммы сигнала X, как функции от Y, и сигнала поискового приращения ΔX , выдаваемого БН.

Представленная схема САУ работоспособна, в тех случаях, когда время переходных процессов в объекте управления и САУ будет много меньше времени значимого изменения входных параметров.

Так как значение соотношения руд в промпродукте, подаваемом на измельчение, значимо меняется не чаще 5–6 раз в сутки, а время переходного процесса в мельнице составляет минуты, то возможно пренебречь возникающей в результате переходных процессов погрешностью. Данное положение послужило обоснованием отказа от реализации механизма учета предыстории состояния ОУ.

Для работы представленной системы необходимо реализовать блок памяти, осуществляющий постановку в соответствие какому-либо значению входного воздействия значение выходного сигнала.

Для применения в модуле памяти исследованы возможности применения как классических подходов (поли-

номиальная и сплайн интерполяция), так и на основе применения нейрореподобных сетей.

В процессе работы были выяснены несколько осложняющих факторов, присущих данной задаче. Это, во-первых, факторы, связанные с самим технологическим процессом — нестабильность свойств руд месторождений, неточность и неоднозначность исходных (экспериментальных) данных (в связи с износом мельниц и мелющих тел), неравномерность данных в исследуемом пространстве и прочее, и, во-вторых, факторы, связанные с информационной емкостью задачи.

При аппроксимировании поверхности пространства первоначально упор был сделан на классические методы: аппроксимированием полиномом, кубическими сплайнами.

Выявлено, что для данной задачи существенный недостаток аппроксимации полиномом — рост степени полинома (а в нашем случае системы полиномов) с ростом числа исходных точек. Причем поведение полиномов очень нестабильно — возможны значительные скачки приближающих функций, которые могут сильно расходиться с поведением моделируемых функции и увеличение степени полиномов не всегда позволяет решить эту проблему.

Аппроксимирование сплайнами — метод, дающий более стабильный результат, однако имеющий свои недостатки. Во-первых, это достаточно громоздкий вид результирующих функций. Во-вторых, метод испытывает известные трудности в случае иррегулярных входных данных. В-третьих, объем сплайн-коэффициентов подчас превышает объем исходных данных, и это приводит к значительным вычислительным нагрузкам.

При использовании и данных методов возникает и не решаемая классическими методами проблема пластичности данных — изменение значения даже в одной

точке приводит к пересчету значения всех коэффициентов функции

Проблемами применения методов является ресурсоемкость алгоритмов настройки и отсутствие возможности перенастройки отдельного фрагмента зависимости при дрейфе параметров. Эти причины послужили одним из факторов причины отказа от выбора использования классических методов в блоке памяти САУ.

В области систем искусственного интеллекта достаточно давно используется аппарат искусственных нейроподобных сетей для аппроксимации различного вида зависимостей. ИНС представляют собой распределенные и параллельные системы, способные к адаптивному обучению путем анализа положительных и отрицательных воздействий при подаче обучающей выборки. В процессе дальнейшей работы сеть, опираясь на данные обучающей выборки и полученные знания, будет формировать новые значения.

Тот факт, что для оптимизирующей САУ, в принципе, не важно знание аппроксимирующей зависимости (т.е. формализации знаний), а достаточно знание только достоверных значений аппроксимируемых параметров, послужил дополнительным плюсом в выборе этого направления исследования.

В настоящий момент для аппроксимации зависимостей могут быть использованы различные конфигурации сетей (сети прямого и обратного распространения ошибки, сети радиального базиса и другие) или спроектированы собственные архитектуры ИНС и другие.

Поэтому в дальнейшей работе исследованы возможности применения нейросетевых методов: сетей с обратным распространением ошибки (Neural Network with Back Propagation Training Algorithm — NNwBPTA), сетей встречного распространения (Counter Propagation Network — CPN или Hecht-Nielsen Neurocomputer) и сетей радиальных базисных функций (Radial Basis Function Network — RBFN).

Первой исследованной на применимость нейросетью была сеть с обратным распространением ошибки (Neural Network with Back Propagation Training Algorithm — NNwBPTA)..

При решении поставленной задачи сетью такого типа в качестве функций активации нейронов использованы два вида функций: функция Ферми (экспоненциальная сигмоида) и рациональная сигмоида. От еще одного часто встречающегося варианта функции активации — гиперболического тангенса — было принято решение отказаться сразу из-за большей вычислительной нагрузки. Как и первый, так и второй вариант обеспечили решение задачи. Вариант с функцией активации вида рациональная сигмоида обеспечил более быстрое обучение, но все же не применимое на практике из-за значительных затрат времени. В настоящий момент существуют более быстрые алгоритмы обучения данного вида сети, чем использованные в работе. Возможно, применение данных алгоритмов позволит сделать NNwBPTA применимой для практического использования в оптимизирующих САУ.

Вторым вариантом была попытка применить сеть встречного распространения (Counter Propagation Network — CPN или Hecht-Nielsen Neurocomputer). В результате, не смотря на то, что CPN прошла процесс обучения значительно быстрее NNwBPTA, добиться достоверных или хотя бы применимых результатов не получилось. На наш взгляд, причина неудачи связана с тем, что не было найдено оптимальное количество числа нейронов в слоях сети.

Третьим и самым удачным вариантом была система, состоящая из сетей радиальных базисных функций (Radial Basis Function Network — RBFN). Сеть RBFN показала наилучшую точность и достаточно высокое, по сравнению с другими видами нейросетей и алгоритмов аппроксимации, время перенастройки. Этим и обосновано ее применение в блоке памяти.

Для исследования качества системы, авторами разработана программная модель технологического процесса с управлением оператором процесса и данной оптимизирующей системой управления. Программная реализация моделей выполнена в среде визуального программирования Simulink (рисунок 5).

Для сравнения качества управления двух систем — автоматизированного и автоматического управления соотношением «руда/вода» в процессе измельчения на полученных моделях — модели помещены в идентичные условия и обеспечена идентичность исходных значений. Для обеспечения этого условия решено для их моделирования использовать одну рабочую область, а так же значения плана производства и соотношения руд подавать одновременно на обе системы.

Число реализаций эксперимента определено итерационно. Требуемая точность не может превышать точность модели процесса измельчения, поэтому в как максимум абсолютного значения разности между энергопотреблением за два периода принято 0,0612 МВт.

Графики энергопотребления мельницы и производительности при сравнении работы модели стрелковой мельницы при автоматическом адаптивном и автоматизированном управлении за 1 час работы приведены на рисунках 6 и 7.

На графиках непрерывной линией показаны энергопотребление и производительность мельницы при автоматизированном управлении, а пунктирной — при адаптивном автоматическом. Ступенчатый характер графиков объясняется использованием механизма продвижения модельного времени Δt . Единичные участки превышения энергопотребления и снижения производительности исследуемой системы по сравнению с эталонной вызваны работой в системе блока поиска при удалении от оптимального значения соотношения «руда/вода».

Суммарное энергопотребление модели мельницы при исследуемой системе управления по сравнению с эталонной меньше на 76 кВт·ч. Погрешность моделирования составляет 61.2 кВт·ч. Исходя из наихудшей ситуации (погрешность моделирования накладывается на эко-

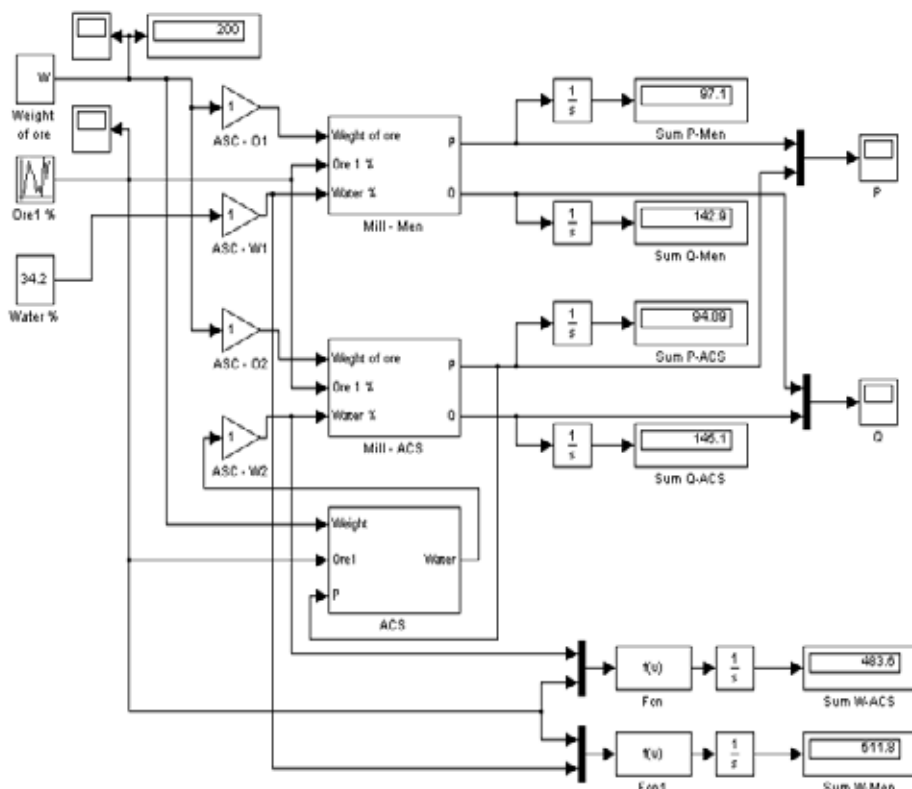


Рис. 5. Схема включения моделей процесса измельчения с автоматизированным и автоматическим управлением соотношением «руда/вода»

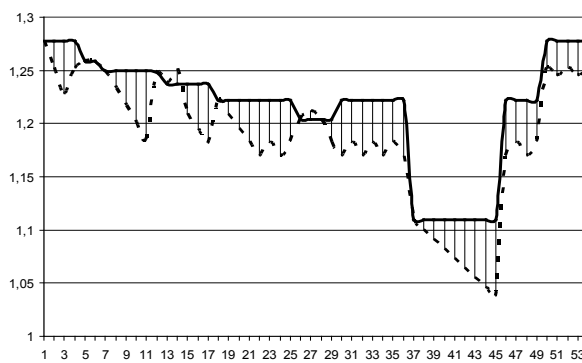


Рис. 6. График энергопотребления

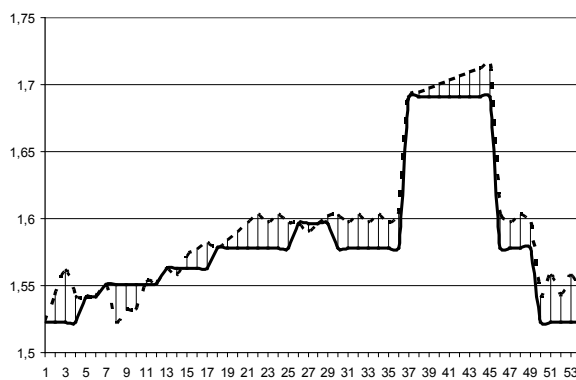


Рис. 7. График производительности

номию энергии) достоверным является факт экономии энергии в размере $15,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Таким образом, экономия энергопотребления одной мельницы в месяц составляет

$$\mathcal{E}_{\text{э/н(мес)}} = \mathcal{E}_{\text{э/н(час)}} \cdot T \cdot K = 15,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot \\ \cdot 24 \text{ часа} \cdot 30 \text{ дней} = 11,376 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

Производительность мельницы по готовому классу также имеет тенденцию к росту, что характеризует улучшение качества управления процессом.

Как итог сравнения моделей можно сказать:

Литература:

1. Марюта, А. Н., Качан Ю. Г., Бунько В. А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. — М.:Недра, 1983. — 277 с.
2. Технологическая инструкция АО «ССГПО». — Рудный.: АО «ССГПО», 2006—180 с.
3. Сабанин, В. Р., Смирнов Н. И., Репин А. И. Автоматические системы регулирования на основе нейросетевых технологий // Теория и практика построения и функционирования АСУ ТП: матер. междунар. науч. — «CONTROL-2003». — М., 2003. — с. 45—51.
4. Царегородцев, В. Г. Взгляд на архитектуру и требования к нейроимитатору для решения современных промышленных задач. Материалы XI Всероссийского семинара «Нейроинформатика и ее приложения», Красноярск, 2003. — 215 с. — с. 171—175.

Снижение трафика информации в коммутаторной нейронной сети

Мухамадиева Кибриё Бахадировна, старший преподаватель
Бухарский инженерно-технический институт (Узбекистан)

1. Коммутаторные нейронные сети

В настоящее время в машиностроении возникают все более сложные задачи управления. Многие из этих задач для своего решения требуют использования элементов искусственного интеллекта. Инструментом для использования элементов искусственного интеллекта являются искусственные нейронные сети.

Рассмотрим в общем виде нейронную сеть. Эта нейронная сеть будет иметь полносвязную архитектуру. Данная архитектура предполагает, что все нейроны расположены в одном слое и связаны между собой. Также традиционный способ построения нейронных сетей предусматривает, что такая сеть однородна, т. е. состоит только из одного типа элементов — нейронов. Хотя имеется архитектура (гибридная), где рассматриваются несколько различных типов нейронов, но все они являются нейронами. При этом нейрон выполняет две функции:

— обрабатывающую, обеспечивающую прием информации на входе нейрона, ее обработку и передачу результата на выход нейрона;

— транспортную, обеспечивающую передачу информации и ее масштабирование с выхода нейрона на соответствующие входы других нейронов.

— модель является адекватной реальной системе в рамках решаемой задачи;

— модель показывает снижение энергопотребления и прирост производительности процесса измельчения при использовании разработанной адаптивной САУ по сравнению с АСУ.

Последний пункт доказывает, что внедрение адаптивной автоматической системой управления процессом измельчения по сравнению с имеющейся автоматизированной системой управления более эффективно по параметру себестоимости продукции и экономически оправдано.

При таком способе организации нейронной сети возникает ощутимая проблема — сеть плохо масштабируется. С увеличением количества нейронов существенно усложняется работа нейрона по решению транспортной задачи за счет увеличения объема передаваемой информации и увеличению внутренних таблиц связи. При аппаратной реализации нейронной сети, квадратично увеличивается количество потенциально-поддерживаемых линий передачи информации, так что для сетей содержащих больше тысячи нейронов реализация затруднена (количество линий связи превысит миллион).

Выполнение нейроном двух функций представляется неоправданным. Рассмотрим нейронную сеть, содержащую два типа элементов, каждый из которых выполняет только одну вышерассмотренную функцию: (Рис. 1)

— нейрон, обрабатывающий информацию;

— коммутатор, обеспечивающий транспорт и масштабирование информации.

Отметим, что такая структура нейронной сети становится подобной структуре обыкновенной компьютерной сети, для которой имеются определенные теоретические предложения. Важно, что при таком построении сети, существенно упрощается и модифицируется сам нейрон. Без ограничения общности, можно рассматривать нейрон,

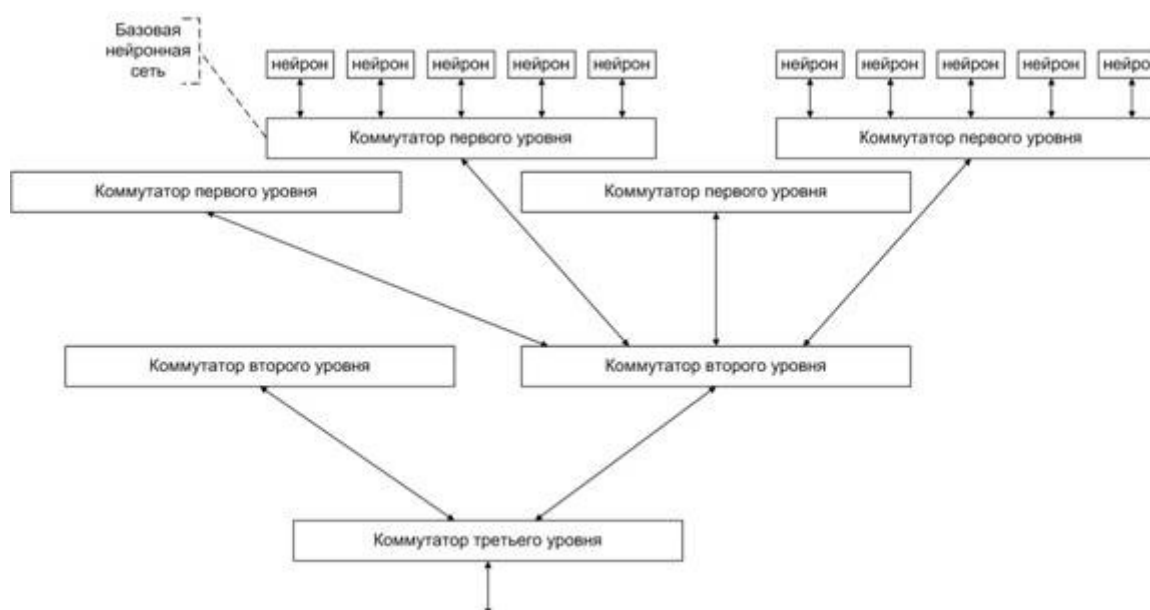


Рис. 1. Коммутаторная нейронная сеть

имеющий только один вход и один выход. Мультиплицирование входов и выходов обеспечивает коммутатор.

Рассмотрим обучение такой нейронной сети. Отметим, что при обучении нейроны не изменяются. Обучение сводится к формированию структуры нейронной сети и рациональному определению весовых коэффициентов, определяющих масштабирование значений параметров при передаче с выхода одного нейрона на вход другого. Структура нейронной сети и масштабные коэффициенты передачи информации между нейронами хранятся в служебных таблицах коммутаторов и в конечном итоге, вся информация по обучению нейронной сети будет связана только с коммутаторами.

Назовем базовой нейронной сетью, нейронную сеть которую обслуживает один коммутатор. Каждый коммутатор может обслуживать только некоторое ограниченное количество нейронов. Масштабирование нейронной сети может осуществляться увеличением количества базовых нейронных сетей. Для интеграции отдельных базовых сетей в единую нейронную сеть, используются коммутаторы верхнего уровня. В целом, коммутаторная нейронная сеть может быть представлена древовидной структурой, листьями которой являются нейроны. Важно отметить, что коммутаторные нейронные сети не являются особым видом нейронных сетей, а представляют собой технологию передачи данных между нейронами в нейронной сети. Любую структуру нейронной сети можно представить в виде коммутаторной нейронной сети.

2. Задача снижения трафика информации

При возрастании количества нейронов увеличивается нагрузка на коммутаторы, что приводит к возникновению

задачи снижения трафика информации в коммутаторной сети.

При связи нейронов между собой, путь передаваемой информации (трафик) существенно зависит от взаимного расположения нейронов в древовидной структуре. Чем дальше (в смысле пути) нейроны расположены друг от друга, тем больше трафик информации. Поэтому правомерна задача снижения трафика информации в нейронной сети, за счет рационального расположения нейронов на коммутаторах. Переставляя нейроны, возможно существенное снижение трафика в нейронной сети.

Вторым важным аспектом этой задачи является логическая группировка нейронов, по результатам которой возможно создание отдельных групп (подмножеств нейронов), в целом отвечающих за отдельные подзадачи общей задачи нейронной сети.

При решении этой задачи необходимо:

- определить, как по обученной нейронной сети выделить подмножества нейронов, отвечающих за отдельные подзадачи общей задачи нейронной сети;
- сгруппировать нейроны в базовые элементарные сегменты, сократив информационный трафик в сети;
- рационально расположить базовые элементарные сегменты на коммутаторах верхнего уровня, сократив информационный трафик в сети.

Группировку следует производить таким образом, чтобы нейроны, связанные между собой, были расположены максимально близко друг от друга. В идеале, они должны составлять один элементарный сегмент. Элементарный сегмент обслуживается одним коммутатором нижнего уровня, емкость которого имеет определенные ограничения. Эти ограничения определяют предельный размер базового элементарного сегмента.

Рациональная группировка нейронов позволит по обученной нейронной сети определить, какие подмножества нейронов отвечают за отдельные подзадачи, поскольку существование более или менее изолированной группы нейронов, позволяет говорить, что эта группа выполняет более или менее изолированную подзадачу общей задачи. При этом, чем меньше связей эта группа имеет с другими группами нейронов, тем более изолированную подзадачу она выполняет.

Целесообразно представить нейронную сеть в виде древовидной структуры. Так, коммутаторы первого уровня будут связывать группы нейронов между собой, а коммутаторы второго уровня будут связывать коммутаторы первого уровня. В идеальном варианте, один элементарный сегмент подключается к одному коммутатору первого уровня. Соответственно если идеальный вариант выполнить невозможно, то нейроны, принадлежащие элементарному сегменту, следует подключать к соседним коммутаторам первого уровня. Тогда сохраняется одна из основных особенностей коммутаторной нейронной сети — универсальность, при группировке не требуется физически перемещать нейроны от одного коммутатора к другому. Достаточно изменить идентификаторы нейронов в дереве, содержащем информацию о структуре сети.

Следует учесть, что трафик между нейронами одного сегмента уменьшить невозможно, но можно существенно сократить трафик между нейронами различных элементарных сегментов. Этот трафик будет проходить через коммутаторы верхних уровней, и соответственно, чем меньше коммутаторов будет проходить поток информации, тем меньше время займет трафик, тем меньше загрузка внешних коммутаторов, соответственно повы-

сится эффективность работы сети в целом за счет сокращения времени реакции на внешнее воздействие.

Таким образом, задача сокращения трафика информации в коммутаторной нейронной сети сводится преимущественно к задаче рациональной группировки нейронов на отдельные группы, которые затем будут объединены в зависимости от своего размера либо в элементарные сегменты, либо в смежные между собой группы элементарных сегментов.

Для небольших нейронных сетей, состоящих из нескольких десятков нейронов, эта задача могла бы быть решена методом перебора. Для больших нейронных сетей, включающих в себя от нескольких тысяч до нескольких миллионов нейронов, решение такой задачи методом перебора невозможно, в частности из-за ограниченности ресурсов самых мощных вычислительных систем.

3. Метод решения задачи

Рассмотрим плоскость, на которой расположена сетка, в узлах которой произвольным образом размещена группа объектов, соответствующих нейронам сети. (рис. 2)

Введем момент притяжения между объектами, таким образом, что если между двумя нейронами существует связь, то эти две вершины притягиваются друг к другу. Момент притяжения должен быть постоянен.

Для предотвращения слияния объектов общее ядро, введем момент отталкивания между всеми объектами. Этот момент обратно пропорционален расстоянию между объектами. Для того, чтобы объекты могли объединяться в группы, уменьшим момент отталкивания если объекты сблизилась на определенное расстояние, т.е. образовали общее ядро.

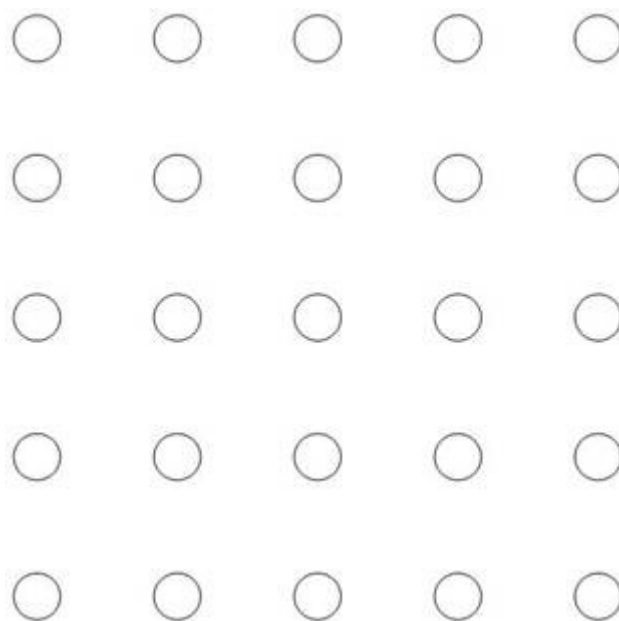


Рис. 2. Расположение объектов

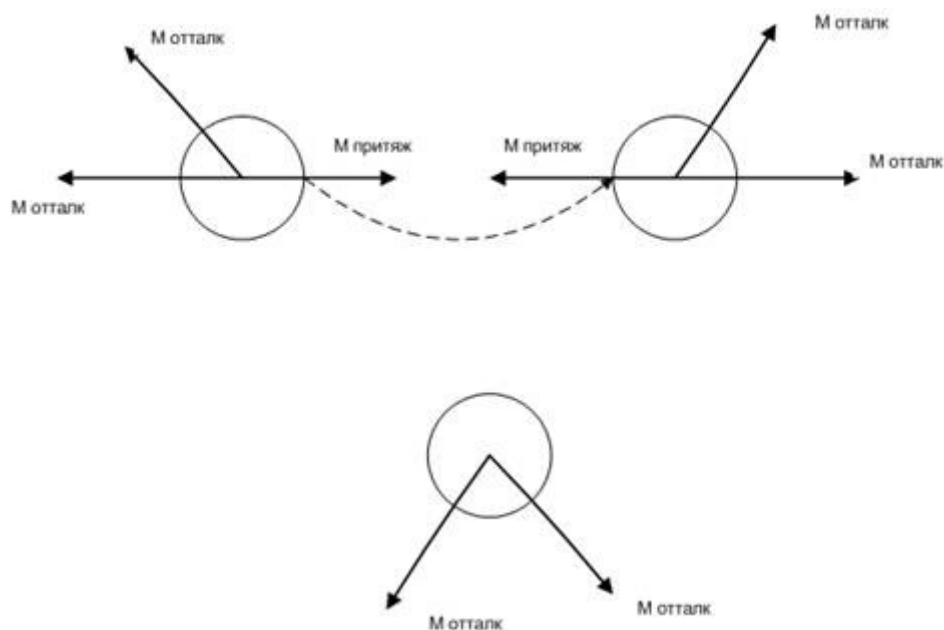


Рис. 3. Воздействия между объектами

Определив результирующий момент (между моментами притяжения и отталкивания), получим направление движения для каждого объекта и значение перемещения. Через некоторое время объекты, имеющие между собой момент притяжения, должны оказаться рядом на плоскости. Изменяя параметры моментов притяжения и отталкивания, можно варьировать количество и размеры получаемых элементарных сегментов.

Используя разработанный алгоритм, можно найти решение задачи рациональной группировки нейронов — разбиения нейронов на отдельные группы, которые затем будут объединяться в зависимости от своего размера либо в элементарные сегменты, либо в смежные между собой группы элементарных сегментов — подсети общей сети. Возникает задача подбора коэффициентов группирования для каждого варианта в отдельности.

В реальных сетях плотность и сила связей по всему объему сети различна. Таким образом, согласно полу-

ченным результатам, в большой сети области, в которых количество связей больше, чем в других частях сети, будут объединяться в группы раньше. Исходя из этого, можно утверждать и обратное: в полученных группах количество связей и их вес больше, чем в остальных частях сети. Это утверждение позволяет говорить о том, что использование разработанного алгоритма группирования приводит к выделению подгрупп нейронов, более или менее изолированных от общей сети. Наличие таких подгрупп позволяет говорить, что эти подгруппы выполняют более или менее изолированные подзадачи общей задачи нейронной сети.

Решение имеющейся задачи рациональной группировки нейронов позволит не только снизить трафик информации в коммутаторной нейронной сети, а так же провести фрагментацию этой сети и выделить группы нейронов, выполняющие отдельные подзадачи общей задачи сети.

Об одном подходе к разработке электронных блоков авиационной автоматики

Назаров Анвар Шамильевич, студент

Московский физико-технический институт (г. Долгопрудный, Московская обл.)

В настоящей статье рассмотрены подходы к разработке электронных блоков авиационной автоматики. Изложены основные пути решения задачи сокращения времени технологического цикла разработки электронных блоков, на основе анализа которых предложена технология разработки и построения электронных блоков авиационной автоматики по распределенной схеме, использование которой позволит сократить затраты времени и средств на разработку электронных блоков.

Введение

Качественный конкурентоспособный продукт последовательно формируется в процессе успешного выполнения каждого из этапов принятой технологии разработки. Подходы к формированию технологии конструирования электронной аппаратуры и в частности электронных блоков авиационной автоматики (ЭБ), а также определению ее этапов уникален практически для каждого предприятия, однако существует ряд общих принципов и этапов технологии конструирования подобной аппаратуры, о которых далее пойдет речь.

1 Обзор существующих технологий разработки ЭБ

Компоновка — это процесс создания из отдельных составных частей функционально законченной конструкции устройства или системы [1,2,3].

Вообще говоря, выбранная компоновочная схема во многом определяет успешное существование продукта на рынке. От компоновки зависят не только функциональные характеристики (надежность, масса, габаритные размеры), технологичность при производстве и эксплуатации, но и количество и сложность разрабатываемых деталей и узлов блока, то есть трудоемкость и время технологического цикла самого процесса конструирования.

При конструировании любой электронной аппаратуры применяются следующие основные принципы компоновки:

- моносхемный;
- схемно-узловой;
- функционально-модульный [1,2].

Моносхемный принцип подразумевает размещение всех электронных компонентов на одной печатной плате. При этом упрощается сборка и снижается стоимость устройства, но могут возрасти его габаритные размеры из-за нерационального использования объема корпуса. Моносхемный принцип широко применяется в аппаратуре с относительно небольшим числом компонентов.

Схемно-узловой принцип используется при дроблении на части сложных функциональных узлов и предполагает расположение на отдельных печатных платах частей схемы, имеющих четко выраженные входные и выходные характеристики. Дробление функциональных узлов

на части нежелательно и должно осуществляться лишь в обоснованных случаях.

Функционально-модульный принцип, при котором отдельные электронные модули являются функционально и конструктивно законченными элементами общей системы. Примером может служить построение персонального компьютера, в состав которого входят следующие модули: блок питания, процессор, материнская плата, жесткий диск, привод оптических дисков и др. [1,2].

Несмотря на очевидные преимущества функционально-модульного принципа компоновки:

- минимум связей между модулями;
- возможность параллельной сборки, регулировки и проверки разных модулей, что сокращает длительность технологического цикла изготовления изделия;
- обеспечение полной взаимозаменяемости, благодаря чему неисправный модуль может быть быстро заменен запасным без подгонок и регулировок;
- возможность производить модернизацию устройства путем усовершенствования отдельных модулей независимо от других;
- реализовывать на одном и том же базисе технических средств различную конфигурацию аппаратуры.

При конструировании ЭБ авиационной автоматики в отличие от электронной аппаратуры наземного применения, в зависимости от сложности того или иного изделия применяют моносхемный либо схемно-узловой принципы компоновки. Использование данных принципов компоновки диктуют сложность и большое количество связей между функциональными узлами, а также жесткие требования по надежности и массогабаритным показателям ЭБ.

2 Определение инструментов и путей решения задачи сокращения времени технологического цикла разработки ЭБ авиационной автоматики

Анализ технологического цикла разработки электронной аппаратуры, в том числе электронных блоков современных авиационных систем автоматического управления (САУ) показал, что сокращение затрат средств и времени на разработку при реализации новой технологии разработки и принципов построения ЭБ может быть достигнут за счет:

— уменьшения затрат времени и средств на разработку уникальных для каждого нового изделия аппаратно-программных конструктивных решений;

— упрощения сертификации и внедрения аппаратных и программных изменений;

— уменьшения затрат времени и средств на доводку изделий, на введение дополнительных функций, адаптацию к модификациям летательного аппарата и изменениям характеристик взаимодействующих с блоком изделий;

— уменьшения сроков и средств на внедрение в систему новых типов изделий, в том числе интеллектуальных.

Сокращение сроков разработки, повышение качества разрабатываемых изделий, также может быть достигнуто за счет:

— внедрения системы руководящих технических материалов (РТМ), позволяющих стандартизировать и упростить (например, при помощи их автоматизации) ряд трудоемких процедур, в том числе выбор того или иного конструкторского решения (например, создание базы данных готовых, проверенных конструктивных решений) при разработке новых изделий;

— организации тесного взаимодействия между подразделениями за счет создания единого информационного пространства;

— разработки или приобретения дополнительных инструментов (программных модулей к используемым САПР), обеспечивающих возможность формирования проектной документации в соответствии с российскими ГОСТами, подготовки и передачи данных для других функционирующих на предприятии информационных подсистем.

3 Технология разработки электронных блоков авиационных САУ, позволяющая сократить время технологического цикла их разработки

Предлагаемая для реализации технология создания электронных блоков предусматривает структуру построения блока на основе комплекта унифицированных устройств, представленную на рисунке 1.

Комплект функциональных устройств, объединенных скоростным каналом информационного обмена типа ТТР или др. При этом каждое функциональное устройство ап-

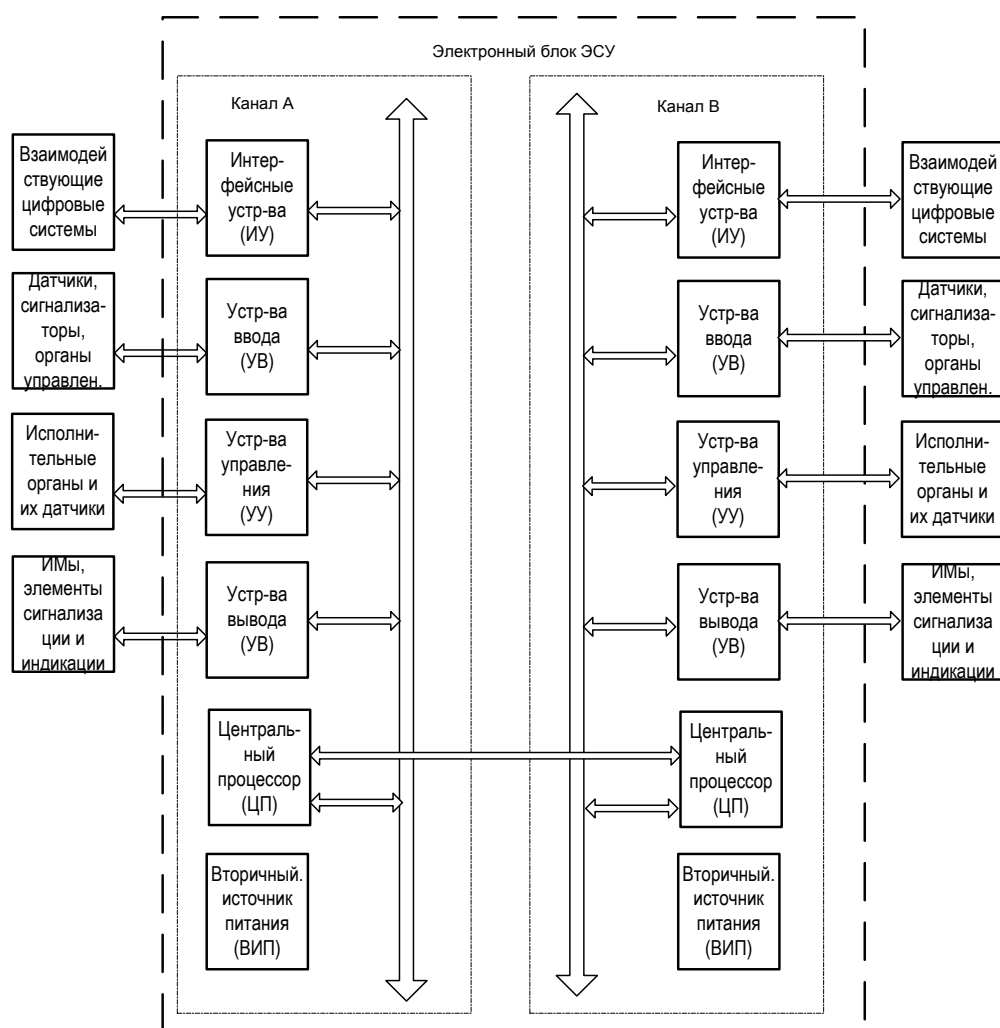


Рис. 1. Структурная схема 2-канального блока САУ

паратно и программно специализировано для выполнения конкретной логически завершенной функции. На структурной схеме блок управления представлен на уровне функциональных устройств.

Конструктивно, в зависимости от особенностей реализации электронной части САУ, функциональные устройства могут быть размещены как в корпусе электронного блока, на одной или двух печатных платах — соответственно реализуются основные преимущества моносхемного подхода к конструированию ЭБ, так и в корпусах датчиков и исполнительных механизмов. В случае применения в системе интеллектуальных датчиков или исполнительных механизмов информационные выходы данных устройств могут быть непосредственно подключены к информационному каналу обмена блока.

При разработке схмотехнических решений, конструкции и ПО устройств блока за основу должны быть приняты следующие принципы:

- 1) использование минимального числа типов устройств за счет их универсальности;
- 2) обеспечение автономности устройств — изменение конструкции или ПО одного устройства не должно приводить к изменениям конструкции или ПО других устройств;
- 3) применение единых отработанных универсальных решений при разработке унифицированных функциональных узлов и схем контроля их исправности;

Литература:

1. Григорьян, С.Г. «Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники»/Григорьян С.Г. — Ростов н/Д: Феникс, 2007. — 303, [1] с. — (Высшее образование).
2. «Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры»: Учебник для вузов. — М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 528 с.
3. Ненашев, А.П. «Конструирование радиоэлектронных средств»: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высшая школа, 1990.

Трехмерная визуализация результатов томографического контроля

Скоков Алексей Александрович, аспирант, ведущий инженер;

Карих Владимир Петрович, доктор технических наук, доцент

ОАО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай» (г. Бийск)

Введение

В медицинском обследовании и промышленной диагностике в настоящее время не известно более информативного метода исследования внутренней структуры, чем компьютерная томография (КТ). Независимо от вида проникающего излучения (ультразвук, рентгеновское и гамма-излучение, магнитные поля и пр.) результатом КТ является набор плоских сечений объекта исследования — серия томограмм. Хотя одна томограмма несет в себе достаточную информацию о внутренней структуре объекта в плоскости сечения — координаты, размеры

4) унификация конструкции функциональных устройств с учетом применения в различных конструктивных исполнениях блока.

5) специальное программное обеспечение ЭБ (ПО) должно быть реализовано по модульному принципу с минимальными связями между программными модулями, что обеспечивает относительно прозрачную структуру ПО и позволяет с минимальными затратами модифицировать ПО при изменении функциональных требований к аппаратуре.

Заключение

Выполнен краткий обзор существующих технологий разработки электронных блоков, определены основные пути решения задачи сокращения времени технологического цикла разработки ЭБ авиационной автоматики.

Предложен подход к разработке электронных блоков по распределенной схеме на основе функционально законченных устройств, использование которого позволит существенно сократить затраты времени и средств на разработку электронных блоков. Изложены базовые принципы реализации функциональных устройств электронных блоков, их конструкции, алгоритмического и программного обеспечения в рамках предложенного подхода.

внутренних элементов (органов) — она не позволяет определить их точную форму и протяженность в пространстве. В качестве примера рассмотрим куб, произвольно ориентированный в пространстве, и его сечения плоскостью $Z = 0$. При положении куба, параллельном секущей плоскости, сечение принимает форму квадрата (рис. 1, а), а при других положениях — треугольника (рис. 1, б), трапеции (рис. 1, в) и многоугольника (рис. 1, г).

Таким образом, один и тот же объект контроля, при различном положении в пространстве, дает различные изображения сечений, и возникают трудности

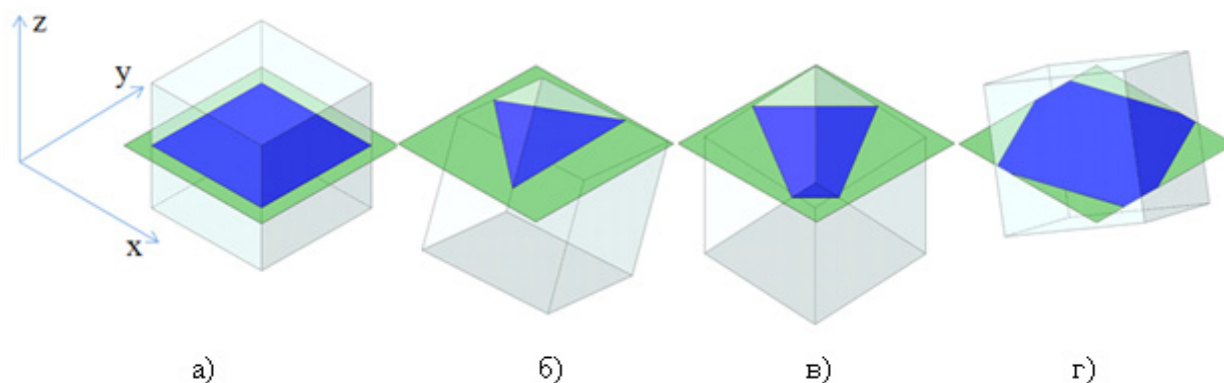


Рис. 1. Сечения куба при различных его положениях в пространстве

при идентификации полученных изображений. Объемное представление объекта гораздо информативнее набора плоских сечений, поэтому особо актуальной является задача трехмерного отображения полученного объема.

Анализ существующих средств трехмерной визуализации

На данный момент существует большое количество программных продуктов для построения трехмерного изображения объекта по его плоским сечениям, как коммерческих (Avizo, Amira, VGStudio MAX), так и с открытым доступом (ImageVis3D, Voreen, VolView, 3D Slicer). Кроме того, существует огромное число методов объемного представления (рендеринга), которые могут быть использованы для разработки собственного средства визуализации. Объемная модель может быть получена прямым объемным рендерингом или косвенными методами — путем построения полигональной сетки на основе входных данных [1], проекционными методами [2, 3].

Наибольший интерес представляют методы прямого рендеринга, при котором каждому элементу объема приписывается определенная яркость, цвет и прозрачность при помощи передаточной функции, что позволяет одновременно выделить из исходного набора данных множество структур, имеющих различную плотность. Передаточная функция может задаваться кусочно-линейной функцией или таблицей значений.

Прямой рендеринг является сложной вычислительной задачей, которую можно выполнить двумя способами:

- рендеринг прямого хода (back-to-front), к которому относятся методы множественных преобразований [4, 5], метод сплэттинга (splatting) [6, 7], сдвиговые алгоритмы (например, сдвиговая деформация (shear-warp) [8]), текстурный рендеринг (texture-based volume rendering) [9];

- рендеринг обратного хода (front-to-back), к которому относятся методы трассировки (ray tracing) [10, 11] и отслеживания (ray casting) [11] лучей.

Разработка средства визуализации

На основе проведенного анализа существующих решений в области построения трехмерного объема основой разработки программы визуализации выбран метод текстурного рендеринга [9]. Этот метод основан на формировании объема путем наложения сечений друг на друга. В процессе наложения каждое сечение подвергается операции смешивания (blending) для комбинирования цвета выводимого пикселя с пикселем, который уже находится на экране. Кроме того, отбрасываются «черные» пиксели, которые представляют собой отсутствие объекта.

В среде программирования C++ Builder 6 с использованием библиотеки GLUT (OpenGL Utility Toolkit), входящей в состав API OpenGL, разработана программа трехмерной визуализации, входными данными для которой служит набор плоских сечений. Объем (до 512^3) формируется путем генерации 2D текстур в каждой плоскости системы координат. Таким образом, имея в каждой плоскости набор изображений, возможно построение сечения объекта на основании данных изображений.

Рассмотрим процесс создания и наложения текстур в плоскости $X = 0$. В первую очередь выделяется память размером *xsiz* для хранения текстуры *texturesX* и создается текстура, которая будет сохранена в этой памяти: *glGenTextures (xsiz, texturesX)*.

Затем указывается тип текстуры: *glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, texturesX [x])*, в данном случае *texturesX [x]* — это двумерная текстура (*GL_TEXTURE_2D*).

Включается режим наложения текстур: *glEnable (GL_TEXTURE_2D)*.

Задается тип фильтрации для увеличенного и уменьшенного изображения:

```
glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
```

```
glTexParameteri (GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
```

Создается фактическая 2D текстура: *glTexImage2D (GL_TEXTURE_2D, 0, GL_INTENSITY, ysiz, zsiz, 0, GL_LUMINANCE, GL_UNSIGNED_BYTE, slice)*,

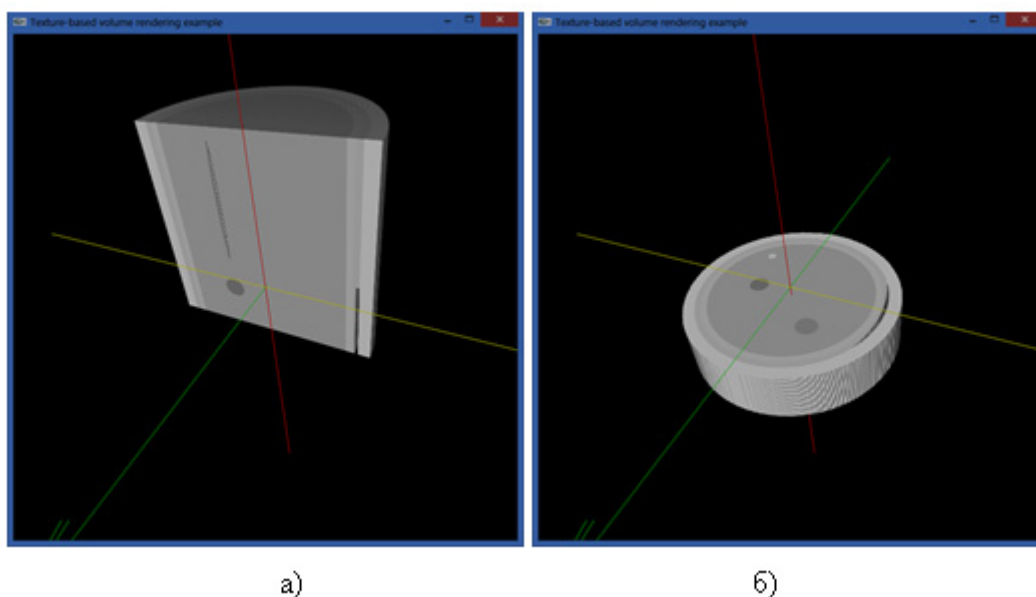


Рис. 2. Результаты визуализации объекта: а – сечение плоскостью $Y = 0$; б – сечение плоскостью $Z = 0$

где *ysize*, *zsize* — ширина и высота текстуры; *slice* — указатель на данные в *texturesX*.

Изображение трехмерного объекта обычно представляется в виде куба, на грани которого накладываются изображения, поэтому необходимо определить какая текстура будет накладываться на каждую грань. Это выполняется с помощью команды:

```
glBindTexture (GL_TEXTURE_2D, texturesX[slice]),
```

где *slice* — номер текстуры из набора текстур *texturesX[]*, используемой для наложения.

Команда **glBindTexture ()** также позволяет строить сечения объекта, изменяя значение параметра *slice*.

После того, как выбрана нужная текстура, необходимо наложить ее на соответствующую грань куба, для этого используются команды **glTexCoord2f ()** и **glVertex3f ()** [12] для всех вершин грани.

Для реализации смешивания используется набор ко-

манд, включающих режим смешивания **glEnable ()** и определяющих **glBlendFunc ()**, как будет реализовано данное смешивание:

```
glEnable (GL_BLEND);  
glBlendFunc (GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA).
```

Для плоскостей $Y = 0$ и $Z = 0$ выполняются аналогичные операции. Результаты работы разработанной консольной программы представлены на рис. 2.

В результате проведенной работы разработан гибкий инструмент трехмерной визуализации, позволяющий:

- производить построение 3D модели на основе набора плоских сечений;
- осуществлять вращение и масштабирование отображаемого объекта;
- строить сечения объекта тремя плоскостями;
- отбрасывать неинформативные данные, не принадлежащие объекту.

Литература:

1. Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm/William E. Lorensen, Harvey E. Cline — Computer Graphics (SIGGRAPH 87 Proceedings). Vol. 21, N. 4, 1987, pp. 163–169.
2. Wallis, J. W., Miller T. R. Three-dimensional display in nuclear medicine and radiology. J. Nucl. Med. Vol. 32 (3), 1991, pp. 532–546.
3. Sato, Y., Shiraga N., Nakajima S., Tamura S., Kikinis R.: Local Maximum Intensity Projection (LMIP): A New Rendering Method for Vascular Visualization // Journal of Computer Assisted Tomography. Vol. 22, N. 6, 1998, pp. 912–917.
4. Vezina, G., Fletcher P., Robertson P. K. Volume Rendering on the MasPar MP-1 // Proc. of 1992 Workshop on Volume Visualization. Boston, MA, 1992, pp. 3–8.
5. Schroeder, P., Salem J. B. Fast Rotation of Volume Data on Data Parallel Architecture // Proc. of Visualization'91, San Diego, 1991. P. 50.
6. Westover, L. A. Splatting: A Parallel, Feed-Forward Volume Rendering Algorithm: PhD thesis: The University of North Carolina at Chapel Hill, Department of Computer Science, July 1991.

7. Huang, J., Mueller K., Shareef N., Crawfis R. FastSplats: Optimized Splatting on Rectilinear Grid // Proc. of IEEE Visualization Conference. 2000, pp. 219–226.
8. Lacroute, P., Levoy M. Fast Volume Rendering Using a Shear-Warp Factorization of the Viewing Transformation // Proc. SIGGRAPH '94. 1994, pp. 451–458.
9. Hibbard, W., Santek D. Interactivity is the key // Chapel Hill Workshop on Volume Visualization, University of North Carolina, Chapel Hill, 1989, pp. 39–43.
10. Levoy, M. Efficient ray tracing of volume data // ACM Trans. on Graphics. Vol. 9 (3), 1990, pp. 245–261.
11. Weiskopf, D. GPU-Based Interactive Visualization Techniques // Springer Science & Business Media. 2006, p. 21.
12. Баяковский, Ю.М., Игнатенко А.В. и др. Графическая библиотека OpenGL // Учебно-методическое пособие. — М.: Изд-во ВМиК МГУ, 2003. — 132 с.

Система управления активно управляемой газомангнитной опорой

Ульянов Александр Владимирович, аспирант

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

В данной статье рассмотрена программная реализации системы управления активно управляемой газомангнитной опорой с использованием встраиваемого контроллера SBRIO-9636 под управлением Labview.

Ключевые слова: Labview, PWM, газомангнитная опора, FPGA, SBRIO-9636, система управления, LabView Real-Time, ПИД.

Система управления газомангнитной опорой [1–3] реализует закон управления по току. Главной составляющей системы управления является промышленный контроллер SBRIO-9636. В данный контроллер записана программа управления, которая состоит из двух частей: первая часть записывается в программируемую интегральную схему FPGA (ПЛИС) и конфигурирует порты ввода вывод, АЦП платы SBRIO-9636 листинг показан на рисунке 1.

Программа, показанная на рисунке 1, работает следующим образом: при инициализации контроллера SBRIO-9636 операционная система реального времени загружает из энергонезависимой памяти конфигурационный файл для ПЛИС. Данный файл содержит два главных цикла. Первый цикл конфигурирует АЦП и ЦАП платы на заданный режим сбора информации вывод АЮ подключает внешний датчик перемещений [2] в диапазоне

входного напряжения от 0 до 10 В, а вывод АО1 — подключает выход ЦАП для вывода сигнала задания, первый цикл останавливается локальной переменной stop синхронно с остановкой всей программы. Второй цикл содержит реализацию широтно-импульсной модуляции (ШИМ) упакованный в отдельный виртуальный прибор PWM FPGA показанный на рис. 2.

Подпрограмма, показанная на рисунке 2, реализует регулируемый ШИМ сигнал с возможностью ограничения минимального периода сигнала, программа использует тактируемый цикл работающий на частоте 40 МГц.

Выходом ШИМ является терминал PWM DO, частота ШИМ выводится на терминал PWM Clock, данная подпрограмма упакована в отдельный виртуальный прибор, который просто добавился во второй цикл программы, показанной на рисунке 2. Управляющими терминалами во второй цикле является терминал задания

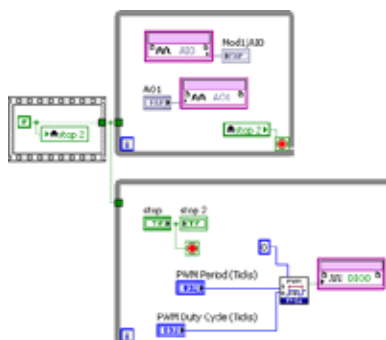


Рис. 1. Программа, конфигурирующая вывод ПЛИС и управляемый ШИМ

Управляющая программа, представленная на рисунке 3, работает следующим образом, вначале вызывается Open FPGA VI Referenc (1) подпрограмма, которая передает данные выходных терминалов в главный цикл (8) в котором располагаются функции чтения FPGA Read/Write Control (2,4,5,6). Функция FPGA Read/Write Control (2) выводит значения датчика перемещения и заводится на ПИД регулятор (3) в терминал PV. ПИД регулятор (3) реализован с помощью функции PID стандартной библиотеки LabView и имеет пять входных параметров: SP — значение требуемого эксцентриситета, PV — вход датчика обратной связи, P — коэффициент усиления пропорционального звена, I — постоянная времени интегрирования, D — постоянная времени дифференцирования. Коэффициенты регулятора ПИД (3) рассчитываются исходя из математической модели [4] и подставляются в терминалы P, I, D. Функциональный блок ПИД регулятора

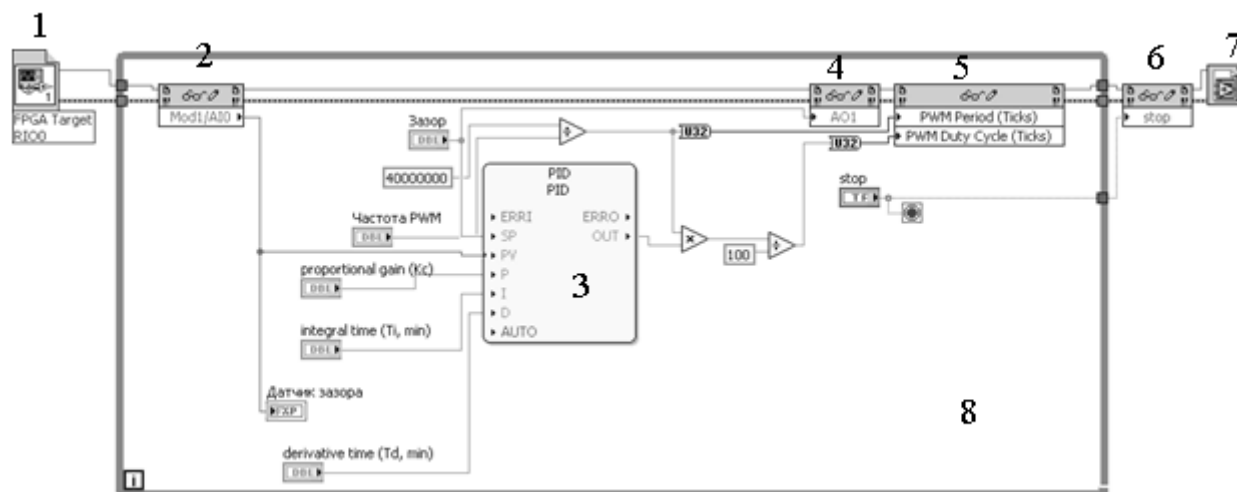


Рис. 3. Управляющая программа ПИД регулятора выполняемая в Real-Time

располагается в палитре Control Function Block показан на рисунке 4.

При двойном нажатии на функциональный блок ПИД регулятора вызываются настройки блока рисунок 5.

В данном меню выставляются, такие параметры как значение уставки (set point high/set point low) максимальное значение выставляется в 10 минимальное в 0 так как максимальное выходное значение с датчика пере-

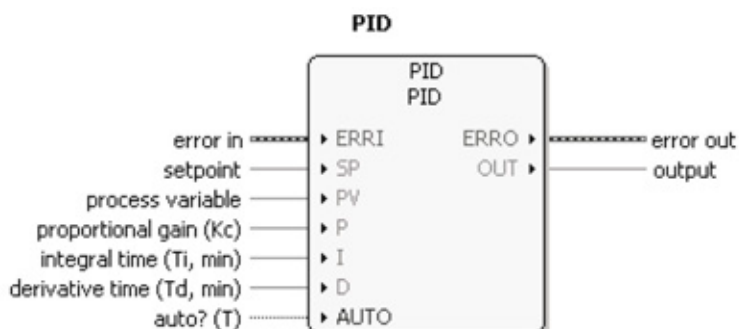


Рис. 4. Функциональный блок ПИД регулятор

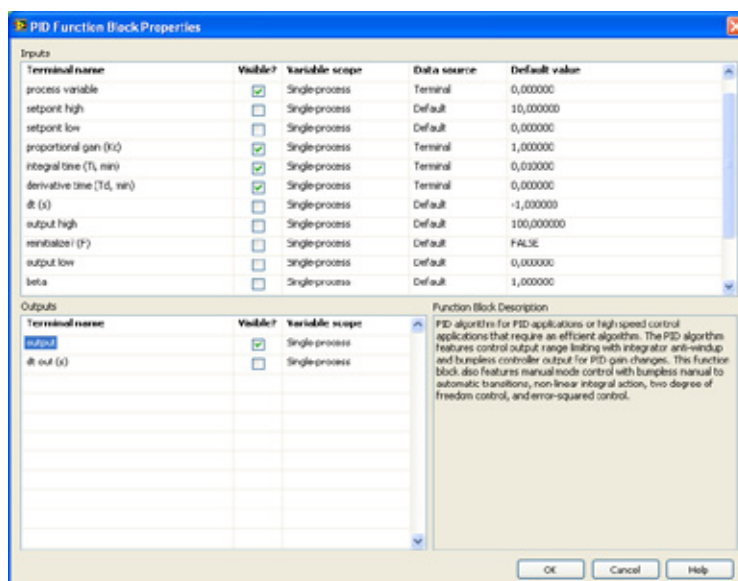


Рис. 5. Настройки блока ПИД регулятора

мещения составляет 10 В, а минимальное 0 В и ограничение выходного значения регулятора параметры output low/high эти параметры выставляются в значение 0 и 100 так как выходным параметром является изменение скважности ШИМ от 0 до 100 %. Для преобразование выходного значения ПИД регулятора в регулируемую скважность в программе используется следующее преобразование исходя из того что система работает на частоте 40 МГц:

$$D = \frac{\left(\left(\frac{40 \cdot 10^6}{f_{pwm}} \right) \cdot D_{PID} \right)}{100} \quad (1)$$

где f_{pwm} — частота ШИМ сигнала, Гц,
 D_{PID} — Значение скважности с выхода ПИД регулятора, %.

После преобразование по формуле (1) данные преобразуются в U32 — тридцати двух разрядный формат и поступают на терминал 5 рисунок 3 на вход PWM Duty Cycle. Так же в терминале 5 рисунок 3 задается параметр PWM Period — Частота модуляции ШИМ этот параметр пользователь может задавать сам от 0 до 200 кГц. После того как все параметры выставлены и рассчитаны коэффициенты регулятора программа загружается в целевое устройство SBRIO-9636 где уже выполняется автономно без участия пользователя.

Литература:

1. Ульянов, А. В. Повышение точности вращения валов высокоскоростных роторных систем./А. В. Космынин, В. С. Щетинин, С. М. Копытов, А. С. Хвостиков // Ученые записки КнАГТУ — 2013 — №3 — 1 (15). — С47–51.
2. Ульянов, А. В. Способ измерения рабочего зазора бесконтактных подшипников./С. М. Копытов, А. В. Космынин// Современные наукоемкие технологии, 2013г, №3, с. 40–42.
3. Ульянов, А. В. Разработка и моделирование газоманитных опор./С. М. Копытов, А. В. Космынин, В. С. Щетинин, А. С. Хвостиков// «Науч.-тех. творчество аспирантов и студентов», ч. _ — Комс.-н/А 2013 г., с. 357–359
4. Ульянов, А. В. Газоманитная опора с активным управлением магнитной силой./// «Сборник статей по материалам XXI Международной заочной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы технических наук»», №4 (17) — Москва 2014 г., с. 131–134.

7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Прогнозирование прочности шлифовального круга по прочности исходной абразивной массы

Полканов Евгений Георгиевич, кандидат технических наук, начальник управления
ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» (г. Москва)

Горин Николай Андреевич, кандидат технических наук, младший научный сотрудник
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Современная тенденция перехода от унифицированного абразивного инструмента к применению составов и свойств адресного исполнения, ориентированных на конкретные операции абразивной обработки деталей, способствует существенному повышению их производительности и качества. Реализация этой безусловно прогрессивной тенденции в производстве абразивного инструмента требует расширения номенклатуры выпускаемой продукции по ее характеристикам и эксплуатационным свойствам [1, 2].

Технологический цикл отработки одного состава абразивно-керамической композиции, который включает в себя подготовку формовочной массы, прессование различных по назначению образцов для оценки технологичности, твердости, прочности и др., их сушку, обжиг, последующая механическая обработка и контрольные испытания может занимать 15–20 дней [3, с. 167–187].

Для возможного снижения трудоемкости и сроков создания новых абразивно-керамических композиций в работе предложена и исследована идея взаимосвязи их прочности в сыром и обожженном виде.

В случае выявления корреляции прочности заформованных образцов на начальном этапе исследования их свойств с прочностью образцов, имитирующих реальный конечный продукт, можно было существенно сократить объем экспериментальных работ и сузить направления поиска оптимальных составов абразивно-керамических композиций.

Методика и условия проведения экспериментов. Прочность сырца на изгиб $\sigma_{\text{и}}$ определялась по методике ДОТИ на заформованных брусках с размерами 250х35х10 мм [4, с. 50–52]. Разрывная прочность $\sigma_{\text{р}}$ оценивалась при разрушении специальных обожженных образцов — «восьмерок» на разрывной машине УМ-500.

Прочностные свойства исследовались на различных составах абразивно-керамических композиций на основе электрокорунда белого марки 25А зернистостью F80. Объемное содержание абразива в формовочной массе изменялось от 50 % (номер структуры 6) до 34 % (номер

структуры 14). Содержание керамической связки марки К5 в исследованных составах массы варьировалось от 5 до 17 % объема.

Всего было разработано и заформовано 25 вариантов состава абразивно-керамической массы, из которых были изготовлены и испытаны по 3 образца на изгиб сырца и разрыв «восьмерки».

Все варианты массы имели сложный многокомпонентный состав из абразивного зерна, керамической связки, порообразователей в виде молотых фруктовых косточек и алюмосиликатных микросфер, клеящих и увлажняющих добавок.

Составы, которые изучались на предмет их прочностных свойств, ориентированы для применения в шлифовальных кругах для профильной обработки хвостовиков турбинных лопаток из жаропрочных никелевых сплавов, зубчатых колес и фасонного инструмента из закаленных высоколегированных сталей и др.

При статистической обработке полученных экспериментальных данных были использованы рекомендации, содержащиеся в работе [5, с. 42–43].

Математические модели связи разрабатывались с помощью специальных компьютерных программ многофакторного корреляционного и регрессионного анализа. В качестве критериев адекватности математической модели опытным данным были приняты коэффициент множественной корреляции (КМК), критерий Фишера F-критерий адекватности модели, остаточная дисперсия (ОД).

Вид модели выбирался в соответствии с выбранными критериями по степени наилучшего приближения. Разработанные модели представляют собой уравнения многофакторной регрессии в виде логарифмических полиномов первого или второго порядка.

Полученные результаты и их обсуждение. На рис. 1. показано изменение прочности на изгиб при увеличении структурности абразивно-керамической массы, соответствующим уменьшению в ее составе абразива от 50 до 34 % или почти в 1,5 раза. Отмечается общая тенденция на уменьшение значений прочности $\sigma_{\text{и}}$ с вари-

тивностью, обусловленной изменением содержания керамической связи.

Корреляционным анализом установлено, что прочность заформованного образца тесно связана с содержанием абразивного зерна (коэффициент парной корреляции R равен 0,87) и практически слабо зависит от содержания керамической связи ($R=0,097$).

Статистическим обобщением экспериментальных данных, приведенных на рис. 1, получена следующая модель связи

$$\ln \sigma_u = 3,94 + 8,068 \ln V_z + 0,065 \ln V_{cv} + 3,511 \ln^2 V_z \quad (1)$$

где V_z и V_{cv} — соответственно объемное содержание абразивного зерна и керамической связи.

Адекватность полученной модели (1) высокое: $KMK=0,986$; $F_{кр}=29,832$ и $ОД=0,215$.

Характер изменения прочности на разрыв σ_p обожженных образцов из исследованных вариантов абразивно-керамических масс (рис. 2) аналогичны закономерности $\sigma_u(N)$, показанной на рис. 1.

Корреляционным анализом данных, показанных на рис. 2, также выявлена более тесная связь разрывной прочности σ_p с содержанием абразива V_z ($R=0,801$), но чуть

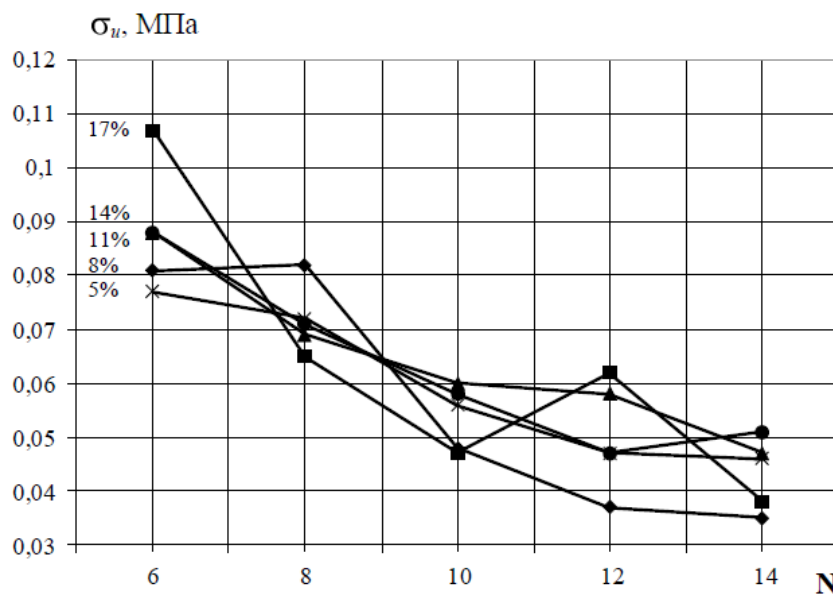


Рис. 1. Прочность на изгиб сырца абразивной массы из электрокорунда белого зернистостью F80 с содержанием керамической связи от 5 до 17% в зависимости от номера структуры

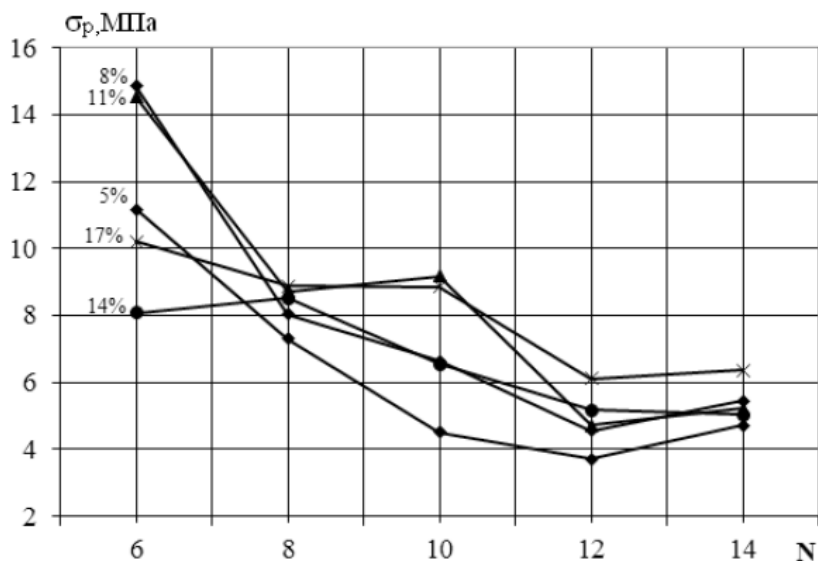


Рис. 2. Предел прочности на растяжение образцов из электрокорунда белого зернистостью F80 с содержанием связи от 5 до 17% в зависимости от номера структуры

более значимое влияние содержания керамической связки V_{cv} ($R=0,228$).

Вид регрессионной модели связи σ_p (V_3 , V_{cv}) также аналогичен (1)

$$\ln \sigma_p = 11,754 + 13,75 \ln V_3 + 0,19 \ln V_{cv} + 6,565 \ln^2 V_3 \quad (2)$$

с высоким качеством адекватности: $KMK=0,879$; $F_{кр}=25,092$ и $ОД=0,246$.

Основываясь на выявленном общем характере зависимости прочности заформованного и обожженного образцов от структурности абразивно-керамической массы и аналогичной тесноте связи исследованных ее прочностных характеристик с содержанием абразива и керамической связки, можно предположить о существовании достаточно тесной корреляционной связи разрывной прочности образцов после обжига с их прочностью после формования.

Для формирования обеих прочностных характеристик велика роль объемного содержания абразива V_3 , с уменьшением которого прочность заметно снижается. Для них также характерно относительно невысокая статистическая значимость в сравнении с V_3 содержания керамической связки V_{cv} . Даже в случае оценки прочности обожженных образцов, на величину которой количество связки безусловно влияет прямым образом, роль абразивного зерна сохраняет свою доминантность.

Регрессионным и корреляционным анализом экспериментальных данных по прочности заформованных и обожженных образцов было установлено следующее. Между опытными значениями σ_p и σ_u теснота связи оценивается коэффициентом корреляции, равным 0,711, что можно признать статистически значимым.

Регрессионные модели связи были разработаны в двух вариантах:

$$\ln \sigma_p = 0,077 + 0,127 \ln \sigma_u + 2,899 \ln \gamma \quad (3)$$

$$\ln \sigma_p = 4,23 + 0,059 \ln \sigma_u + 2,198 \ln V_3 + 0,6242 \ln V_{cv} \quad (4)$$

В модель связи σ_p (σ_u) по формуле (3) добавлен обобщенный параметр формовочной массы — ее плотность γ . Адекватность модели (3) опытными данными подтверждается, например, величиной $KMK=0,818$, погрешностью

отклонения в диапазоне от 4 до 33,4% со средней величиной, равной 17,8%

По модели (3) по известным значениям σ_u и γ , установленным экспериментальным путем, можно априорно прогнозировать прочность на разрыв σ_p .

Более точный прогноз разрывной прочности можно получить при известных данных по содержанию абразива и керамической связки в составе формовочной массы и ее прочности на изгиб.

По модели (4) можно получить более точную оценку разрывной прочности σ_p , так как критерии ее адекватности опытным данным более высоки, чем для модели (3). Они составили: $KMK=0,84$; $F_{кр}=8,398$ и $ОД=0,357$. Погрешность отклонения лежит в диапазоне от 0,03 до 32,9% со средней величиной 16,7%.

Разработанные модели (3) и (4) справедливы для исследованных диапазонов значений $\sigma_u = 0,035-0,107$ МПа и $\sigma_p = 4,56-14,85$ МПа. Указанные диапазоны, в которых две прочностные характеристики уменьшаются практически в одном масштабе — в 3,06 раз для σ_u и в 3,26 раз для σ_p , свидетельствуют о их конгруэнтности и одинаковом характере влияния состава массы на их значения, которые отличаются в 130–140 раз.

Заключение. Выявлена статистически значимая корреляция между прочностью на разрыв образцов из обожженной высокоструктурной абразивно-керамической массы и прочностью на изгиб заформованных образцов. Наличие установленной связи позволяет на начальном этапе исследования технологических свойств массы прогнозировать ее ожидаемые прочностные свойства, которые экспериментально определяются на завершающем этапе отработки новых рецептов.

Для количественной оценки разрывной прочности применительно к составам абразивно-керамических композиций с объемным содержанием абразива из электрокорунда белого марки 25А зернистостью F80 от 34 до 50% и керамической связки марки К5 от 5 до 17% разработана регрессионная модель со средней точностью расчета до 17%.

Литература:

1. Starkov, V. K. Deep grinding with continuous tool correction // Russian Engineering Research. 2010. V. 30. № 12. pp. 1218–1221.
2. Старков, В. К., Рябцев С. А., Горин Н. А. Повышение эффективности процессов глубинного шлифования. Под ред. В. К. Старкова — М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2012. 118 с.
3. Старков, В. К. Шлифование высокопористыми кругами. — М.: Машиностроение, 2007. — 688 с.
4. Высокоструктурные шлифовальные круги и их эффективное применение/В. К. Старков, С. А. Рябцев, С. В. Костров и др. Под. ред. В. К. Старкова. — М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН». 2013—213 с.
5. Starkov, V. K., Sergushev G. N (1979). Generalized statistical models of cutting tool life. Russ. ENGNG. J., 59 (6, 1979) pp. 42–44.

Применение высокопористых кругов для шлифования зубчатых колес

Полканов Евгений Георгиевич, кандидат технических наук, начальник управления
ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» (г. Москва)

Рябцев Сергей Александрович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

В статье приведены результаты комплексных производственных испытаний высокопористых шлифовальных кругов различных типоразмеров и характеристик при шлифовании зубчатых колес по технологическим схемам обката и копирования.

Ключевые слова: зубчатое колесо, шлифовальный круг, шлифование.

Особенностью известных методов зубошлифования является неравномерный съем припуска по длине и высоте зуба, что в сочетании с исходной погрешностью профиля приводит к существенным колебаниям глубины шлифования. Учитывая это, в производстве не редко возникают ситуации, когда на заключительном этапе изготовления зубчатых колес, вследствие действия различных факторов, могут появляться дефекты шлифовочного характера [1, 2]. Неоднородный термодинамический режим шлифования зубчатого колеса создает предпосылки для формирования также неоднородного напряженно-деформированного состояния в поверхностных слоях обрабатываемых зубьев. При наложении его на упрочненный слой металла от предшествующей механической и химико-термической обработки, резко возрастает риск появления прижогов и трещин [3, 4].

Технологию финишной обработки зубчатого колеса необходимо строить таким образом, чтобы обеспечить минимальную термодинамическую напряженность, снижая риск появления дефектов. Это в значительной степени зависит от применяемой схемы обработки, режима шлифования и характеристики абразивного инструмента. Одним из направлений снижения термодинамической напряженности и повышения производительности процесса шлифования является использование абразивного инструмента с повышенной структурностью или высокопористых шлифовальных кругов [4–6].

На ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» (г. Москва) проведена работа по повышению эффективности шлифования зубчатых колес за счет применения новых модификаций высокопористых шлифовальных кругов оригинальной отечественной разработки взамен импортных аналогов. Основные принципы технологии изготовления высокопористых кругов изложены в [2].

Испытания кругов кольцевого профиля типоразмера 2220x80x20 с характеристикой 25A F120 H 12 V проводились на зубошлифовальных станках мод. 600PG Phoenix фирмы Gleason и мод. G30 фирмы Klingelnberg-Oerlikon, на которых осуществлялся полный цикл обработки конических зубчатых колес путем предварительного формообразования зубьев шлифованием «по целому» (взамен зубофрезерования) и чистового шлифования.

В ходе испытаний обрабатывали конические зубчатые колеса из стали марки 16ХЗНВФМБ-Ш: с числом зубьев $z = 37$ и модулем $m_n = 4,969$ мм, и с числом зубьев $z = 46$ и модулем $m_n = 2,9$ мм.

Предварительное формообразование зубчатых колес выполнялось на заготовках, термообработанных на твердость 39...41 HRC, методом врезного глубинного шлифования с обкатом за 8 проходов при постоянной скорости шлифовального круга, равной 20 м/с для станка мод. G30, и 27 м/с для мод. 600PG. При этом величина радиальной подачи шлифовального круга на врезание по проходам для зубчатого колеса с модулем $m_n = 4,969$ мм была следующей $t_1 = 3,1$ мм, $t_{2,3} = 2$ мм, $t_{4,5} = 1,5$ мм, $t_6 = 1,4$ мм, $t_7 = 0,1$ мм, $t_8 = 0,03$ мм, а для зубчатого колеса с модулем $m_n = 2,9$ мм — $t_1 = 2,0$ мм, $t_2 = 1,5$ мм, $t_{3,4} = 1,0$ мм, $t_{5,6} = 0,5$ мм, $t_7 = 0,1$ мм, $t_8 = 0,03$ мм. Скорость обката на всех проходах предварительного формообразования была одинаковой и составляла 3°/с. Правка круга выполнялась алмазным правящим роликом производства фирмы Dr. Kaiser Diamantwerkzeuge (Германия) на черновых проходах после обработки 13 зубьев с подачей ролика $S_{рол} = 0,1$ мм и скоростью перемещения $V_{рол} = 0,07$ мм/об. кр., а перед окончательным проходом правка выполнялась один раз с той же величиной подачи, но со скоростью перемещения ролика $V_{рол} = 0,03$ мм/об. кр.

Чистовое шлифование зубьев производилось после цементации и закалки на твердость поверхностного слоя 62...64 HRC также за 8 проходов со скоростью шлифовального круга 20 м/с и 27 м/с в зависимости от модели станка (см. выше). Первые пять проходов выполнялись с радиальной подачей круга, равной 0,1 мм, шестой проход с врезанием на величину 0,05 мм, а последние два прохода выхаживающие без подачи на врезание. Скорость обката на рабочих проходах была одинаковой и составляла 8°/с, на выхаживающих проходах — 5°/с.

При контроле точности и качества зубчатых колес, обработанных испытанными кругами, установлено полное соответствие всех параметров требованиям чертежа и технологии обработки зубчатого колеса со степенью точности 4. Шероховатость обработанных поверхностей зубьев не превышала допустимой величины $Ra = 0,8$ мкм. Прижогов и трещин травлением и магнитно-порошковым

контролем на них не выявлено. Аналогичные результаты ранее были получены только при использовании шлифовальных кругов фирмы Norton.

При профильном шлифовании зубчатых колес методом копирования на станке мод. P600G фирмы GLEASON-PFAUTER были испытаны высокопористые круги прямого и конического профиля с различными характеристиками. В качестве примера ниже приведены результаты испытаний кругов наиболее распространенных типоразмеров и характеристик среди используемого на заводе инструмента для зубошлифования.

Испытания круга 1350x25x127 с характеристикой 25A F80 H 12 V проводились при профильном шлифовании зубчатого колеса с модулем $m = 3$ мм и числом зубьев $z = 22$, изготовленного из стали марки 16X3HBFMB-Ш с цементированной и закаленной на твердость 60...62 HRC поверхностью. Обработка зубьев выполнялась за два черновых и два чистовых прохода с постоянной скоростью круга $V_k = 28$ м/с. При этом черновые проходы выполнялись по встречной схеме шлифования с глубиной врезания круга, равной 0,113 мм за проход со скоростью продольного перемещения $S_{np} = 2655$ мм/мин. Первый чистовой проход выполнялся также по встречной схеме с подачей на врезание, равной 0,03 мм и $S_{np} = 2700$ мм/мин, а за последний проход попутным шлифованием удаляли оставшийся припуск — 0,02 мм со скоростью перемещения круга $S_{np} = 1350$ мм/мин. Профилирование рабочей поверхности шлифовального круга на требуемый модуль и его периодическая правка перед началом шлифования зубчатого колеса и между черновым и чистовым циклами обработки осуществлялась алмазным роликом типа NC80 производства фирмы Dr. Kaiser Diamantwerkzeug (Германия) с радиусом при вершине режущей кромки $R = 1,0$ мм.

В процессе шлифования зубчатых колес фиксировали токовую нагрузку на приводе главного движения станка (% от мощности привода), а после шлифования на специальном измерительном центре фирмы KLINGELNBERG измеряли геометрическую точность профиля и шаговую погрешность зубьев, а с помощью профилометра-профилографа измеряли микронеровность обработанной поверхности с оценкой по величине параметра шероховатости Ra .

Токовая нагрузка на черновых проходах была зафиксирована в диапазоне от 10,5% в начале цикла обработки до 13,5% при обработке последней впадины. При этом ее максимальная величина не превышала значений, установленных ранее для шлифовальных кругов, используемых на этой операции.

По точности профиля, накопленной погрешности шага зубьев, а также по шероховатости поверхности обработанные зубчатые колеса полностью удовлетворяли требованиям чертежа.

Прижогов на шлифованных поверхностях зубьев методом травления не выявлено, а магнитопорошковый контроль показал также отсутствие на них шлифовочных трещин.

Производственные испытания партии шлифовальных кругов типоразмера 172,5x10x25 с характеристикой 25A F120 L 10 V проводились при формообразовании «по целому» зубчатого венца внутреннего зацепления с модулем $m = 1,25$ мм и числом зубьев $z = 118$, изготовленного из стали марки 20X3MBFA термообработанной на твердость 40,5...43 HRC.

Обработка всех зубьев велась с постоянной скоростью круга $V_k = 30$ м/с за три цикла, каждый из которых соответствовал одному полному обороту детали и состоял из 19 двойных ходов предварительного шлифования и 2-х проходов чистового шлифования. При этом предварительное шлифование выполнялось с глубиной врезания круга, равной 0,06 мм за проход со скоростью продольного перемещения $S_{np} = 2950$ мм/мин. Чистовые проходы выполнялись со скоростью перемещения круга 1350 мм/мин. Общая глубина врезания круга при профилировании зубчатого колеса составила 2,81 мм.

Профилирование рабочей поверхности шлифовального круга на требуемый модуль и его периодическая правка осуществлялась алмазным роликом типа NC80 производства фирмы Dr. Kaiser Diamantwerkzeug (Германия) с радиусом при вершине режущей кромки $R = 0,5$ мм. Правка круга на предварительных проходах выполнялась после шлифования 2-х впадин, а на чистовых проходах — через 23 зубчатых впадины.

После шлифования на специальном измерительном центре фирмы KLINGELNBERG контролировали геометрическую точность профиля и шаговую погрешность всех обработанных зубьев [7].

При контроле точности и шероховатости поверхности было установлено, что обработанное зубчатое колесо по измеренным параметрам полностью соответствовало требованиям чертежа: отклонение эвольвентного профиля зуба не превышало допустимую величину, равную 0,007 мм; максимальная накопленная погрешность шага составляла не более 0,024 мм; погрешность направления линии зуба была меньше допустимой величины 0,008 мм.

В процессе производственных испытаний прижогов и других дефектов шлифовочного характера на обработанных поверхностях зубчатого колеса не обнаружено.

Таким образом, в результате проведенных комплексных производственных испытаний новых высокопористых шлифовальных кругов установлено их полное соответствие требованиям заводской технологии шлифования зубчатых колес по производительности, точности и качеству обработки.

Высокопористые шлифовальные круги рекомендованы к использованию на операциях предварительного формообразования профильным и обкатным шлифованием зубчатых колес из сталей марок 16X3HBFMB-Ш, 20X3MBFA и их аналогов с твердостью 39...43 HRC, а также для чистового шлифования зубчатых колес после химико-термической обработки и закалки на твердость 62...64 HRC.

Шлифовальные круги разработанных характеристик и составов могут эффективно использоваться взамен аналогичного инструмента других зарубежных и отечественных фирм при зубошлифовании на станках мод. P600G фирмы GLEASON-PFAUTER, мод. 600PG

Phoenix фирмы Gleason и мод. G30 фирмы Klingelnberg-Oerlikon, а также аналогичных станках для зубошлифования по технологическим схемам копирования и периодического обката.

Литература:

1. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей. Производственно-практическое издание/Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежурин, В.С. Новиков, Н.М. Рыжов. М.: Высшая школа. 2001. 493 с.
2. Новая репрезентативная технология изготовления зубчатых колес и соединений. В.А. Поклад, В.С. Новиков, В.К. Старков, С.А. Рябцев // Технология машиностроения. 2004. №4. с. 14–20.
3. Greep-feed grinding: an overview of kinematics, parameters and effects on process efficiency/S.N. Grigoriev, V.K. Starkov, N.A. Gorin, P. Krajnik, J. Kopac // Strojniški vestnik — Journal of Mechanical Engineering. 2014. Volume: 60, Issue: 4. Pages: 213–220.
4. Старков, В.К. Шлифование высокопористыми кругами. — М.: Машиностроение, 2007. — 688 с.
5. Высокоструктурные шлифовальные круги и их эффективное применение/В.К. Старков, С.А. Рябцев, С.В. Костров, А.Н. Довгаль, Т.П. Бондарчук.; Под ред. В.К. Старкова — М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2013. — 213 с.
6. Starkov, V.K., Ryabtsev S.A., Polkanov E.G., Kiskin O.S. Comparative analysis of performance of cubic boron nitride and microcrystalline alumina tools in profile grinding of form cutters // Journal of Superhard Materials, 2014. Volume: 36. Issue: 1. Pages: 43–48.
7. Grigoriev, S. N., Teleshevskii V.I. Measurement problems in technological shaping processes // Measurement techniques 2011. Volume: 54, Issue: 7. Pages: 744–749.

Конечно-элементный анализ работоспособности упругих элементов с наносубструктурой и прогнозирование долговечности в условиях циклического нагружения

Шаврин Олег Иванович, доктор технических наук, профессор;
Скворцов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент;
Домнин Алексей Константинович, старший преподаватель
Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова

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, 2].

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, прохождении прутка через разделительное устройство, навивке нагретого прутка на оправку и последующей повитковой закалке с обязательной регламентированной последеформационной выдержкой. [3] Схема МДТМО представлена на рис. 1. Отдельные вопросы теплового состояния материала прутка в процессе термомеханической обработки рассмотрены ранее [4, 5].

Задачей конечно-элементного моделирования может быть изучение напряжено-деформированного состояния материала пружин при статическом и циклическом нагружении с целью выявления возможного повышения ресурса, в том числе и за счет изменения конструкции.

В таблице 1 представлены геометрические характеристики экспериментальных пружин. Материал пружин сталь 60С2ХФА.

Напряженное состояние пружин Экспериментальная 1 и Экспериментальная 2 при приложении статической силы F2 в приведено на рис. 2. Данные пружины могут работать в составе комплекта. Максимальным напряже-

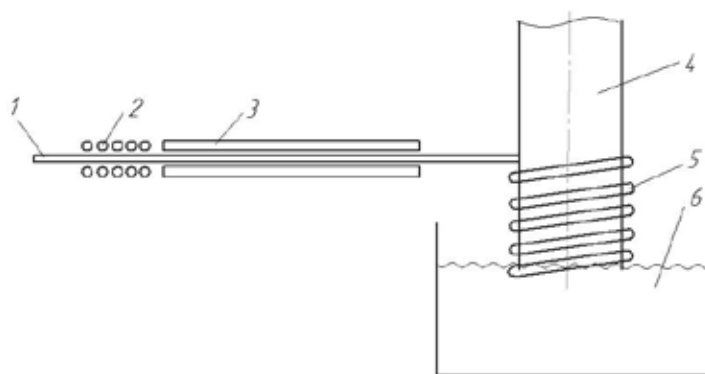
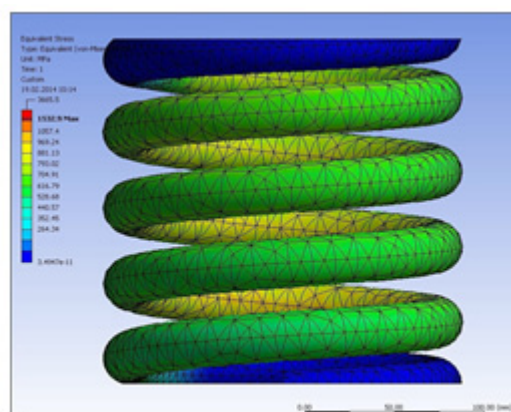


Рис. 1. Схема процесса: 1 — прутки; 2 — индуктор; 3 — разделительное устройство; 4 — оправка; 5 — пружина; 6 — закалочная ванна

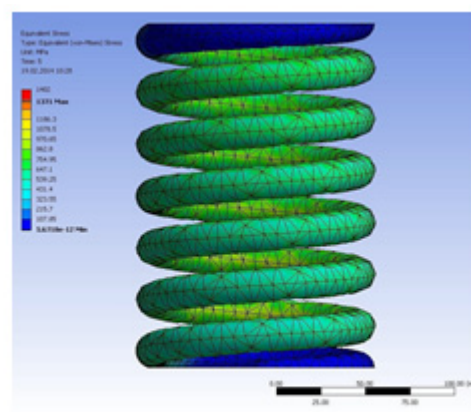
Таблица 1

Геометрические характеристики пружин

Наименование	D_0 , мм	d , мм	$n_{\text{раб}}$	t , мм	L_0 , мм	H_3 , мм	F_3 , Н	H_2 , мм	F_2 , Н
Экспериментальная 1	172	28	3,91	59	259	-	-	68	20810
Экспериментальная 2	115	19	6	40	259	-	-	68	9590
Экспериментальная 3	173	27	3,9	61,8	268	133	34480	73	19080
Экспериментальная 4	118	22	6,55	40,2	285	119	25600	107	23000



а



б

Рис. 2. Напряженное состояние пружин: а — Экспериментальная 1, б — Экспериментальная 2

ниям подвергается внутренняя поверхность витка и они составляют (эквивалентные напряжения по Мизесу) для Экспериментальная 1—1035 МПа, Экспериментальная 2—1098 МПа, что значительно ниже предела текучести для пружинной стали 60С2ХФА.

Для пружины Экспериментальная 3 проведено конечно-элементное моделирование напряженного состояния для двух вариантов технологии изготовления: МДТМО и горячей навивки, в качестве управляемого параметра принята предельная нагрузка F3 (таблица 1), обеспечивающая соприкосновение витков. Первый вариант технологии обеспечивает более высокий уровень прочностных характеристик и как показывают результаты усталостных испытаний пружин большую долговечность и более высокий уровень разрушающих напряжений.

Условия моделирования: на нижний торец пружин наложено ограничение по перемещению (все перемещения запрещены). К верхнему торцу пружин приложена нагрузка через плиту, принимаемую как абсолютно

жесткое тело, которое может перемещаться только в осевом направлении, обеспечивая осесимметричное нагружение пружины. Распределение напряжений (von Mises) в теле пружины при приложении силы F3 приведено на рис. 3.

Максимальные напряжения находятся на внутренней поверхности витка и составляют в среднем по внутренней образующей рабочих витков 1470 МПа. При принятом $\sigma_t = 1500$ МПа для стали 60С2ХФА после МДТМО и отпуски пластические деформации в поперечном сечении витка отсутствуют.

Для сравнения нагрузочной способности пружин выполненных по технологии горячей навивки и МДТМО на рис. 4 приведена диаграмма усилие-перемещение. Можно отметить отклонение от линейной зависимости для пружины выполненной по технологии горячей навивки, материал которой обладает $\sigma_t = 1375$ МПа.

Для определения возможности повышения долговечности и на основании усталостных диаграмм [2] проведем анализ в ANSYS приняв условия нагружения: от-

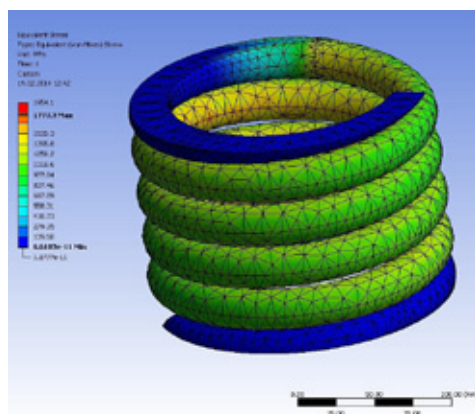


Рис. 3. Напряженное состояние пружины Экспериментальная 3 при нагружении силой F3

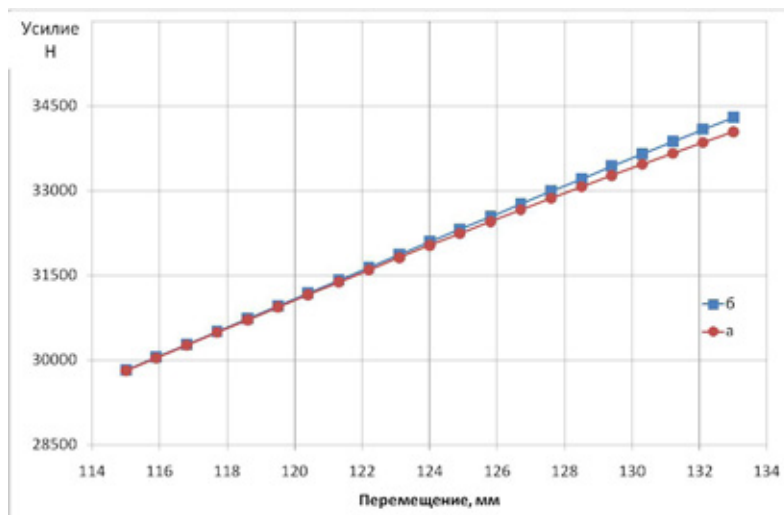


Рис. 4. Диаграмма усилие – перемещение пружин: а – после горячей навивки, б – после МДТМО

нулевой цикл, максимальная статическая нагрузка F2 (таб. 1).

Результаты моделирования по модели усталостной долговечности пакета ANSYS эквивалентных напряжений приведены на рис. 5, а долговечности (число циклов до разрушения) на рис. 6.

Из полученных результатов моделирования следует, что если по характеру напряженного состояния пружины после горячей навивки и МДТМО отличаются незначительно, то по числу циклов до разрушения пружины отличаются принципиально. После горячей навивки практически все сечение витка пружины не обладает необходимым ресурсом, после МДТМО большая часть материала витка пружины работоспособна. Это позволяет предположить, что можно при использовании МДТМО изменить конструкцию пружин (уменьшить диаметр

прутка, увеличить шаг), снизив массу пружины, но сохраняя ее работоспособность.

Для проверки результатов конечно-элементного моделирования при статическом нагружении была получена экспериментальная диаграмма сила-перемещение. Испытывали 4 пружины Экспериментальная 4. На рис. 7 приведены результаты испытаний и результаты конечно-элементного моделирования нагружения пружин до максимальной деформации $L_2 = 178$ мм. При моделировании сила F3 принималась равной 23 кН.

Видно, что сходимость результатов исследований и моделирования высокая, отличие появляется при деформации, составляющей 95% от максимального перемещения, что объясняется увеличением жесткости пружины из-за частичного соприкосновения рабочих и опорных витков.

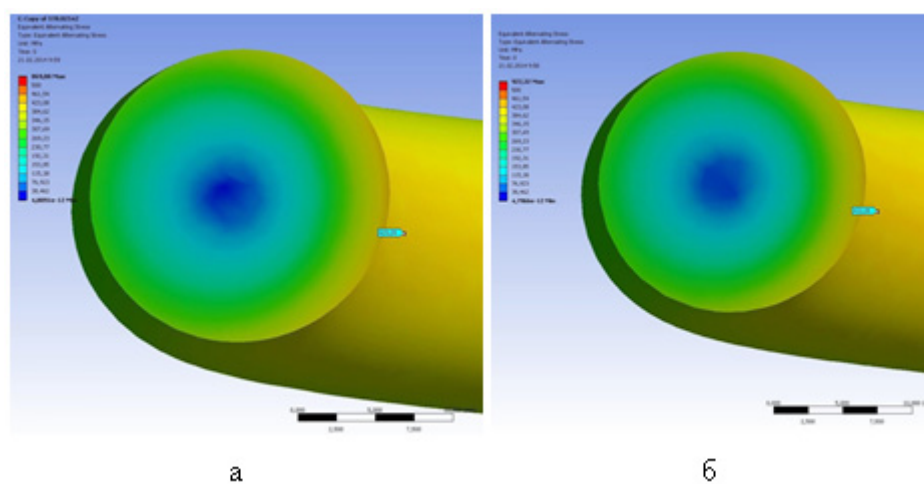


Рис. 5 Распределение эквивалентных напряжений по сечению рабочего витка пружины: а – пружина после горячей навивки, б – пружина после МДТМО

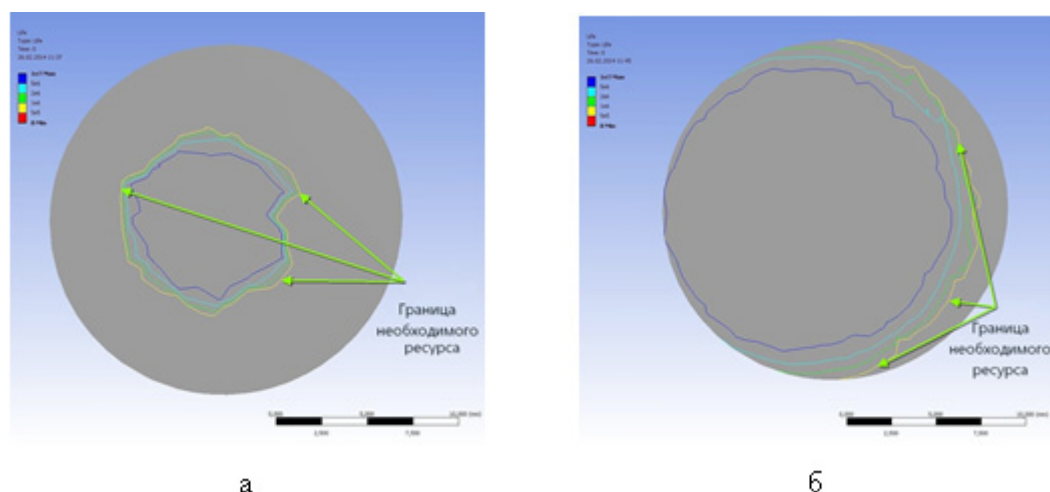


Рис. 6 Число циклов до разрушения рабочего витка пружины: а – пружина после горячей навивки, б – пружина после МДТМО

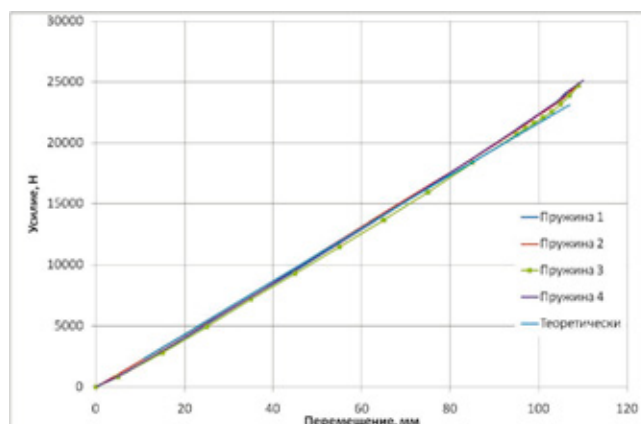


Рис. 7. Диаграмма «усилие-перемещение» для пружины Экспериментальная 4

Из приведенных данных можно сделать вывод:

1. Пружины после МДТМО имеют значительно более высокие эксплуатационные характеристики.

2. Уровень эксплуатационных характеристик пружин после МДТМО позволяет создавать конструкции винтовых пружин нового поколения с уменьшенной массой.

Литература:

1. Шаврин, О. И. Формирование наноразмерной субструктуры в материале деталей машин. Вестник ИжГТУ № 1, 2011 г. с. 4–7.
2. Шаврин, О. И. Высокопрочные пружины для подвижного состава железнодорожных дорог. «Промышленный транспорт XXI век» № 3, 2012 с. 16–18.
3. Шаврин, О. И., Скворцов А. Н. Исследование тепловых полей при малодеформационной термомеханической обработке //Интеллектуальные системы в производстве», 2013, № 2, с. 119–122.
4. 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.
5. Скворцов, А. Н., Шаврин О. И., Маслов Л. Н. и др. Обеспечение температурных параметров заготовок при индукционном нагреве под деформацию и отпуск. //Вестник ИжГТУ, — № 4. 2005. — Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2005. — с. 34–38.

8. СТРОИТЕЛЬСТВО

Переработка и утилизация строительных отходов для получения эффективных зеленых композитов

Аксенова Людмила Леонидовна, кандидат технических наук, доцент;

Бугаенко Людмила Витальевна, магистрант;

Хлебенских Сергей Николаевич, магистрант

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова (г. Белгород)

Производство эффективных зеленых композитов с использованием доступного, недорогого и зачастую невостребованного сырья, к которому, помимо природных ресурсов, также можно отнести отходы производственных предприятий, техногенное сырье в виде отходов строительства и сноса зданий и сооружений, сегодня является одной из важнейших проблем строительной индустрии.

Промышленность строительных материалов является основной частью строительной индустрии, которая выступает наиболее материалоемкой отраслью промышленности.

Под материалоемкостью понимается отношение количества или стоимости израсходованных на производство продукции материальных ресурсов к общему объему продукции. Поскольку подавляющее большинство минеральных техногенных и органических отходов по своему химическому составу и техническим свойствам сходны с природным сырьем, а зачастую имеют и ряд преимуществ (предварительная термическая обработка и прочее), внедрение в производстве техногенных отходов является одним из основных направлений снижения материалоемкости производства.

В то же время снижение объемов разрабатываемого природного сырья и утилизация отходов имеет существенное эколого-экономическое значение. В некоторых случаях применение сырья из отвалов промышленных предприятий практически полностью удовлетворяет потребности отрасли в природных ресурсах.

Целесообразное применение минеральных ресурсов и их отходов — одно из главных направлений защиты окружающей среды.

При изучении рационального использования минеральных ресурсов и охраны окружающей среды как единой проблемы следует охрану природы рассматривать с точки зрения сохранения необходимой ее «производительности» в процессе длительного использования для жизни и деятельности настоящего и будущих поколений. Такое исследование указанной проблемы открывает возможности конструктивного подхода к оценке эффективности выбора оптимальных форм организации

использования попутно добываемых минеральных ресурсов и продуктов переработки полезных ископаемых в органической связи с эффективностью мер по охране окружающей среды.

Утилизации строительных отходов базируется на двух понятиях: demolition (снос) и recycling (переработка).

Научные исследования, проводимые на территории Европы, убедительно доказывают, что строительный мусор составляет почти треть всех отходов, образующихся в большинстве развитых стран. Общая тенденция заключается в следующем: «чем более развита экономика страны, тем больше доля строительного мусора в общей структуре отходов» [2 с. 14].

В Германии и Нидерландах такая доля составляет 55 %, во Франции на нее приходится 70 %, а в самой богатой по доходам на душу населения европейской стране — Люксембурге — этот показатель достигает 90 %.

Однако, несмотря на столь убедительные доказательства, строительный мусор формируется во всех странах мира, и о жестком соответствии между доходами населения и количеством отходов говорить нельзя. Что касается богатых стран, то здесь чем выше уровень доходов, тем больше возможностей нового строительства зданий и сооружений, в ходе которого и образуется большое количество строительного мусора. Если говорить о бедных странах, то ученые говорят о том, что искажение ситуации вероятнее всего происходит по причине недостаточного контроля, либо ввиду отсутствия нормативной базы по классификации отходов.

Несмотря на разницу в подходах к оценке и различиях в уровне развития европейских стран общая тенденция отчетливо ясна — количество строительных отходов в Европе непрерывно растет. Это касается и России, особенно экономически развитых регионов. В Москве и Санкт-Петербурге возросла потребность в свободных площадках под застройку. Это связано с увеличением темпов роста строительного рынка. Так, один из вариантов решения сложившейся проблемы — это высвобождение площадей за счет сноса старых сооружений и зданий. И все это не обходится без образования большого количества

строительного мусора, требующего оптимальной утилизации. Снижение этой опасной тенденции считают важнейшей задачей в области охраны окружающей среды в Европе.

В соответствие с принятой в Европе в 2008 году Рамочной директивой об отходах главный способ борьбы с увеличением количества строительных отходов — их переработка для дальнейшего использования. К 2020 году в Европе повторно должно использоваться как минимум 70 % строительного мусора. На сегодняшний день данная цифра не превышает и 45 %. Тем не менее, уже сейчас в ряде стран переработка строительного мусора превышает 90 %. К таким странам относятся: Дания, Нидерланды, Швеция и Германия — страна, являющаяся мировым лидером по объемам переработки отходов и использования их в качестве вторсырья.

В Европе система переработки строительных отходов сформировалась более 20 лет назад. В настоящее время можно говорить о целой индустрии рециклинга. В экономически развитых странах законодательно закреплено, что образующийся строительный мусор нельзя захоранивать. Различные виды строительных отходов необходимо разделять на разные фракции и подвергать максимальной переработке. При условии, что образование несанкционированных свалок жестко пресекается, а вывозить отходы на полигоны либо очень дорого, либо просто запрещено, переработка становится не просто экологически выгодной, но и экономически эффективной.

Переработка отходов необычайно важна не только как способ утилизации мусора, но и для сохранения благоприятной экологической обстановки. С экологической точки зрения плюсы переработки техногенных отходов очевидны. Во-первых, переработка приводит к снижению количества полигонов захоронения отходов. Во-вторых, применение вторичного сырья позволяет значительно сократить добычу природных ресурсов, что, несомненно, благотворно сказывается на состоянии окружающей среды.

Переработка строительных отходов — это не только работа о нашей природе, но и отличное направление для инвестиций. Экономическая выгода достигается за счет того, что техногенным отходам дается вторая жизнь. Её конечный результат — получение качественных материалов, пригодных для дальнейшего использования, которые значительно дешевле первичных.

В 1976 году в Европейском союзе была образована Европейская Ассоциация по Сносу зданий, объединившая более 60 фирм из 18 стран мира. Своими основными целями Ассоциация видит:

- 1) обмен опытом в области сноса строений и переработки техногенного мусора;
- 2) донесение проблем и возможностей технологии переработки до правительств и общественности.

Данное объединение призвано регулировать снос непригодных построек и дальнейшую утилизацию их составных элементов.

По данным Ассоциации во всех странах образуется не менее 2,5 млрд. тонн строительных отходов. Из них в Европе — более 180 млн. т. Такое огромное количество строительных отходов просто некуда складировать на территории по площади небольшой Европы, не говоря уже о том, что такой способ утилизации экономически убыточен и причиняет вред природе, а жители этой части света не считают возможным «выкидывать деньги на ветер» [2, с. 14].

В основе современного немецкого законодательства по отходам лежит четкая последовательность приоритетов, первоочередное значение в которой при обращении с мусором имеет его материальное применение. Лишь после исчерпания данной возможности следует стремиться к энергетическому использованию, а захоронение на специальных полигонах — это самый последний способ надежного устранения отходов. К слову, в Германии существуют крупные перерабатывающие строительные отходы комплексы, и в одном только Берлине их более 20. В Великобритании же с целью сохранения природных ресурсов и стимулирования рециклинга введен налог на применение каждой тонны природного заполнителя («первичного сырья») в размере 1,6 фунта стерлингов. В Нидерландах более второе десятилетие действует закон, который запрещает свозить на полигоны техногенные отходы, возможные к переработке.

В Российской Федерации в настоящее время перерабатывается лишь 5–10 % отходов строительства и сноса, причем переработке подвергается в основном лом железобетона и кирпича, поскольку их переработка одна из самых простых и не требует сложных производственных процессов. Сегодня никаким образом не решается задача утилизации других видов строительных отходов — стеклобоя, линолеума, битумных покрытий, пластмассы, санстройкерамики, древесины, пластмассы.

Первые российские города, которые озаботились проблемой утилизации строительного мусора — Москва и Санкт-Петербург. В их законодательстве есть требование по обязательному составлению технологических регламентов по обращению со строительными отходами, которые предусматривают максимальную переработку образующихся отходов. Благие намерения натываются на отсутствие перерабатывающих комплексов большинства строительных отходов и несовершенство нормативной базы, препятствующее легитимной переработке и получению соответствующих справок для государственных органов защиты окружающей среды.

Продукты переработки отходов строительства и сноса зданий и сооружений представляют собой вторичный щебень и отсеvy дробления с соотношением около 70 и 30 % соответственно. Щебень, по сравнению с отсеvами дробления, которые из-за повышенного содержания в их составах пылевидной фракции мало используется в строительстве, применяется в качестве подсыпки для автомобильных дорог, а также как крупный заполнитель в обычных бетонах.

Помимо отходов строительства и сноса общий объем отсеков дробления горных пород, образующихся ежегодно по всей стране на предприятиях по производству щебня, составляет в настоящее время до 50 млн. м³. Только в одной Чеченской Республике на предприятиях ГУП «Чеченкарьеруправление» Департамента автомобильных дорог ЧР «Государственный унитарный комбинат дорожно-строительных материалов» ежегодно перерабатывается более 1 млн. м³ горной породы в год с образованием до 300 тыс. м³ отходов камнедробления [3, с. 7].

Перспектива вторичного использования отсеков камнедробления связана с тем, что при существующих технологиях процесс дробления и измельчения занимает около 50 % всех затрат, в-первую очередь энергетических.

Вторичное сырье в нашей стране мало используется потому, что не до конца изучены их составы и свойства, но в последнее время производство вторичных материалов растет и набирает темпы, и они становятся серьезной альтернативой традиционным стройматериалам.

Использование отсеков дробления бетонного лома и горных пород в производстве эффективных зеленых композитов позволит при минимальных дополнительных затратах увеличить объем производства продукции более чем на 10 %, а также оздоровить среду обитания и освободить площади сельскохозяйственных земель.

Масштабная утилизация отходов в промышленном производстве требует решения ряда организационных и научно-технических задач. В связи с чем, появляется необходимость региональной каталогизации отходов с указанием их полной характеристики. В будущем также будет требоваться развитие стандартизации отходов как сырьевых ресурсов в производстве конкретных строительных материалов. Объемы утилизации промышленных отходов и отходов городского хозяйства постепенно увеличиваются по мере внедрения комплекса технических мер по стабилизации их состава, повышению степени технологической подготовки.

Литература:

1. Аксенова, Л.Л. Использование отходов предприятий черной и цветной металлургии в строительной индустрии/Л.Л. Аксенова, Л.В. Бугаенко // Технические науки в России и за рубежом: материалы III Междунар. науч. конф., г. Москва, июль 2014 г. — М.: Буки-Веди, 2014. — с. 106—108.
2. Гиева, А. Уроки запада/А. Гиева // Корпоративное издание «Все с размахом», 2013. — № 5 (19). — с. 14—15.
3. Лесовик, В.С. Строительные композиты на основе отсеков дробления бетонного лома и горных пород/В.С. Лесовик, С.-А.Ю. Муртазаев, М.С. Сайдумов. — Грозный, МУП «Типография», 2012. — 192 с.

9. ТРАНСПОРТ

Значимость и методы диагностики психологических качеств будущих водителей пассажирского автотранспорта на этапе профессионального отбора

Смирнова Светлана Викторовна, кандидат технических наук, доцент;

Долгов Кирилл Олегович, кандидат технических наук, доцент;

Дятлов Максим Николаевич, старший преподаватель;

Родин Евгений Евгеньевич, студент

Волгоградский государственный технический университет

Есть категория людей, у которых как положительные, так и отрицательные эмоции протекают очень бурно. Сильное нервное возбуждение у таких людей возникает даже по незначительному поводу, очень быстро, что нередко приводит к неадекватным действиям и поступкам. Таких людей называют неуравновешенными или эмоционально неустойчивыми. Установлено, что водители, которые из-за эмоциональной неустойчивости совершают неблагоприятные поступки в личной жизни, чаще являются нарушителями Правил дорожного движения и участниками ДТП. Людей эмоционально неуравновешенных не принимают в авиационные училища — они отсеиваются при поступлении, не выдержав проверки методами психофизиологического отбора. Не допускаются они и к работе машинистами на железнодорожном транспорте. Однако за рулем автомобиля таких людей можно встретить нередко. Это создает серьезную угрозу для безопасности дорожного движения [1, с. 95].

Все чаще на дорогах России встречаются водители с буйными темпераментами, которые часто превышают разрешенную скорость и совершают много неоправданных опасных маневров. Недисциплинированными обычно бывают люди морально неустойчивые, легкомысленные, излишне самоуверенные, эгоистичные.

Необходимо также учитывать, что неблагоприятные для деятельности водителя психологические качества в сложной дорожной обстановке могут привести к неадекватным действиям со стороны водителя: ошибкам, панике, бездействию и еще больше усугубить опасную ситуацию.

Аварийные ситуации на дорогах могут возникать вследствие недостаточной подготовленности водителя, из-за ограниченных или сниженных психофизиологических качеств.

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 [2, с. 10].

Для того чтобы работать водителем автобуса необходимо иметь водительские права категории «D». К обучению на данную водительскую категорию допускаются молодые люди, достигшие двадцатилетнего возраста.

Обучение вождению автомобиля по категории «D» может проводить любое учреждение, имеющее соответствующую государственную лицензию.

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.

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 [3].

Отклонения в ту или другую сторону от оптимального психического состояния (возбуждение или, напротив, депрессия) затрудняют процесс восприятия и переработки информации и тем самым увеличивают вероятность ошибочных действий водителя. Именно поэтому психические особенности водителя имеют большое значение для производительной работы и безопасности дорожного движения.

Задача психологического отбора — определение людей, индивидуально-психологические особенности которых соответствуют требованиям, предъявляемым спецификой деятельности по конкретной специальности.

Традиционный способ решения задачи психологического отбора состоит в построении психогаммы профессии, то есть в выявлении профессионально важных качеств, необходимых для эффективной деятельности, и диагностики уровня развития этих свойств у претендентов [4, с. 54].

Лучшими для профессии водителя являются флегматический и сангвинический типы [5, с. 165]. Хотя с этим высказыванием можно и поспорить.

Для определения индивидуально-психологических характеристик личности, являющимися предпочтительными для успешной деятельности водителя пассажирского транспорта, был проведен сравнительный анализ психологических черт студентов Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ) имеющих права на вождение легковых автомобилей.

В рамках исследования все респонденты (более 60 человек) прошли тест Айзенка, Белова и Кеттелла.

Тест Айзенка включает 57 вопросов.

Анализ темпераментов исследуемой группы показывает:

1. Возможны 4 варианта темпераментов (сангвиники, меланхолики, флегматики, холерики).
2. Результатом анализа теста Айзенка являются цифровые показатели шкалы экстраверсии (Э) и шкалы неустойчивости (Н) — от 0 до 24 баллов.
3. Тип темперамента определяется с большой вероятностью за счет достаточно большого количества вопросов.
4. В тесте Айзенка два варианта ответа (да, нет).
5. Этот тест позволяет определять промежуточный тип темперамента, который характеризуется точкой в системе координат плоскости (Э, Н).
6. Тест предоставляет возможность выбора личности из группы, имеющий один вариант темперамента.
7. Результат теста Айзенка может быть наглядно показан в виде графического «профиля личности» — круга Айзенка.
8. Учитывая двойную систему координат (Э — Н) тест не позволяет делать более сложные прогнозы. Например, не учитывается пол, уровень образования, временной

фактор, возраст и т.д. Для решения этих проблем графическая система координат должна быть более сложной.

В рамках исследования все респонденты прошли тест Белова. Этот тест включает 160 вопросов.

Анализ темпераментов исследуемой группы показывает:

1. Возможны четыре варианта темпераментов (сангвиники, меланхолики, флегматики, холерики).
2. Для каждого типа темперамента одна форма характеристики, независимо от возраста и пола.
3. Тип темперамента определяется с большой вероятностью за счет большого количества вопросов.
4. В тесте Белова два варианта ответа (да, нет).
5. Этот тест не позволяет определить промежуточные типы темпераментов. И не позволяет определять выраженность отдельных психологических факторов.
6. В случае необходимости выбора личности из группы, имеющий один вариант темперамента, тест не работает.

В рамках исследования все респонденты прошли тест Кеттелла.

Личностный опросник в предлагаемом варианте (форма С) содержит 105 положений, касающихся различных свойства личности, установок и интересов, и предназначен для людей от 18 лет и старше без ограничений по образовательным, социальным и профессиональным признакам [6, с. 137–138].

На рисунке 1 (а, б, в, г) представлены диаграммы по психологическим факторам для четырех испытуемых, выбранных в качестве примера.

Для определения прогноза успешности овладения профессией водителя пассажирского транспорта особое вни-

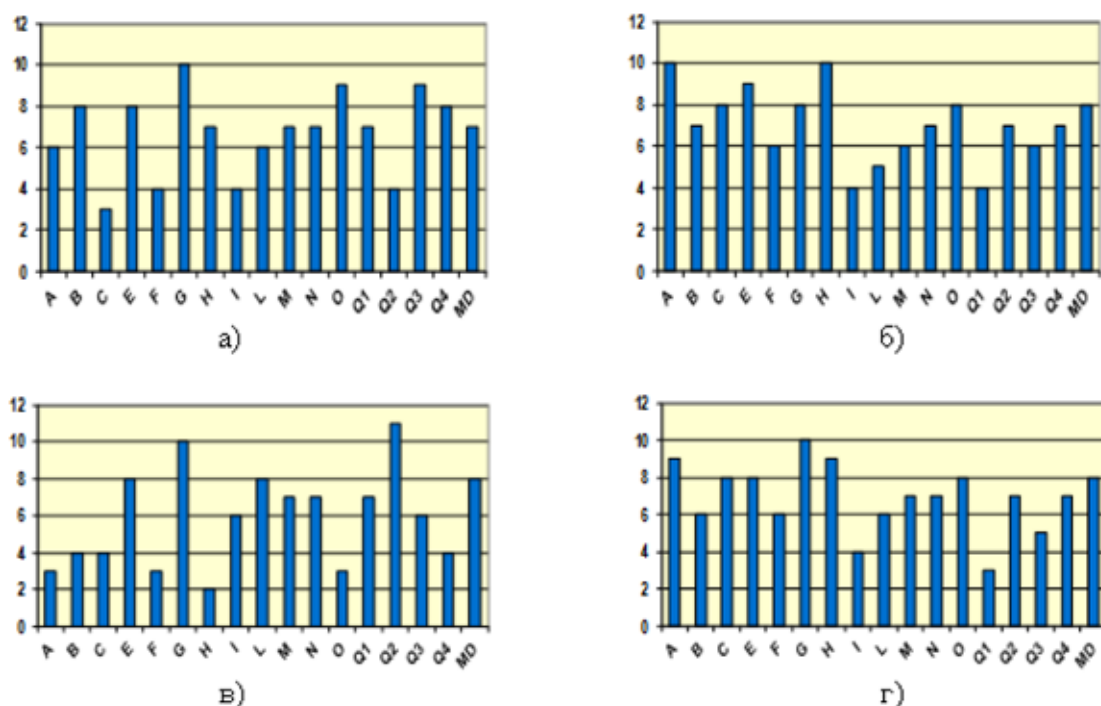


Рис. 1. Диаграммы по психологическим факторам респондентов по результатам личностного опросника Кеттелла; а — респондент №1, б — респондент №2, в — респондент №3, г — респондент №4

Таблица 1

Результаты психодиагностических тестов на примере четырех респондентов

Порядковый номер, имя и отчество респондента	Водительские права, категория	Тест Азенка	Тест Белова	Результаты теста Кеттелла				
				Факторы важных личностных качеств водителя				
				«А»	«С»	«О»	«Q ₃ »	«Q ₄ »
Ринат Мнирович	«В»	Меланхолик	Меланхолик	6	3	9	9	8
Антон Александрович	«В»	Холерик	Холерик	10	8	8	6	7
Виктор Алексеевич	«В»	Флегматик	Флегматик	3	4	3	6	4
Александр Евгеньевич	«В»	Сангвиник	Сангвиник	9	8	8	5	7

мание уделялось факторам «А», «С», «О», «Q₃», «Q₄». Эти факторы были выделены как наиболее важные при опросе водителей со стажем более 10 лет.

Фактор «А» определяет «Общительность — замкнутость». Высокая оценка (9–12 баллов) характеризует готовность к сотрудничеству, естественность в обращении, внимательность к людям, доброту, уживчивость.

Фактор «С» определяет эмоциональную устойчивость. Высокая оценка (9–12 баллов) определяет стабильность в поведении, в эмоциях, реалистичность, спокойствие, уживчивость в группе и не боязнь сложных ситуаций.

Фактор «О» определяет «Тревожность — спокойствие». Высокая оценка (8 баллов и выше) определяет излишнее беспокойство, волнение, частые плохие предчувствия, неуверенность.

Фактор «Q₃» определяет «Высокий самоконтроль — низкий самоконтроль». Высокая оценка (10 и более баллов) определяет дисциплинированность, точность в выполнении социальных требований, хороший контроль за своими эмоциями.

Фактор «Q₄» «Напряженность — релаксация». 10 и более баллов — возбужденность, взволнованность, раздражительность, нетерпеливость, избыток побуждений не находящий разрядки [7, с. 148–151].

В таблице 1 представлены, в качестве примера, результаты психодиагностических тестов четырех респондентов.

По результатам трех тестов было определено, что среди тестируемых студентов (более 60 человек) преобладают типы темпераментов сангвиник и флегматик и индивидуально-психологические характеристики большей части респондентов не являются в полной мере предпочтительными для успешной деятельности водителя пассажирского транспорта.

На этапе психологического отбора необходимо знать перечень профессионально важных качеств для данной специальности и определить необходимые психодиагностические методики для оценки претендента на соответствие его данной профессии.

Проанализировав литературные источники и нормативные документы, можно сделать вывод, что подавляющее большинство психогрaмм, рассматривают водительскую профессию в целом, не выделяя специальности.

Разработка и внедрение технологий психологического отбора водителей пассажирского автотранспорта, с нашей точки зрения, является необходимой составляющей профессионального отбора. Так как обеспечить высокое качество и безопасность пассажирских автобусных перевозок смогут только высококлассные водители, обладающие необходимыми для данной профессии и специальности психологическими качествами.

Литература:

1. Романов, А. Н. Автотранспортная психология/А. Н. Романов. — М.: Академия, 2002. — 224 с.
2. Гуревич, К. М. Профессиональная пригодность и основные свойства нервной системы. — М.: Наука, 1970. — 272 с.
3. 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.
4. Фрумкин, А. А. Психологический отбор в профессиональной и образовательной деятельности. — СПб.: Издательство «Речь», 2004. — 210 с.: ил. — (Практикум по психодиагностике).
5. Аземша, С. А. Обеспечение безопасности дорожного движения и перевозок: Учеб. пособие/С. А. Аземша, В. А. Марковцев, Д. В. Рожанский; М-во образования Респ. Беларусь, Беларус. гос. ун-т трансп. — Гомель: БелГУТ, 2011. — 259 с.
6. Истратова, О. Н. Психодиагностика: коллекция лучших тестов/О. Н. Истратова, Т. В. Эксакусто. — Изд. 9-е. — Ростов н/Д: Феникс, 2013. — 375, [1] с.: ил. — (Психологический практикум).
7. Серова, Л. К. Профессиональный отбор в спорте. — М.: Человек, 2011. — 160 с., ил.

Анализ надежности Центра системы управления движением судов на примере порта Новороссийск

Тюфанова Анастасия Александровна, кандидат технических наук, старший преподаватель
Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

В статье рассмотрен процесс функционирования системы управления движением судов. Для анализа надежности Центра системы управления движением судов использована математическая модель многоканальной системы массового обслуживания с отказами. В результате сделан вывод о том, что работу Центра системы управления движением судов можно рассматривать как диспетчерский пункт.

Ключевые слова: надежность, система управления движением судов, многоканальная система массового обслуживания, безотказная работа.

The analysis of reliability of the Center of Vessels Traffic Service for example of port Novorossiysk

Tyufanova A.A.

Federal State-Financed Educational Institution of Higher Professional Education Admiral Ushakov maritime state university, Novorossiysk, Russia

In clause process of functioning of Vessels Traffic Service (VTS) is considered. It is drawn a conclusion that at the analysis of reliability Center of Vessels Traffic Service its work can be considered as a control office consisting of operator VTS and the local computer network, including: the central computer, the equipment of data input in the central computer, switchboards and display units. The analysis of reliability of the Center Vessels Traffic Service with use as mathematical model of multichannel system of mass service with refusals is lead.

Keywords: reliability, Vessels Traffic Service, multichannel system of mass service, non-failure operation.

Для организации повседневной деятельности, эксплуатации технических средств, а также для размещения оборудования и персонала в составе системы управления движением судов (СУДС) созданы Центр СУДС (ЦСУДС) и информационные радиотехнические посты (РТП). РТП обеспечивают ЦСУДС информацией о навигационной обстановке в районе действия системы. ЦСУДС осуществляет обработку, хранение информации, взаимодействие СУДС с судами и организует деятельность операторов СУДС. Непрерывная круглосуточная деятельность системы обеспечивается сменно-вахтенной работой персонала. Каждую смену возглавляет начальник смены, руководящий деятельностью операторов СУДС, инженерно-технического и вспомогательного персонала, входящих в состав смены [1, с. 12].

В процессе функционирования СУДС береговые радиолокационные станции просматривают пространство в районе действия и обнаруживают суда, находящиеся в ней. Отраженные от судов радиолокационные сигналы расшифровываются, очищаются от помех и проходят предварительную обработку в аппаратуре съема данных. Далее эти данные преобразуются в такую форму, в которой они могут быть введены в вычислительное устройство (радар-процессор). Вычислительное устройство проводит обработки радиолокационной информации — первичную (определение координат точек локации) и вторичную (построение трасс движения судов) [2, с. 45].

При помощи средств голосовой ОВЧ связи с судном устанавливается двусторонняя связь. Сведения, поступающие с борта судов, позволяют выделить суда, направляющиеся в данный порт, и отсеять суда, следующие в другие порты. Дальнейшей обработке подвергается информация лишь о тех судах, которые направляются в данный порт. После дополнительной обработки эта информация через аппаратуру ввода данных передается в ЦСУДС. Связь с судами, следующими в другие порты, поддерживается только для передачи им метеорологических и гидрологических данных, сведений о радиомаяках и т.д.

Таким образом, центральное вычислительное устройство ЦСУДС поступает радиолокационная информация обо всех судах находящихся в районе действия. Центральное вычислительное устройство выполняет дополнительную обработку этой информации (интегрирование с данными автоматической идентификационной системы). Здесь решается задача анализа собранных данных и определения порядка обслуживания судов. В первую очередь определяется маршрут следования каждого судна, выделяется соответствующее место якорной стоянки и начинается радиолокационный контроль проводки судна. В этом случае СУДС может осуществлять несколько функций:

1) контроль за движением судна, при которой ЦСУДС передает на контролируемые суда информацию, предупреждения о развитии опасных ситуаций, а также рекомендации по их предотвращению;

2) помощь в судовождении, оказываемая по запросу судна или по решению ЦСУДС, преимущественно в сложных гидрометеорологических условиях, при выходе из строя или отсутствии на судне приборов, обеспечивающих безопасное движение судна, путем регулярной передачи Центром следующей информации: позиции судна по отношению к навигационному ориентиру, фарватеру и путевым точкам; путевого угла и путевой скорости судна; положений и намерений других судов; рекомендации по изменению курса и скорости [1, с. 16].

Следовательно, при анализе надежности ЦСУДС его работу можно рассматривать как диспетчерский пункт, состоящий из оператора СУДС и локальной вычислительной сети, включающей в себя: центральное вычислительное устройство, аппаратуру ввода данных в центральное вычислительное устройство, коммутаторы и устройства отображения информации. ЦСУДС представляет собой обслуживающий орган, предназначенный для оперирования над интенсивными потоками информации и структура которого приспособлена к выполнению специальных мероприятий, направленных на оптимальный сбор, хранение, переработку и выдачу больших массивов информации. Поток заявок ЦСУДС — суда, прибывающие в порт. Оператор может обслуживать несколько судов одновременно. Промежутки времени между заходами судов являются случайными. Возможен случай отказа ЦСУДС в заходе судна в порт с отправлением его в зону ожидания (на рейд). Это объясняется единственной причиной — гидрометеорологическими условиями («бора» и южный ветер). Поэтому ЦСУДС представляет собой многоканальную систему массового обслуживания (СМО) с отказами. Предположим, что интенсивность потока судов в районе действия СУДС Новороссийск есть величина постоянная и равная 2 судна в час, т.е. $\lambda = 2 \text{ час}^{-1}$, интенсивность обслуживания судна диспетчером равна $\mu = 4 \text{ час}^{-1}$. Так как интенсивность обслуживания $\mu > \lambda$, то обслуживание судов было бы абсолютно надежным, если не существовала бы причина для отказа в принятии судна. Определим показатели надежности ЦСУДС: вероятность безотказной работы ($P_c(t)$); среднее время безотказной работы (T_1); функцию готовности ($K_r(t)$); коэффициент готовности (K_r); наработку на отказ (T) — в условиях случайности потока судов

Аналогом функционирования многоканальной СМО с отказами является восстанавливаемая система с резервированием по методу замещения с кратностью, равной числу n одновременно обслуживаемых заявок (рисунок 1, А) и Б)).

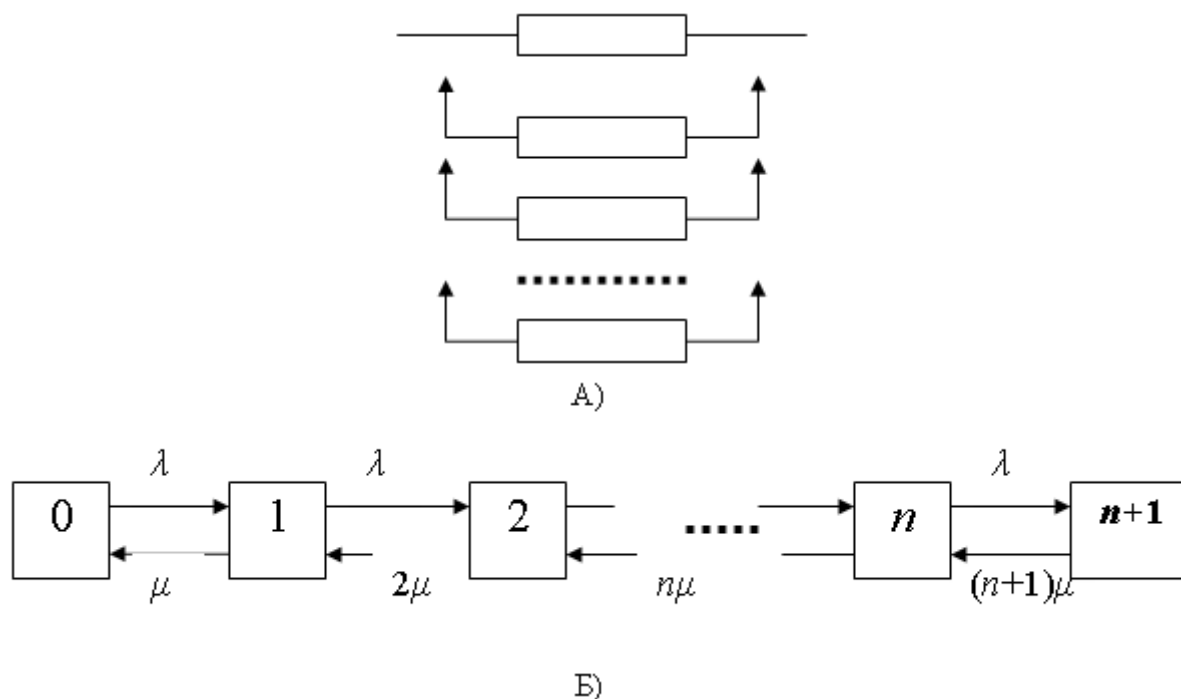


Рис. 1. Структурная схема (А) и граф состояний (Б) системы. λ — интенсивность отказов нерезервированной системы; μ — интенсивность восстановления; n — кратность резервирования, равная числу резервных элементов

Математическая модель функционирования СМО с отказами представим системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
\frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda \cdot P_0(t) + \mu \cdot P_1(t); \\
\frac{dP_i(t)}{dt} &= \lambda \cdot P_{i-1}(t) - (\lambda + i \cdot \mu) \cdot P_i(t) + (i+1) \cdot \mu \cdot P_{i+1}(t), i=1, 2, \dots, n-2; \\
\frac{dP_{n-1}(t)}{dt} &= \lambda \cdot P_{n-2}(t) - (\lambda + (n-1) \cdot \mu) \cdot P_{n-1}(t); \\
\frac{dP_n(t)}{dt} &= \lambda \cdot P_{n-1}(t),
\end{aligned} \tag{1}$$

где $P_0(t)$ — вероятность того, что в момент t система находится в состоянии обслуживания заявок; $P_i(t)$, $i=1, 2, \dots, n-1$ — вероятность того, что в момент времени t система находится в состоянии обслуживания i заявок; $P_n(t)$ — вероятность того, что в момент t система находится в отказовом состоянии, т. е. на обслуживании находится предельное число заявок и очередной заявке будет отказано в обслуживании. $P_n(t)$ является вероятностью отказа системы в течение времени t .

Тогда вероятность безотказной работы системы $P_C(t)$ выражается зависимостью: $P_C(t) = 1 - P_n(t)$ (2)

Получим математическую модель системы из состояния S_n в исправное состояние S_{n+1} ,

$$\begin{aligned}
\frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda \cdot P_0(t) + \mu \cdot P_1(t); \\
\frac{dP_i(t)}{dt} &= \lambda \cdot P_{i-1}(t) - (\lambda + i \cdot \mu) \cdot P_i(t) + (i+1) \cdot \mu \cdot P_{i+1}(t), i=1, 2, \dots, n-1; \\
\frac{dP_n(t)}{dt} &= \lambda \cdot P_{n-1}(t) - n \cdot \mu \cdot P_n(t).
\end{aligned} \tag{3}$$

Вероятность $P_n(t)$ имеет смысл неготовности системы принять очередную заявку в момент времени t (коэффициент простоя) [3, с. 23]. Тогда функцией готовности $K_f(t)$ имеет следующее выражение:

$$K_f(t) = 1 - P_n(t). \tag{4}$$

При $t \rightarrow \infty$ вероятности P_0, P_i, P_n , стремятся к постоянным величинам, и система дифференциальных уравнений (3) превращается в систему алгебраических уравнений, которая имеет бесчисленное множество решений:

$$\begin{aligned}
-\lambda \cdot P_0 + \mu \cdot P_1 &= 0; \\
\lambda \cdot P_{i-1} - (\lambda + i \cdot \mu) \cdot P_i + (i+1) \cdot \mu \cdot P_{i+1} &= 0, i=1, 2, \dots, n-1; \\
\lambda \cdot P_{n-1} - n \cdot \mu \cdot P_n &= 0.
\end{aligned} \tag{5}$$

Однако существует уравнение $P_0 + P_1 + \dots + P_n = 1$, которое замещает одно любое уравнение системы (5), при этом она имеет единственное решение. В (5) вероятность P_n — коэффициент неготовности системы, поэтому коэффициент готовности, как предельное значение функции готовности, определяется выражением:

$$K_f = 1 - P_n. \tag{6}$$

Вычисление вероятности безотказной работы ЦСУДС требует решения системы дифференциальных уравнений (1), для чего используем следующий метод:

- система (1) записывается в виде преобразования Лапласа;
- система алгебраических уравнений в преобразованиях Лапласа решается с помощью универсальных математических программных средств символьной математики (Mathematica, Maple, Derive, Mathcad, Matlab) [4–5, с. 3, с. 12];
- находится обратное преобразование Лапласа с помощью тех же систем символьной математики;
- по вероятности безотказной работы находится среднее время безотказной работы, используя соотношение:

$$T_1 = \lim_{s \rightarrow 0} \hat{P}_C(s).$$

Система (1) в преобразовании Лапласа имеет вид:

$$\begin{aligned}
(s + \lambda) \cdot P_0(s) - \mu \cdot P_1(s) &= 1; \\
(s + \lambda + i \cdot \mu) \cdot P_i(s) - \lambda \cdot P_{i-1}(s) - (i+1) \cdot \mu \cdot P_{i+1}(s) &= 0, i=1, 2, \dots, n-1; \\
(s + \lambda + (n-1) \cdot \mu) \cdot P_{n-1}(s) - \lambda \cdot P_{n-2}(s) &= 0; \\
s \cdot P_n(s) - \lambda \cdot P_{n-1}(s) &= 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

Предположим, что начальными условиями являются $P_0(0)=1, P_1(0)=P_2(0)=\dots=P_n(0)=0$. Решение этой системы уравнений выполнено с помощью математической программы Derive 5, результаты вычисления вероятности отказа $P_n(s)$ приведены в диапазоне n от 1 до 7:

$$P_1(s) = \frac{\lambda}{s \cdot (s + \lambda)};$$

$$P_2(s) = \frac{\lambda^2}{s \cdot (s^2 + (2 \cdot \lambda + \mu) \cdot s + \lambda^2)};$$

$$P_3(s) = \frac{\lambda^3}{s \cdot (s^3 + (3 \cdot \lambda + 3 \cdot \mu) \cdot s^2 + (3 \cdot \lambda^2 + 3 \cdot \lambda \cdot \mu + 2 \cdot \mu^2) \cdot s + \lambda^3)};$$

$$P_4(s) = \frac{\lambda^4}{s \cdot (s^4 + (4 \cdot \lambda + 6 \cdot \mu) \cdot s^3 + (6 \cdot \lambda^2 + 12 \cdot \lambda \cdot \mu + 11 \cdot \mu^2) \cdot s^2 + (4 \cdot \lambda^3 + 6 \cdot \lambda \cdot \mu^2 + 6 \cdot \mu^3) \cdot s + \lambda^4)};$$

$$P_5(s) = \frac{\lambda^5}{s \cdot (s^5 + 5 \cdot s^4 \cdot (\lambda + 2 \cdot \mu) + 5 \cdot s^3 \cdot (2 \cdot \lambda^2 + 6 \cdot \lambda \cdot \mu + 7 \cdot \mu^2) + 5 \cdot s^2 \cdot (2 \cdot \lambda^3 + 6 \cdot \lambda^2 \cdot \mu + 11 \lambda \cdot \mu^2 + 10 \cdot \mu^3) +$$

$$+ s \cdot (5 \cdot \lambda^4 + 10 \cdot \lambda^3 \cdot \mu + 20 \cdot \lambda^2 \cdot \mu^2 + 30 \cdot \lambda \cdot \mu^3 + 24 \cdot \mu^4) + \lambda^5)};$$

$$P_6(s) = \frac{\lambda^6}{s \cdot (s^6 + 3 \cdot s^5 \cdot (2 \cdot \lambda + 5 \cdot \mu) + 5 \cdot s^4 (3 \cdot \lambda^2 + 12 \cdot \lambda \cdot \mu + 17 \cdot \mu^2) + 5 \cdot s^3 \cdot (4 \cdot \lambda^3 + 18 \cdot \lambda^2 \cdot \mu + 42 \cdot \lambda \cdot \mu^2 + 45 \cdot \mu^3) +$$

$$+ s^2 \cdot (15 \cdot \lambda^4 + 60 \cdot \lambda^3 \cdot \mu + 165 \cdot \lambda^2 \cdot \mu^2 + 300 \cdot \lambda \cdot \mu^3 + 274 \cdot \mu^4) + s \cdot (6 \cdot \lambda^6 + 15 \cdot \lambda^4 \cdot \mu + 40 \cdot \lambda^3 \cdot \mu^2 +$$

$$+ 90 \cdot \lambda^2 \cdot \mu^3 + 144 \cdot \lambda \cdot \mu^4 + 120 \cdot \mu^5) + \lambda^6)};$$

$$P_7(s) = \frac{\lambda^7}{s \cdot (s^7 + 7 \cdot s^6 \cdot (\lambda + 3 \cdot \mu) + 7 \cdot s^5 \cdot (3 \cdot \lambda^2 + 16 \cdot \lambda \cdot \mu + 25 \cdot \mu^2) + 35 \cdot s^4 \cdot (\lambda^3 + 6 \cdot \lambda^2 \cdot \mu + 17 \cdot \lambda \cdot \mu^2 + 21 \cdot \mu^3) +$$

$$+ 7 \cdot s^3 (5 \cdot \lambda^4 + 30 \cdot \lambda^3 \cdot \mu + 105 \cdot \lambda^2 \cdot \mu^2 + 225 \cdot \lambda \cdot \mu^3 + 232 \cdot \mu^4) + 7 \cdot s^2 \cdot (3 \cdot \lambda^5 + 15 \cdot \lambda^4 \cdot \mu + 55 \cdot \lambda^3 \cdot \mu^2 +$$

$$+ 150 \cdot \lambda^2 \cdot \mu^3 + 274 \cdot \lambda \cdot \mu^4 + 252 \cdot \mu^5) + s \cdot (7 \cdot \lambda^6 + 21 \cdot \lambda^5 \cdot \mu + 70 \cdot \lambda^4 \cdot \mu^2 + 210 \cdot \lambda^3 \cdot \mu^3 + 504 \cdot \lambda^2 \cdot \mu^4 +$$

$$+ 840 \cdot \lambda \cdot \mu^5 + 720 \cdot \mu^6) + \lambda^7)}.$$

Формулы для вероятностей отказа в течение времени t получены в результате вычисления оригиналов функций $P_n(s)$. Обратное преобразование Лапласа выполнено с помощью математической программы Mathematica, которая позволяет получить аналитические выражения при $n \leq 4$. Далее приведены оригиналы функций $P_1(t)$ и $P_2(t)$ в символьном виде:

$$P_1(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t},$$

$$P_2(t) = 1 - e^{-\left(\lambda + \frac{1}{2} \cdot \mu\right) \cdot t} \left[\frac{\sinh\left(\frac{1}{2} \sqrt{4 \cdot \lambda \cdot \mu + \mu^2}\right) \cdot t}{\sqrt{4 \cdot \lambda + \mu}} \cdot \left(\frac{2 \cdot \lambda + \mu}{\sqrt{\mu}}\right) + \cosh\left(\frac{1}{2} \sqrt{4 \cdot \lambda \cdot \mu + \mu^2}\right) \cdot t \right].$$

Расчетные соотношения при $n > 2$ для ЦСУДС, когда значения $\lambda = 2, \mu = 4$ имеют вид:

$$n=1, P_1(t) = 1 - e^{-2 \cdot t};$$

$$n=2, P_2(t) = 1 - e^{-4 \cdot t} \cdot (0,7 \cdot \sinh(19,6 \cdot t) + \cosh(11,31 \cdot t));$$

$$n=3, P_3(t) = 48,9 \cdot (0,015 - 0,015 \cdot e^{-0,16 \cdot t} + 0,00039 \cdot e^{-13 \cdot t} \cdot \cos(8,5 \cdot t) + 0,000133 \cdot e^{-13,2 \cdot t} \cdot \sin(9,012 \cdot t));$$

$$n=4, P_4(t) = 186,3 \cdot (0,0048 + 0,00021 \cdot e^{-4,12 \cdot t} + 0,0063 \cdot e^{-0,134 \cdot t} + 2,873 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-8,11 \cdot t} \cdot \cos(19,9 \cdot t) + 4,342 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-8 \cdot t} \sin(20,03 \cdot t));$$

$$n=5, P_5(t) = 692,7 \cdot (0,0021 - 1,6 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-29,91 \cdot t} + 2,136 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-18,88 \cdot t} - 9,23 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-10,98 \cdot t} + 0,0000175 \cdot e^{-4,63 \cdot t} - 0,00147 \cdot e^{-0,15 \cdot t});$$

$$n=6, P_6(t) = 2549,34 \cdot (0,00042 + 4 \cdot 10^{-9} \cdot e^{-35,61 \cdot t} - 6,21 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-2,5 \cdot t} + 3,32 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-17,4 \cdot t} - 6,667 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-9,5 \cdot t} + 0,6901 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-5,2 \cdot t} - 0,00043 \cdot e^{-0,0041 \cdot t});$$

$$n=7, P_7(t) = 8936,3 \cdot (0,00012 + 1,43 \cdot 10^{-9} \cdot e^{-29,7 \cdot t} - 8,33 \cdot 10^{-9} \cdot e^{-21,68 \cdot t} + 3,34 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-14,5 \cdot t} - 5,102 \cdot 10^{-8} \cdot e^{-10,4 \cdot t} + 4,91 \cdot 10^{-8} \cdot e^{-5,2 \cdot t} - 0,000105 \cdot e^{-0,000501 \cdot t});$$

В таблицах 1–3 приведены значения вероятностей отказа ЦСУДС при $n=2$ и $n=7$ в широком диапазоне времени работы системы от 1 до 10000 час.

Таблица 1

Значения вероятности отказа P2 (t)

t, час	P ₂ (t)	
	γ=1,25	γ=2
1	0,6987	0,7841
2	0,9194	0,9453
3	0,9479	0,9682
4	0,9921	0,9945
5	0,9978	0,9989
6	0,9991	0,9996
7	0,9994	0,9998
8	0,9998	0,9999
9	0,99993	0,99996
10	0,99995	0,99997

Таблица 2

Значения вероятности отказа P7 (t)

t, час	P ₇ (t)	
	γ=1,25	γ=2
0	0,021016	0,0560145
100	0,043431	0,9923401
200	0,088111	0,1560817
300	0,130697	0,2135687
400	0,171287	0,2965432
500	0,209975	0,3695104
600	0,245068	0,3952387
700	0,289719	0,4123256
800	0,315694	0,4598011
900	0,342674	0,5498756
1000	0,375987	0,5696363

Таблица 3

Значения вероятности отказа P7 (t) (в другом диапазоне)

t, час	P ₇ (t)	
	γ=1,25	γ=2
0	0,021016	0,123785
1000	0,377859	0,453622
2000	0,613804	0,897211
3000	0,759802	0,905583
4000	0,850144	0,953221
5000	0,906046	0,981232
6000	0,940637	0,988856
7000	0,962042	0,995102
8000	0,975286	0,998735
9000	0,983482	0,999101
10 ⁴	0,988553	0,9994534

Из таблиц 1–3 следует, что вероятность безотказной работы существенно зависит от времени t , числа заявок n , одновременно обслуживаемых оператором СУДС, интенсивностей потока заявок λ и обслуживания μ . С увеличением времени безотказной работы системы и интенсивности потока требований вероятность безотказной работы убывает. Вероятность отказа в обслуживании зависит от числа заявок n , одновременно обслуживаемых оператором СУДС. При больших значениях n вероятность отказа в обслуживании слабо зависит от интенсивности λ .

Для получения формулы среднего времени безотказной работы используем выражения для вероятностей безотказной работы в преобразовании Лапласа. Преобразование Лапласа вероятности безотказной работы системы равно:

$$P_C(s) = \frac{1}{s} - P_n(s).$$

Для вычисления среднего времени безотказной работы воспользуемся предельным соотношением:

$$T_1 = \lim_{s \rightarrow 0} \hat{P}_C(s) \quad [3, \text{с.34}]. \quad (8)$$

В результате вычислений с помощью Mathematica получены выражения:

$$n=1, T_1 = \frac{1}{\lambda};$$

$$n=2, T_1 = \frac{1}{\lambda} \cdot (2 + \gamma);$$

$$n=3, T_1 = \frac{1}{\lambda} \cdot (3 + 3 \cdot \gamma + 2 \cdot \gamma^2);$$

$$n=4, T_1 = \frac{1}{\lambda} \cdot (4 + 6 \cdot \gamma + 6 \cdot \gamma^2 + 6 \cdot \gamma^3);$$

$$n=5, T_1 = \frac{1}{\lambda} \cdot (5 + 10 \cdot \gamma + 20 \cdot \gamma^2 + 30 \cdot \gamma^3 + 24 \cdot \gamma^4);$$

$$n=6, T_1 = \frac{1}{\lambda} \cdot (6 + 15 \cdot \gamma + 40 \cdot \gamma^2 + 90 \cdot \gamma^3 + 144 \cdot \gamma^4 + 120 \cdot \gamma^5);$$

$$n=7, T_1 = \frac{1}{\lambda} \cdot (7 + 21 \cdot \gamma + 70 \cdot \gamma^2 + 210 \cdot \gamma^3 + 504 \cdot \gamma^4 + 840 \cdot \gamma^5 + 720 \cdot \gamma^6), \text{ где } \gamma = \frac{\mu}{\lambda},$$

которые позволяют получить общую формулу для среднего времени безотказной работы:

$$T_1 = \frac{1}{\lambda} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} i! \cdot C_n^{i+1} \cdot \gamma^i. \quad (9)$$

В таблице 4 приведены значения среднего времени безотказной работы при $n=1, 2, \dots, 7$ и при следующих значениях γ : $\gamma = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{3,75}{2,8} = 1,25$; $\gamma = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{4}{2} = 2$.

Таблица 4

Значения среднего времени безотказной работы

n	1	2	3	4	5	6	7
T_1 , час, $\gamma=1,25$	0,48	1,625	4,938	16,297	82,969	490,402	35470
T_1 , час, $\gamma=2$	0,5	2	8,5	44	364,5	355000	41520000

Из таблицы 4 видно, что среднее время безотказной работы существенно возрастает с увеличением числа операторов СУДС.

ЦСУДС является системой длительной работы, поэтому необходимо оценивать его готовность коэффициентом готовности (K_T). Критерии готовности системы во многом определяют показатели эффективности системы, риск, безопасность. Систему дифференциальных уравнений (3) решим, при начальных условиях: $P_0(0)=1$, $P_i(0)=0$, $i=1, 2, \dots, n$, которая в преобразовании Лапласа будет иметь вид:

$$(s + \lambda) \cdot P_0(s) - \mu \cdot P_1(s) = 1;$$

$$(s + \lambda + i \cdot \mu) \cdot P_i(s) - \lambda \cdot P_{i-1}(s) \cdot (i+1) \cdot \mu \cdot P_{i+1}(s) = 0, \quad i=1, 2, \dots, n-1; \quad (10)$$

$$(s + n \cdot \mu) \cdot P_n(s) - \lambda \cdot P_{n-1}(s) = 0.$$

Относительно неизвестных $P_0(s), P_1(s), \dots, P_n(s)$ (10) является системой линейных алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами. Главный ее определитель $M \neq 0$, поэтому она имеет единственное решение, которое получено с помощью Derive 5. Полученные результаты решения системы уравнений для случаев $n=1, 2, 3$:

$$n=1: P_0(s) = \frac{s + \mu}{s \cdot (s + \lambda + \mu)}, P_1(s) = \frac{\lambda}{s \cdot (s + \lambda + \mu)};$$

$$n=2: P_0(s) = \frac{s^2 + (\lambda + 3 \cdot \mu) \cdot s + 2 \cdot \mu^2}{\Delta}, P_1(s) = \frac{\lambda \cdot (s + 2 \cdot \mu)}{\Delta}, P_2(s) = \frac{\lambda^2}{\Delta},$$

$$\text{где } \Delta = s \cdot [s^2 + (2 \cdot \lambda + 3 \cdot \mu) \cdot s + \lambda^2 + 2 \cdot \lambda \cdot \mu + 2 \cdot \mu^2];$$

$$n=3: P_0(s) = \frac{s^3 + 2 \cdot s^2 \cdot (\lambda + 3 \cdot \mu) + s \cdot (\lambda^2 + 4 \cdot \lambda \cdot \mu + 11 \cdot \mu^2) + 6 \cdot \mu^3}{\Delta},$$

$$P_1(s) = \frac{\lambda \cdot (s^2 + s \cdot (\lambda + 5 \cdot \mu) + 6 \cdot \mu^2)}{\Delta}, P_2(s) = \frac{\lambda^2 (s + 3 \cdot \mu)}{\Delta}, P_3(s) = \frac{\lambda^3}{\Delta},$$

$$\text{где } \Delta = s \cdot [s^3 + 3 \cdot s^2 (\lambda + 2 \cdot \mu) + s \cdot (3 \cdot \lambda^2 + 9 \cdot \lambda \cdot \mu + 11 \cdot \mu^2) + \lambda^3 + 3 \cdot \lambda^2 \cdot \mu + 6 \cdot \lambda \cdot \mu^2 + 6 \cdot \mu^3].$$

Для получения аналитических выражений вероятностей состояний во временной области находим обратные преобразования Лапласа, приведенных ранее решений. Решение получено с помощью Mathcad 2006. При $n=1, 2$ значения вероятностей имеют вид:

$$n=1: P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu) \cdot t}, P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu) \cdot t};$$

$$n=2: P_0(t) = \frac{1}{\beta} \cdot e^{-\frac{\alpha}{\beta} \cdot t} \{ \sinh(\gamma \cdot t) [8 \cdot \lambda \cdot \mu^{\frac{3}{2}} + 10 \cdot \lambda^2 \cdot \sqrt{\mu} + \frac{2 \cdot \lambda}{\sqrt{\mu}} - \frac{24}{\beta} \cdot \lambda^3 \cdot \mu^{\frac{3}{2}} - \frac{12}{\beta} \cdot \lambda \cdot \mu^{\frac{3}{2}} - \frac{11}{\beta} \cdot \lambda^4 \cdot \sqrt{\mu} - \frac{2}{\beta} \cdot \lambda^5 \cdot \sqrt{\mu}] + \cosh(\gamma \cdot t) \cdot (\lambda^2 + 2 \cdot \lambda \cdot \mu) \} + \frac{2 \cdot \mu^2}{\beta},$$

$$\text{где } \alpha = \frac{7}{2} \cdot \lambda^2 \cdot \mu + 5 \cdot \lambda \cdot \mu^2 + 3 \cdot \mu^3 + \lambda^3; \beta = \lambda^2 + 2 \cdot \lambda \cdot \mu + 2 \cdot \mu^2; \gamma = \mu \cdot \sqrt{\lambda}.$$

Подставляя числовые значения λ и μ , получим:

$$1) \lambda = 2,8 \text{ час}^{-1}, \mu = 3,75 \text{ час}^{-1}.$$

$$P_0(t) = 0,042 + 0,00513 \cdot e^{-5,24 \cdot t} + 1,98 \cdot e^{-22,13 \cdot t} + 0,894 \cdot e^{-13 \cdot t};$$

$$P_1(t) = 0,361 + 0,124 \cdot e^{-5,24 \cdot t} - 0,0205 \cdot e^{-22,13 \cdot t} - 0,218 \cdot e^{-13 \cdot t};$$

$$P_2(t) = 0,123 - 0,227 \cdot e^{-5,24 \cdot t} + 0,039 \cdot e^{-22,13 \cdot t} - 0,053 \cdot e^{-13 \cdot t};$$

$$P_3(t) = 0,0406 - 0,0825 \cdot e^{-5,24 \cdot t} - 0,0192 \cdot e^{-22,13 \cdot t} + 0,8972 \cdot e^{-13 \cdot t}.$$

$$2) \lambda = 2 \text{ час}^{-1}, \mu = 4 \text{ час}^{-1}.$$

$$P_0(t) = 0,0052 + 0,00019 \cdot e^{-4,501 \cdot t} + 2,03 \cdot e^{-21,67 \cdot t} - 0,93 \cdot e^{-11,8 \cdot t};$$

$$P_1(t) = 0,432 + 0,06 \cdot e^{-4,501 \cdot t} + 0,0163 \cdot e^{-21,67 \cdot t} - 0,184 \cdot e^{-11,8 \cdot t};$$

$$P_2(t) = 0,073 + 0,161 \cdot e^{-4,501 \cdot t} + 0,032 \cdot e^{-21,67 \cdot t} - 0,0261 \cdot e^{-11,8 \cdot t};$$

$$P_3(t) = 0,0537 + 0,12 \cdot e^{-4,501 \cdot t} - 0,02 \cdot e^{-21,67 \cdot t} + 1,298 \cdot e^{-11,8 \cdot t}.$$

Воспользовавшись выражением $K_r = 1 - P_n$, определим коэффициент готовности. Значение P_n , полученное из графа состояний на рисунке 1, Б), имеет вид:

$$P_n = \frac{\lambda^n}{\lambda^n + n \cdot \lambda^{n-1} + n \cdot (n-1) \cdot \lambda^{n-2} \cdot \mu^2 + n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \lambda^{n-3} \cdot \mu^3 + \dots + n! \cdot \mu^n}.$$

Разделив числитель и знаменатель на $n! \cdot \mu^n$, получим следующую формулу:

$$K_r = 1 - \frac{\frac{\rho^n}{n!}}{\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!}} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \frac{\rho^i}{i!}}{\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!}}. \quad (11)$$

Подставляя значение $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{2}{4} = 0,5$ в формулу (11), получим значения коэффициента готовности (таблица 5).

Таблица 5

Значения коэффициента готовности ЦСУДС

n	1	2	3	4	5	6	7
K_r	0,86	0,97	0,998	0,999	0,9997	0,9998	0,99991

Из таблицы 5 видно, что коэффициент готовности существенно зависит от числа судов, одновременно обслуживаемых оператором СУДС.

Наработка на отказ рассчитывается по формуле: $T = \frac{K_r}{\omega} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \rho_i}{\lambda \cdot \rho_{n-1}}$, поскольку $\rho_i = \frac{p^i}{i!} \cdot \rho_0$, то

$$T = \frac{1}{\lambda} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(n-1)!}{i! \cdot \rho^{n-i-1}}, \text{ или окончательно:}$$

$$T = \frac{1}{\lambda} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} i! \cdot C_{n-1}^i \cdot \gamma^i, \quad (12)$$

где $\gamma = \frac{\mu}{\lambda}$.

Подставляя в выражение (12) значение $\gamma=2$, получим значение наработки на отказ в зависимости от n . Значения наработки на отказ приведены в таблице 6.

Таблица 6

Значения наработки на отказ ЦСУДС

n	1	2	3	4	5	6	7
T , час	0,65	0,87	2,94	8,83	41	338	2756

Из анализа надежности ЦСУДС порта Новороссийск, как диспетчерского пункта, можно сделать следующие выводы:

- вероятность безотказной работы существенно зависит от времени t , числа заявок n , одновременно обслуживаемых оператором СУДС, интенсивностей потока заявок λ и обслуживания μ ;
- с увеличением времени безотказной работы системы и интенсивности потока требований вероятность безотказной работы убывает;
- вероятность отказа в обслуживании зависит от числа заявок n , одновременно обслуживаемых оператором СУДС.

Литература:

1. Положение о системах управления движением судов. М., 2002.
2. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем// М.: Наука, 1978. — с. 400.
3. Половко, А. М. Основы теории надежности/А. М. Половко, С. В. Гуров//Спб.: БХВ-Петербург, 2006. — с. 704.
4. Половко, А. М. Derive 5 для студентов// Спб.: БХВ-Петербург, 2005. — с. 138.
5. Манзон, Б. М. Maple 5 Power Edition// М.: Филин, 1998. — с. 210.
6. Дьяков, В. П. Mathcad 8/2000 Специальный справочник//Спб.: Питер, 2000. — с. 367.
7. Дьяков, В. П. Системы символьной математики. Mathematica 2 и Mathematica 3// М.: СК Пресс, 1998. — с. 249.

11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Математическое моделирование процесса работы ротационного культиватора

Захаров Павел Владимирович, аспирант;

Лысыч Михаил Николаевич, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Шабанов Михаил Леонидович, кандидат технических наук, доцент

Воронежская государственная лесотехническая академия

При большом разнообразии машин для рыхления почвы и уничтожения сорняков в рядах и междурядьях лесных полос все они имеют ряд недостатков, снижающих качество ухода. В частности, орудия уплотняют почву ниже глубины обработки, сдвигают и засыпают часть лесных культур почвой, оставляют холмики, в которых почва недостаточно разрыхлена (не уничтожаются многолетние сорняки) [1]. С целью устранения перечисленных недостатков разработана конструкция ротационного рабочего органа (рис. 1, а), выполненный в виде установленной на наклонной оси свободно вращающейся звездочки с радиально расположенными пальцами.

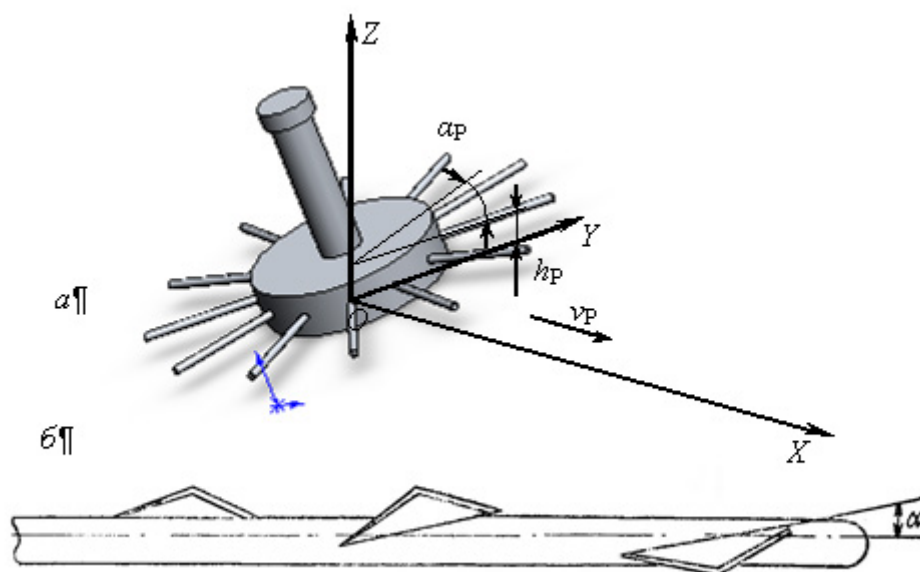


Рис. 1. Расположение системы координат по отношению к моделируемому механизму (а) и схема расположения рыхлящих элементов ротационного рабочего органа культиватора-рыхлителя (б)

В предложенном ротационном рабочем органе, для увеличения интенсивности рыхления почвы и улучшения самоочищения ротационных рабочих органов, на наклонной оси расположена коническая шестерня, входящая в зацепление с шестернями, установленными на внутренних концах радиальных пальцев (рис. 1, б). На пальцах по винтовой линии расположены рыхлящие элементы, которые установлены с определенным смещением друг относительно друга [2].

Для теоретической проверки работоспособности разработанной конструкции и оптимизации параметров ротационного рабочего органа была разработана математическая модель, базирующаяся на методах классической динамики. Анализ механизма позволил составить систему дифференциальных уравнений, описывающую эволюцию механизма с течением времени под воздействием внешних воздействий: вращающего момента со стороны вала отбора мощности и сил сопротивления со стороны обрабатываемой почвы [3]. Система координат XYZ для описания механизма вводится так, чтобы поступательное движение осуществлялось вдоль оси OX (рис. 1, а), центр ротора находился на высоте h_p над уровнем почвы (плоскостью XOY), а плоскость, в которой лежат пальцы ротора, была наклонена под углом α_p к оси OY .

Ротационный рабочий орган представляется в модели состоящим из отдельных абсолютно твердых тел, взаимодействующих между собой в некоторых заданных точках. В модели необходимо учитывать движение следующих тел: ведущего вала, ведущей шестерни, корпуса рабочего органа, восьми (или другого количества) пальцев. Остановимся подробно на описании движения каждого из элементов механизма.

Вал механизма в рамках модели вращается с постоянной угловой скоростью:

$$\omega_B = \text{const}. \quad (1)$$

При этом угловое положение вала φ_B в любой момент времени t можно рассчитать по формуле:

$$\varphi_B = \omega_B t. \quad (2)$$

Шестерня совершает вращательное движение относительно оси вала механизма, при этом с валом осуществляется вязкоупругое вращательное взаимодействие $M_{BШ}$ (рис. 2, а). Кроме того, на шестерню действуют момент сил сухого трения в подшипнике $M_{Штр}$ (который может зависеть от некомпенсированных сил со стороны пальцев) и моменты сил $F_{Ш\pi i}$ в точках соприкосновения с ведомыми шестернями на пальцах.

В этом случае основное уравнение динамики вращательного движения записывается следующим образом:

$$J_{Ш} \frac{d^2 \varphi_{Ш}}{dt^2} = C_{BШ} (\varphi_B - \varphi_{Ш}) + D_{BШ} \left(\frac{d\varphi_B}{dt} - \frac{d\varphi_{Ш}}{dt} \right) - D_{КШ} \left(\frac{d\varphi_{Ш}}{dt} - \frac{d\varphi_K}{dt} \right) + R_{Ш} \sum_{i=1}^8 F_{Ш\pi i}, \quad (3)$$

где $J_{Ш}$ — момент инерции шестерни относительно оси; φ_B , $\varphi_{Ш}$ и φ_K — текущие углы поворота вала, шестерни и корпуса; $C_{BШ}$ и $D_{BШ}$ — жесткость и коэффициент демпфирования вязкоупругого углового взаимодействия вала и шестерни; $D_{КШ}$ — коэффициент вязкого трения между шестерней и корпусом; $R_{Ш}$ — радиус шестерни (расстояние от оси до точки контакта ведущей и ведомой шестерен); $F_{Ш\pi i}$ — касательная составляющая силы, действующей со стороны ведомой шестерни i на ведущую.

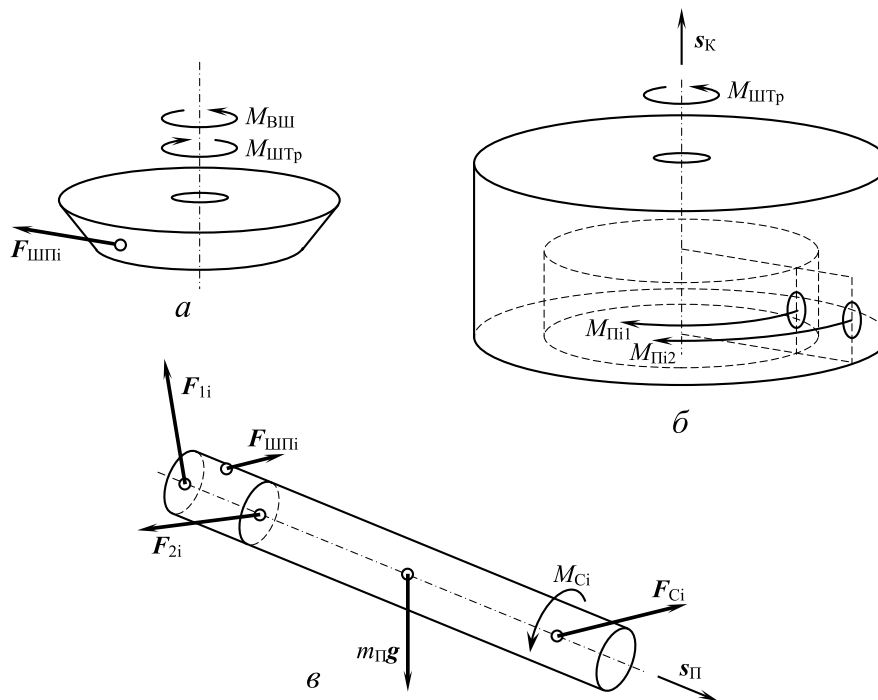


Рис. 2. Расчетные схемы к составлению уравнений движения шестерни (а), корпуса (б) и пальца (в)

При этом считаем, что момент трения между корпусом и валом зависит линейно от разности скоростей вращения корпуса и вала, но не зависит от изгибающих сил, возникающих в подшипнике.

В рамках модели считается, что корпус ротационного рабочего органа совершает только вращательное движение относительно оси механизма. На его вращение оказывают влияние моменты $M_{\pi i1}$ и $M_{\pi i2}$ сил, возникающих в подшипниках закрепления пальцев (рис. 2, б). Также в основном уравнении динамики вращательного движения необходимо учесть момент сил вязкого трения между корпусом и валом:

$$J_K \frac{d^2 \varphi_K}{dt^2} = D_{КШ} \left(\frac{d\varphi_{Ш}}{dt} - \frac{d\varphi_K}{dt} \right) + \sum_{i=1}^8 \left(\vec{s}_K \cdot (\vec{r}_{1i} \times \vec{F}_{1i}) + \vec{s}_K \cdot (\vec{r}_{2i} \times \vec{F}_{2i}) \right), \quad (4)$$

где J_K — момент инерции корпуса относительно оси; s_K — вектор направления оси корпуса;

\vec{r}_{1i} и \vec{r}_{2i} — радиус-векторы от центра корпуса до центров первого и второго подшипника крепления пальца i ;

\vec{F}_{1i} и \vec{F}_{2i} — силы в первом и втором подшипниках крепления пальца i .

Каждый палец в процессе работы механизма совершает сложное движение — как вращательное, так и поступательное, и испытывает действие большого количества сил: в подшипниках закрепления, силы тяжести, сил со стороны разрыхляемой почвы (рис. 2, в). Уравнения движения пальца i записываются следующим образом:

$$\begin{cases} m_{\Pi} \frac{d^2 x_{\Pi i}}{dt^2} = F_{1ix} + F_{2ix} + F_{\text{шп}ix} + F_{Cix}; \\ m_{\Pi} \frac{d^2 y_{\Pi i}}{dt^2} = F_{1iy} + F_{2iy} + F_{\text{шп}iy} + F_{Ciy}; \\ m_{\Pi} \frac{d^2 z_{\Pi i}}{dt^2} = F_{1iz} + F_{2iz} + F_{\text{шп}iz} + F_{Ciz} + m_{\Pi} g; \\ J_{\Pi i}(t) \cdot \ddot{\varepsilon}(t) = \vec{M}(\vec{F}_{1i}) + \vec{M}(\vec{F}_{2i}) + \vec{M}(\vec{F}_{\text{шп}i}) + \vec{M}(m_{\Pi} \vec{g}) + \vec{M}(\vec{F}_{Ci}) + \vec{M}_{Ci}, \end{cases} \quad (5)$$

где m_{Π} — масса пальца; $F_{1ix}, F_{1iy}, F_{1iz}$ — декартовы составляющие силы в первом подшипнике; $F_{2ix}, F_{2iy}, F_{2iz}$ — декартовы составляющие силы во втором подшипнике; $F_{\text{шп}ix}, F_{\text{шп}iy}, F_{\text{шп}iz}$ — декартовы составляющие силы взаимодействия с ведомой шестерней; $F_{Cix}, F_{Ciy}, F_{Ciz}$ и M_{Ci} — декартовы составляющие силы и момент сопротивления со стороны почвы; $m_{\Pi}g$ — сила тяжести.

При работе ротационного механизма каждый палец вращается как вокруг своей геометрической оси, так и вместе с корпусом вокруг оси вала. При этом получается, что в каждый момент времени t ось «мгновенного» вращения пальца не совпадает ни с геометрической осью пальца, ни с осью вала. Вследствие этого при расчете необходимо вычислять зависимость момента инерции пальца J_{Π} от направления мгновенной оси вращения для любого t . Так как палец имеет сложную конструкцию (цилиндрический стержень, ведомая шестерня, рыхлящие элементы) аналитический расчет момента инерции затруднен, и расчет момента инерции ведется на основе метода конечных элементов. Объем пальца разбивается на большое количество N элементарных кубов с учетом сложной формы пальца, затем момент инерции рассчитывается по формуле

$$J_{\Pi} = \sum_{j=1}^N m_j r_j^2, \quad (6)$$

где m_j — масса элементарного куба; r_j — расстояние от центра элементарного куба до оси вращения.

Каждый палец вращается в двух подшипниках, которые в свою очередь установлены в корпусе. Каждый подшипник в модели заменяется парой точек: одна точка на корпусе, другая на пальце. Обозначим точки на корпусе как K_{1i} и K_{2i} , а точки на i -пальце P_{1i} и P_{2i} . При смещении точки P_i относительно соответствующей точки K_i в подшипниках возникают силы, стремящиеся снова совместить точки P_i и K_i . Так как по природе это силы упругого взаимодействия стальных элементов подшипников, возникающие силы в модели учитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} F_{1ix} &= C_{\Pi} (x_{K1i} - x_{P1i}) + D_{\Pi} \left(\frac{dx_{K1i}}{dt} - \frac{dx_{P1i}}{dt} \right); \\ F_{1iy} &= C_{\Pi} (y_{K1i} - y_{P1i}) + D_{\Pi} \left(\frac{dy_{K1i}}{dt} - \frac{dy_{P1i}}{dt} \right); \\ F_{1iz} &= C_{\Pi} (z_{K1i} - z_{P1i}) + D_{\Pi} \left(\frac{dz_{K1i}}{dt} - \frac{dz_{P1i}}{dt} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где C_{Π} и D_{Π} — коэффициент упругости и коэффициент демпфирования; $x_{K1i}, y_{K1i}, z_{K1i}$ — координаты точки K_{1i} ; $x_{P1i}, y_{P1i}, z_{P1i}$ — координаты точки P_{1i} .

Аналогичным образом вычисляются силы, возникающие в подшипнике 2 на i -м пальце.

При вращении корпуса координаты точек K_{1i} и K_{2i} постоянно изменяются. В модели координаты указанных точек, соответствующие текущему значению угла поворота корпуса φ_K рассчитываются следующим образом.

Во-первых, точки-подшипники распределяются равномерно по окружности корпуса:

$$x_{K1i}^{(1)} = R_{K1} \cos\left(i \cdot \frac{\pi}{4} + \varphi_K\right); y_{K1i}^{(1)} = R_{K1} \sin\left(i \cdot \frac{\pi}{4} + \varphi_K\right); z_{K1i}^{(1)} = 0; \quad (8)$$

$$x_{K2i}^{(1)} = R_{K2} \cos\left(i \cdot \frac{\pi}{4} + \varphi_K\right); y_{K2i}^{(1)} = R_{K2} \sin\left(i \cdot \frac{\pi}{4} + \varphi_K\right); z_{K2i}^{(1)} = 0, \quad (9)$$

где i — индекс подшипника.

Во-вторых, необходимо учесть, что ротор установлен под углом α_P к поверхности почвы. Для этого координаты пересчитываются следующим образом:

$$x_{K1i}^{(2)} = x_{K1i}^{(1)}; y_{K1i}^{(2)} = y_{K1i}^{(1)} \cos(\alpha_P); z_{K1i}^{(2)} = y_{K1i}^{(1)} \sin(\alpha_P); \quad (10)$$

$$x_{K2i}^{(2)} = x_{K2i}^{(1)}; y_{K2i}^{(2)} = y_{K2i}^{(1)} \cos(\alpha_P); z_{K2i}^{(2)} = y_{K2i}^{(1)} \sin(\alpha_P). \quad (11)$$

И, наконец, производится перемещение рабочего органа в горизонтальном направлении на расстояние $v_P t$ и в вертикальном — на расстояние h_P :

$$x_{K1i} = x_{K1i}^{(2)} + v_P t; y_{K1i} = y_{K1i}^{(2)}; z_{K1i} = z_{K1i}^{(2)} + h_P; \quad (12)$$

$$x_{K2i} = x_{K2i}^{(2)} + v_P t; y_{K2i} = y_{K2i}^{(2)}; z_{K2i} = z_{K2i}^{(2)} + h_P. \quad (13)$$

Координаты точек P_{1i} и P_{2i} зависят от положения и угла поворота пальца и в процессе численного интегрирования подлежат постоянному пересчету.

Силы в точке взаимодействия ведущей и ведомой шестерни рассчитываются следующим образом. Угловая скорость ведомой шестерни пропорциональна разности угловых скоростей ведомой шестерни и корпуса:

$$\omega_{\Pi} = k_{\Pi} (\omega_{\Pi} - \omega_K), \quad (14)$$

где k_{Π} — передаточное отношение.

При отсутствии контакта пальцев с почвой корпус механизма старается раскрутиться так, чтобы корпус начал вращаться с одинаковой скоростью с ведущей шестерней. В этом случае потери на трение в подшипниках пальцев минимальны. В случае же торможения пальцев почвой скорость вращения корпуса становится меньше скорости вращения ведущей шестерни, и за счет разности скоростей ω_{Π} и ω_K раскручиваются пальцы.

В формуле для силы, возникающей в точке контакта ведущей и ведомой шестерен, необходимо учесть, что силы появляются вследствие несоответствия углов ведущей и ведомой шестерен:

$$|\vec{F}_{\Pi Pi}| = C_{\Pi} ((\varphi_{\Pi} - \varphi_K) k_{\Pi} - \varphi_{\Pi}) + D_{\Pi} ((\omega_{\Pi} - \omega_K) k_{\Pi} - \omega_{\Pi}), \quad (15)$$

где C_{Π} и D_{Π} — коэффициенты упругости и демпфирования углового упругого взаимодействия шестерен; φ_{Π} — угол поворота пальца относительно его оси; ω_{Π} — угловая скорость пальца, приведенная к его оси.

Так как возникающая сила $F_{\Pi Pi}$ перпендикулярна оси пальца и оси корпуса, направление силы вычисляется через векторное произведение направляющих векторов \vec{s}_K и \vec{s}_{Pi} :

$$\vec{F}_{\Pi Pi} = |\vec{F}_{\Pi Pi}| \cdot (\vec{s}_K \times \vec{s}_{Pi}). \quad (16)$$

Рассчитанная таким образом сила $\vec{F}_{\Pi Pi}$ подставляется далее в уравнения движения шестерни (3) и пальца (5).

При моделировании взаимодействия рабочих органов с почвой последняя считается вязкой средой [4]. В первом приближении силу со стороны почвы можно рассчитать, учитывая скорость движения конца пальца и степень его заглубления в почву.

$$|\vec{F}_{Ci}| = (\vec{s}_{Pi} \times \vec{v}_{ei}) \cdot k_{\Pi} \cdot a_i, \quad (17)$$

где \vec{v}_{ei} — скорость конца пальца; k_{Π} — коэффициент линейной вязкости почвы; a_i — доля длины пальца, находящаяся в почве.

Подводя итог аналитическим выкладкам, отметим, что механизм в целом описывается системой дифференциальных уравнений (1–5), при этом переменные, входящие в систему, рассчитываются по формулам (6–17). Из-за громоздкости системы поиск ее аналитического решения затруднен, однако численное решение системы может быть найдено. Решение системы уравнений производили усовершенствованным методом Эйлера-Коши [5]. Шаг численного интегрирования Δt определяли путем многократного проведения экспериментов с последовательно уменьшающимся в два раза шагом и остановились на шаге, после которого результаты моделирования практически не изменяются (изменение составляет не более 1–2 %). Определенный таким образом шаг составил $\Delta t = 2,0 \cdot 10^{-4}$ с.

Для решения системы дифференциальных уравнений, положенной в основу модели, и удобства проведения различных компьютерных экспериментов с моделью составлена компьютерная программа «Программа для моделирования ротационного рабочего органа культиватора-рыхлителя» на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7.0 [6].

Программа позволяет задавать значения 20 основных конструктивных и технологических параметров культиватора [6].

Таким образом, разработана математическая модель ротационного рабочего органа на основе методов классической динамики, позволяющая на основе компьютерных экспериментов исследовать влияние на эффективность функционирования ротационного культиватора конструктивных параметров, параметров взаимодействия с почвой, технологических параметров. Модель позволила убедиться в работоспособности предложенной конструкции ротационного культиватора-рыхлителя и позволит в дальнейшем провести теоретическую оптимизацию его параметров.

Литература:

1. Бартенев, И. М. Борьба с сорной растительностью в защитных лесных насаждениях [Текст]/И. М. Бартенев. — М.: Колос, 1991. — 47 с.
2. А. с. 380256 СССР, МКИ А 01 В 35/16, А 01 В 39/16. Ротационный рабочий орган культиватора-рыхлителя [Текст]/И. М. Бартенев [и др.]; И. М. Бартенев, В. В. Попов, Ю. М. Жданов, В. Л. Аравийский; заявитель и патентообладатель: ВНИАЛМИ. — № 1702643; заявл. 04.10.1971; опубл. 15.05.73, Бюл. № 21. — 2 с.
3. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ [Текст]/Под ред. Е. Ю. Малиновского. — М.: Машиностроение, 1980. — 216 с.
4. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления: [учеб. для вузов] [Текст]/под ред. А. Б. Лурье. — Л.: Колос, 1979. — 312 с.
5. Инженерные расчеты на ЭВМ: [Справочное пособие] [Текст]/Под ред. В. А. Троицкого. — Л.: Машиностроение, 1979. — 288 с.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613046 «Программа для моделирования ротационного рабочего органа культиватора-рыхлителя».

Ингибиторная защита от парафиноотложений при нефтедобыче

Кабылова Айнагуль Рамазановна, кандидат технических наук
Мангистауский гуманитарно-технический университет (г. Актау, Казахстан)

Основной проблемой на месторождении Узень является отложение парафинов в подземном оборудовании. Застывание нефти вызывается выделением кристаллов парафина. Наличие асфальто-смолистых веществ парафина в нефти даже в небольших количествах, особенно в присутствии водной фазы, приводит к резкому снижению текучести нефти. Основная масса асфальто-смолопарафинические отложения АСПО отлагается при движении нефти по стволу скважины от забоя к устью, где происходит снижение давления, температуры и газосодержания пластовой нефти.

На месторождении Узень подземный ремонт скважин в основном связан с отложениями парафина. Заклинивание оборудования происходит также из-за парафина.

Получили широкое применение следующие методы, позволившие увеличить производительность скважин на длительный срок:

— Физические методы — гидроразрыв пласта (ГРП), газодинамический разрыв пласта (ГДРП), акустическое воздействие (АРСиП), электровоздействие (ЭВ);

— Тепловые методы — термогазокислотно-перфорационно-имплозионное воздействие (ТГКПИВ), термобарохимическое воздействие (ТБХО);

— Химические методы — ремонтно-изоляционные работы (РИР), воздействие на пласт сшитой полимерной системой (СПС) и полимерно-гелевым составом «Темпоскрин», вязко-упругим составом (ВУС), соляно-кислотные обработки (СКО), гидрокислотный удар (ГКУ).

Для борьбы с парафиноотложением на месторождениях Узень производится закачка в скважины и пласт смеси углеводородных растворителей (УВС) с целью очистки подземного оборудования, фильтровальной зоны от парафина и увеличения притока нефти к забою, улучшение вытеснения нефти из низкопроницаемых пластов, а также вязких нефтей. С целью подготовки

скважины для ГРП произведена обработка УВС — 230 скважин.

С целью очистки ствола скважины от АСПО произведена обработка УВС ванна-64 скважины [1].

Для профилактической работы фонда скважин и увеличения добычи нефти по месторождению Узень производились и другие виды обработок скважин, с целью очистки скважин от АСПО и солеотложений и повышения продуктивности пласта.

Произведена обработка горячей нефтью 1214 скважин. Результат проведенных анализов показывает положительный эффект. При этом успешность проведенных работ составляет 89%. Получена дополнительная добыча нефти в объеме 14228,2 тонн, с продолжительностью эффекта 7 дней.

А также в соответствии были проведены опытно-промышленные испытания ингибитора парафиноотложений «Рауан-3000» (ТУ 2310 РК 38626239-ТОО-35-2002), совместного производства ТОО «Рауан» (г. Атырау) компания «Nalco» (США). Испытания проведены ТОО «Научно-исследовательский и проектный центр» г. Жанаозен (ТОО «НИПЦ»), в НГДУ-3, с участием представителей ПФ «Озенмунайгаз».

В соответствии с рабочей программой, утвержденной ПФ «ОМГ», при испытаниях ингибитора парафиноотложений «Рауан-3000» применялось три способа закачки реагента в скважину.

1. Установка дозаторная электрическая (УДЭ) («капиляр» и «затруб») — 2 шт.

2. Установка дозаторная станковая (УДС) («капиляр» и «затруб») — 2 шт.

3. Дозатор скважинной глубинный (ДСГ) — 2 шт.

В ходе проведения испытания установлено, что эффективность ингибитора парафиноотложения «Рауан-3000» составило 84,0% и определено, что наиболее эффективным способом применения ингибитора парафиноотложений является использование «капиляра» с дозирующими установками УДЭ и УДС.

Методом «Ботл-тест» была определена совместимость ингибитора парафиноотложений «Рауан-3000» с другими реагентами, применяемыми на месторождении, в том числе с деэмульгатором «Диссольтван-4411». «Рауан-3000» имеет разрешение горнотехнического надзора на применение в нефтегазовой промышленности [2].

Результаты опытно-промышленных испытаний «Рауан-3000» положительные, при этом установлено:

— отложения парафинов на технологическом оборудовании месторождения Узень представляет серьезную проблему и применение ингибиторов парафиноотложений возможно с применением дозаторных установок УДЭ и УДС;

— эффективность ингибитора парафиноотложений «Рауан-3000» составляет 84,0%, что приемлемо в месторождении Узень;

— «Рауан-3000» совместим с другими реагентами, применяемыми на месторождении по качеству и эффективности не уступает импортным аналогам и может применяться на месторождениях Узень и Карамандыбас, химизации технологических процессов добычи нефти.

На месторождении Узень очень высокий процент обводненности добываемой нефти. Чтобы ограничить водопиток поступления воды в добывающую скважину были произведены обработки вязко-упругим составом (ВУС).

Всего обработано 487 скважин, из них:

400 скв. — добывающих, с целью ограничения водопитока

87 скв. — нагнетательных, с целью выравнивания профиля приемистости.

По добывающему фонду успешность составляет 31% скважин с положительным результатом, где средняя продолжительность эффекта составляет 31 день. Дополнительная добыча нефти за счет обработок составляет 7760 тонн.

По нагнетательному фонду успешность составляет 65% скважин с положительным результатом, где средняя продолжительность эффекта составляет 65 дней. Ограничение водопитока Q_v на 1098711,6 м³.

С целью восстановления продуктивности добывающих скважин производился кислотный МГРП-50 скважин. Успешность составляет 89% скважин с положительным результатом, где средняя продолжительность эффекта составляет 51 день. Дополнительная добыча составляет 11690,8 тонн. Увеличение приемистости Q_v на 679644,2 м³.

Основной причиной снижения дебитов нефти на месторождении Узень являются отложения АСПО в скважинах, осложняющие добычу нефти.

В этих условиях применение методов воздействия на призабойную зону с целью увеличения производительности скважин позволяет снизить отрицательное влияние этих факторов и добиться увеличения производительности скважин.

Основная цель различных методов воздействия на призабойную зону — увеличение дебитов добывающих и приемистости нагнетательных скважин за счет уменьшения гидравлических сопротивлений, улучшением связи скважины с продуктивным пластом, либо увеличением абсолютной или фазовой проницаемости в призабойной зоне.

Распределение работ по годам и по видам применяемых технологий представлено в таблице 1.

В связи с этим необходимо дальнейшее продолжение добычи на 2015 год, на основании потребности филиалов ПФ «Узеньмунайгаз» по химизации технологических процессов в нефтедобыче планируется:

— повышение продуктивности пластов методом воздействия на призабойную зону пластов различными композициями хемпродуктов (ВУВЭ, ЭКВ, МГРП, ПГС «Темпоскрин») и внедрение других новых технологий.

Таблица 1

Методы воздействия на продуктивные пласты месторождения Узень

№	Виды применяемых технологий	Количество скважин по годам								Накопленная доп. добыча за счет обработки по годам, т				
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2008	2009	2010	2011	2012		2013
												Накоп. доп. добыча	%	Накоп. доп. добыча
1	Обработка соляной кислотой (СКО)	133	137	96	66	8/60*	-	38	390	4550	5271	647	0,1	-
2	Обработка вязко-упругим составом (ВУС)	351	196	261	195	400/87*	400	1175	1572	20335	16090	16839	1,9	7760
3	Обработка ПГС «Темпоскрин»	0	4*	0	52*	91*	-	-	22610	-	28580	47075	5,4	-
4	Ремонтно-изоляционные работы (РИР)	-	9	31	10	80	120	-	4731	1643	8446	70977	8,1	30060
5	Гидроразрыв пласта (ГРП)	-	-	-	99	200	208	-	-	-	568930	596636	68,4	497422
6	Газодинамический разрыв пласта (ГДРП)	-	-	-	10	41	50	-	-	-	4474	19951	2,3	15061
7	Термогазокислотно-импульсионное воздействие (ТГКПИВ)	-	-	-	42	100	-	-	-	-	14848	37619	4,3	-
8	Электровоздействие (ЭВ)	-	-	-	10	36	94	-	-	-	1570	16788	1,9	37777
9	Акустическая реабилитация скважин и пластов (АРСиП)	14	36	0	10	20	25	15826	6169	0	4215	1784	0,2	5853
10	Термобарохимическое воздействие (ТБХО)	-	-	20	41	-	-	-	-	9516	15727	-	0,0	-
11	Сшитая полимерная система (СПС)	13*	30*	30*	60*	77*	140*	9265	14770	32717	46896	55176	6,3	87337
12	Гидрокислотный удар (ГКУ)	-	-	-	-	15*	15*	-	-	-	-	8710	1,0	10498

*) — нагнетательные скважины

Литература:

1. Мищенко, И. Т. Скважинная добыча нефти. Учебное пособие для вузов. - М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. — 816 с.
2. Щуров, В. И. Технология и техника добычи нефти. Учебник для вузов. — М.: Альянс, 2005. — 510 с.
3. Молчанов, Г. В., Молчанов А. Г. Машины. Буровое оборудование. Справочник в 2-х томах/Абубакиров В. Ф., Архангельский В. Л. и др. — М.:

Использование природной железомарганцевой руды в качестве катализатора для получения нанотрубчатого углеродного материала

Крылов Игорь Олегович, кандидат технических наук, доцент;

Юшина Татьяна Ивановна, кандидат технических наук, зав. кафедрой;

Дунаева Вера Николаевна, аспирант

Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов»

Епихин Андрей Николаевич, кандидат технических наук, зав. лабораторией

ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт» (г. Москва)

В процессе исследования очистки синтез-газа от сероводорода высокотемпературным методом с помощью железомарганцевых руд-сорбентов [1] было установлено, что не все природные руды, содержащие в своем составе соединения железа и марганца, пригодны для целей сероочистки с точки зрения сохранения теплосодержания газов. Причиной этого является протекание побочных реакций взаимодействия восстановительных компонентов синтез-газа с оксидами металлов, содержащихся в руде. Некоторые из этих реакций (например, разложение метана), недопустимые для процесса сероочистки топливных газов, получаемых газификацией угля для использования в парогазовых установках с внутрицикловой газификацией угля (ПГУ с ВЦГ), могут успешно применяться при синтезе метанола и жидких моторных топлив (ЖМТ). Для технологий химического синтеза необходимым условием является объемное соотношение в исходном газе $H_2/CO=2$, а метан является балластным газом. Процесс разложения метана на углерод и водород с использованием природной железомарганцевой руды марки «П» [1] позволит увеличить процентное содержание в газе водорода, тем самым увеличив выход целевого продукта.

После проведения исследования устойчивости природных сорбентов сероводорода в среде синтез-газа [1] был проведен элементный анализ сорбента «П», проявившего наибольшее влияние на изменение состава синтез-газа. Анализ показал наличие в пробе большого количества углерода (более 30 % масс.), образовавшегося в результате разложения углеродсодержащих соединений газа (CO , CH_4). Присутствие углерода в пробах позволили предположить, что при наличии в руде железа и при определенных условиях возможно получение наноструктурного углерода — нанотрубок и нановолокон, а руда, содержащая соединения железа

и марганца, может являться катализатором процесса химического осаждения углерода из газовой фазы с образованием такого углерода. Такой метод имеет еще одно название — пиролиз углеродсодержащих газов на синтетических катализаторах, содержащих металлы группы железа [2,3].

Для проверки этой гипотезы были проведены опыты по каталитическому пиролизу метана на руде марки «П» из газовой смеси следующего состава (% об.): CO (25,75); H_2 (15,83); CH_4 (31,55); N_2 (26,87).

Эксперименты проводились на установке, ранее использовавшейся для изучения протекания побочных реакций в плотном слое сорбента сероочистки, модернизированной системой генерации водорода для предварительного восстановления руды катализатора. После проведения предварительного восстановления водородом газовая смесь, имитирующая синтез-газ, из баллона через редуктор подавалась в реактор, заполненный исследуемым материалом, который разогревался до заданной температуры электропечью. Выходящий из реактора газ проходил через фильтр и направлялся на хроматографический анализ, для определения концентраций H_2 , CH_4 , CO . Расход газа перед реактором определялся с помощью электронного газового расходомера, а расход газа на выходе после измерения состава — газовыми часами ГСБ-400. Отходящий синтез-газ сбрасывался в вытяжную систему.

Перед загрузкой в реактор на аналитических весах взвешивался исследуемый материал и мелкодробленый кварц для организации подложки в реакторе и для распределения газа.

Восстановление материала водородом осуществлялось при повышении температуры от $300^\circ C$ до температуры опыта, лежащей в интервале $750-880^\circ C$; при этом скорость нагрева составляла около $10^\circ C$ в минуту. После

Таблица 1

Результаты элементного анализа образца, полученного после разложения метана на руде-катализаторе при температуре 800 °С

Элемент	Содержание по массе, %
C	$32,24 \pm 0,91$
O	$10,4 \pm 0,61$
Fe	$34,29 \pm 0,89$
Mn	$17,01 \pm 0,62$
Si	$3,08 \pm 0,26$
Al	$1,22 \pm 0,9$
V	$0,99 \pm 0,22$
P	$0,55 \pm 0,21$
F	$0,19 \pm 0,86$

завершения подачи водорода на восстановленный катализатор подавался исходным синтез-газ из баллона. Опыт проводился в течение 2–3 часов и более и заканчивался при стабилизации состава выходной смеси из реактора. После этого в течение часа при температуре 300–400 °С проводилась азотная пассивация материала во избежание вспышки металлического пирофорного железа.

Для исследований было отобрано 4 образца руды-катализатора марки «П» с различным содержанием железа (от 3 до 19 % масс.) и марганца (от 13 до 42 % масс.), а также содержащих SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , K_2O , CaO , TiO_2 , P_2O_5 , Na_2O .

Увеличение содержания целевого катализатора (Fe) в материале приводит к интенсификации процесса и увеличивает степень разложения метана, однако при содержании железа в пробе 5,56 % масс. наблюдается повышение степени разложения по сравнению с материалом с несколько большим (9,25 % масс.) содержанием железа. Это может быть объяснено влиянием на процесс разложения метана не только железа, но и марганца.

Марганец является промотором в процессе разложения метана и отвечает за стабильность активности катализатора (Fe), а также, скорее всего, выступает в качестве самостоятельного катализатора [4].

При исследовании результатов влияния температуры на процесс разложения метана для руды, содержащей 18,9 % масс. железа видно, что при 750 °С процесс практически не идет, при 780 °С протекает с малой интенсивностью (около 45 %). Повышение температуры до 800 °С и более дает существенное увеличение степени разложения метана до 90–95 %. Степени разложения метана, полученные при температурах 850 и 880 °С приблизительно одинаковы (около 96 %), однако при температуре 880 °С степень разложения достигается гораздо быстрее.

Логарифмическая зависимость константы равновесия, которая рассчитывалась по степени разложения ме-

тана, достигнутой при наступлении состояния равновесия, имеет линейную зависимость от обратной температуры проведения процесса.

Для проверки наличия в пробах, полученных после проведения процесса каталитического пиролиза метана, углеродных нанотрубок был применен метод просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) для двух образцов руды-катализатора с содержанием железа 18,9 % масс., полученных при 800 °С и 850 °С.

Результаты элементного анализа пробы, полученной в опыте при температуре 800 °С представлены в таблице 1.

Результаты элементного анализа пробы, полученной в опыте при температуре 800 °С доказывают присутствие значительного количества углерода в исходном катализаторе (около 32 % от общей массы материала). Были получены углеродные трубки диаметром около 4–8 нм шарообразных частиц графита. В пробе присутствуют как однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ), так и многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ), а также цепочки связанных между собой углеродных трубок.

Спектр образца, полученного разложением метана из модельного синтез-газа при 850 °С, представлен на рисунке 1. На рисунке 2 — его микрофотографии.

Анализ спектральной характеристики показал (рис. 1), что углеродный пик сильно выражен по сравнению с пиками железа и марганца, что свидетельствует о большой доле углерода в образце, полученном при 850 °С.

Таким образом, результаты исследований подтвердили образование на катализаторе природного происхождения высококачественного углеродного наноструктурированного материала, который может быть пригоден для различных целей (композиционные материалы, электроника, оптика, адсорбенты, водородная энергетика и др. [2,3,5]).

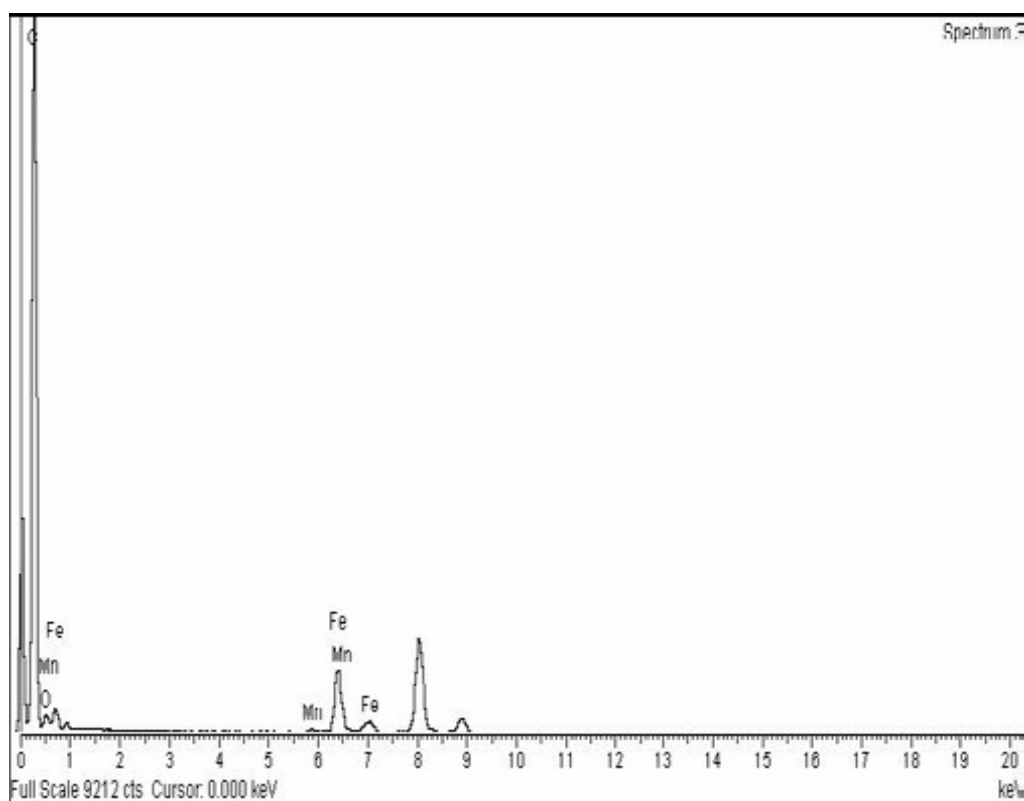


Рис. 1. Спектральная характеристика продукта реакции разложения метана на руде-катализаторе П-4 при 850 °С

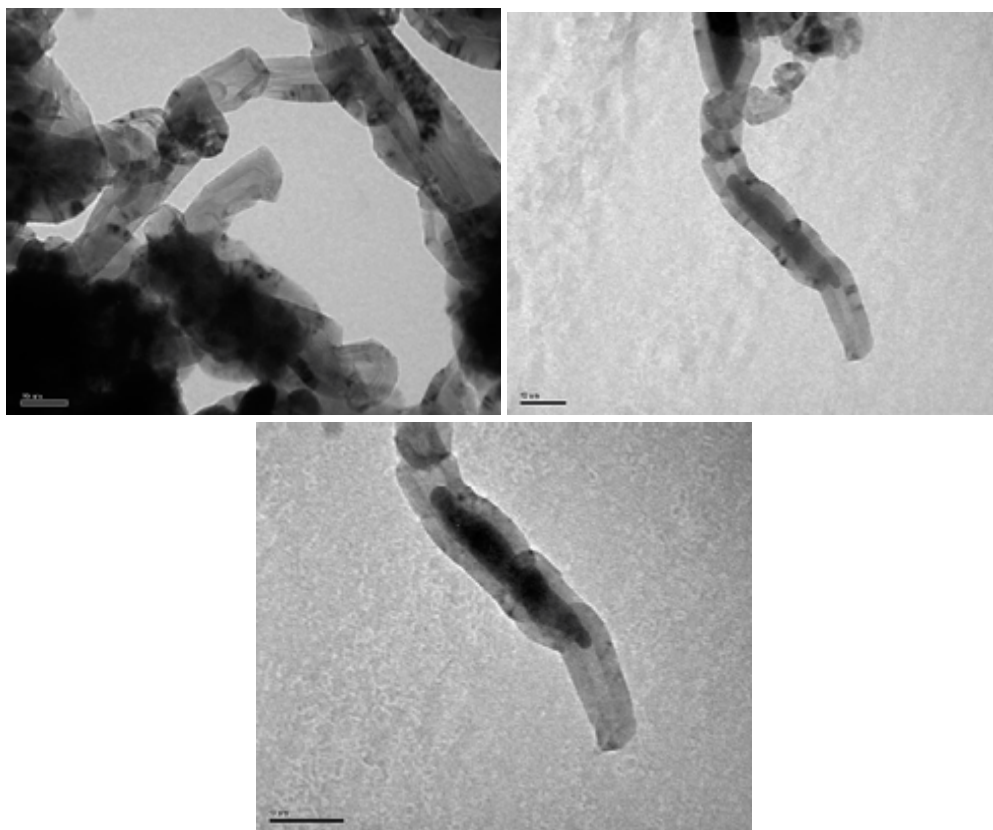


Рис. 2. Электронные микрофотографии полученных углеродных структур для образца, полученного при 850 °С

Литература:

1. Перспективы использования природных железомарганцевых сорбентов H₂S для высокотемпературной очистки синтез-газа/А. Н. Епихин, И. О. Крылов, А. А. Сомов, С. И. Сучков [и др.]//Электрические станции. — 2012. — №2. — с. 29–34.
2. Раков, Э. Г. Нанотрубки и фуллерены: учебное пособие. — М.: Университетская книга, Логос, 2006. — 376 с.
3. Дьячков, П. Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006—293 с.
4. Ткачев, А. Г. Разработка технологии и оборудования для промышленного производства наноструктурных материалов: автореф. дис. д. т. н. — Тамбов, 2008. — 34 с.
5. Захарова, И. Б. Молекулярная электроника и углеродные наноструктуры. — СПб.: Издательство Политехнического института, 2008. — 123 с.

Объемное тензометрирование почвообрабатывающих орудий

Лысыч Михаил Николаевич, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Захаров Павел Владимирович, аспирант;

Шабанов Михаил Леонидович, кандидат технических наук, доцент

Воронежская государственная лесотехническая академия

Большое значение при испытании сельско- и лесохозяйственных машин имеет динамометрирование, заключающееся в измерении сил, передаваемых от двигателя к машине или действующих в рабочих органах и деталях машин. Динамометрирование применяется как при выполнении исследовательских работ, так и при эксплуатации сельскохозяйственных машин в рабочих условиях, например для комплектования тракторных агрегатов, установления норм выработки и расхода горючего, а также обеспечения контроля за техническим состоянием тракторов и сельскохозяйственных машин, правильности регулирования их.

Динамометрированием машин в полевых, лабораторных и заводских условиях определяют:

а) энергетические показатели, необходимые для рационального подбора трактора или двигателя к машине или, наоборот, для подбора необходимого количества машин и рабочих органов к тракторам и двигателям;

б) усилия, действующие на детали и рабочие органы, необходимые для расчетов на прочность и износ;

в) данные, необходимые для расчета технологических процессов сельскохозяйственных машин;

г) характеристики, необходимые для оценки качества изготовления машин или отдельных узлов и качества ремонта;

д) данные, необходимые для определения к п. д. механизмов и машин.

Показатели, определяемые динамометрированием, являются исходными для решения основных задач машиностроения и использования машин, а именно: экономии материалов, улучшения качества продукции и технологического процесса, уменьшения износа деталей и расхода энергии при эксплуатации. Таким образом, конечной

целью динамометрирования является создание наиболее рационально сконструированных и недорогих в производстве сельскохозяйственных машин, обеспечение их рационального использования и долговечности.

Рассмотрим подробнее некоторые конструкции измерительных установок используемых для динамометрирования почвообрабатывающих орудий.

Тензометрическое устройство завода им. Октябрьской революции (рис. 1, а) позволяет проводить замеры только горизонтальных составляющих усилий в трех точках, а также суммировать эти составляющие. Тензонавеска представляет собой переходную рамку между плугом и трактором.

Тензометрические тяги конструкции ВИСХОМа (рис. 1, б) для исследования тягового сопротивления почвообрабатывающих орудий представляют собой три тяги тракторной навески с наклеенными на них тензометрическими датчиками. Такое техническое решение обладает высокой конструктивной простотой, однако интерпретация получаемых данных представляет собой сложную задачу, требующую сложения показаний трех датчиков. При этом остается невыясненным вопрос о влиянии на достоверность данных изгибающих и крутящих моментов возникающих в тягах, особенно при испытании несимметричных орудий.

Разработанная Одесской НИС НАТИ тензометрическая рама (рис. 1, в) в которой все тензопальцы связаны между собой в одном узле. Два нижних выполнены как одно целое с горизонтальной осью. В верхней части стойка заканчивается вилкой, имеющей с одной стороны тензопалец, а с другой соединительный шарнир. Подобный метод позволяет по сравнению с использованием динамометрических тяг, определять измерения

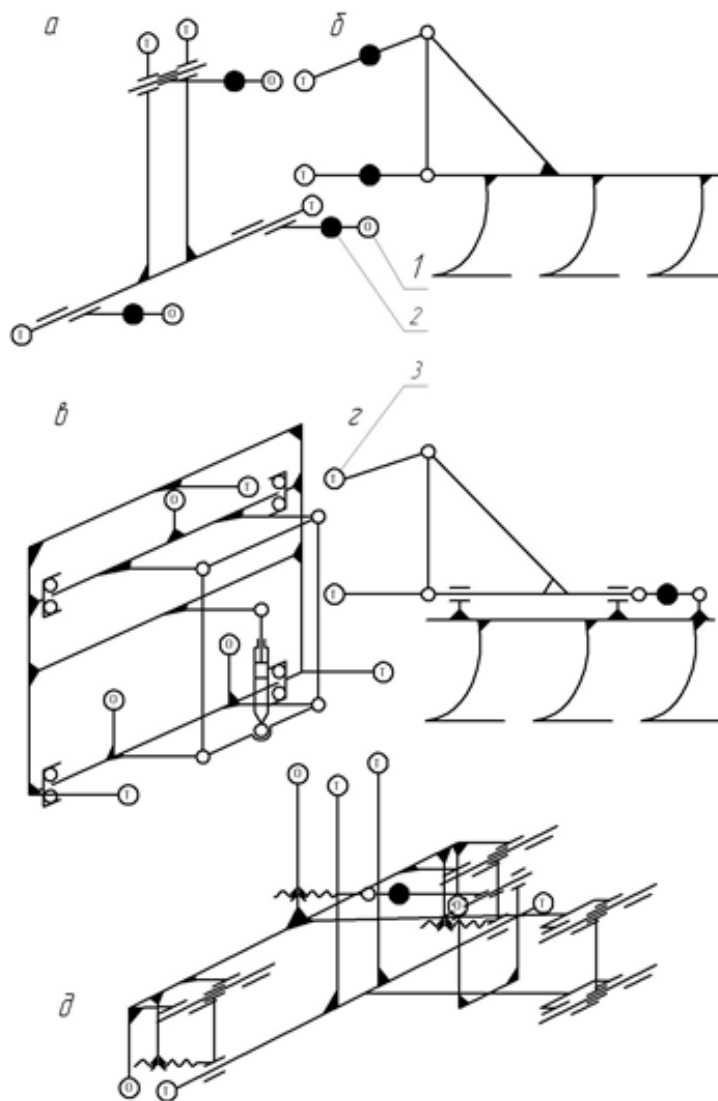


Рис. 1. Кинематические схемы тензооборудования, применяемого для определения тягового сопротивления почвообрабатывающих орудий: а – завода им. Октябрьской революции ВИСХОМа; б – Киевской сельскохозяйственной академии; в, г – Одесской НИС НАТИ; д – ВГЛТА; 1 – точка присоединения орудия; 2 – точка присоединения навески трактора; 3 – тензодатчик

более простыми способами и с более простыми вычислениями. Так же возможно определение не только горизонтальной, но и вертикальной составляющей тягового сопротивления. Однако значительным недостатком является высокая погрешность измерений — 8...10% и удаление орудия от трактора, из-за помещения между ними тензометрической рамы.

Другая тензометрическая навеска разработанная Одесской НИС НАТИ (рис. 1, в) предназначена для исследования горизонтальной составляющей тягового сопротивления. В ней использовано одно тензометрическое звено, что значительно упрощает обработку данных и не вносит дополнительных погрешностей в измерения. Однако ее компоновка требует снятие с испытуемой машины ее серийной навески, что не всегда удобно.

Тензометрическая навеска конструкции ВГЛТА (рис. 1, д) для исследования тягового сопротивления почвообрабатывающих орудий включает в себя две рамки, расположенные одна под другой и соединенные качающимися поводками. Рамки имеют возможность двигаться друг относительно друга только в продольном направлении. Эту степень свободы ограничивает тензозвено, связывающее рамки при движении вперед и упоры с винтовой регулировкой, воспринимающие нагрузки в транспортном положении орудия [1].

Результаты анализа конструкций тензометрических установок явно указывают на то, что они с достаточной точностью способны фиксировать только горизонтальную составляющую тягового сопротивления. Лишь некоторые конструкции позволяют фиксировать вертикальную со-

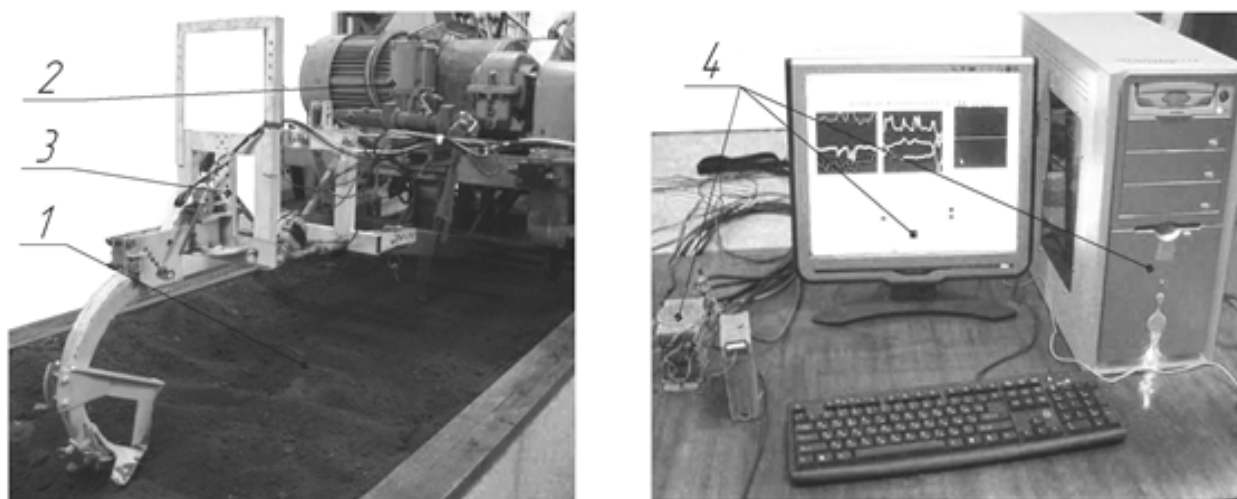


Рис. 2. Тензометрическая установка

ставляющую, а величины боковых составляющих тягового сопротивления остаются не изученными, что крайне важно для несимметричных орудий.

С целью детального изучения силовых параметров различных рабочих органов [2] и получения входных данных для математического моделирования на кафедре механизации лесного хозяйства и проектирования машин (МЛХиПМ) ВГЛТА была разработана и изготовлена установка для пространственного тензометрирования (рис. 2).

Она включает следующие основные элементы: грунтовой канал 1, тяговую тележку 2 с 3-точечным навесным

устройством, тензометрическое навесное оборудование 3 и устройства 4 для преобразования электрического сигнала и регистрации измеряемых величин. Непосредственно тензометрическое оборудование включает следующие основные элементы: две рамки 1 и 2, соединенные при помощи трех параллельных тяг 3 и трех тяг-раскосов 4, концы которых закреплены посредством шаровых шарниров 5, шести тензометрических звеньев 6, установленных на каждую тягу, механизма позволяющего варьировать угол установки рабочего органа в горизонтальной и вертикальной плоскостях 7 и кронштейнов крепления к навесной системе 8 (рис. 3). Одна рамка жестко закреп-

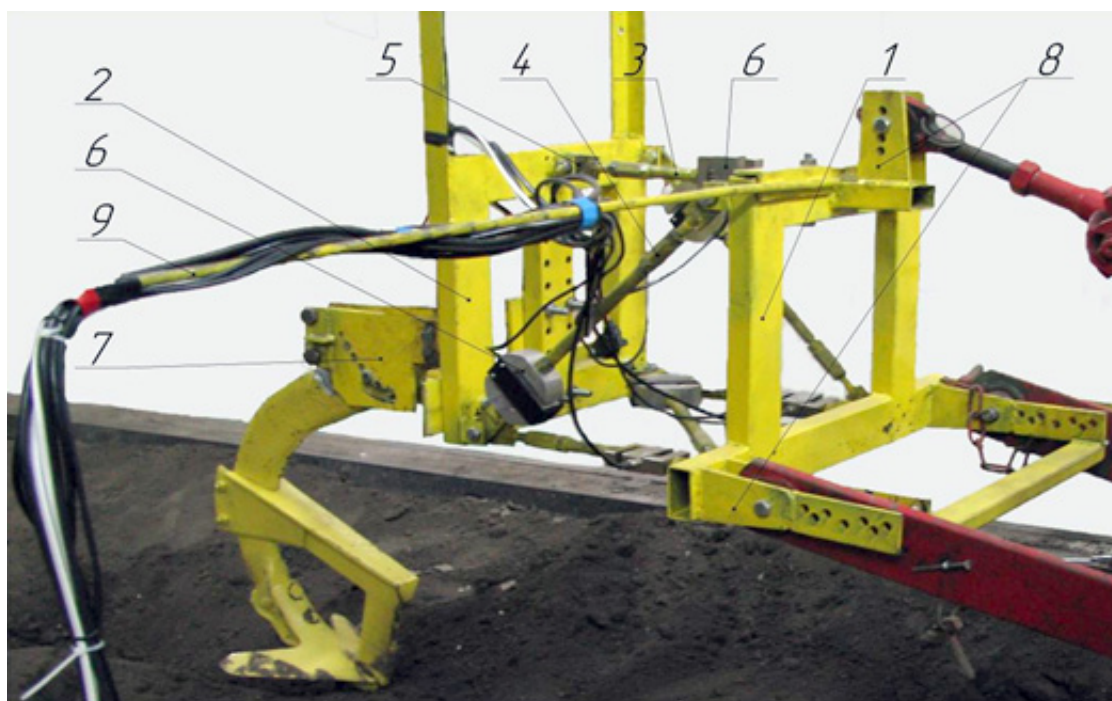


Рис. 3. Тензометрическое оборудование

лена в трех точках на навесном устройстве тяговой тележки, другая также установлена жестко, посредством такого расположения шести тяг которое полностью блокирует все шесть степеней свободы. Использование шаровых шарниров позволяет избежать передачи тягами крутящих моментов и на датчики действуют лишь сжимающие и растягивающие силы, параллельные направлению тяг [3].

В результате исследований были получены как горизонтальная и вертикальная составляющие тягового сопротивления, так и боковые составляющие.

Модуль тягового сопротивления в рабочем положении составляет 402,396 Н для экспериментального и 373,137 Н для серийного рабочего органа. Это объясняется увеличением поверхностей взаимодействия с почвой экспериментального органа.

Проверка правильности показаний проводилась путем

взвешивания эталонного груза перед применением навески. Расхождение в показаниях составило 1,7 %.

Также проводилось сравнение горизонтальной составляющей тягового сопротивления полученной на другой установке конструкции ВГЛТА (рис. 1, д). Тензометрическое звено, схема подключения и обработки данных, а также почвенные условия были аналогичными. Расхождение в показаниях составило 3,6 %. Полученные данные также достаточно хорошо согласуются с теоретическими.

Выводы. Использование предложенной установки пространственного тензометрирования позволяет проводить изучение силовых параметров различных почвообрабатывающих рабочих органов. Эти данные в дальнейшем могут использоваться при математическом моделировании для изучения динамики движения и устойчивости отдельных рабочих органов и орудий в целом.

Литература:

1. Шабанов, М.Л. Изучение силовых параметров рабочих органов почвообрабатывающих орудий с использованием тензометрических установок [Текст]/М.Л. Шабанов, М.Н. Лысыч, А.А. Шкильный // Молодой ученый. — 2014. — №6. — с. 271–274.
2. Пат. 2319329 РФ, МКИА01В49/02, 76/00. Комбинированное почвообрабатывающее орудие [Текст]/И. М. Бартенев, М.Н. Лысыч, А.А. Кузнецов; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. — №2006127356/12; заявл. 27.07.2006; опубл. 20.03.2008, Бюл. №12. — 3 с.
3. Пат. 2498245 РФ, МПК G01L5/13 (2006.01). Установка для объемного тензометрирования [Текст]/И. М. Бартенев, М.Н. Лысыч, А.А. Донцов И.Е.; заявитель и патентообладатель ВГЛТА. — №2012118290/28, заявл. 03.05.2012; опубл. 10.11.2013.

Подходы и технологические решения по ликвидации накопленного экологического ущерба от загрязнения окружающей среды буровыми отходами

Пичугин Евгений Александрович, заместитель начальника отдела

ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем»

Любая хозяйственная деятельность, выполняемая в соответствии с современными требованиями природопользования, не должна приводить к необратимым нарушениям природной среды, что на практике достигается весьма редко. К числу наиболее агрессивных отраслей по сумме техногенных факторов, оказывающих негативное воздействие на окружающую природную среду, являются добыча, транспортировка, хранение и использование нефтепродуктов [1].

Источниками образования отходов в нефтегазодобывающих предприятиях являются: ликвидация последствий аварийных ситуаций; регламентные работы; строительство и реконструкция скважин; ликвидация объектов добычи нефти и газа, хранения нефтепродуктов и т.д. [2].

При добыче углеводородного сырья образуются: нефтесодержащие жидкости (НСЖ); твердые нефтесодер-

жащие отходы (ТНСО); нефтезагрязненный грунт (НЗГ); асфальтосмолопарафинистые отложения (АСПО); нефтезагрязненные материалы (пленка, ветошь, спецодежда и т.п.); буровой шлам (БШ); отработанный буровой раствор (ОБР).

Повышенное содержание минеральных солей в отходах бурения, захороненных в шламовых амбарах, способствует длительной миграции легкорастворимых солей, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях [3].

Таким образом, в настоящее время отходы бурения нефтегазодобывающих предприятий превращаются в реальный источник экологической опасности. При этом ущерб окружающей среды проявляется на протяжении многих лет использования амбаров, что причисляет их к категории объектов, наносящих окружающей

среде экологический ущерб (накопленный экологический ущерб).

В настоящее время в Российской Федерации действует Государственная программа «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы, в рамках которой проводятся мероприятия по ликвидации прошлого (накопленного) экологического ущерба. В связи с этим выработка подходов и технологических решений по ликвидации буровых отходов позволит выявить объемы накопленных буровых отходов и разработать мероприятия и технологии по их ликвидации.

Для эффективного решения проблемы накопленных отходов бурения необходимы технологические решения, которые реализуются в комплексном подходе ликвидации ущерба от загрязнения окружающей среды буровыми отходами.

На первом этапе необходимо выявлять участки территории, потенциально опасные с точки зрения загрязнения окружающей среды. Для этого необходимо производить сбор и анализ информации о загрязнении (инвентаризация загрязненных участков) и организациях-загрязнителях на данном участке территории.

После выявления потенциально опасных объектов следующий этап заключается в оценке состояния этого участка территории для определения наличия загрязнения и отнесения территории к той или иной зоне экологического нарушения.

При этом выделяют следующие зоны экологического нарушения территорий по степени остроты: отно-

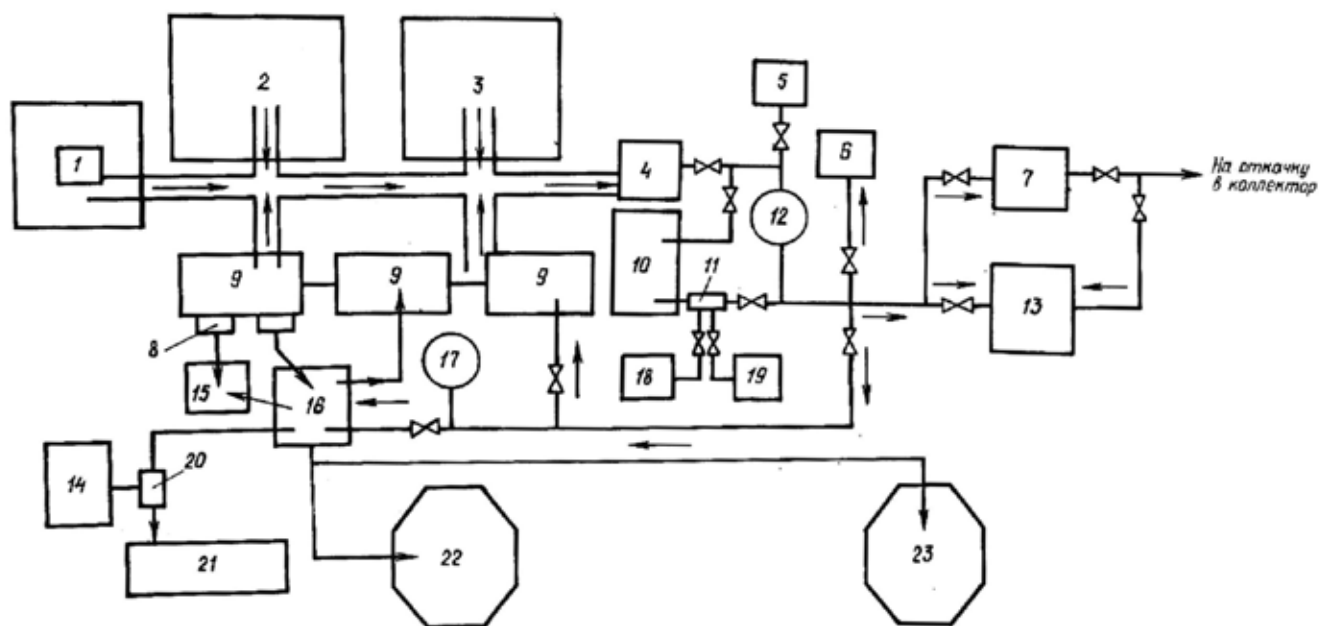
сительно удовлетворительная; напряженная; критическая; кризисная (или зона чрезвычайной экологической ситуации); катастрофическая (или зона экологического бедствия) [4].

На третьем этапе необходимо проводить мероприятия по ликвидации загрязнений, очистки территории и восстановлению территорий, которым причинен ущерб (вред).

Для ликвидации загрязнений, утилизации отходов бурения и восстановлению территории применяют различные методы:

- Термический (сжигание в амбарах, печах; сушка в сушилках различных конструкций, термическое прокаливание и т.д.);
- Физический (захоронение, замораживание, сепарация, центрифугирование, отстаивание, фильтрование под давлением и т.д.);
- Химический (отверждение с применением специальных добавок, обработка коагулянтами и т.д.);
- Физико-химический (перемешивание отходов с сорбентом, торфом, опилками и т.д.);
- Биологический (биодеструкция с помощью микроорганизмов, рекультивация и т.д.).

Заключительным этапом ликвидации накопленного экологического ущерба от размещения буровых отходов является проведение мероприятий по восстановлению окружающей природной среды, включая мониторинг за состоянием всех компонентов окружающей среды (ат-



1, 4 — шахты или емкости для сброса БСВ; 2 — насосный блок; 3 — энергоблок; 5 — узел приготовления коагулянта и флокулянта; 6 — узел приготовления буровых растворов и химреагентов; 7 — блок доочистки; 8 — узел очистки буровых растворов; 9 — циркуляционная система; 10 — емкость для отстаивания обработанной воды; 11 — узел обработки БСВ; 12 — насос; 13 — дренажная фильтрующая площадка; 14 — емкость с обезвреживающим составом; 15 — контейнер; 16 — установка для отмывки шлама; 17 — водораспределительная емкость; 18, 19 — емкости для коагулянта и флокулянта; 20 — узел обработки ОБР; 21 — площадка для твердения; 22, 23 — емкости для сбора ОБР

Рис. 1. Принципиальная схема обработки отходов при безамбарном бурении [5]

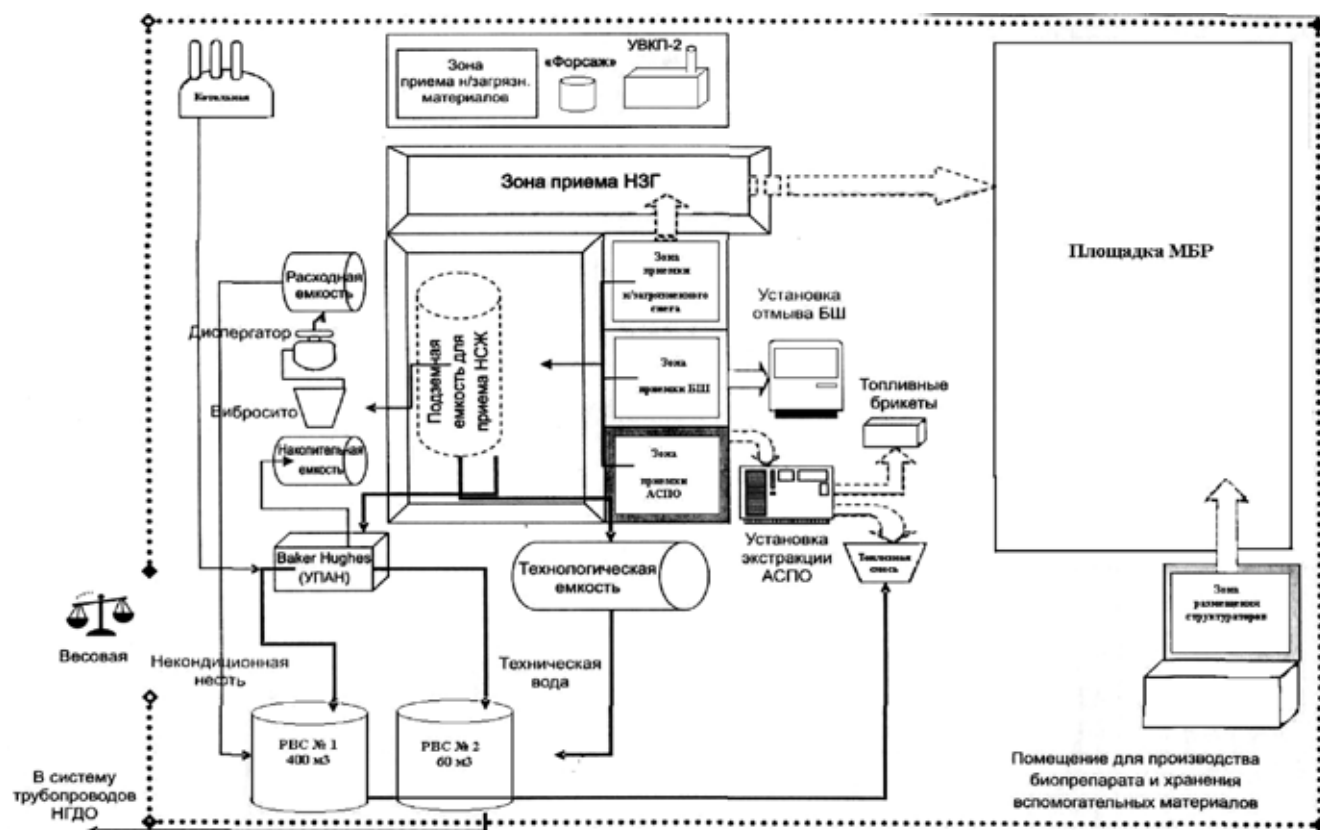


Рис. 2. Типовая схема комплексных сооружений для переработки отходов нефтедобычи [2]

мосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы и т.д.).

Кроме того, для уменьшения и предотвращения накопления буровых отходов в дальнейшем предприятиями необходимо применять технологические решения, которые позволят снизить вред окружающей среде.

К таким технологическим решениям можно отнести:

1. Реализация на практике технологии безамбарного бурения (Рис. 1).

В такой схеме предусмотрена локализация сброса жидких, полужидких и твердых отходов. Для сброса жидких стоков используются шахты, сооружаемые в пониженной части буровой площадки. Сбор отработанного бурового раствора может осуществляться в контейнеры с последующим вывозом на узел утилизации в систему временного локального складирования и накопления отходов бурения. Сбор выбуренной породы осуществляется в контейнеры, из которых затем масса с помощью подъемного оборудования либо выгружается в автомашины для последующего вывоза, либо подается на отмывку, где происходит отделение шлама от остатков бурового раствора или химреагентов, а отмытый шлам сбрасывается на площадку для твердения или в специальный шламонакопитель. После окончания строительства скважин такой шлам может вывозиться в места для сброса или захоронения, а также смешиваться с отвержденным раствором или минеральным грунтом с последующей засыпкой слоем плодородной почвы для рекультивации территории буровой [5].

2. Реализация комплексных решений по утилизации отходов бурения. Комплексный подход к проектированию и эксплуатации предприятий позволяет разработать и внедрить типовые технологические схемы сооружений для переработки отходов нефтедобычи с получением товарной продукции (рис. 2) [2].

3. Реализация технологических решений по повышению экологической безопасности (разработка системы управления отходами).

Система управления нефтеотходами основана на исключении смешения потоков разных классов отходов, максимального извлечения товарного сырья и использование отдельных отходов без переработки. Система включает отдельный сбор и утилизацию различных по природе потоков нефтеотходов: жидких, АСПО и нефтегрунта (рис. 3) [6].

Главным недостатком нефтеотходов, как техногенного сырья, является нестабильность свойств во времени, а также неоднородность состава, обусловленные условиями их образования и хранения, поэтому ликвидация прошлого (накопленного) экологического ущерба от загрязнения отходами бурения представляется сложной задачей.

В настоящее время для предотвращения загрязнения почвы отходами бурения предприятиями проводятся различные охранные мероприятия, уменьшающие вред окружающей среде. Однако, в дальнейшем для снижения экологической нагрузки на территории нефтедобывающих

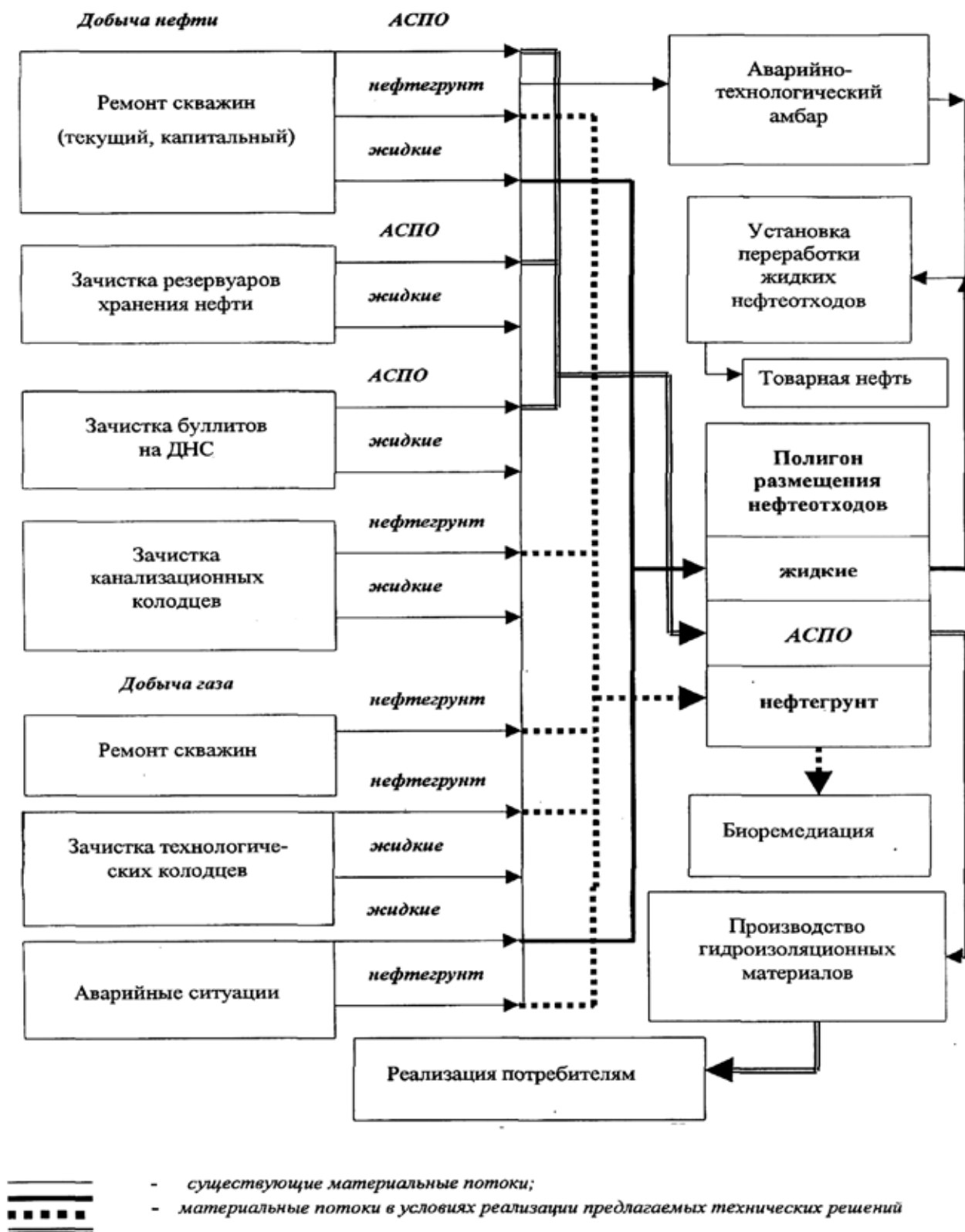


Рис. 3. Принципиальная схема разработанных технологических решений повышения экологической безопасности нефтедобывающих производств [6]

и нефтеперерабатывающих предприятий им необходимо применять более эффективные в экологическом и экономическом смысле технологические решения, основанные

на наиболее полном использовании отходов бурения в технологическом цикле и, как следствие, уменьшении ущерба (вреда) окружающей среде.

Литература:

1. Н.Н. Красногорская, Н.А. Трифонова. Утилизация и переработка нефтяных шламов в республике Башкортостан // Безопасность жизнедеятельности. — 2006. — №5. — с. 33–37.
2. А.Д. Максимов, С.В. Максимова. Комплексная переработка нефтеотходов в контексте антикризисной политики // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2010. — №6. — с. 37–41.
3. В.И. Матыцын, В.П. Спирин, М.В. Петросьян, А.П. Филиппов. Комплексная технология утилизации минерализованных буровых шламов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. — 2007. — №2. — с. 39–43.
4. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия (утверждены Минприроды РФ 30.11.1992 г.).
5. Булатов, А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. — М.: Недра, 1997. — 483 с.: ил.
6. Ручкинова, О.И., Вайсман Я.И. Экологическая безопасность предприятий нефтедобывающего комплекса (система управления нефтеотходами) // Инженерная экология. — 2003. — №2. — с. 15–26.

Исследование применения виброакустического метода воздействия на призабойную зону пласта

Сулушаш Куаныш кызы

Мангистауский гуманитарно-технический университет (г. Актау, Казахстан)

Опыт разработки месторождений показывает, что виброакустические методы являются неотъемлемой частью комплексного воздействия на пласты. Во-первых, это — воздействие естественного волнового фона, создаваемого нестационарным режимом работы скважинного оборудования, их периодическими пусками и остановками, приливными волнами и сейсмической активностью земной коры. Во-вторых, это — процесс управляемого виброакустического воздействия на пласты, который в настоящее время изучен недостаточно полно.

Метод управляемого виброакустического воздействия на продуктивные нефтенасыщенные пласты разрабатывается с 70-х годов прошлого столетия. В настоящее время этот метод широко апробирован в различных геолого-физических условиях для интенсификации скважинной добычи углеводородов. Существует много экспериментальных работ, свидетельствующих о том, что воздействие на нефтенасыщенный пласт с частотами от единиц до тысяч герц увеличивает приток нефти к исследуемой скважине и уменьшает ее обводненность.

Наиболее тщательно разработаны физические основы; различные варианты базовых технологий и технических решений для промышленной реализации виброакустического воздействия на призабойную зону скважин с целью восстановления ее проницаемости и интенсификации притока жидкости, но вопрос о механизмах влияния на удаленную промытую зону остается открытым.

Существуют разные точки зрения на механизм виброакустического воздействия, но на сегодняшний день не-

противоречивых концепций, к сожалению, нет. Также не существует единой математической модели, позволяющей полностью описать и количественно рассчитать влияние виброакустических колебаний на гидродинамику вытеснения нефти водой.

Одним из первых натурных экспериментов по сейсмическому воздействию на нефтяной пласт был эксперимент 1969 г., проведенный на Бориславском нефтяном месторождении в Предкарпатье [31]. Вибратор был установлен на скважинную колонну, опущенную на глубину до 218 м. Вибрационное воздействие проводилось в течение 3,5 сут. В результате получено увеличение дебита нефти приблизительно на 10 % при неизменном дебите воды.

Основные результаты полевых вибрационных экспериментов ИФЗ РАН 1985–1989 гг. на нефтяных месторождениях Северного Кавказа изложены в работах [32–42]). Эти испытания были по сути первыми осмысленными и проводились на месторождениях Абузы, Убежинское, Зыбза-Глубокий Яр с разной степенью обводненности. Наиболее яркий положительный эффект сейсмического воздействия в виде снижения обводненности продукции скважин получен на месторождении Абузы. Содержание нефти в скважинной жидкости после месяца сейсмических воздействий по одной из скважин увеличилось от 5–15 до 10–20 %. На месторождении Убежинское, где средняя обводненность составляла 50 %, зафиксировано резкое увеличение разброса объемного содержания нефти в добываемой жидкости при сохранении его среднего значения. На месторождении Зыбза зафиксировано повышение объ-

емного содержания нефти от 5–10 до 20–25 % в обводненной скважине и кратковременное обводнение продукции скважины, добывающей практически безводную нефть.

В 1986 г. силами ВНИИнефть были поставлены промысловые эксперименты на двух опытных участках месторождения Чангыр-Таш в Киргизии [43,44]. Вибрационное воздействие проводилось с помощью двух наземных источников колебаний мощностью по 50 кВт каждый. В результате воздействия, которое осуществлялось в течение 1 месяца, среднесуточная добыча нефти выросла в 1,6 раза, а обводненность продукции снизилась на 20–25 %.

Результаты промысловых испытаний низкочастотного сейсмического воздействия на нефтяные залежи, проведенные геофизиками Сибирского отделения РАН, представлены в работах [45–50]. Испытания проводились на месторождениях Абузы (Краснодарский край), Чангыр-Таш (Киргизия), Марте мья-Тетеревском (ПО «Урайнефтегаз»), Правдинском («Юганскнефтегаз») и Жирновском (ПО «Куйбышевнефтегаз»).

Все исследованные месторождения характеризуются высокой обводненностью продукции добывающих скважин. В результате воздействий обводненность отдельных скважин снизилась более чем вдвое, дебит нефти увеличился, изменился качественный состав нефти ипутного газа. В частности, для продуктивного пласта БС-6 Правдинского месторождения с глубиной залегания 2340 м эффект от вибрационного воздействия проявился в зоне радиусом 2,53,0 км от пункта установки вибрационных источников. Отмечено, что эффект воздействия сохранялся относительно длительное время (до 7–12 месяцев) после его прекращения.

При проведении опытно-промысловых работ на Манчаровском нефтяном месторождении (НГДУ Чекмагуш-нефть АНК «Башнефть») была успешно использована технология ударно-волнового воздействия на нефтяные пласты [51]. Воздействие осуществлялось мобильным импульсным источником на компоновку труб, опущенных в скважину. Максимальная глубина погружения составляла 1350 м. Эффект от воздействия обычно проявлялся через 7–15 сут после его начала в виде снижения обводненности добываемой продукции и дополнительной добычи нефти. В результате трех циклов воздействия длительностью по 3–5 недель обводненность продукции в целом по участку месторождения снизилась с 95,8 до 91,5 %.

Краткая сводка результатов вибросейсмического воздействия на нефтяных месторождениях Оренбургского и Волгоградского регионов утверждается [52,53], что влияние вибрационного воздействия, которое создавалось посредством скважинного широкополосного излучателя, заключалось и в увеличении добычи нефти, и в снижении обводненности продукции скважин, и в увеличении соотношений фазовых проницаемостей по нефти и воде.

В 1995 г. на севере Тюменской области были проведены пробные эксперименты по вибрационному воздействию на глубокозалегающий нефтяной пласт. Вибраторы располагались на расстоянии 0,5 км от устья наклонной добывающей скважины, приблизительно над ее забоем. Вибрационное воздействие проводилось в течение 5 сут на частотах 5–30 Гц. Наблюдалось увеличение: а) газового фактора, который мгновенно стабилизировался после прекращения вибрационного воздействия; б) дебита нефти от 24 до 28 м³/сут, который стабилизировался после воздействия с небольшим запаздыванием; в) пластового давления, которое сохранялось в течение нескольких суток после вибрационного воздействия.

В 1996 г. было проведено испытание вибрационной технологии на Суторминском нефтяном месторождении в Западной Сибири. Средняя обводненность продукции добывающих скважин составляла 76,7 %. Воздействие осуществлялось двумя источниками колебаний электродинамического типа в течение приблизительно одного месяца.

В результате зафиксировано снижение обводненности или увеличение дебита жидкости, причем часто при повышении динамического уровня жидкости в затрубном пространстве скважин. Отмечено также небольшое изменение физико-химических свойств добываемой нефти.

Относительно недавно появилось сообщение о проведении натурного эксперимента по сейсмическому воздействию на Долговском нефтяном месторождении в Оренбургской области. Применялся сейсмический источник СВ-100/20 с усилием на грунт до 100 Тс. Сообщается, что прирост добычи нефти в течение двух месяцев составил более 2000 т. Другой информации не приводится.

В работе предложен источник упругих низкочастотных волн для вибросейсмического воздействия на нефтяные пласты. В другом варианте возбуждения сейсмических волн с земной поверхности источники предлагается устанавливать на грунтах повышенной влажности, характеризующихся повышенными коэффициентами Пуассона и бокового давления.

В работе представлены результаты прямых натурных экспериментов по зондированию осадочных пород методом становления электромагнитного поля с параллельным периодическим сейсмическим воздействием с земной поверхности.

В работе по данным комплексных геофизических наблюдений на участках нефтегазоносных структур Припятской впадины и Терско-Каспийского прогиба установлено формирование аномальных деформационных, гравитационных и магнитных полей в результате низкочастотного сейсмического воздействия с земной поверхности. Эти аномалии сравнимы по амплитуде с аномалиями, наблюдаемыми в эпицентральных зонах сильных землетрясений, и объясняются возмущениями процессов

массопереноса во флюидонасыщенных средах, характеризующихся нелинейным поведением. В работах описан эффект образования органических структур в поле вибрационных источников, имеющий сильную частотную зависимость.

Создано полуэмпирическая модель распространения упругих акустических колебаний в насыщенных пористых средах, основанная на теории БиоФренкеля и позволяющая оценивать перепад давления в волне в любой точке порового пространства.

На основе проведенных исследований разработаны математическая модель и алгоритмы расчета акустического влияния на фильтрацию двухфазной жидкости в пористом коллекторе, а именно рассчитан спектр собственных частот колебаний капиллярно-защемленной нефти и установлена его связь со структурой порового пространства и текущей насыщенностью коллектора, несмешивающимися фазами и внешним градиентом давления рассчитаны коэффициенты демпфирования и соответственно коэффициент усиления, позволяющие оценивать дополнительный «усиленный» модуль градиента давления, действующий на капиллярно-защемленную нефть; разработаны полуэмпирическая модель и алгоритмы расчета, позволяющие количественно учесть влияние упругих акустических колебаний на остаточную нефтенасыщенность, проницаемость фаз и нефтеотдачу коллектора. Показано, что учет воздействия акустических колебаний в уравнениях фильтрации описывается путем введения дополнительного члена («усиленный» модуль градиента давления в акустическом волне) в выражение остаточной нефтенасыщенности;

Создано трехмерная гидродинамическая модель фильтрации двухфазной жидкости в поровом коллекторе, позволяющая качественно и количественно оценивать влияние акустических колебаний на фильтрацию двухфазной жидкости в пористой среде, в частности на процесс вытеснения нефти водой; показано, что резонансное воздействие упругих акустических колебаний с частотами

300–3000 Гц на капиллярно-защемленную часть остаточной нефти уменьшает остаточную нефтенасыщенность и увеличивает фазовую проницаемость по нефти при градиенте давления в пласте, обусловленным работой добывающих и нагнетательных скважин.

На основе гидродинамического моделирования процесса разработки модельных месторождений показано, что эффективное применение источников акустических колебаний возможно только при соответствующем подборе параметров излучателей, а именно: спектра частот, диаграммы направленности излучения, расположения источника, его мощности, исходя из геолого-физических характеристик и условий разработки участка пласта до воздействия, а именно: для каждого типа коллектора существует оптимальная частота воздействия (например, для коллектора неподверженного деформации с проницаемостями: 30 мД — 1300 Гц, 100 мД — 1100 Гц, 300 мД — 900 Гц); неупругая деформация, уменьшая пористость и абсолютную проницаемость коллектора, приводит к увеличению собственных частот капиллярно-защемленной нефти и оптимальных частот воздействия. Кроме того, неупругая деформация приводит к перераспределению насыщенностей в конкретной точке коллектора; для экономической рентабельности использования акустических источников и снижения затрат, в работе показано, что наиболее оправданным является поздняя стадия разработки при обводненности скважин, близкой к критической. При этом эффект от акустического воздействия практически такой же, как и при включении источников на более ранней стадии разработки; существует оптимальная форма волны, воздействие которой, при прочих равных условиях максимальный эффект в сложнопостроенных и высоконеоднородных коллекторах выгоднее располагать излучатель напротив менее промытых пропластков из более высокопроницаемой части разреза. Последовательное передвижение излучателей по разрезу позволяет получить более высокий суммарный эффект.

Литература:

1. Сменковская, П. Т. Влияние вибрации на тепло- и массоперенос в капиллярно-пористом материале // Инж. - физ. журн. 1965. Т. 9, №2. с. 207–210.
2. Воропаев, В. Н., Габалов О. С., Каныгин Р. Б. Влияние упругих колебаний звуковых частот на процесс фильтрации // Природа геофизических полей Северо-Востока СССР. Магадан, 1988. с. 95–100.
3. Царев, В. П. Особенности нефтегазообразования в зонах тектоносейсмической активации. Новосибирск: Наука, 1988. 192 с.
4. Галимов, Э. М. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. М.: Недра, 1973. 364 с.
5. Гадиев, С. М. Использование вибрации при добыче нефти. М.: Недра, 1977. 180 с.
6. Снарский, А. Н. Определение влияния инфразвукового поля на скорость фильтрации нефти на элементарной модели пласта // Изв. вузов. Нефть и газ. 1982. №1. с. 30–32.
7. Шамина, О. Г., Паленов А. М., Ткаченко В. С., Якушина Н. А. Влияние вибрационного воздействия на влагонасыщение горных пород // Физика Земли. 1997. №1. с. 48–58.
8. Погосян, А. Б., Симкин Э. М., Стрёмовский Э. В. и др. Сегрегация углеводородной жидкости и воды в пористой среде в поле упругих волн // Докл. АН СССР. 1989. Т. 307, №3. с. 75–577.

-
9. Дыбленко, В.П., Туфанов И.А., Сулейманов Г.А., Лысенко А.П. Фильтрационные явления и процессы в насыщенных пористых средах при виброволновом воздействии// Пути интенсификации добычи нефти. Уфа: БашНИПИнефть, 1989. с. 45–51.
 10. Dyblenko, V.P., Sharifullin R.J. Results of investigations of filtration processes in oil and water saturated reservoirs under stimulation by elastic vibrowavering// Nonlinear Acoustic at the Beginning of the 21st Century. Moscow, 2002. V. 2. P. 1181–1184.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

III Международная научная конференция

Казань, октябрь 2014 г.

Материалы печатаются в авторской редакции

Дизайн обложки: *Е.А. Шишков*

Верстка: *П.Я. Бурьянов*

Подписано в печать 24.10.2014. Формат 60х90 ¹/₈.

Гарнитура «Литературная». Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 12,99. Уч.-изд. л. 8,78. Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Бук»

г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 4