

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64098 от 18 декабря 2015 г.

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова» (141074, Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42)
Издается с сентября 2014 г.
Выходит 4 раза в год

ISSN 2409-1650

Журнал «Информационно-технологический вестник» включён в Перечень ведущих периодических изданий ВАК

Группы научных специальностей и научные специальности в рамках групп научных специальностей, по которым издание входит в Перечень:
2. Технические науки; 2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь; 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации [2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации; 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей]; 2.5. Машиностроение [2.5.13. Проектирование конструкции и производство летательных аппаратов]; 2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия; [2.6.17. Материаловедение]

Подписной индекс в каталоге «Почта России» ПП1997

Главный редактор
Артюшенко Владимир Михайлович, д.т.н., профессор

Над выпуском работали
Паршина Ю.С.
Пирогова Е.В.
Багдасарян А.А.
Харитоновна А.А.

Адрес редакции:
141070, Королев,
Ул. Октябрьская, 10а
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),
E-mail: rio-kimes@mail.ru,
Site: www.unitech-mo.ru

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в материалах, в том числе рекламных, представленных авторами для публикации
Материалы приводятся в авторской редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Вальс В.И., Артюшенко В.М.
ВОЗМОЖНОСТИ VISUAL ROX PRO ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ АНАЛИЗА ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА.....3

Кульчицкий С.Е., Щиканов М.А.
АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ИЗВЛЕЧЕНИЮ И ОБРАБОТКЕ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ.....11

Лукьянов А.А.
АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОТОКОЛА ТУННЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УДАЛЁННОЙ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ МАЛОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ.....21

Семенов А.Б., Артюшенко В.М.
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КЛАССИЧЕСКИХ СТРУКТУРИРОВАННЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....27

Шайтура С.В., Зеленова Г.Я., Сивченко С.В., Букаева И.Н., Шукенбаева Н.Ш.
АНАЛИЗ СРЕДСТВ И МЕХАНИЗМОВ ИНФОРМАЦИОННОГО СЕРВИСА.....40

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Аббасова Т.С., Семенов А.Б., Аббасов Т.Э.
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИПЕРКОНВЕРГЕНТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ.....63

Бобкова Н.Ю., Самаров С.Е., Серженко А.Ф.
АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ АВТОКАЛИБРОВКИ ОПТИЧЕСКИХ СЪЕМОЧНЫХ СИСТЕМ, КОРРЕКТИРУЮЩИХ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ ИСКАЖЕНИЯ ТЕМНОВОГО КАДРА И ВИНЬЕТИРОВАНИЯ.....76

Меньшикова Л.В., Исрафилов М.А., Найденова Д.М.
АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ ДИНАМИЧЕСКИХ WEB-САЙТОВ.....89

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Агеенко Ю.И., Бубнова А.С.
АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ В РОССИИ.....110

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. **Барканов Е.Н.**, Dr.sc.ing.
2. **Васильев Н.А.**, д.т.н., профессор
3. **Леоненко Д.В.**, д.ф.-м.н., профессор
4. **Тимофеев А.Н.**, д.т.н., профессор

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. **Аббасов Э.М.**, к.т.н.
2. **Аббасова Т.С.**, к.т.н., доцент
3. **Бухаров С.В.**, д.т.н., профессор
4. **Бершадский В.А.**, д.т.н., профессор кафедры
5. **Воловач В.И.**, д.т.н., профессор
6. **Кучеров Б.А.**, к.т.н.
7. **Логачев И.А.**, к.т.н.
8. **Логачева А.И.**, д.т.н., профессор
9. **Макаров М.И.**, д.т.н., профессор
10. **Матвиенко Ю.Г.**, д.т.н., профессор
11. **Мороз А.П.**, д.т.н., профессор
12. **Мосалов О.П.**, к.ф.-м.н.
13. **Разумовский И.М.**, д.ф.-м.н., профессор
14. **Рудаков В.Б.**, д.т.н., профессор
15. **Самаров Е.К.**, д.т.н., доцент
16. **Скрябин М.Л.**, к.т.н.
17. **Соляной В.Н.**, к.т.н.
18. **Стрэналок Ю.В.**, д.т.н., профессор
19. **Халиулин В.И.**, д.т.н., профессор
20. **Чесноков А.В.**, д.т.н.
21. **Щурин К.В.**, д.т.н., профессор

Подписано в печать 23.06.2023

Формат В5

Печать офсетная. Усл.печ.л.11,5

Тираж 500 экз.

Заказ № 95-02

Отпечатано в типографии

ООО «Научный консультант»

г. Москва

Хорошевское шоссе, 35, корп. 2

Макарова Е.Г., Нугманов Э.Р.

**АНАЛИТИКА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА В
ОРГАНИЗАЦИЯХ С ВЫСОКИМИ ТРЕБОВАНИЯМИ
АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ
ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ.....122**

Мороз А.П., Соколова А.В., Демин А.Н., Сорокин С.В.
**МЕТОДИКА И УСТАНОВКА ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ
ДАТЧИКОВ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА НА
СРЕДНЕИНТЕНСИВНЫЕ ДИАПАЗОНЫ.....132**

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Макиенко В.М., Атеняев А.В., Перваков Д.Г., Шадрин С.В.
**ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ.....147**

Пашковский И.Э.
**МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ РАБОЧИХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ СТРУКТУРНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ И ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИИ
ПРИ ТРЕНИИ.....162**

Соловьев М.Е., Кокарев С.С., Балдаев С.Л., Балдаев Л.Х.
**ПРОФИЛЬ ПЯТНА В ПЛАЗМЕННО-РАЗРЯДНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ НАПЫЛЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНУЮ
ПОВЕРХНОСТЬ.....171**

УДК 004.9

Возможности Visual Rox Pro для оптимизации анализа данных в системах электронного документооборота

Владислав Игоревич Вальс, аспирант кафедры информационных технологий и управляющих систем,

Владимир Михайлович Артюшенко, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и управляющих систем, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Рассмотрены и проанализированы возможности Visual Fox Pro для оптимизации анализа данных в системах электронного документооборота. Показано, что использование Visual Fox Pro для анализа данных в кампаниях может не только помочь ускорить процесс принятия решений на основе данных, но и повысить эффективность работы компании в целом.

Автоматизация, Visual Fox Pro, СЭД, анализ данных.

Possibilities of Visual Rox Pro for optimizing data analysis in electronic document management systems

Vladislav Igorevich Vals, postgraduate student of the Department Information Technologies and Control Systems,

Vladimir Mihajlovich Artyushenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Technologies and Control Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

The possibilities of Visual Fox Pro for optimizing data analysis in electronic document management systems are considered and analyzed. It is shown that the use of Visual Fox Pro for data analysis in campaigns can not only help speed up the decision-making process based on data, but also improve the efficiency of the company as a whole.

Automation, Visual Fox Pro, EDM, data analysis.

Введение. Актуальность данной темы обусловлена необходимостью компаний и организаций в оптимизации процессов документооборота и анализа данных, которые являются неотъемлемой частью работы многих отраслей и секторов экономики. Системы электронного документооборота, которые позволяют быстро и эффективно обрабатывать большие объемы документов, стали необхо-

димым инструментом для современных компаний. Однако, анализ данных, полученных в рамках документооборота, может быть затруднен из-за ограниченного доступа к данным, необходимости проведения ручной обработки или недостаточной интеграции с другими инструментами анализа данных.

В этом контексте использование Visual Fox Pro для оптимизации анализа данных в системах электронного документооборота может помочь компаниям улучшить свою эффективность и принимать более обоснованные решения на основе данных. Это также может сэкономить время и усилия персонала, который ранее занимался ручной обработкой и анализом данных. В целом, оптимизация процессов документооборота и анализа данных с помощью Visual Fox Pro является актуальной темой для компаний, которые стремятся улучшить свою конкурентоспособность и эффективность работы [1 с, 99].

В данной статье мы рассмотрим возможности использования Visual Fox Pro для оптимизации анализа данных в системах электронного документооборота. Мы обсудим, как можно ввести данные из документов в базу данных Visual Fox Pro, а затем использовать его для создания отчетов и автоматизации процессов документооборота и анализа данных. Мы также рассмотрим пример использования Visual Fox Pro для оптимизации процессов анализа данных в системе электронного документооборота.

Использование Visual Fox Pro для анализа данных может помочь компаниям ускорить процесс принятия решений на основе данных, а также повысить эффективность работы компании в целом.

В таблице 1 приведены возможности Visual Fox Pro для анализа данных в системах электронного документооборота.

Таблица 1 – Возможности Visual Fox Pro для анализа данных в СЭД

| Возможность | Описание |
|---------------------------------------|---|
| Работа с большими объемами данных | Visual Fox Pro обладает высокой производительностью и позволяет работать с большими объемами данных, что делает его идеальным инструментом для анализа данных в системах электронного документооборота. |
| Автоматизация процесса анализа данных | Visual Fox Pro позволяет автоматизировать процесс анализа данных, что значительно ускоряет процесс принятия решений. |
| Интеграция с СЭД | Visual Fox Pro может интегрироваться с системами электронного документооборота, что позволяет получать данные из СЭД и анализировать их в одной программе. |
| Возможность создания отчетов | Visual Fox Pro позволяет создавать отчеты на основе данных, полученных из СЭД, что облегчает процесс анализа данных и принятия решений. |
| Работа с неструктурированными данными | Visual Fox Pro позволяет работать с неструктурированными данными, что является важным преимуществом при анализе данных в СЭД. |

| Возможность | Описание |
|------------------------|---|
| Легкость использования | Visual Fox Pro имеет интуитивно понятный интерфейс, что делает его легким в использовании даже для тех, кто не имеет опыта работы с программами для анализа данных. |

[1 с. 102]

Введение данных из документов в базу данных Visual Fox Pro позволяет автоматизировать процесс сбора и обработки информации, полученной в рамках системы электронного документооборота. Это уменьшает количество времени, необходимого для выполнения этих задач, и снижает вероятность ошибок.

Например, предположим, что компания получает 100 заказов в день в формате электронного документа. Если каждый документ необходимо вручную открыть, прочитать и ввести данные в базу данных, то это может занять значительное количество времени. Однако, если процесс ввода данных в базу данных Visual Fox Pro автоматизирован, то это может уменьшить время, затрачиваемое на этот процесс, на 50% или более. Кроме того, это может снизить вероятность ошибок, связанных с ручным вводом данных.

Создание запросов для анализа данных в Visual Fox Pro позволяет быстро и эффективно получать необходимые данные из базы данных. Это особенно полезно в системах электронного документооборота, где объемы данных могут быть огромными [2 с. 45].

Например, предположим, что компания ведет учет продаж товаров. Она имеет базу данных, содержащую информацию о продажах за последний год. Для анализа эффективности продажи конкретного товара можно создать запрос, который вычислит общую сумму продаж за год для этого товара. Этот запрос может быть выполнен в несколько секунд, что существенно экономит время по сравнению с ручным поиском и суммированием данных.

Кроме того, можно создать более сложные запросы для анализа данных, такие как запросы на выборку данных по определенным условиям или запросы на объединение данных из нескольких таблиц.

Например, предположим, что компания хочет провести анализ продаж конкретного товара по регионам. Для этого можно создать запрос, который объединит данные о продажах товара из таблицы продаж и данные о регионах из таблицы клиентов. Такой запрос позволит быстро получить данные о продажах для каждого региона и сравнить эффективность продаж в разных частях страны.

Для создания отчетов на основе данных из системы электронного документооборота с использованием Visual Fox Pro необходимо создать отчетный шаблон в программе Report Designer, который позволит отобразить необходимые данные в удобном виде [1 с. 101].

Например, предположим, что у нас есть база данных с информацией о продажах за последний месяц. Мы хотим создать отчет о суммарной выручке по каждому продукту за данный период. Для этого мы можем создать запрос, который вычислит суммарную выручку для каждого продукта и сохранит результат в виде отдельной таблицы в базе данных. Затем мы можем использовать Report

Designer, чтобы создать отчетный шаблон, который отобразит эту информацию в удобном виде, например, в виде таблицы с колонками «Название продукта» и «Суммарная выручка».

В качестве конкретного примера, предположим, что у нас есть база данных с информацией о продажах компании за последний месяц, включающей информацию о дате продажи, продукте, количестве проданных единиц и общей сумме продаж для каждой транзакции. Мы создали запрос, который вычисляет суммарную выручку для каждого продукта и сохраняет результат в таблице «SalesSummary». Затем мы создали отчетный шаблон, который отображает эту информацию в виде таблицы, сортируемой по убыванию суммарной выручки. Результаты нашего анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Пример отчета с использованием Visual Fox Pro

| Название продукта | Суммарная выручка |
|--------------------------|--------------------------|
| Продукт А | 12,345 |
| Продукт В | 8,765 |
| Продукт С | 5,432 |
| Продукт D | 2,345 |
| Продукт E | 1,234 |

[4 с. 578]

Пример автоматизации процессов документооборота и анализа данных с помощью Visual Fox Pro может быть следующим:

Предположим, что компания использует систему электронного документооборота для обработки заказов от клиентов. Каждый заказ содержит информацию о клиенте, заказанных товарах и сумме заказа.

Шаг 1: Создание базы данных

В Visual Fox Pro создается база данных, в которой будут храниться данные о заказах. Далее создается таблица «Заказы», в которой будут поля для хранения информации о клиентах, товарах и сумме заказа.

Шаг 2: Импорт данных из системы электронного документооборота

Создается скрипт для импорта данных из системы электронного документооборота в базу данных Visual Fox Pro. Этот скрипт может использовать API системы документооборота для получения данных о заказах и добавления их в таблицу «Заказы».

Шаг 3: Создание запросов для анализа данных

Создаются запросы в Visual Fox Pro для анализа данных о заказах. Например, запросы могут определять общее количество заказов, сумму продаж за определенный период времени или наиболее популярные товары.

Шаг 4: Создание отчетов на основе данных

Формируются отчеты на основе результатов запросов. Эти отчеты могут быть сохранены в различных форматах, таких как PDF, Excel или HTML, и отправлены по электронной почте сотрудникам компании.

Шаг 5: Автоматическая обработка заказов

Создается скрипт для автоматической обработки заказов. Например, при

получении нового заказа, скрипт может проверить наличие товара на складе, сформировать счет на оплату и отправить его клиенту по электронной почте [5].

Пример:

Допустим, компания получает в среднем 100 заказов в день. С помощью Visual Fox Pro была создана база данных и скрипт для импорта данных из системы электронного документооборота в эту базу данных. Скрипт запускается каждый день в 18:00 и импортирует данные о всех заказах, полученных за прошедший день.

Далее, были созданы запросы для анализа данных о заказах, такие как количество заказов, сумма продаж за день и наиболее популярные товары. Эти запросы автоматически запускаются каждый день в 19:00 и результаты сохраняются.

Одним из преимуществ использования Visual Fox Pro для оптимизации анализа данных в системах электронного документооборота является возможность использования пользовательских скриптов написанных на Python для решения задач организации.

Для оптимизации анализа данных может быть использован следующий скрипт:

```
import requests
import json

# Устанавливаем заголовки запроса для авторизации в системе докумен-
тооборота
headers = {'Content-Type': 'application/json',
           'Authorization': 'Bearer <your_access_token>'}
# Формируем URL запроса для получения данных о заказах
url = 'https://your_document_flow_system.com/api/orders'
# Отправляем запрос на получение данных о заказах
response = requests.get(url, headers=headers)
# Если запрос выполнен успешно
if response.status_code == 200:
    # Получаем данные в формате JSON
    data = json.loads(response.text)
    # Создаем соединение с базой данных
    db_conn = pyodbc.connect('DRIVER={Microsoft Visual FoxPro Driv-
er};SourceDB=database.dbc')
    cursor = db_conn.cursor()
    # Добавляем данные о заказах в таблицу "Заказы"
    for order in data['orders']:
        customer_name = order['customer']['name']
        product_name = order['product']['name']
        order_amount = order['amount']
        # Используем SQL-запрос для добавления данных в таблицу
        sql = f"INSERT INTO Заказы (Клиент, Товар, Сумма) VALUES
('{customer_name}', '{product_name}', {order_amount})"
```

```
cursor.execute(sql)
    # Сохраняем изменения в базе данных
db_conn.commit()

# Закрываем соединение с базой данных
cursor.close()
db_conn.close()
else:
    # Обрабатываем ошибку, если запрос не выполнен успешно
    print(f'Ошибка при выполнении запроса: {response.status_code}')
```

В этом скрипте происходит отправка GET-запроса на API системы документооборота для получения данных о заказах и сохранение этих данные в базе данных Visual Fox Pro. Используется библиотека requests для выполнения запроса и библиотеку pyodbc для работы с базой данных.

В этом скрипте мы используем SQL-запрос для добавления данных в таблицу «Заказы». Если вы работаете с другой базой данных, вам может потребоваться изменить этот запрос в соответствии с используемой вами базой данных.

Программный код на Visual Fox Pro для импорта данных из системы электронного документооборота:

```
LOCAL oXMLHTTP
oXMLHTTP = CREATEOBJECT("Microsoft.XMLHTTP")

oXMLHTTP.Open("GET", "http://example.com/orders.xml", .F.)
oXMLHTTP.Send()

IF oXMLHTTP.Status = 200
    LOCAL cXML
    cXML = oXMLHTTP.ResponseText

    LOCAL oDOM
    oDOM = CREATEOBJECT("Microsoft.XMLDOM")
    oDOM.LoadXML(cXML)

    FOR EACH oOrder IN oDOM.SelectNodes("//Order")
        INSERT INTO Orders (CustomerName, ProductName, Quantity, Price) ;
        VALUES (oOrder.SelectSingleNode("CustomerName").Text, ;
                oOrder.SelectSingleNode("ProductName").Text, ;
                VAL(oOrder.SelectSingleNode("Quantity").Text), ;
                VAL(oOrder.SelectSingleNode("Price").Text))
    ENDFOR
ENDIF
```

Этот код загружает XML-файл с данными о заказах с веб-сервера, а затем

добавляет данные в таблицу «Orders» в базе данных Visual Fox Pro.

Программный код на Visual Fox Pro для создания запросов для анализа данных:

```
SELECT COUNT(*) AS OrderCount, SUM(Quantity * Price) AS TotalSales;  
FROM Orders;  
WHERE OrderDate >= {^2023-01-01} AND OrderDate <= {^2023-12-31}
```

Этот запрос подсчитывает общее количество заказов и сумму продаж за 2023 год.

Пример программного кода на Visual Fox Pro для создания отчета на основе данных:

```
REPORT FORM SalesReport OBJECT OrderSummary TO PRINT PRE-  
VIEW
```

Этот код создает отчет «SalesReport», который содержит результаты запроса для анализа данных и выводится на печать или в предварительный просмотр.

Программный код на Visual Fox Pro для автоматической обработки заказов:

```
LOCAL oMailer  
oMailer = CREATEOBJECT("CDO.Message")
```

```
SELECT Orders.*  
FROM Orders ;  
WHERE Processed = .F.  
INTO CURSOR unprocessedOrders
```

```
SCAN
```

```
LOCAL nProductCount  
nProductCount = SELECT("Products", "ProductID = " + Orders.ProductID)  
IF nProductCount < Orders.Quantity  
? "Insufficient product quantity: Order ID " + Orders.OrderID  
CONTINUE  
ENDIF
```

```
LOCAL oInvoice  
oInvoice = CREATEOBJECT("Invoice")  
oInvoice.CustomerName = Orders.CustomerName  
oInvoice.ProductName = Orders.ProductName  
oInvoice.Quantity = Orders.Quantity  
oInvoice.Price = Orders.Price  
oInvoice.Generate()
```

oMailer.To = Orders.CustomerEmail
oMailer.Subject = "Invoice for Order #"

Выводы. Рассмотрены и проанализированы возможности Visual Fox Pro для оптимизации анализа данных в системах электронного документооборота. Показано, что использование Visual Fox Pro может не только значительно повысить эффективность бизнес-процессов, но и обеспечить более точный и надежный анализ данных. Показано, что основными преимуществами Visual Fox Pro являются: быстрый доступ к данным; широкий набор инструментов анализа данных; гибкость и расширяемость; простота использования; безопасность данных.

Литература

1. Акимова Г.П. и др. Возможности развития современных систем электронного документооборота // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2022. Т. 72. № 3. С. 97-104.
2. Золкин А.Л., Тормозов В.С. Принципы построения и внедрения интегрированной системы электронного документооборота // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022. Т. 49. № 1. С. 41-48.
3. Зубова В.Е. Преимущества использования системы электронного документооборота в современных условиях // Документ в современном обществе: на пути к междисциплинарному изучению. 2022. С. 45-47.
4. Мазепа П.Г., Белим С.В. Анализ значимости системы электронного документооборота (СЭД) // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. 2022. С. 577-579.
5. Система управления данными на основе Visual Fox Pro [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://kpfu.ru/sistema-upravleniya-bazami-dannyh-visual-foxpro_383849.html (дата обращения: 10.03.2023).

УДК 004.89

Анализ подходов к извлечению и обработке неструктурированных данных

Степан Евгеньевич Кульчицкий, аспирант,

Максим Алексеевич Щиканов, аспирант,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Рассматривается проблема обработки и анализа неструктурированных данных на основе существующих решений, и возможность их практического применения в сфере аддитивных технологий.

Неструктурированные данные, искусственный интеллект, машинное обучение, аддитивные технологии.

Analysis of approaches to unstructured data extraction and processing

Stepan Evgenievich Kulchitsky, PhD student,

Maxim Alexeevich Shchikanov, PhD student,

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

The problem of processing and analyzing unstructured data based on existing solutions and the possibility of their practical application in the field of additive technologies is considered.

Unstructured data, artificial intelligence, machine learning, additive technologies.

Введение

В век цифровых технологий особенно быстро начали развиваться средства коммуникации, социальные сети, цифровые маркетплейсы. Цифровизация проникла буквально во все сферы нашей жизни и широко внедряется в процессы производства. Каждый день современные технические устройства и приложения создают огромные объемы данных, часть этих данных – информация и показания самих приложений и устройств, а другая часть – это информация, которую создают люди с помощью этих средств. Большая часть производимых данных (~80%) является неструктурированными [21], то есть не обладают выраженной структурой и организацией и на текущий момент вопрос о сборе и анализе неструктурированных данных остро встает во всех сферах производства.

Проведенный в представленной работе анализ выявляет, что обработка неструктурированных данных является весьма актуальной задачей и работ, по-

священных данной тематике в доступных источниках очень мало, а прикладные модели в областях, связанных с наукоёмкими технологиями, требуют доработки с учетом такого подхода.

В статье будет дано определение понятия неструктурированных данных, показаны подходы к их классификации, сформулирована главная проблема при работе с неструктурированными данными, выделены основные методы по обработке и анализу неструктурированных данных, подавляющее большинство которых базируется на базе технологий искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения. Приведены примеры готовых решений в различных отраслях экономики, а в заключении рассмотрена возможность применения описанных моделей для решения задач в области аддитивных технологий и материаловедения.

Подходы к обработке неструктурированных данных

Задачи, связанные с анализом неструктурированных данных, имеют важное значение во многих отраслях экономики. Например, анализ медиа ресурсов, отзывов и комментариев может помочь промышленным предприятиям и компаниям понять, как используется и где применяется произведенный продукт, оценить его достоинства и недостатки. В материаловедении, анализ неструктурированных данных может использоваться для изучения свойств материалов. Научные статьи, отчеты, материалы научных конференций и другие источники неструктурированных данных могут быть проанализированы для извлечения информации о механических, физических и химических свойствах различных материалов. Анализ неструктурированных данных можно применить для определения характеристик загрязнений в материалах и окружающей среде. Например, анализ отчетов о состоянии окружающей среды и мониторинговых данных может помочь в выявлении закономерностей и трендов в загрязнении воздуха и воды, что позволит разработать более эффективные методы очистки и в результате улучшить качество жизни людей.

Изучение существующих и построение новых моделей на основе анализа неструктурированных данных поможет исследователям создать новые материалы с определенными свойствами или улучшить существующие. Примером обработки неструктурированных данных является прогнозирование структуры пор и образования раковин в электронно-лучевом аддитивном производстве. Если научиться предсказывать поведение всех составляющих, то можно существенно повысить качество и уменьшить брак. Решить эту задачу можно за счет применения технологий машинного обучения, в качестве данных для обучения модели могут стать фото и видео съемка процесса производства. Полученная, в результате обучения нейронной сети математическая модель, сможет в режиме реального времени наблюдать и корректировать процесс производства, путем корректировки режимов сплавления.

Главное отличие неструктурированных данных от структурированных заключается в их организации. Структурированные данные обладают формализованной организацией и структурой, что позволяет легко определять тип данных и связи между ними, а также проводить анализ и обработку этих данных. Неструктурированные данные имеют менее определенную структуру, порой не имеют ее вовсе, поэтому не могут быть легко обработаны и структурированы с

помощью автоматических средств анализа данных. Классификация неструктурированных данных может меняться в зависимости от специфики производства или задачи, которую необходимо решить с помощью данных. По природе или источнику данных, классификация может быть следующей:

1. Текстовые данные: научные статьи, документы.
2. Медиа-данные: фотографии, видео, аудиофайлы, анимации, графика и т.д.
3. Данные с физических приборов: данные, полученные от датчиков, GPS, счетчиков, домашних и производственных устройств, тензо-датчиков.

В зависимости от типа данных существуют различные методы их анализа и обработки. На текущий момент существует множество инструментов для решения конкретных прикладных задач в области Computer Vision (CV) [12], Natural Language Processing (NLP) [11], Graph Representation Learning [13], есть также и несколько мультизадачных фреймворков, которые представляют готовые решения для внедрения их в производственные процессы компании, и позволяют решать различные задачи на стыке нескольких направлений [1].

На рисунке 1 представлена классификация задач в разрезе их домена.

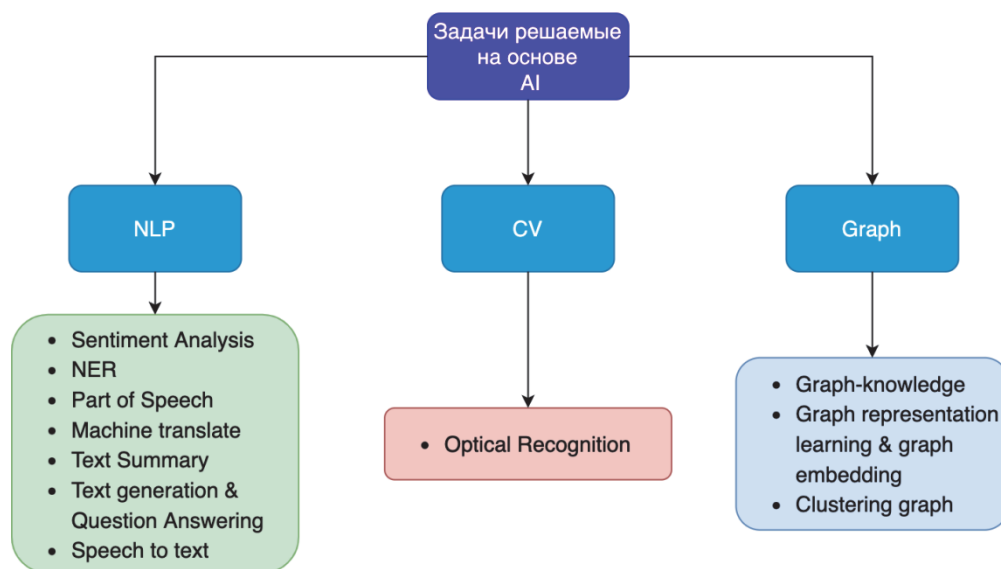


Рисунок 1 – Классификация задач, решаемых на основе AI

1. Natural Language Processing (NLP) [11] – это область искусственного интеллекта, которая занимается обработкой естественного языка, то есть языка, которым мы общаемся друг с другом. NLP включает в себя множество задач, таких как разбор предложений, определение тональности текста, распознавание именованных сущностей, машинный перевод и многое другое. Основная цель NLP – научить компьютеры понимать и генерировать естественный язык так, как это делает человек. Для достижения этой цели используются различные методы и технологии. Например, в задачах обработки текста применяются алгоритмы машинного обучения, такие как классификация и

кластеризация, а также статистические модели и правила. Одной из ключевых задач в NLP является распознавание слов и их частей речи в тексте. Для этого используются морфологические анализаторы и лемматизаторы. Другой важной задачей в NLP является определение смысла слов в контексте. Для этого используются семантические модели и алгоритмы, такие как word2vec [9] и GloVe [10], которые позволяют представлять слова в виде векторов в n-мерном пространстве. Технологию NLP можно задействовать на производствах и предприятиях: для анализа отчетов о дефектах продукции и предсказания возможных проблем, для анализа информации о запасах и предсказания необходимости в определенных материалах и компонентах, для анализа отчетов о неисправностях оборудования и предсказания возможных проблем в будущем. Кроме того, NLP используется в различных приложениях, таких как голосовые помощники, автоматические переводчики, системы автоматического ответа на электронные письма, анализаторы тональности в социальных сетях и многое другое. В целом, NLP – это важная и быстро развивающаяся область искусственного интеллекта, которая позволяет компьютерам обрабатывать и понимать естественный язык так, как это делает человек. Существует несколько видов обработки естественного языка:

- Sentiment Analysis – анализ тональности текста, то есть определение эмоциональной окраски текста на положительную, отрицательную или нейтральную;
 - Named Entity Recognition (NER) - распознавание именованных сущностей в тексте, таких как имена, названия организаций, местоположения, даты и другие сущности, которые могут быть обозначены уникальным идентификатором;
 - Part of Speech (POS) – определение части речи слова в предложении, таких как существительное, глагол, прилагательное, наречие и другие;
 - Machine Translation – машинный перевод текста с одного языка на другой с помощью алгоритмов и технологий искусственного интеллекта;
 - Text Summary – автоматическое создание краткого изложения текста, содержащего основные идеи и ключевые факты, без деталей и лишних деталей;
 - Text generation & Question Answering – создание новых текстов и автоматический поиск, предоставление ответов на вопросы, заданные в естественном языке, на основе обученной модели;
 - Speech to text – технология преобразования речи в текст с помощью алгоритмов искусственного интеллекта, которые могут распознавать и интерпретировать речевые данные и переводить их в текстовый формат.
2. Computer Vision – это область искусственного интеллекта, которая позволяет компьютерам «видеть» и понимать изображения и видео. Распознавание лиц, различных объектов, деталей машин, конструкций, материалов, а также может обнаруживать дефекты и ошибки на производственной линии, опре-

делять качество продукции, а также отслеживать перемещение и расположение продукции на складе [15].

- Optical Character Recognition (OCR), также известное как оптическое распознавание символов, – технология, позволяющая компьютеру распознавать текст на изображении и преобразовывать его в электронный текстовый формат, который можно дальше использовать и редактировать. Технология OCR использует различные алгоритмы и методы обработки изображений, чтобы распознать символы и преобразовать их в текст.
3. Graph knowledge – это представление знаний в виде графа, где узлы представляют собой концепты или сущности, а ребра представляют отношения между ними.
- Graph representation learning и graph embedding – это методы машинного обучения, которые используются для изучения и извлечения информации из графовых структур. Они позволяют представлять узлы и ребра графа в виде векторов или матриц, которые могут использоваться для различных задач, таких как классификация, кластеризация и прогнозирование. Graph representation learning – процесс обучения модели, которая может преобразовывать узлы и ребра графа в векторные представления, сохраняя при этом информацию о структуре графа. Для этого используются различные алгоритмы, такие как глубокие нейронные сети, случайные блуждания по графу и т.д. Graph embedding – процесс преобразования узлов и ребер графа в векторные представления, при котором сохраняются определенные свойства графа, такие как топология и сходство узлов.
 - Clustering graph – процесс группировки вершин в графе на основе сходства между ними. Он заключается в разбиении графа на кластеры (подмножества вершин), в которых вершины имеют схожие характеристики или свойства.

Классификация, представленная на рисунке 1, описывает прикладные задачи в различных отраслях производства, их можно декомпозировать над подзадачи. Предположим, существует компания, занимающаяся 3D-печатью. Они собирают данные о своих клиентах и заказах, и хотят проанализировать эти данные, чтобы улучшить свое производство. Задача по анализу клиентского опыта на базе обработки отзывов и комментариев в социальных сетях может быть представлена, как: Name Entity Recognition (NER) для извлечения наименования товара, бренда, стоимости и оценки клиентов + Sentiment Analysis (анализ настроений). Эта и многие другие задачи предполагает разработку собственных моделей, применение существующих или их комбинация, однако, существует множество готовых фреймворков.

Для решения задач в области NLP есть такие фреймворки [14], как: NLTK, Spacy, PyMorphy, Natasha, AllenNLP, Gensim и многие другие.

Задачи в области CV можно решить с помощью: OpenCV, Torchvision [16, 17].

Для решения задач на графах, можно использовать фреймворки: Spektral, PyTorch Geometric, Karate Club и другие [18, 19, 20].

Готовые решения

Недостатком фреймворков с открытым исходным кодом является их

сложность встраивания в производственные процессы предприятий, требуется регулярно следить за обновлением библиотек до актуальных версий, совместимых с другими приложениями, разрабатывать программный и графический интерфейсы, что увеличивает количество написанного кода, а также требует в штат ML специалиста, который будет разрабатывать и внедрять решения производственные процессы. Достоинствами open-source решений является, возможность настроить их с учетом целей и особенностей той области в которой ее собираются применить, так же решения с открытым исходным кодом позволяют не зависеть от требований компаний, предоставляющих программное решение. Если компания не готова иметь в своем штате специалистов необходимой квалификации, то существуют полноценные end-to-end решения, которые имеют более богатый функционал, и обладают рядом преимуществ, что позволяет решать комплексные задачи, при этом не требуют высокого порога вхождения и больших временных затрат.

Рассмотрим более подробно несколько фреймворков, которые уже нашли свое место во многих сферах бизнеса и производства, и активно используются для решения поставленных задач.

GATE – a General Architecture for Text Engineering

General Architecture for Text Engineering или GATE – это набор инструментов Java, первоначально разработанный в Шеффилдском университете в 1995 году и в настоящее время используемый во всем мире широким сообществом ученых, компаний, преподавателей и студентов для решения многих задач обработки естественного языка, включая поддержку мультиязычности. GATE включает в себя систему извлечения информации под названием ANNIE (A Nearly-New Information Extraction System), которая представляет собой набор модулей, включающих токенизатор, географический справочник, разделитель предложений, тегировщик части речи, преобразователь именованных сущностей и тегировщик кореферентности. ANNIE может обеспечить выполнение основных функций извлечения информации и служить в качестве отправной точки для более конкретных прикладных задач [4].

Одним из главных преимуществ GATE является ее открытость и гибкость. Платформа предоставляет открытый исходный код, что позволяет разработчикам создавать собственные модули и расширения. Кроме того, GATE может использоваться в различных областях, включая биомедицину, юриспруденцию, финансы и многие другие.

Автоматическое извлечение знаний из текстов научных публикаций и баз данных в области биологии и биомедицины

Исследователи из Новосибирского государственного университета и института цитологии и генетики СО РАН в 2019 году разработали компьютерную систему ANDSystem, предназначенную для автоматического извлечения знаний из текстов научных публикаций и баз данных на основе методов интеллектуального анализа данных [2]. С использованием этой системы проводится сегментация, нормализация, морфологический и семантический анализ более 25 млн. научных публикаций PubMed и нескольких десятков баз данных. На основе обработанного текста, извлеченных сущностей и взаимосвязях между ними строится

и актуализируется единая база знаний. С помощью базы знаний можно реконструировать и визуализировать генные сети.

Medical Language Extraction and Encoding (MedLEE)

В работе [3] исследователи представили фреймворк (MedLEE) для обработки клинических (медицинских) отчетов. Клинические отчеты содержат такие данные, как симптомы, их тяжесть, статус заболевания и другие, однако, они зачастую медиками записываются в свободной повествовательной форме.

MedLEE разработана на основе правил и использует словарь медицинских терминов и концепций для извлечения сущностей (NER) из текстовых документов. Система может определять и извлекать различные типы сущностей, включая диагнозы, лекарства, процедуры и тесты. Кроме того, MedLEE может определять связи между этими сущностями и присваивать им коды в соответствии со стандартами медицинской классификации.

Одним из главных преимуществ MedLEE является его способность извлекать медицинскую информацию из больших объемов текстовых документов, что может ускорить анализ данных и исследований. Кроме того, MedLEE может помочь в разработке систем электронной медицинской записи и облегчить работу медицинских работников, позволяя им быстро и точно находить нужную информацию в медицинских записях.

В настоящее время MedLEE уже используется в некоторых медицинских центрах (СРМС) для обработки рентгенологических отчетов грудной клетки и маммографии.

Подобный анализ также может быть применен и в других отраслях промышленности.

Unstructured Information Management Architecture (UIMA)

Фреймворк, разработанный компанией IBM, для анализа неструктурированных данных различной природы. При помощи ML алгоритмов, позволяет обрабатывать текстовую, аудио и видео информацию, извлекать из неструктурированных данных именованные сущности, выстраивать связи между ними, а также привлекать алгоритмы информационного поиска. Данный фреймворк можно адаптировать и применить для широкого спектра задач в разных сферах производства, в том числе он может помочь структурировать, уже имеющуюся информацию об отрасли промышленности в различных открытых источниках (отчеты, документы, новости, соц.медиа) для выстраивания вектора дальнейшего развития предприятия (расширение производства, расширение линейки производства, сохранение текущей позиции). Анализируя неструктурированный контент, приложения UIM используют различные технологии анализа, включая: Статистическую обработку естественного языка на основе правил (NLP), Информационный поиск (ИК) (Information retrieval (IR), Машинное обучение (ML), Онтологии, Автоматизированное рассуждение (Automated reasoning), Источники знаний, например, CYC, WordNet или FrameNet (Knowledge sources).

Преимуществом UIMA является его гибкость и расширяемость, что позволяет интегрировать различные инструменты и алгоритмы обработки естественного языка. Кроме того, UIMA облегчает работу с большими объемами неструктурированных данных и ускоряет процесс анализа и извлечения информа-

ции.

Результат обработки и анализа можно структурировать и сохранить в удобном формате: БД, Граф знаний или просто список. На сегодняшний день, также существует версия со свободной лицензией Apache UIMA-compliant text-analysis, позволяющая проводить обработку неструктурированных текстовых данных [8].

Metaphactory: A platform for knowledge graph management

Платформа metaphactory направлена на создание пользовательских приложений графов знаний. С помощью AI и Graph Representation Learning алгоритмов предоставляет возможность гибкого управления данными графов знаний: выявлением новых связей и выводов, интерактивная визуализация базы знаний в виде графа, систематизация сущностей и фактов.

Одним из основных преимуществ Metaphactory является его гибкость и расширяемость. Платформа может быть интегрирована с различными базами данных и инструментами анализа данных, что позволяет создавать индивидуальные решения для конкретных бизнес-задач. Кроме того, Metaphactory обладает интуитивно понятным интерфейсом, что упрощает работу с графами знаний для широкого круга пользователей [7].

Galactica: large language model of science

Galactica – это большая языковая модель, предназначенная для решения широкого круга научных задач. Galactica позволяет анализировать и извлекать информацию из больших баз данных научной литературы для выявления ключевых тенденций, тем и результатов, позволяет строить и генерировать структурированные графы знаний, а также может помочь исследователям в написании научных статей, предлагая более доступный язык и резюмируя результаты научных исследований [6].

Microsoft Cognitive Services

Microsoft Cognitive Services (MCS) представляет собой облачную платформу с набором готовых API для решения самых разных задач в области AI, от анализа содержимого документов по фото до обработки звука и видео. Сервисы MCS используют технологии машинного обучения, обработки естественного языка, компьютерного зрения и другие, а наличие готового API позволяет разработчикам интегрировать эти сервисы в свои приложения без необходимости иметь специализированные знания в этих областях [5].

После отбора и структурирования данных, необходимо их ранжировать и проверять на актуальность для этого существуют готовые сервисы, например MathGarden. Группа ученых из лаборатории интеллектуальных систем управления в технологическом университете имени Леонова разработала рекомендательную систему, основанную на алгоритмах жесткой кластеризации k-means и нечеткой fuzzy c-means. Рекомендательная система способна дать экспертную оценку актуальности текста статьи на основе статистических характеристик, а также дать рекомендации по улучшению этого показателя [22].

Выводы

В результате исследования была поднята проблема трудоемкого анализа и обработки неструктурированных данных, подчеркнута актуальность темы вви-

ду большого и возрастающего объема неструктурированных данных, генерируемого предприятиями всех сфер промышленности за счет цифровизации. В статье были рассмотрены различные подходы к обработке и анализу неструктурированных данных. Ввиду отсутствия четко выраженной структуры, обработка такого рода данных в автоматизированном режиме, зачастую, возможна только с привлечением технологий на базе AI и машинного обучения. На сегодняшний день существует огромное многообразие проектов с открытым исходным кодом, благодаря которым, можно решить большинство задач, встречаемых повсеместно в промышленности. К сожалению такие решения могут быть сложны во внедрении, однако существуют готовые решения (ANDSystem, MedLEE, UIMA и др.), которые можно адаптировать под решение конкретной прикладной задачи в разных отраслях промышленности.

Проведенный анализ позволяет нам поставить задачу создания адаптированных моделей на основе проектов с открытым исходным кодом и фреймворков представленных выше, для задач в сфере аддитивных технологий и материаловедения, например, на основе анализа текстовых документов, отчетов и научных публикаций можно систематизировать и каталогизировать информацию об отрасли, построить граф знаний для анализа изменения его узлов, что в свою очередь может помочь построить вектор развития всей отрасли, определить главные тренды и тенденции, связанные с производством новых и улучшением существующих материалов с заданными характеристиками.

Литература

1. Baviskar D. et al. Efficient automated processing of the unstructured documents using artificial intelligence: A systematic literature review and future directions // IEEE Access. 2021. Т. 9. С. 72894-72936.
2. Иванисенко В.А. и др. Автоматическое извлечение знаний из текстов научных публикаций и баз данных в области биологии и биомедицины // Марчуковские научные чтения. 2019. № 2019.
3. Sevenster M., Van Ommering R., Qian Y. Automatically correlating clinical findings and body locations in radiology reports using MedLEE // Journal of digital imaging. 2012. Т. 25. С. 240-249.
4. Cunningham H. GATE, a general architecture for text engineering // Computers and the Humanities. 2002. Т. 36. С. 223-254.
5. Masood A., Hashmi A. Cognitive Computing Recipes: Artificial Intelligence Solutions Using Microsoft Cognitive Services and TensorFlow. Apress, 2019.
6. Taylor R. et al. Galactica: A large language model for science // arXiv preprint arXiv:2211.09085. 2022.
7. Haase P. et al. metaphactory: A platform for knowledge graph management // Semantic Web. 2019. Т. 10. № 6. С. 1109-1125.
8. Ferrucci D., Lally A. UIMA: an architectural approach to unstructured information processing in the corporate research environment // Natural Language Engineering. 2004. Т. 10. № 3-4. С. 327-348.
9. Church K.W. Word2Vec // Natural Language Engineering. 2017. Т. 23. № 1. С. 155-162.

10. Pennington J., Socher R., Manning C. D. Glove: Global vectors for word representation // Proceedings of the 2014 conference on empirical methods in natural language processing (EMNLP). 2014. С. 1532-1543.
11. Большакова Е.И., Воронцов К.В., Ефремова Н.Э., Клышинский Э.С., Лукашевич Н.В., Сапин А.С. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных. НИУ ВШЭ, 2017.
12. Шапиро Л., Стокман Д. Компьютерное зрение. 2013.
13. Chen F. et al. Graph representation learning: a survey // APSIPA Transactions on Signal and Information Processing. 2020. Т. 9. С. e15.
14. Srinivasa-Desikan B. Natural Language Processing and Computational Linguistics: A practical guide to text analysis with Python, Gensim, spaCy, and Keras. Packt Publishing Ltd, 2018.
15. Bradski G. et al. OpenCV //Dr. Dobb's journal of software tools. 2000. Т. 3. № 2.
16. Marcel S., Rodriguez Y. Torchvision the machine-vision package of torch // Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia. 2010. С. 1485-1488.
17. Fey M., Lenssen J. E. Fast graph representation learning with PyTorch Geometric // arXiv preprint arXiv:1903.02428. 2019.
18. Rozemberczki B., Kiss O., Sarkar R. Karate Club: an API oriented open-source python framework for unsupervised learning on graphs // Proceedings of the 29th ACM international conference on information & knowledge management. 2020. С. 3125-3132.
19. Grattarola D., Alippi C. Graph neural networks in tensorflow and keras with spektral [application notes] // IEEE Computational Intelligence Magazine. 2021. Т. 16. № 1. С. 99-106.
20. Russell S.J. Artificial intelligence a modern approach. Pearson Education, Inc., 2010.
21. Feldman R., Sanger J. The text-mining handbook: advanced approaches in analyzing unstructured data. Cambridge university press, 2007.
22. Мосалов О.П. Применение методов кластеризации и машинного обучения для построения рекомендательной системы для определения актуальности научных публикаций // ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. 2021.

УДК 004.771

**Анализ производительности протокола туннелирования
для обеспечения удалённой работы в условиях малой пропускной
способности канала связи**

Артем Андреевич Лукьянов, аспирант, начальник отдела системного администрирования и планирования развития информационных технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Исходя из задач исследования, проводится эксперимент с целью выявления наиболее высокопроизводительного протокола туннелирования в современных локальных и глобальных вычислительных сетях.

Информационно-коммуникационная сеть, виртуальные частные сети, пропускная способность.

**Performance analysis of the tunneling protocol to ensure remote operation
in conditions of low bandwidth environments**

Artem Andreevich Lukyanov, postgraduate student, Head of the Department of System Administration and Planning of Information Technology Development, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

Based on the research objectives, an experiment is being conducted to identify the most high-performance tunneling protocol in modern local and global computing networks.

Information and communication network, virtual private networks, bandwidth.

Введение

В настоящее время, в период пандемии, геополитической обстановки, удалённый вид работы стал привычнее для большинства компаний. До введения поправок в главу 49.1 трудового кодекса, федеральный закон РФ № 407 от 08.12.2020 «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации в части регулирования дистанционной (удалённой) работы и временного перевода работника на дистанционную (удалённую) работу по инициативе работодателя в исключительных случаях», организации фактически должны были «придумывать» документальное решение. Дело в том, что Министерство труда России, а также Роструд разделяли понятия удалённой и дистанционной работы. И концу

2020 года в законодательстве закрепились, что удалённая работа является синонимом дистанционного труда.

В связи с тем, что большинство работников перешло на удалённый вид работы, для выполнения требований федерального закона РФ №149 от 27.07.2006 «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», №152 от 27.07.2006 «О персональных данных» и др. для организации «удалёнки» появляется необходимость использовать современные информационные технологии.

На сегодняшний день, с возросшей стоимостью оборудования, комплектующих (параллельный импорт) для организации канала передачи данных, активного импортозамещения программных и аппаратных продуктов, существенно встаёт вопрос о разработке высокоэффективного решения для малопроизводительного оборудования в условиях ограниченной пропускной способности канала.

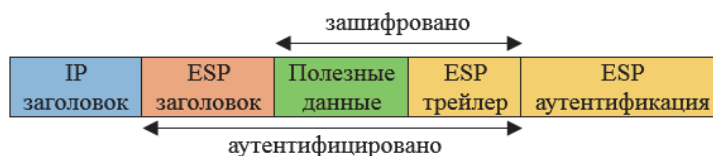
Теоретические исследования

Протоколы туннелирования необходимы для создания виртуальных частных сетей (далее по тексту – VPN), поскольку они помогают устанавливать защищенные каналы через сети, в том числе, публичного использования. Когда два устройства обмениваются данными через VPN, их трафик инкапсулируется в защищенный туннель, что означает, что любой, кто пытается перехватить этот трафик, не сможет прочитать его содержимое [1, С. 112] (рисунок 1).

Оригинальный пакет



Транспортный режим



Туннельный режим

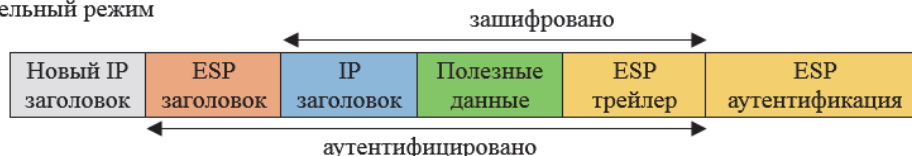


Рисунок 1 – Инкапсуляция пользовательских данных в транспортном и туннельном режимах на примере IPsec

Однако, для зашифровки и расшифровки трафика VPN используются сложные алгоритмы шифрования, которые могут создавать дополнительную на-

грузку на оборудование. Если VPN разворачивается на платформе без использования аппаратного ускорения, к примеру, симметричного алгоритма шифрования AES (Advanced Encryption Standard Instructions, AES-NI), это может привести к увеличению нагрузки на центральный процессор и уменьшению производительности, как серверных, так и конечных устройств. В ином случае, не все мобильные и встраиваемые процессоры оснащаются таким набором инструкций и для них, в первую очередь, стоит использовать другие алгоритмы шифрования.

Проведём анализ популярных, распространенных протоколов туннелирования и алгоритмов шифрования в условиях лимитного подключения.

IPsec (Internet Protocol Security) – это тип протокола VPN, который обеспечивает безопасное и зашифрованное соединение между двумя устройствами через сеть Интернет. IPsec работает путем шифрования всех данных, которые передаются между клиентом и VPN-сервером. Он использует комбинацию протоколов аутентификации и шифрования для обеспечения безопасности данных и не может быть перехвачен или изменен неавторизованными сторонами.

Одним из преимуществ IPsec является то, что он обеспечивает высокий уровень безопасности и может использоваться для защиты конфиденциальных данных, что делает его популярным выбором для корпоративных сред.

С появлением IKEv2 сам протокол стал немного проще в настройке и может быть сконфигурирован в соответствии с конкретными потребностями конкретной среды. Он может использоваться с различными протоколами аутентификации: используя как предварительный общий ключ (PSK), так и сертификаты, причём в любых сочетаниях, и шифрования, включая AES (Advanced Encryption Standard), 3DES (Triple Data Encryption Standard) и SHA-2 (Secure Hash Algorithm Version 2) и т.д. [6].

Благодаря стандартизации обеспечивается работа в операционных системах на базе ядра Linux, Mikrotik (RouterOS), OpenWRT, а также в мобильных системах Android и iOS. В семействах ОС Windows также имеется нативная поддержка, начиная с версии Windows 7.

Высокая скорость работы IPsec обеспечивается путём обработки всего трафика в пространстве ядра (kernel space). Пользовательское пространство (user space) необходимо лишь для установки параметров соединения и контроля работоспособности канала.

К особенностям данного протокола, можно отнести то, что IPsec не создает сетевые интерфейсы. Задаются только политики обработки трафика, а всё остальное решается средствами межсетевых экранов (firewall).

OpenVPN – это VPN-протокол с открытым исходным кодом, который использует шифрование SSL/TLS для обеспечения безопасной связи между двумя устройствами. Он широко используется и легко настраивается, что делает его популярным выбором как для личного использования, так и для корпоративного сегмента. OpenVPN совместим с широким спектром операционных систем, включая семейство Windows, дистрибутивы на базе ядра Linux, macOS и мобильные операционные системы iOS и Android.

Одним из преимуществ OpenVPN является то, что он обеспечивает высо-

кий уровень безопасности с поддержкой шифрования AES, аутентификации HMAC (Hash-based message authentication code) и сертификатов RSA. Он также обладает хорошей сетевой производительностью, даже в сетях с высокой задержкой.

OpenVPN использует архитектуру клиент-сервер, при которой клиент и сервер обмениваются ключами и устанавливают безопасное соединение. Он также может быть сконфигурирован для использования конфигурации «точка-точка», при которой два устройства подключаются непосредственно друг к другу.

Учитывая, что OpenVPN тратит значительное количество времени на передачу пакетов данных туда и обратно из области ядра в область пользователя, где происходит расшифровка и повторная маршрутизация, было решено переложить обработку данных непосредственно на ядро (ovpn-dco) [4]. Как прямое следствие, пакеты данных больше не должны покидать пространство ядра, что повышает производительность активных VPN-подключений. На текущий момент модуль находится в активной разработке, есть первые альфа-версии.

WireGuard – это относительно новый VPN-протокол, который был впервые выпущен в 2018 году. Он разработан таким образом, чтобы быть легким, быстрым и простым в развертывании, что делает его популярным выбором для мобильных устройств и IoT-устройств.

WireGuard основан на современной криптографии и отличается высокой степенью безопасности благодаря поддержке шифрования ChaCha20, аутентификации Poly1305, обмена ключами Curve25519, фреймворком для криптопротоколов Noise, криптографической хеш-функцию BLAKE2, семейством псевдослучайных функций SipHash и схему на основе HMAC – HKDF [5].

Одним из главных преимуществ WireGuard является его простота. Он имеет небольшую кодовую базу, что упрощает его аудит и развертывание [2, С. 454]. Он также имеет низкие сетевые издержки, что повышает производительность и сокращает расход батареи на мобильных устройствах.

WireGuard использует архитектуру клиент-сервер, при которой клиент и сервер обмениваются ключами и устанавливают защищенное соединение. Он также поддерживает одноранговые соединения, позволяя двум устройствам подключаться непосредственно друг к другу.

WireGuard использует только UDP (User Datagram Protocol) из-за чего он не работает в сетях, которые блокируют UDP-трафик. Это отличает WireGuard от его альтернатив, таких как OpenVPN, из-за множества недостатков маршрутизации TCP-over-TCP.

Экспериментальные исследования высокопроизводительного протокола туннелирования.

Для определения наиболее высокопроизводительного протокола туннелирования в современных локальных и глобальных вычислительных сетях были проведены необходимые экспериментальные исследования. Для этого был собран тестовый стенд, обладающий характеристиками, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики тестового стенда

| Характеристика | Описание | |
|----------------------------------|---|---|
| | Клиент | Сервер |
| Процессор | Intel Core i7-2620M CPU @ 2.70Ghz | Intel Core i3-2130 CPU @ 3.40GHz |
| Сетевая карта | Intel Corporation 82579LM Gigabit Network Connection (Lewisville) | Intel Corporation 82579LM Gigabit Network Connection (Lewisville) |
| Дистрибутив | ALT Linux Sisyphus | ALT Linux Sisyphus |
| Версия ядра Linux | 6.1.15-un-def-alt1 | 6.1.15-un-def-alt1 |
| Версия модуля WireGuard | 1.0.20220627-alt1 | 1.0.20220627-alt1 |
| Версия OpenVPN | 2.5.8 | 2.5.8 |
| Пропускная скорость канала связи | ~572 Mbits/sec | |

Алгоритмы шифрования, используемые при эксперименте:

- WireGuard: 256-bit ChaCha20 with Poly1305 for MAC
- IPsec параметры 1: 256-bit ChaCha20 with Poly1305 for MAC
- IPsec параметры 2: AES-256-aGCM-128 (with AES-NI)
- OpenVPN параметры: эквивалентный защищенный набор шифров из 256-bit AES with HMAC-SHA2-256, UDP.

Тестирование проводилось в течение 30 минут (усредненное значение) с использованием кроссплатформенного программного обеспечения для генерации трафика iperf3 [3, С.741] при общей нагрузке основного канала связи.

На рисунке 2 и рисунке 3 представлены результаты экспериментального исследования.

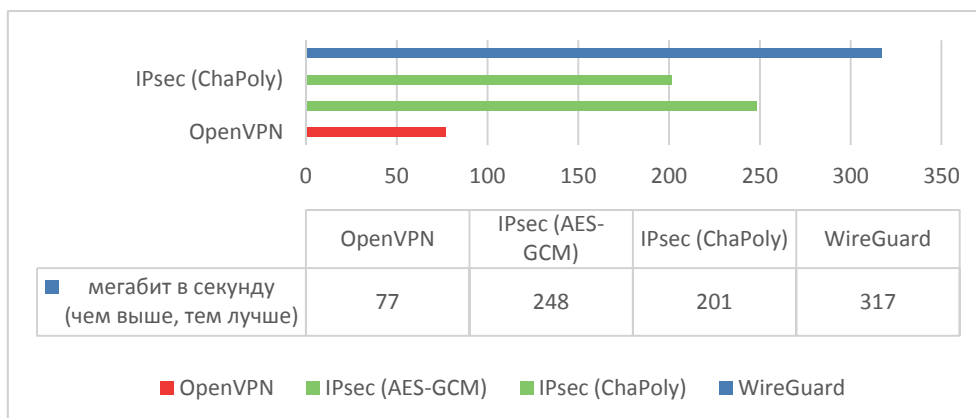


Рисунок 2 – Пропускная способность протоколов туннелирования

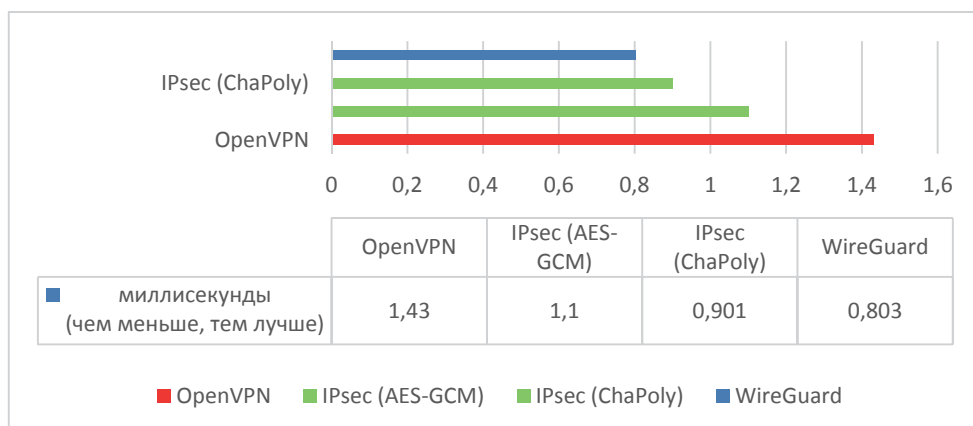


Рисунок 3 – Время приёма-передачи между двумя конечными устройствами

Выводы

Результаты исследования показали, что WireGuard и IPsec значительно превосходят OpenVPN в обоих параметрах, причем WireGuard в некоторых случаях опережает IPsec за счёт своей многопоточности, в то время как OpenVPN остается чрезвычайно медленным.

WireGuard демонстрирует высокую скорость и низкую задержку, что делает его идеальным для быстрой и безопасной передачи данных. Он использует современные криптографические примитивы и обеспечивает высокий уровень защиты данных.

IPsec также показал высокую скорость и производительность в сравнении с OpenVPN. Он широко используется в коммерческих сетях и обеспечивает высокий уровень защиты и конфиденциальности данных.

В целом, исследование подтверждает, что WireGuard и IPsec – это более быстрые и производительные протоколы VPN.

Литература

1. Дибров М.В. Сети и телекоммуникации. Маршрутизация в IP-сетях в 2 ч. 2023. 333 с.
2. Джейсон Э., Скотт Л. Автоматизация программируемых сетей. 2019. 616 с.
3. Кристофер Н. Библия Linux 10 изд. 2022. 928 с.
4. Разгрузка канала передачи данных OpenVPN [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://community.openvpn.net/openvpn/wiki/DataChannelOffload> (дата обращения: 23.03.2023).
5. WireGuard: Next Generation Kernel Network Tunnel [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.wireguard.com/papers/wireguard.pdf> (дата обращения: 23.03.2023).
6. strongSwan Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.strongswan.org/docs/5.9/index.html> (дата обращения: 23.03.2023).

УДК 004.05

Анализ современных технологических тенденции развития классических структурированных кабельных систем

Андрей Борисович Семенов, доктор технических наук, профессор,
Национальный исследовательский университет
Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва,

Владимир Михайлович Артюшенко, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Информационные технологии и управляющие системы»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

В рамках системного подхода проводится анализ основных современных технологических тенденций развития классических структурированных кабельных систем. Показана неизбежность изменений структурированной кабельной системы как сложной технической системы.

Структурированные кабельные системы, номенклатуры конструкций 4-парных кабелей, конструкции незаземленных экранов, PoE-репитеры, групповой оптический разъем.

Analysis of modern technological trends in the development of classical structured cabling systems

Andrey Borisovich Semenov, Doctor of Technical Sciences, professor,
National Research University Moscow State University of Civil Engineering
(NRU MGSU), Moscow,

Vladimir Mikhailovich Artyushenko, doctor of Technical Sciences, Professor,
head of the Department of information technologies and control systems,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

Within the framework of the system approach, the analysis of the main modern technological trends in the development of structured cabling systems is carried out. The necessity of changes in the structured cable system as a complex technical system is shown.

Structured cabling systems, nomenclatures of 4-pair cable designs, ungrounded screen designs, PoE repeaters, multifiber optical connector.

Введение. На объектах недвижимости различного назначения с постоянным или длительным пребыванием людей строится информационно-телекоммуникационная система (ИТС), предоставляющая своим пользователям различные виды ИТ-сервиса. ИТС реализуется по проверенной временем модели OSI взаимодействия открытых систем, а ее физический уровень как основа всей конструкции выполняется в виде структурированной кабельной системы (СКС).

СКС даже среднего масштаба насчитывает в своем составе несколько тысяч плотно взаимодействующих между собой отдельных компонентов и представляет собой типичную сложную техническую систему. На ее реализацию направляются большие объемы людских и материальных ресурсов, что немедленно ставит на повестку дня вопрос о ее оптимизации, который осуществляется с позиций системного анализа. Задача анализа значимо усложняется необходимостью полноценного учета как уникальности любой СКС, структура и состав которой при проектировании максимально полно адаптированы к особенностям конкретного объекта недвижимости и его функциональному назначению, так и длительным сроком эксплуатации кабельной системы в сочетании с естественным требованием отсутствия морального устаревания на протяжении всего срока штатной эксплуатации.

Отечественная нормативная база. При проектировании и реализации СКС специалисты пользуются зарубежной нормативной базой, которая не учитывает некоторые отечественные реалии. Попытку исправления ситуации в этой области предприняла компания В-Риал (г. Санкт-Петербург), которая, начиная с 2015 года, разработала и официально утвердила около трех десятков национальных стандартов ГОСТ Р группы «Слаботочные системы. Кабельные системы» [1-4].

Документы охватывают как телекоммуникационную, так и архитектурную составляющую типового проекта СКС при его реализации на различных объектах недвижимости. В частности, нормируются кабельные системы классических офисов, центров обработки данных (ЦОД), жилой недвижимости, промышленных предприятий.

Уровень документов превышает хорошо известные ГОСТ Р 53245-2008 и ГОСТ Р 53246-2008. Тем не менее, приходится констатировать, что ГОСТы не доработаны (иногда существенно) по ряду параметров, не свободны от ошибок и не включают в себя ряд критически важных для практики цифровых значений.

Имеющийся пул стандартов полезен самим фактом своего существования, а входящие в него документы закрывают ряд важных для практики вопросов, однако, объективно нуждаются в совершенствовании.

Отечественный рынок СКС в 2023 году. Объемы российского рынка известны исключительно в форме оценок (источники: опрос участников рынка + отчет BSRIA 2021 года).

С учетом различных вспомогательных компонентов, в первую очередь шкафов, лотков и коробов, а также работ по монтажу кабельной системы он составляет на текущий момент примерно 700 миллионов долларов и испытывает сильное влияние со стороны телекома. Сказывается высокая популярность у опе-

раторов связи кабелей из витых пар, применяемых при построении оконечного участка сетей доступа, а также использование технологии там Ethernet.

Количество монтируемых модулей – около 3 миллионов, годовые темпы роста порядка 4%, что примерно на треть выше среднеевропейских (в первую очередь за счет относительно малой насыщенности).

Значение сегмента ЦОД плавно растет за счет выраженной стагнации офисной составляющей, но объемы соответствующих кабельных систем не превышает 1/3 от объема офисных проектов.

Категория 5е доминирует, но постепенно теряет свою роль, категория 6 и выше применяется преимущественно в крупных и отчасти в средних проектах.

Ускоренное строительство ЦОД привело к увеличению доли оптических решений, которая достигла примерно 30%.

На рисунках 1 представлены диаграммы распределения рынка по категориям и средам передачи.

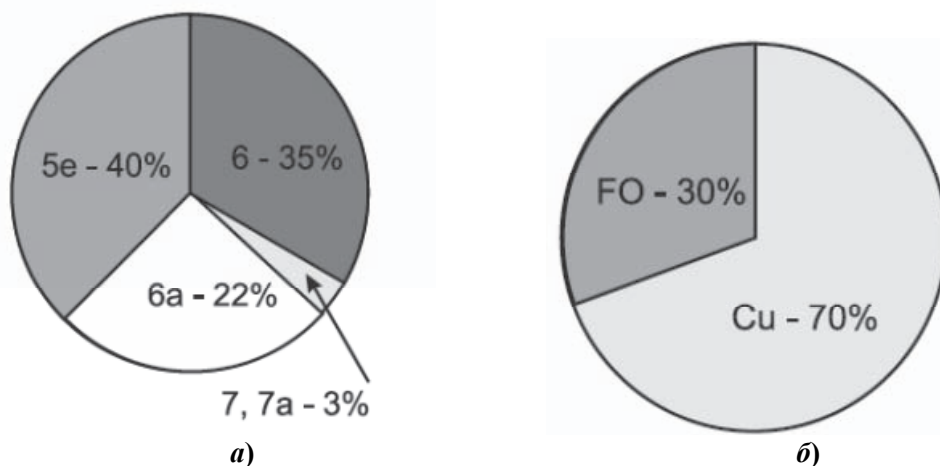


Рисунок 1 – Распределение рынка по: а – категориям; б – средам передачи

Уход ведущих западных производителей из РФ (50% объема и 35% портов) сопровождается значимым переделом рынка.

Неизбежность изменений в СКС как сложной технической системы. СКС – продукт массового применения. При реализации проекта ее построения осуществляется технико-экономическая оптимизация информационной проводки. Из-за наблюдаемого за последние четверть века кратного роста цен на медь и нефть в сочетании со столь же быстрым падением стоимости электроники приведенные затраты (стоимость владения) на построение и эксплуатацию СКС уже не могут считаться пренебрежимо малыми на фоне остальных статей расходов на информационную систему. Восстановление исходной экономической привлекательности СКС как сложной технической системы с большим количеством степеней свободы возможно рядом способов. Отдельного упоминания достойны:

- расширение компонентного состава («интеграторская» схема производства СКС как рыночного продукта с целью реализации известного преимущества получения законченного решения из одних рук);
- введение специализированных продуктов (тонкие шнуры и кабели, ...);
- частичным или даже полным отказом от принципа универсальности (технология PoLAN, ...);
- тесной интеграцией с активным оборудованием (длинный Ethernet, ...).

Неизбежность роста категории «классических» СКС. Стандарт ISO/IEC 11801-2:2017 в явном виде требует применения для реализации офисной СКС дорогостоящей техники как минимум категории 6 (класса E), хотя среднестатистический человек не в состоянии полноценно воспринимать информационный поток, поступающий к нему со скоростью свыше примерно 50 Мбит/с. Такая пропускная способность с 20-кратным запасом обеспечивается техникой категории 5e, что демонстрирует рисунок 2.

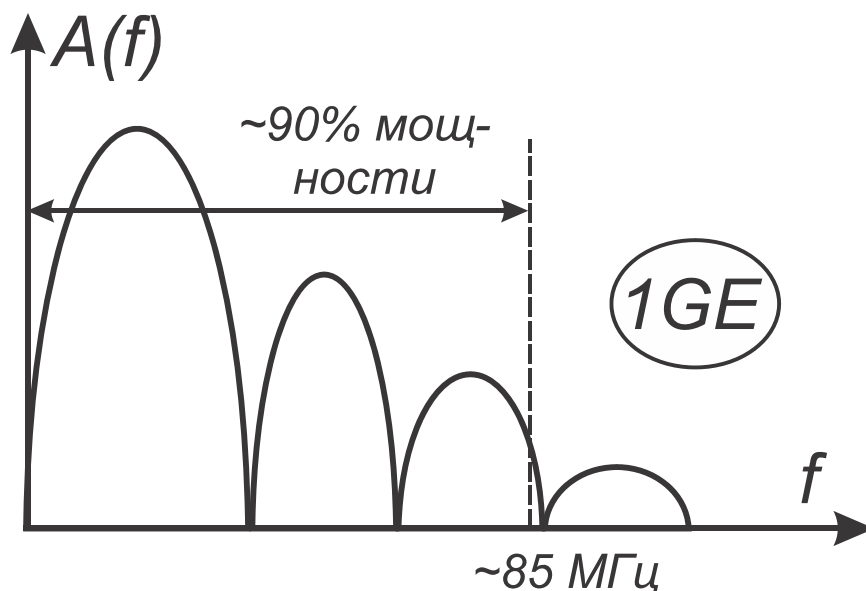


Рисунок 2 – Спектр линейного сигнала сетевого интерфейса 1G Ethernet

Доля медицинских и издательских систем, которые работают с объемными файлами и для обеспечения комфортной работы пользователя объективно требуют скоростей передачи 10 Гбит/с, т.е., соответственно, техники более высоких категорий, достаточно мала и качественно не меняет картины в целом.

Причина фиксации на нормативном уровне явно технически избыточного нормативного требования – многофункциональность медножильного тракта. В него, кроме доставки информации, изначально заложена потенциальная возможность поддержки технологии PoE дистанционного питания, ограничение по которому наступают значимо раньше по сравнению с ACR (отношению сигнал/шум).

Частичное выравнивание имеющейся диспропорции достигается увели-

чением диаметра токопроводящей жилы с целью уменьшения шлейфового сопротивления. Это может быть достигнуто различными способами, однако наиболее просто поставленную цель может достигнуть введением нормативного на уровне основных стандартов требованием применения кабелей и остальных компонентов формируемого тракта категории как минимум 6.

Перспективы техники категории 8. Медножильные линии, собранные на элементной базе категории 8, обеспечивают характеристики класса G (см. рисунок 3), изначально были ориентированы на применение в ЦОД и имеют следующие особенности [5, 6]:

- возможность применения только 2-коннекторной модели цепей передачи сигнала, т.е. только простых трактов с коммутацией по схеме интерконнекта;
- уменьшение максимальной протяженности тракта до 28-32 м, причем вариации этого значения определяются калибром гибких проводников шнуров (см. таблица 1);
- применение только экранированной техники для эффективного подавления межкабельной переходной помехи.

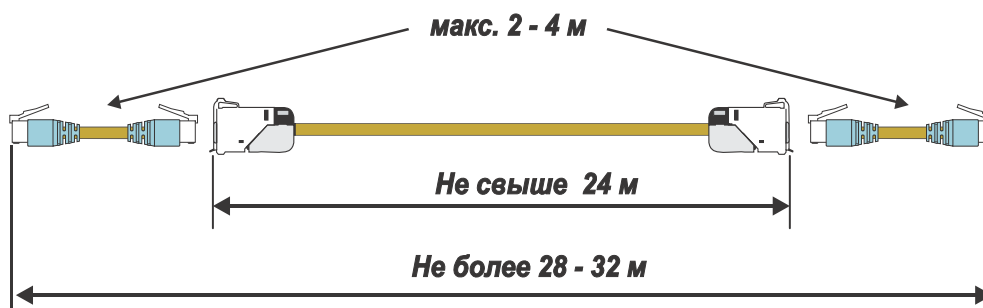


Рисунок 3 – Структура медножильного кабельного тракта категории 8

Таблица 1 – Максимальная длина шнуров и кабельного тракта категории 8

| Калибр проводников кабеля шнура | Максимальная длина шнуров | Максимальная протяженность тракта |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 22-23AWG/0,573-0,644 мм | 8 | 32 |
| 25 AWG/0,511 мм | 6 | 30 |
| 26AWG/0,405 мм | 4 | 28 |

Техника имеет большие потенциальные возможности, которые пока не раскрыты (например, увеличение протяженности тракта до 50 м на скорости 25 Гбит/с, что потенциально хорошо востребовано в офисах [7]).

Расширение номенклатуры конструкций 4-парных кабелей. Технико-экономическая привлекательность СКС для широкого круга потенциальных клиентов наращивается внедрением ряда более сложных конструкций кабеля, направленных на увеличение эффективного внешнего диаметра (рисунок 4, а) и уменьшение внешнего диаметра как естественная реакция на увеличения количества горизонтальных и шнуровых кабелей (рисунок 4, б).

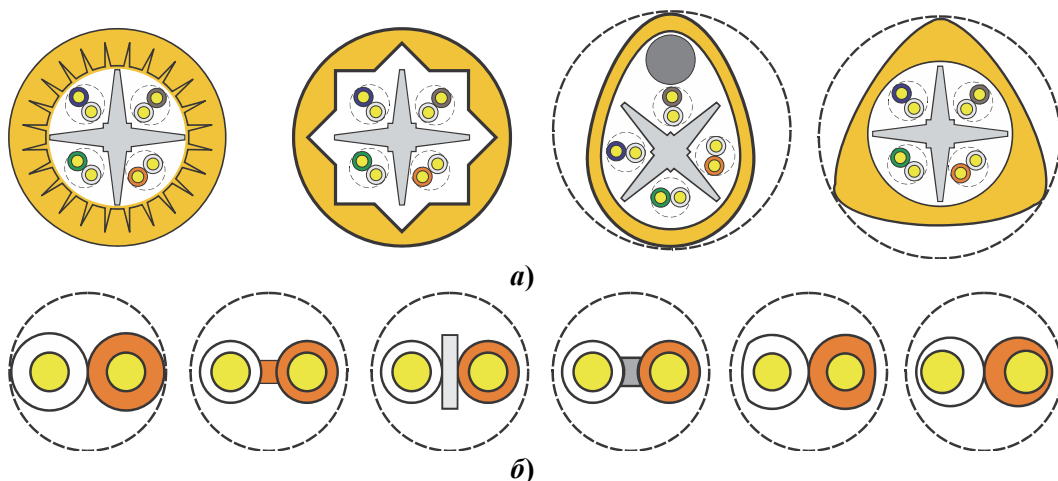


Рисунок 4 – Конструкции 4-парных кабелей и витых пар, направленные на:
a – увеличение эффективного внешнего диаметра;
б – уменьшение внешнего диаметра

Для снижения межкабельной переходной помехи широко применяются незаземленные экраны в различном исполнении (полуэкранированные конструкции) (рисунок 5).

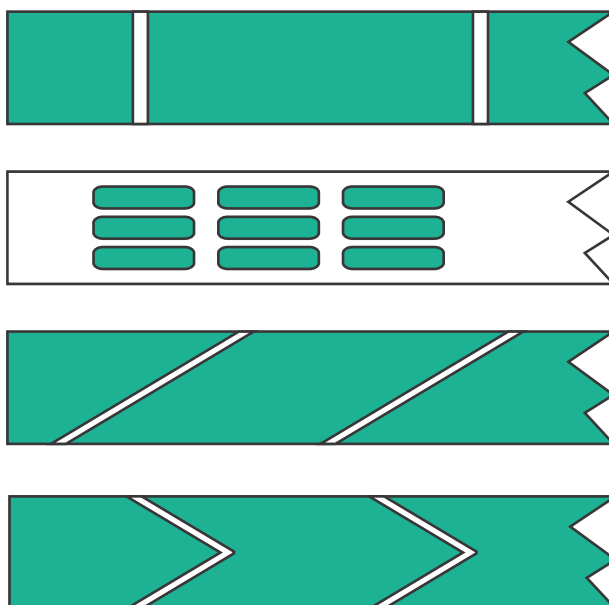


Рисунок 5 – Варианты исполнения конструкций незаземленных экранов

Тренд на «длину тракта по приложению»/отказ от принципа универсальности в горизонтальной подсистеме или ее аналоге. Для нижнего уровня канонической СКС фактически еще в конце 80-х гг. прошлого века были заданы

четкие ограничения по длине тракта: 100 м для трактов из витых пар и 300 м для оптических линий. Отказ от этих значений в сторону уменьшения позволяет передавать более широкополосные сигналы, что демонстрирует рисунок 6.

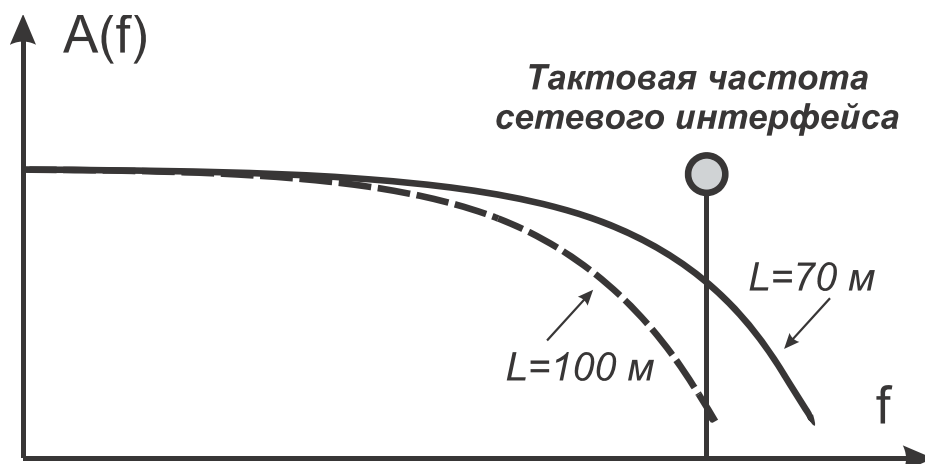


Рисунок 6 – Зависимость ширины полосы пропускания от протяженности тракта

Данный прием практически хорошо востребован в оптической подсистеме ЦОД, которая, с одной стороны, работает с высокоскоростными сигналами (100 Гбит/с и выше) и для которой, с другой стороны, из-за особенностей систем воздушного охлаждения 300-метровая предельная протяженность тракта явно избыточна. Внешне он выражается в том, что для каждой разновидности сетевых интерфейсов указывается предельное значение длины, которое зависит как от скорости передачи, так и от категории оптических волокон кабельных изделий.

«Длинный» Ethernet. Для новых подсистем офисных ИТС, для которых характерны не слишком высокие скорости передачи в сочетании с требованиями построения централизованных структур, напротив, требуется увеличенная протяженность кабельного тракта. Применение таких трактов хорошо востребовано в системах видеонаблюдения и контроля доступа из соображения простоты достижения заданной степени защиты от несанкционированного доступа (рисунок 7).

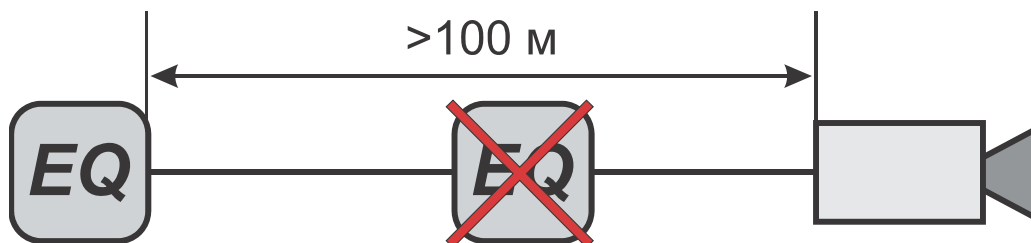


Рисунок 7 – Структура кабельного тракта увеличенной протяженности, EQ – (equipment) – сетевое оборудование

О практической популярности применения кабельных трактов увеличенной длины свидетельствуют как многочисленные варианты их реализации (рису-

нок 8), так и появление обобщающего термина «длинный Ethernet» для их обозначения.

Впервые идея гарантированного наращивания предельной протяженности симметричного кабельного тракта была выдвинута английской компанией ITT Cannon в СКС типа LAN Connect 5 в 90-х гг. прошлого века. В настоящее время ряд производителей, активно работающих на европейском рынке, разрешат увеличивать протяженность типового тракта вплоть до 135 м при условии применения для его реализации экранированной техники категории 6. На подобные структуры полностью распространяется типовая системная гарантия производителя.

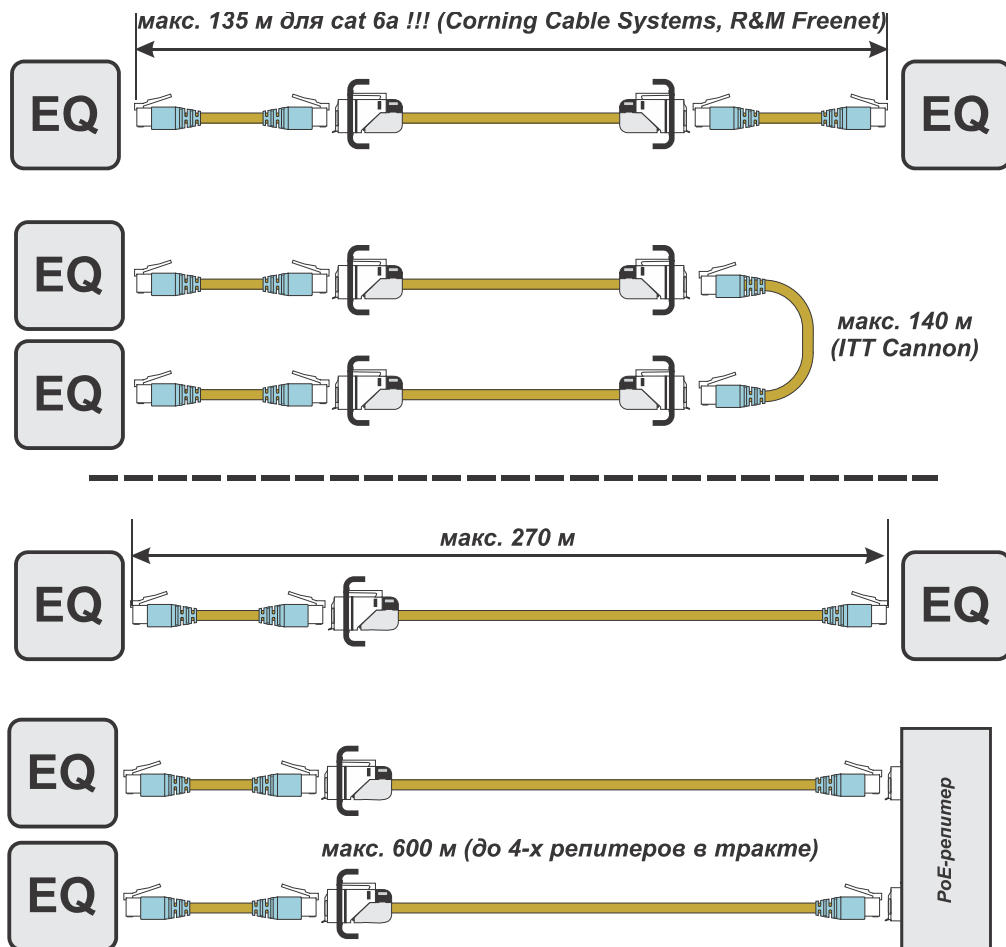


Рисунок 8 – Варианты реализации электропроводных кабельных трактов СКС увеличенной протяженности

Второе направление реализации длинного Ethernet основано на ограничении скорости (максимум 100 Мбит/с) и применении для построения трактов кабелей с увеличенным диаметром токопроводящей жилы витых пар. В этом случае максимальная достигнутая протяженность составляет 270 м.

Тракты реализуются по-разному, максимальная достигнутая протяженность – 270 м.

«Реинкарнация» неоднородных кабельных трактов. Стандарты СКС предусматривают несколько вариантов трактов. Под неоднородным понимается кабельный тракт, который содержит медножильную и волоконно-оптическую стационарную линию, объединяемые в единую структуру преобразователем среды (рисунок 8). Применение преобразователя среды, который дополнительно берет на себя также функции регенератора передаваемого сигнала, позволяет также значимо нарастить предельную протяженность кабельного тракта.

Высокая практическая востребованность длинного Ethernet привела к массовому использованию PoE-репитеров с дистанционным питанием. Который, наряду с передачей на терминальное устройство напряжения дистанционного питания, берет на себя также функции регенератора передаваемого сигнала. Кабельный тракт с репитерами структурно полностью соответствует неоднородному варианту его построения, о чем наглядно свидетельствует рисунок 9.

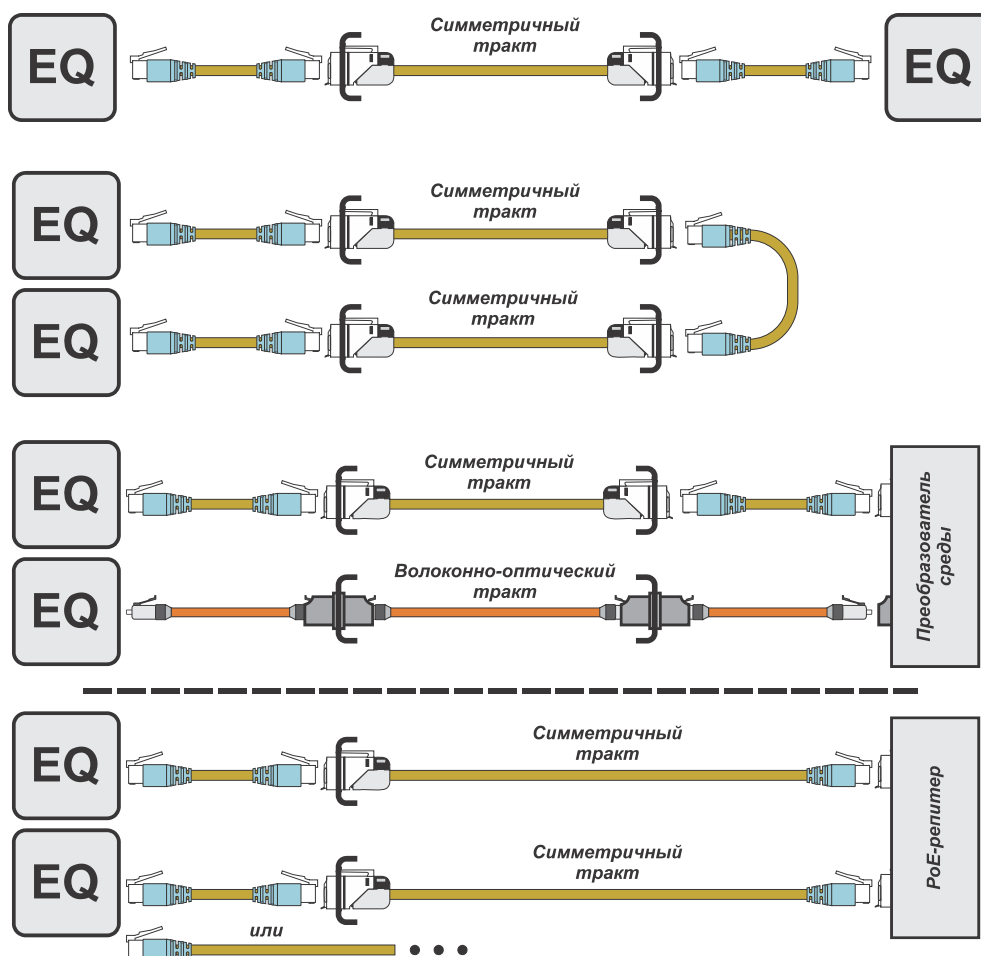


Рисунок 9 – Варианты построения кабельных трактов и их структурные особенности в случае применения преобразователя среды и PoE-репитера

Тип элементной базы для построения оптической подсистеме. Применение единой волоконно-оптической элементной базы в СКС на сегодняшний день нецелесообразно: хорошие экономические показатели многомодовых (ММ) линий при их небольшой протяженности куплены ценой высоких дисперсионных искажений.

Качественное стоимостное сравнение одномодовой и многомодовой линий приведено на рисунке 10.

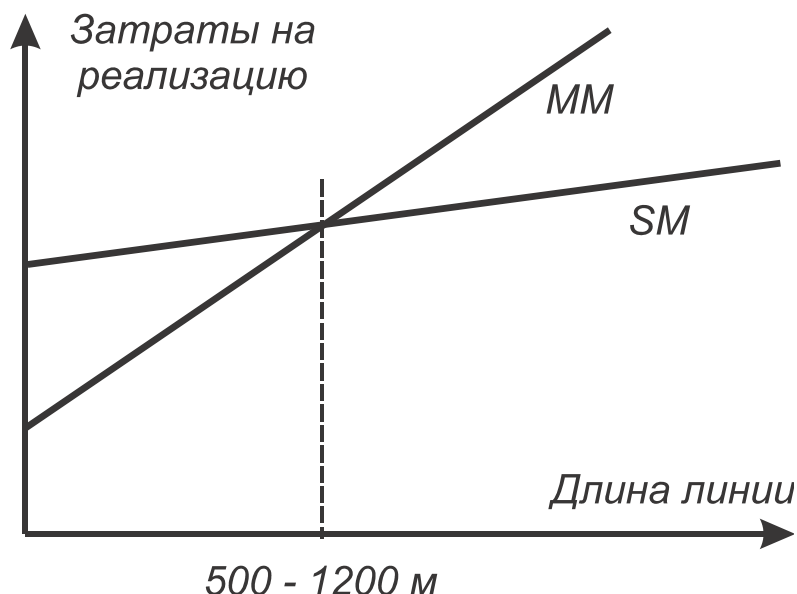


Рисунок 10 – Типовые зависимости затрат на реализацию многомодовой (ММ) и одномодовой (SM) линий

Характер зависимости определяется сочетанием высокой стоимости активного сетевого оборудования и повышенной стоимости многомодового оптического кабеля. Радикальное сокращение стоимости одномодовой линии невозможно по причине заметно более сложной структуры FP-и РОС-лазеров (см. рисунок 11); необходимость применения более дорогих материалов на рабочих длинах волн 1310 и 1550 нм; а также сложностями получения VCSEL-лазеров на длину волны 1310 нм с параметрами, приемлемыми для практики массовой эксплуатации информационных систем.

Данная особенность определяет фокусные области применения одномодовых и многомодовых линий: малые расстояния (до 150-200 м, в отдельных случаях до 400 м, т.е. фактически внутри объектовые линии) закрываются многомодовой техникой, для построения трактов увеличенной протяженности (подсистема внешних магистралей офисной СКС, соединение отдельных машинных залов кабельной системы ЦОД) используются одномодовые решения.

При построении сетевых интерфейсов, обеспечивающих скорость передачи 800 Гбит/с и более, вполне может быть задействована элементная база, применяемая в аппаратуре операторского класса. Можно, однако, утверждать,

что бюджетная многомодовая техника не сдает своих позиций.

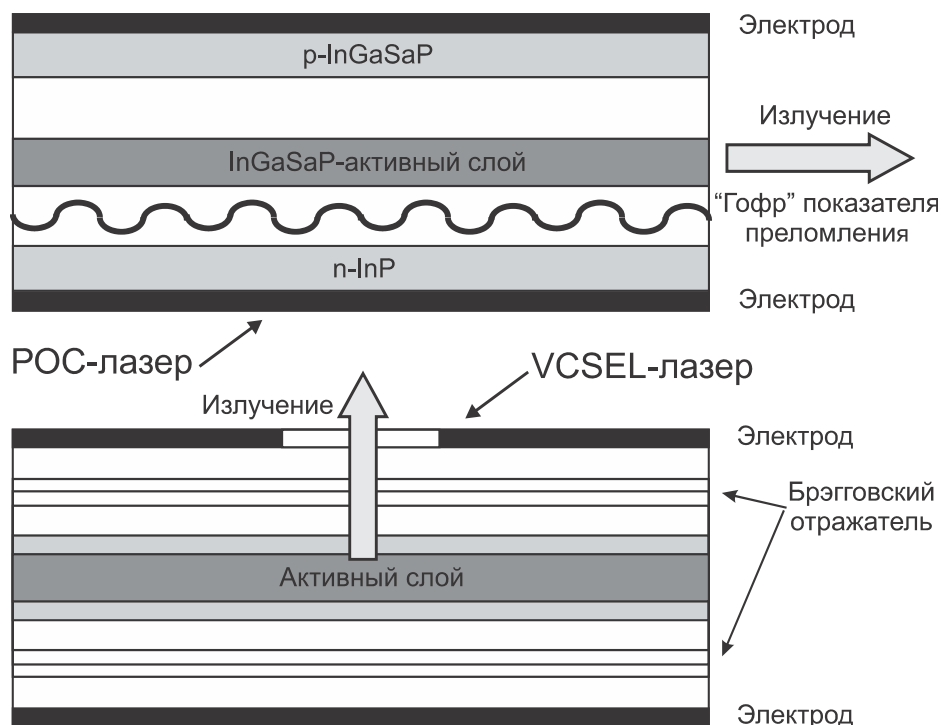


Рисунок 11 – Особенности структуры РОС и VCSEL-лазеров

Укажем на два момента, подтверждающих указанное утверждение. Во-первых, существующие многомодовые кабельные тракты СКС изначально рассчитаны на скорости вплоть до 1,6 Тбит/с. Во-вторых, многомодовые решения поддерживаются промышленностью: за последний год появились по меньшей мере по два образца активного оборудования на скорость 800 Гбит/с с многомодовым оптическим интерфейсом.

Новые типы группового оптического соединителя. Тракты оптической параллельной передачи согласно требованиям стандартов реализуются на разъемах МРО/МТР. Разъем создан на основе наконечника МТ, фактически передельную конструкцию и ряд недостатков, что вынудило искать ему замену.

Новые изделия группы VSFF с вертикальным дизайном ориентированы на схему Base8 (поддерживают скорость до 1,6 Тбит/с) и эффективно решают проблему:

- полярности формируемых трактов;
- агрегации каналов;
- построения отказоустойчивых структур;
- уменьшения потерь в тракте за счет снижения количества разъемов.

Последнее достигается отказом от модульно-кассетного решения в пользу стационарных линий классической конструкции из транкового кабеля и двух

оконечных розеток.

Варианты построения кабельных трактов на их основе представлены на рисунке 12.

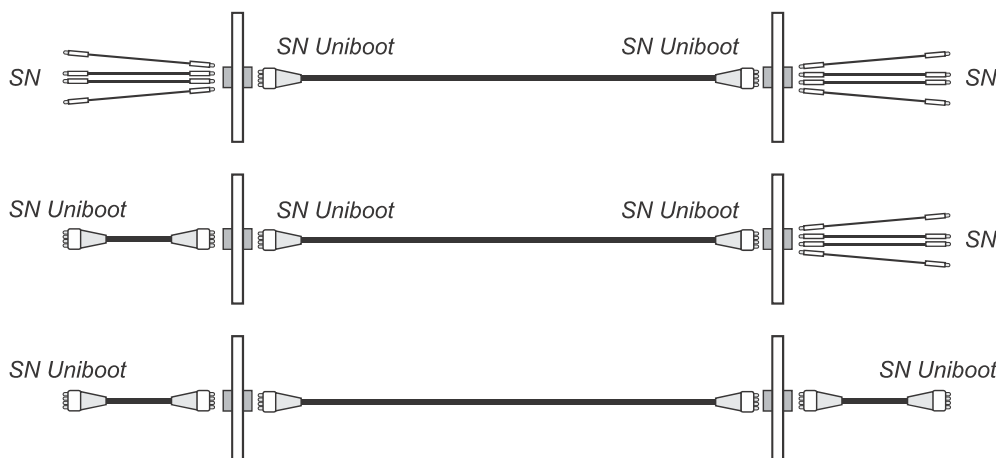


Рисунок 12 – Варианты реализации трактов параллельной передачи на оптических разъемах новых типов

Уменьшение потерь, которое весьма важно с учетом относительно малого энергетического потенциала высокоскоростных параллельных оптических интерфейсов обеспечено отказом от модульно-кассетной структуры [8].

На рисунке 13 представлен внешний вид вилок разъемов MDC (Mini Duplex Connector) от US Conec и SN (Senko Nano) от Senko.

Важным аспектом, значимо усиливающим перспективы внедрения новых разъемов группы VSFF, является возможность поддержки структур типа Base8 в форм-факторе стандартного дуплексного разъема LC. Важность последнего определяется тем, что LC сохранить свои позиции как основной тип соединителя по крайней мере в среднесрочной перспективе при построении дуплексных трактов [9].

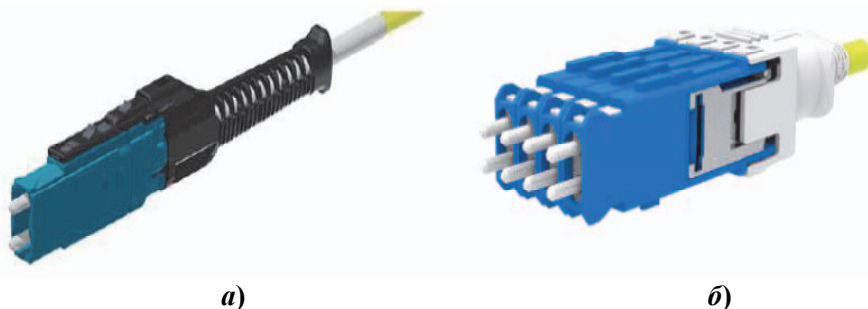


Рисунок 13 – Внешний вид вилок разъемов группы VSFF: а – MDC (Mini Duplex Connector) от US Conec; б – SN (Senko Nano) от Senko

Заключение. Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Значимые изменения в СКС на данном этапе развития отрасли неизбежны и определяются логикой развития бизнес-процессов в современных информационных системах, а темп их внедрения заметно увеличился за последние пять лет.

2. Усовершенствования СКС в рамках классической модели носят качественный характер и определяются в первую очередь ростом поддерживаемых скоростей передачи данных, функциональных возможностей кабельной системы и степени отработанности конструкции отдельных компонентов электропроводного и волоконно-оптического тракта.

3. Тренд на увеличение категории (класса) «классических» СКС объективен и задается стремлением к многофункциональности в части поддержки дистанционного питания типовых маломощных терминальных устройств информационной системы.

4. Переход на единый тип элементной базы в оптической подсистеме нецелесообразен даже в среднесрочной перспективе.

Литература

1. Артющенко В.М., Семенов А.Б., Аббасова Т.С. Пути наращивания эффективности инфокоммуникационных систем: монография / под науч. ред. док. техн. наук, проф. А.Б. Семенова. М.: Издательство «Научный консультант», 2019. 126 с.
2. Семенов А.Б., Артющенко В.М., Аббасова Т.С. Введение в структурированные кабельные системы // М.: Научный консультант. 2018. 206 с.
3. Семенов А.Б., Артющенко В.М., Аббасова Т.С. Основы проектирования, монтажа и тестирования структурированных кабельных систем: учебное пособие / под ред. д.т.н., профессора Семенова А.Б. М.: Издательство «Научный консультант», 2019. 232 с.
4. Семенов А.Б., Артющенко В.М., Аббасова Т.С. Разъемный соединитель LC и измерение параметров волоконно-оптических линий внутри объектовых информационных систем / под науч. ред. док. техн. наук, проф. А.Б. Семенова М.: Издательство «Научный консультант». 2021. 222 с.
5. Семенов А.Б., Макуев А.Ю., Фомичев Б.Н. Структурированные кабельные системы категории 8 // Первая миля. 2016. № 5(58). С. 58-62.
6. Семенов А.Б. СКС категории 8 // Журнал сетевых решений LAN. 2014. № 5. С. 52-57.
7. Семенов А.Б. 25 Gigabit Ethernet и структурированная проводка // Журнал сетевых решений LAN. 2018. № 2. С. 44.
8. Семенов А., Журавлева М., Сидоркина И. Модульно-кассетные волоконно-оптические решения с улучшенными параметрами // Журнал сетевых решений LAN. 2014. № 3. С. 49.
9. Семенов А.Б. 25-летие оптического разъема LC. Уйдет ли ветеран на заслуженный отдых? // Вестник связи. 2019. № 11. С. 9-12.

УДК 004.5, 004.9

Анализ средств и механизмов информационного сервиса

Сергей Владимирович Шайтура, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и управляющих систем, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,

Галина Ярославна Зеленова, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономики и бизнеса»,

Московский экономический институт, г. Москва,

Светлана Васильевна Сивченко, кандидат технических наук, доцент, Высшая школа сервиса Российского государственного университета туризма и сервиса, г. Москва,

Ирина Николаевна Букаева, кандидат юридических наук, доцент «Менеджмент и экономика спортивной индустрии им. В.В. Кузина», ФГБОУ ВО Российский университет спорта (ГЦОЛИФК), г. Москва,

Наиля Шаукатовна Шукенбаева, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой информационных технологий и систем факультета информационных систем и безопасности,

Российский государственный гуманитарный университет, г. Москва

В статье дается анализ понятий, средств и механизмов информационного сервиса. Целью статьи является необходимость сформировать целостное представление о информационном сервисе, как науке. В статье обсуждается понятие информации, ее взаимосвязь с данными и знаниями. Определяются потребности в информации, информационные ресурсы, информационные источники и информационные сервисы. Рассматриваются различные виды информационных сервисов: традиционные библиотечные сервисы, электронные сервисы в виде программ ЭВМ. Подробно рассматриваются Интернет-сервисы, их виды, способы предоставления информационных услуг. Выделен особый вид информационных сервисов – геоинформационные сервисы, которые предоставляют услуги по обработке, анализу и выдаче пространственно-распределенной информации. В заключении подводятся итог обзора и обсуждается структура работы сервисов по предоставлению информации.

Сервисы, информационные сервисы, информационные ресурсы, интернет сервисы, библиотечные сервисы, геоинформационные системы.

Analysis of means and mechanisms of information service

Sergey Vladimirovich Shaitura, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Control Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,
Galina Yaroslavna Zelenova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Business, Moscow Economic Institute, Moscow,
Svetlana Vasilievna Sivchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Higher School of Service of the Russian State University of Tourism and Service, Moscow,
Irina Nikolaevna Bukaeva, Candidate of Law, Associate Professor «Management and Economics of the Sports Industry. V.V. Kuzina», Russian University of Sports (GTSOLIFK), Moscow,
Nailya Shaukatovna Shukenbaeva, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Information Technologies and Systems of the Faculty of Information Systems and Security Russian State University for the Humanities, Moscow

The article analyzes the concepts, means and mechanisms of information service. The purpose of the article is the need to form a holistic view of the information service as a science. The article discusses the concept of information, its relationship with data and knowledge. Needs for information, information resources, information sources and information services are determined. Various types of information services are considered: traditional library services, electronic services in the form of computer programs. Internet services, their types, ways of providing information services are considered in detail. A special type of information services is singled out – geoinformation services that provide services for processing, analyzing and issuing spatially distributed information. In conclusion, the review is summarized and the structure of the work of services for providing information is discussed.

Services, information services, information resources, Internet services, geographic information systems.

Введение

Мы живем в век информации [1, 2]. Информация имеет решающее значение для всей нашей повседневной жизнедеятельности. Она порождается всеми видами человеческой деятельности и достижений. В создании информации участвуют как отдельные лица, так и организации.

Согласно тенденциям развития общества повсеместно происходит цифровизация всех сфер жизни человечества [3, 4, 5]. Цифровизация [6, 7, 8] предполагает развитие информационных систем и технологий, включая такие как: большие данные [9, 10], интернет вещей [11], цепочки блоков [12, 13, 14], искусственный интеллект [15, 16, 17, 18, 19]. В качестве интерфейса между советующими информационными системами и человеком используются информационные сервисы [20, 21, 22]. В статье рассматривается сущность этого понятия и сферы его применения.

Материалы и методы

Что бы понять сущность термина информационный сервис необходимо согласно системному анализу рассмотреть сначала эти понятия в отдельности и

определить синергетический эффект от сочетания этих понятий [23, 24, 25].

Информация – это одно из первичных понятий наряду с материей и идеей, поэтому существует ряд определений этого термина. По сути это рефлексия (средство взаимодействия) между идеей и материей, материей и материей, идеей и идеей. Информация проявляется на всех от микро- до макроуровня в виде [26, 27, 28].

Информация проявляется при передаче, хранении и обработке. По-видимому, информация существует как самостоятельная сущность, часть материи или идеи, но для ее проявления необходим субъект, который с ней манипулирует.

Существует ряд определений информации, которые определяют ее сведения, данные, знания. Часто это приводит к замкнутым петлям определений. Если принимать в качестве субъекта человека или электронно-вычислительные системы, то последовательность создания информации следующая: сигнал, данные, информация, знания. Данные получаются в результате обработки сигналов, поступающие на датчики (органы чувств или устройства ввода информации) субъекту. Эти данные обрабатываются, отсеиваются шумы и повторные данные. В результате этого появляются уникальные для данного субъекта данные, которые и называют информацией. Все факты, выводы, идеи и творческие произведения человеческого интеллекта и воображения, которые были переданы официально или неформально, в любой форме – это информация.

Знание – это информация, которая была понята и оценена в свете опыта и включена в интеллектуальное понимание знающего предмета [29, 30, 31]. Другими словами, знание – это информация, полученная путем обучения или опыта. Иными словами, информация, апробированная на практике, является знанием.

Телекоммуникации – передача информации из одного физического места в другое с помощью электронных средств. Термин «телекоммуникация» относится как к аналоговой, так и к цифровой связи, включая голос и видео. Передача данных относится только для цифровой связи [32-35].

Понятия данные и информация часто взаимозаменяемы, но на самом деле они разные. Данные представляют собой наборы несвязанной информации или фактов и как таковые бесполезны пока они не будут должным образом оценены. После оценки, как только появляются значительные отношения между данными, и они показывают некоторую релевантность, они преобразуются в информацию. Теперь одни и те же данные можно использовать для разных целей. Таким образом, когда данные передают некоторую информацию, они полезны и считаются информацией.

Информация может оцениваться с позиций системного, функционального и процессуального подходов. Эти подходы рассматриваются в применении к управлению различными сферами народного хозяйства.

Понятие сервиса многогранно [36, 37]. Обычно его связывают с оказанием услуг. Услуги могут быть оказаны людьми, предприятиями, механизмами и инструментами. Информационные сервисы обычно связывают с программно-техническими комплексами, которые предоставляют информацию по запросам.

Результаты исследования

Потребность в информации

Информация имеет решающее значение для всей нашей деятельности. Нам это нужно для образования, исследований, занятости, развлечений, здравоохранения, решения проблем и обучения на протяжении всей жизни. Информация является жизненно важным ресурсом для социально-экономического развития страны.

Доступность последней научной, технической, опытно-конструкторской и коммерческой информации, дает стране экономическое, технологическое и политическое преимущество над другими странами.

Всем нужна информация для той или иной цели. Студентам нужна информация для дополнения своих учебников для учебы и для проектной работы. Учителям нужна информация для обучения и исследований. Специалистам (врачам, инженерам, юристам, консультантам и т.д.) нужна информация для эффективной карьеры. Политикам нужна информация, чтобы сформулировать политику и планы по мере необходимости, а также принимать правильные решения. Исследователям (ученым, технологам, социальным ученым и т.д.) нужна информация, чтобы быть в курсе последних событий в своей области исследований, чтобы находить новые области исследований, чтобы избежать дублирования исследовательских усилий и решить любую проблему, с которой они столкнутся при проведении исследования. Исследователи самые обширные пользователи информации и знаний. Собственно говоря, большинство прежних библиотечных и информационных служб были разработаны с учетом ознакомления с их информационными требованиями.

Информационные ресурсы, информационный продукт и информационные сервисы

Под информационными ресурсами [8, 11] обычно понимается совокупность данных, информации, знаний.

Сегодня к информационным ресурсам можно отнести: средства массовой информации, электронные библиотеки, электронные базы данных, сайты Интернет, сервисы. Первоначально библиотеки были просто хранилищами знаний. Современные библиотеки предоставляют ряд сервисов по поиску информации. Библиотеки создают свои коллекции с учетом потребностей и целей организации, которой они служат. Исторически роль библиотеки в обеспечении доступности материалов считается одним из самых важных вкладов, когда-либо сделанных в человеческую культуру и технологии. В библиотеках хранятся материалы, которые позволяют идеям, знаниям и опыту передаваться из поколения в поколение.

Таким образом, под информационным сервисом будем понимать комплекс услуг по получению информации, хранению, обработке и дальнейшей выдате по запросам [38].

В программной инженерии обычно сервисами называют программы предоставляющие услуги по обслуживанию электронных вычислительных машин (ЭВМ).

Интернет и Всемирная паутина представили новые и мощные способы

поиска и обмена информацией. Интернет – это коллекция взаимосвязанных компьютерных сетей, доступ к которым с отдельного компьютера, дает пользователю возможность найти информацию, расположенную на любом компьютере, связанном с одной из сетей [39, 40]. Интернет объединяет миллионы компьютеров по всему миру, формируя сеть, в которой любой компьютер может общаться с любым другим компьютером, пока они подключены к Интернету. Информация, которая путешествует по Интернету, используя различные языки, называемые протоколами WWW или просто Web – это способ доступа к информации через среду Интернета. Интернет использует HTTP (протокол передачи гипертекста) для передачи данных. В Интернете также используются такие браузеры, как Internet Explorer или Netscape. Навигатор для доступа к веб-документам. HTTP определяет, как форматируются сообщения и переданы, и какие действия веб-серверы и браузеры должны предпринять в ответ к различным командам. Например, когда вы вводите URL-адрес (например, <http://www.niscair.res.in/>) в вашем браузере, это фактически отправляет команду в Интернет сервер, направляющий его на получение и передачу запрошенной веб-страницы.

Веб-страницы форматируются с помощью языка разметки, который называется HTML (Hyper Text Markup) – язык, который поддерживает ссылки на другие документы, а также графику, аудио или видео файлы. Сеть – это всего лишь один из способов распространения информации по Интернету.

Интернет и веб-технологии изменили способ общения людей, взаимодействовать, приобретать и делиться знаниями. Растущее число людей полагаются на Интернет для получения информации, в которой они нуждаются.

Сегодняшние пользователи полагаются на различные виды информации. Они ведут жизнь, насыщенную средствами массовой информации, и пользуются Интернетом больше, чем библиотеками. Они используют портативные устройства и получают доступ к информации из дома, работы, ресторанов, транспорта. Они могут найти все знания через Google или Yahoo. Википедия предоставляет бесплатно знания по каждой теме.

Библиотечные информационные сервисы

В настоящее время, когда средний пользователь перегружен огромным количеством информации очень важно, чтобы библиотеки систематически передавали знания и навыки поиска информации и организации информации для своих пользователей.

Цель информационных услуг состоит в том, чтобы обеспечить пользователя необходимой информацией. Библиотечный информационный сервис должен предвидеть и удовлетворять потребности пользователей. Необходимо поощрять осведомленность пользователей о потенциале информационных ресурсов для выполнения индивидуальной информационной потребности. Информационные сервисы должны предлагать услуги в соответствии с потребностями пользователей. Кроме того, информационные услуги могут быть разделены на две основные категории: обеспечение информационной потребности пользователей и осведомление пользователей о доступных информационных ресурсах и способах находить информацию, соответствующую заданным потребностям самостоятельно.

Информационные сервисы обычно пересекаются с услугами преподавания и обучения, потому что библиотекари часто обучают пользователей, предлагая информацию услуги пользователям. Информационные услуги включают в себя справочные сервисы и сервисы просмотра и поиска.

Иными словами, информационные услуги делятся на прямые и косвенные. Прямая услуга включает прямой поиск информации. Косвенные услуги включают действия по подготовке и разработке каталога, библиографии и все другие инструменты, обеспечивающие доступ к коллекциям библиотек.

Библиотечные информационные сервисы можно разбить на три уровня:

первый уровень, на котором технологии, источники и услуги интегрированы в цифровой библиотеке и у пользователя есть доступный портал для поддержки их информационных потребностей;

второй уровень, на котором библиотекарь обучает пользователя использованию цифровых библиотек, отвечает на часто задаваемые вопросы, онлайн-справки, подготовка пользователей для самостоятельного поиска информации;

третий уровень на какой библиотекарь (или чат-бот) ждет вопросов пользователей, которые могут быть через телефон, электронную почту, какой-либо интерактивный инструмент и т.д.

Службы поиска и просмотра

В начало разработки веб-сайтов библиотек поисковые сервисы были ориентированы на каталог библиотек с записями, описывающими в основном печатные коллекции библиотек. Каталоги библиотек по-прежнему являются важной частью каждого веб-сайта библиотеки и его развитие требует много усилий библиотекарей.

Хотя каталоги очень важны, их интерфейсы были недостаточно удобными для пользователя, поэтому в основном обычные пользователи выбирают поисковые системы, такие как Google, вместо каталогов библиотек. Вот почему в последние годы большой изменения можно заметить в представлении каталогов библиотек, такие как интеграция в библиотеку или сайты университетов; интеграция нескольких каталогов через единый интерфейс; более удобный интерфейс; помимо печатных ресурсов включаются цифровые ресурсы (цифровые книги, цифровые журналы и т.д.); интеграция различных возможностей поиска за пределами традиционное видение библиотечных фондов; интеграция технологии Web. Сегодняшняя каталоги библиотек выглядят совсем иначе, чем десять лет назад и информация, которую они предлагают, включает широкий спектры информации о печатных коллекциях и цифровой контент по подписке, иногда даже контент в открытом доступе.

Современные службы поиска и службы просмотра охватывают коллекции на всех носителях, типах и форматах. Поиск состоит из следующих компонент: поисковый интерфейс и язык запросов.

Просмотр можно разделить на следующие категории:

система организации, группирующая содержание в соответствии с темами, группами пользователей, хронологически, облако тегов и т.д.;

университетская навигационная система;

система навигации по библиотечным ресурсам;

карта сайта – общий вид основного контента категории;
индекс сайта – алфавитный список ссылок на содержание;
руководство по веб-библиотеке обзор наиболее релевантного контента;
контекстуальные навигационные системы-ссылки на определенный контент обычно внутренние тексты.

Просмотр также можно разделить на общий просмотр, тематические словари, индексы и списки.

Концепция библиотечно-информационного обслуживания

Библиотеки создаются и поддерживаются для предоставления информационных ресурсов определенному сообществу. Публичная библиотека обслуживает жителей определенного географического региона. Академическая библиотека обслуживает студентов и преподавателей родительского колледжа или университета. Специальные библиотеки поддерживают достижение организационных целей, обслуживая членов. Корпоративные библиотеки обслуживают коммерческие фирмы. В каждом случае библиотека существует только для обслуживания родительского сообщества. Каждая библиотека выполняет три основные функции в процессе обслуживания своего сообщества, отбора и сбора информации, организации информации и обслуживания пользователей.

Можно выделить основные функции библиотечного информационного сервиса:

- инструктирование пользователя по управлению библиотекой;
- помощь пользователям в решении их запросов;
- помощь пользователям в выборе хороших работ;
- продвижение библиотеки в сообществе.

Эти четыре функции остаются ядром справочно-информационных услуг в современной цифровой среде. Основная цель библиотеки, независимо от типа или размера, состоит в том, чтобы способствовать использованию ее ресурсов. Библиотечные услуги объединяют документы или источники информации и их пользователей личными усилиями сотрудников библиотеки.

Виды библиотечных информационных сервисов:

Справочный сервис. Справочные сервисы помогают пользователям находить и получать определенные фрагменты информации из источников информации, таких как справочники, каталоги, каталоги, файлы, реферативные и индексирующие периодические издания, базы данных (онлайн и на компакт-дисках) и другие справочные материалы. Сотрудники библиотеки могут либо помогать пользователям в поиске (прямой поиск), либо сами осуществлять поиск пользователей (делегируемый поиск) в режиме онлайн или офлайн. Справочное обслуживание является субъективным из-за упора на персонализированное обслуживание. Инструкция имеет объективную коннотацию, потому что побуждает пользователя к самостоятельному обучению. Справочные сервисы предназначены для направления пользователей к источникам информации, таким как вторичные публикации, информационные отделы, профессиональные организации, исследовательские институты и специалисты/эксперты. Такие сервисы не предоставляют документы или информацию, необходимые пользователю для его/ее запроса, но дают направление, где это возможно. Библиотекари используют

справочники и базы данных по источникам, специально разработанные и разработанные для оказания справочных услуг.

Сервис текущей осведомленности (СТО): – СТО удовлетворяет текущий подход пользователей к информации и, таким образом, поддерживает их в актуальном состоянии в области их работы. СТО – это метод передачи текущей информации пользователям. Он предоставляет последние разработки в предметной области и не дает ответа на какой-либо конкретный запрос. Как правило, охватывает широкую предметную область и дополняет собственный канал/средство получения информации пользователем. Он известен своей скоростью и своевременностью. Он предназначен для использования до того, как его содержимое будет поглощено вторичными публикациями, такими как реферативные и индексирующие журналы. СТО может предоставляться через различные средства массовой информации и каналы, такие как текущие списки осведомленности, текущее содержание, маршруты периодических изданий, список текущих исследований и предстоящих встреч/семинаров/конференций, вырезки из газет и т.д.

Сервис выборочного распространения информации (СВРИ). СВРИ – это особый тип текущей службы информирования. Он предоставляет каждому пользователю ссылки на документы в заранее определенных областях его интересов, выбранных из документов, опубликованных недавно или полученных в течение определенного промежутка времени. Рабочий процесс сервиса СВРИ основан на следующих шагах:

- создание профиля пользователей;
- создание профиля документа;
- проведение соответствия профиля пользователя и профиля документа;
- уведомление пользователей;
- Получение обратной связи от пользователей.

Сервис поиска литературы. Это расширение справочного сервиса. Эта услуга включает в себя следующие этапы:

- анализ поисковых параметров запроса;
- формулирование подходящей стратегии поиска различных источников информации;
- идентификация и выбор наиболее подходящих источников для поиска и порядок их поиска;
- понимание функций поиска в онлайн-базах данных и внешней памяти компьютера.

Сервис доставки документов (СДД). Доставка документов является ключевым элементом в доступе к информации. Если документы, необходимые пользователю, не доступны ему, все остальные услуги бесполезны. СДД представляет собой сложный процесс, связанный с предоставлением пользователям документов по запросу в требуемом формате. СДД является последней точкой в этой цепочке информационных служб, которая фактически находит нужный документ и предоставляет его пользователям в нужном формате. Электронная СДД поддерживает доставку документов в оцифрованном виде в любое время из любого места.

Сервис переводов. В области науки и техники около половины мировой

литературы издается не на русском, а на других языках. Доступ к русскоязычной литературе для людей, знающих русский язык, возможен через переводы. Таким образом, услуги перевода помогают в глобальном доступе к информации.

Сервис публичный общедоступный онлайн-каталог (ПООК). Концепция сетевых ПООК возникла недавно и служит воротами к ресурсам, принадлежащим не только соответствующей библиотеке, но и к фондам других участвующих библиотек, выходя за рамки региональных, национальных, международных уровней. Это позволяет пользователям взаимодействовать с документами, хранящимися на компьютерах по всему миру, и упрощает доступ к данным каталога в виде библиографических записей. Он может поддерживать такие протоколы, как telnet, HTTP, FTP и Gopher, а также файлы и документы, такие как Portable Document Format (pdf), (HTML) и т.д.

Публичный общедоступный онлайн-каталог с доступом в Интернет позволяют пользователям выполнять поиск в библиотеках в любом месте и в любое время. Это позволяет пользователям искать и находить библиографические записи, содержащиеся в коллекциях библиотек и устраняет временные и пространственные барьеры. Пользователи получают доступ к веб-службе ПООК с помощью стандартного веб-браузера, подключаясь как клиентский компьютер, поскольку этот механизм не требует установки какого-либо дополнительного программного обеспечения на стороне клиента.

Сервис индексации статей. Современные пакеты автоматизации также позволяют создавать и индексировать базу данных статей, опубликованных в журналах, на которые подписана библиотека. Тезисы докладов/статей также могут быть включены в базу данных. Такая база данных позволяет выполнять специальный и комбинированный поиск по автору, названию, ключевым словам и т.д. и предоставляет ряд специфических для пользователя услуг, таких как услуги оглавления, составление тематических библиографий и создание CAS, SDI и т. д. в онлайн-вом и автономном режимах.

Сервис выдачи. Сервис выдачи позволяет пользователям читать книги и другие библиотечные материалы в другом месте. Эта услуга увеличивает использование библиотечной коллекции. Компьютеризированное кредитование включает следующие дополнительные услуги для пользователей:

- быстрая выдача, возврат и обновление книг и других библиотечных материалов;
- автоматическое отображение наличия документов и возможной даты доступности, отображение или печать документов, заимствованных участником;
- быстрое формирование штрафных квитанций;
- выдача членского удостоверения с фотографией;
- ведение истории членства в виде перечня документов, выданных и возвращенных членом вовремя его/ее членства;
- напоминания по электронной почте о просроченных книгах;
- резервирование документа пользователями через ПООК, если он предоставлен во временное пользование;
- услуги межбиблиотечного абонеента для документов, которых нет в местной библиотеке.

Система обращения на основе смарт-карт позволяет самостоятельно выдавать и самостоятельно возвращать документы, безопасно использовать библиотечные ресурсы и персонализировать доступ к общедоступным ресурсам.

Сервис объединенного каталога. Объединенный каталог представляет собой набор библиографических сведений о ресурсах, принадлежащих группе библиотек. Ни одна библиотека мира не может купить все ресурсы. Сводный каталог помогает пользователю одной библиотеки проверить наличие необходимых документов в других библиотеках, если они отсутствуют в фонде местной библиотеки. Объединенный каталог является результатом совместной работы библиотек-членов сети совместного использования ресурсов или консорциума. Они доступны в виде баз данных на компакт-дисках или в виде онлайн-баз данных.

Сервис электронной доставки документов. Доставка документов всегда была в центре услуг, предлагаемых библиотеками. В связи с оцифровкой документа; можно сделать более оперативным за счет внедрения электронной доставки документов. Служба доставки документов представляет собой интеграцию обнаружения документов, местонахождения поставщика, запроса и доставки. Он принимает различные формы, имеет дело с различными форматами и включает в себя ряд посредников.

Информационно-пропагандистские сервисы. Информационно-пропагандистские сервисы направлены на автоматизацию процессов, необходимых для доставки материалов находящимся на дому и другим посетителям, которые физически не могут войти в библиотеку. Автоматизированные библиотечные системы также предлагают общественные информационные услуги в виде списка имен и адресов местных организаций или лиц, местных мест отдыха, трудоустройства и т.д. Информационно-пропагандистские услуги позволяют создавать профили интересов пользователей, читать истории, легко выбирать, доставлять и возвращать товары. Доступ к информационно – пропагандистским сервисам и общественным информационным службам часто интегрируется с ПООК.

Базовые библиотечные сервисы информационно-коммуникационных услуг. Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) оказали значительное влияние на все сферы жизни человека. Для библиотек ИКТ значительно изменили управление ресурсами или ведение домашнего хозяйства, а также способ предоставления услуг. Инструменты ИТ-приложений и интегрированные системы управления библиотекой в основном используются в хозяйственных операциях, таких как приобретение, каталогизация, контроль тиражирования, контроль серийных номеров и т.д. В библиотеке Интернет широко используется как ресурс, а также инструмент для доставки библиотеки и информации. Библиотека предоставляет своим пользователям следующие базовые услуги ИКТ:

- полнотекстовые службы базы данных;
- службы баз данных компакт-дисков;
- информационные веб-сервисы.

Репрографические сервисы. Репрография означает воспроизведение документов с помощью фотографии или ксерографии. Репрографическая услуга полезна для распространения информации. Эта услуга предоставляется на плат-

ной основе. Сегодня репрография играет очень важную роль в передаче знаний в библиотечных ресурсах и услугах. Внедрение репрографических услуг помогло защитить документ от кражи или неправильного обращения.

Сервисы в области информационных технологий

Сервисы информационных технологий (СИТ) относятся к применению деловых и технических знаний, позволяющих организациям создавать, управлять и оптимизировать или получать доступ к информации и бизнес-процессам [41, 42, 43].

Рынок СИТ можно сегментировать по типу навыков, которые используются для предоставления услуги (проектирование, создание, запуск). Существуют также различные категории услуг: услуги бизнес-процессов, услуги приложений и услуги инфраструктуры.

Если эти услуги переданы на аутсорсинг, они называются аутсорсингом бизнес-процессов, аутсорсингом приложений и аутсорсингом инфраструктуры.

СИТ играют жизненно важную роль в повседневной жизни современной компании. Какими бы они ни были, все, что касается ИТ, имеет решающее значение для успеха компании, так или иначе полагающейся на технологии. Часто эти ИТ охватывают множество предметов и областей. Иногда это выполняется собственными силами, а иногда сторонним поставщиком услуг.

Теперь давайте разберем некоторые из наиболее распространенные сервисы. Некоторые из них являются более общими, в то время как другие предназначены для конкретных запросов.

Управляемые СИТ. Широкий, всеохватывающий тип услуги, управляемая СИТ, обычно является частью поставщика управляемых услуг, который занимается одной или несколькими потребностями в СИТ. Чаще всего управляемые СИТ обеспечивают удаленное управление серверами, рабочими столами и устройствами. Другое распространенное использование связано с удаленной кибербезопасностью.

Облачные сервисы резервного копирования. Облако – это универсальная платформа, способная поддерживать множество виртуальных сервисов, таких как операционные системы и программы. Облачное резервное копирование также является частью сервисной модели, позволяя пользователям и компаниям хранить свою важную информацию на внешних облачных серверах, избегая сбоев оборудования или других проблем. Облачное резервное копирование обычно осуществляется поставщиками услуг за ежемесячную / годовую плату.

Сервис передача голоса по интернет-протоколу. Интернет и широкополосные соединения позволяют использовать универсальные методы связи, и передача голоса по интернет-протоколу является одним из них. Этот СИТ использует Интернет для бизнеса/лица вместо традиционной телефонной линии, позволяя указанному пользователю совершать и принимать звонки через своего Интернет-провайдера. Современные телефоны также предоставляют множество функций, таких как голосовой вызов и параметры чата. Как правило, для передачи голоса по интернет-протоколу также требуется подписка на сервис вместо традиционной телефонной службы.

Сервисы мониторинга. Подобно службам безопасности, приложение для

мониторинга делает то, чем называется: следит за серверами, сетевым трафиком, связью, безопасностью и/или всем, что необходимо предприятию. Эта услуга часто используется для небольших компаний, которым не хватает ресурсов более крупных организаций, но все же требуется надежная ИТ-поддержка/функций. Обязанности могут варьироваться от автоматического обновления программного обеспечения/антивируса до контроля целостности оборудования.

Сервисы резервного копирования и восстановление данных. Некоторые провайдеры предлагают резервное копирование данных в облаке, а другие — во внешних центрах обработки данных. Независимо от используемого метода резервное копирование данных предполагает сохранение информации на случай непредвиденных проблем, таких как стихийное бедствие, злонамеренные вторжения, сбой оборудования и прочее. Часто бизнес называет это стратегией аварийного резервного копирования. Для большинства организаций наличие той или иной формы резервного копирования является обязательным, чтобы предотвратить такие проблемы, как простои и потеря важной информации.

Сервисы брандмауэра. Межсетевые экраны – это обычная и неотъемлемая часть любого плана кибербезопасности. Большинство компаний используют собственный брандмауэр или имеют его для своей сети, но в некоторых случаях выбирают третью сторону для дополнительных параметров брандмауэра. Опции зависят от провайдера.

Например, некоторые брандмауэры представляют собой гибридные модели, которые допускают дополнительные параметры контроля и мониторинга сети, выходящие за рамки обычных наборов правил. Другие могут предоставлять единый брандмауэр для всех внутренних/удаленных устройств. Потребности различаются в зависимости от требований каждой отдельной компании.

Сервисы кибербезопасности. Широкая категория, включающая все без исключения типов сервисов, подпадающих под понятие кибербезопасности. В ИТ это защита сетей и данных от злонамеренных атак путем развертывания различных методов, таких как мониторинг сети, брандмауэры, антивирусы, многоуровневые сети и многое другое. Часто управляется через провайдера, но также может обрабатываться на месте. Услуги кибербезопасности ценны, поскольку они требуют больших ресурсов и более опытного персонала. Среди вариантов ИТ-услуг невозможно переоценить важность кибербезопасности.

Сервис Office 365/Электронная почта. Office 365 работает как комплексный программный пакет Microsoft, включающий такие программы, как Word и Excel. Это отличный вариант для предприятий, которым требуется разнообразное программное обеспечение для организации документов, но которые предпочитают платить ежемесячную плату. Также известна как модель SaaS (программное обеспечение как услуга). Office 365 также работает как облачный сервер и обновленная платформа управления электронной почтой. Office 365 хорош для компании, которая использует электронную почту для связи.

Сервис антивирусной защиты. Подмножество кибербезопасности, антивирусные услуги, возможно, являются одним из наиболее распространенных типов ИТ-услуг в отрасли. Обязательная защита от вредоносных программ предоставляется в виде программного обеспечения и/или мониторинга. Из-за растущей

угрозы вредоносного ПО в современном мире любая компания, полагающаяся на ИТ, должна иметь установленный антивирус или использовать какую-либо услугу.

Сервис бизнес-аналитики. Большие данные играют огромную роль в успехе бизнеса. Ливень информации, доступной данной компании, огромен, и то, как она будет получена, зависит от используемого инструмента. Службы бизнес-аналитики анализируют, извлекают и преобразовывают этот поток информации в содержательные отчеты. Все, от финансовых затрат до рейтинга кликов по статье в определенное время суток, подпадает под эгиду современной бизнес-аналитики.

Сервис дистанционной поддержки. Как следует из названия, удаленная поддержка позволяет ИТ-специалистам предлагать услуги поддержки из другого места, иногда управляя устройством, чтобы помочь в устранении неполадок через Интернет. Поддержка может быть использована для ИТ-помощи, ремонта программного обеспечения или других нужд. Очень полезно, когда ИТ-специалисты физически недоступны.

Сервис Microsoft Azure. Это собственная облачная платформа Microsoft для публичного и частного использования (ранее известная как Windows Azure). Платформа Azure предлагает широкий набор возможностей для разработки, Интернета вещей, аналитики, безопасности и многого другого. Он очень популярен, поскольку Azure взимает плату в зависимости от использования (оплата по мере использования), а не фиксированную плату, что является хорошим гибким выбором для предприятий с ограниченным финансовым капиталом.

Сервис мобильной и удаленной сети. Мобильные и удаленные сети позволяют персоналу работать с мобильных устройств и/или удаленных устройств, как правило, за пределами физического местоположения. Совпадает с политикой BYOD (принеси свое устройство). Это удобно, потому что предлагает широкий диапазон гибкости для работников, а также позволяет им работать над проектами практически из любого места. Полезно, если местонахождение компании недоступно по непредвиденным причинам.

Сервис управление коммуникациями. ИТ-службы, обслуживающие все коммуникационные службы, часто предоставляют компаниям универсальные платформы коммуникационных решений. Платформа унифицированных коммуникаций – это тип программного обеспечения, объединяющего все типы обмена сообщениями: чат, электронная почта, голос, видеовызов и даже электронная почта. Управление коммуникациями также включает в себя планирование системы коммуникации, например, этикета и рекомендаций по отправке/получению электронных писем. Например, компания может разрешить хранить конфиденциальную деловую информацию только в корпоративных электронных письмах.

Сервис SaaS (программное обеспечение как услуга)

Широкий термин, который может включать в себя любое и все программное обеспечение, которое оплачивается через услуги ежемесячной подписки. В области ИТ указанное программное обеспечение предоставляется третьей стороной через Интернет. Чрезвычайно простые примеры включают электронную почту. Office 365, услуга, которую мы ранее перечисляли, подпадает под

категорию SaaS.

Сервис унифицированных коммуникаций. Унифицированные коммуникации включают в себя программное обеспечение и планирование объединения всех методов связи в едином пространстве. Как уже упоминалось, примеры этого включают программное обеспечение унифицированных коммуникаций.

Сервис аналитики данных. Услуги, которые включают в себя процесс анализа и обработки данных для использования компанией, аналитика данных обычно включают такие понятия, как «большие данные» и IoT (Интернет вещей). Привлекает специалистов и службы, которые обрабатывают информацию для компании, чтобы создавать удобные отчеты. Эти отчеты используют все, что полезно для бизнеса.

Сетевые сервисы. Сетевые ИТ-услуги охватывают все необходимое для успешного внедрения корпоративной сети. Это включает в себя построение сетевой инфраструктуры, настройку таких устройств, как маршрутизаторы и модемы локальной сети, компоновку сетей (например, разбиение сети на разные уровни), безопасность, оптимизацию и многие другие факторы. Часто бизнес строит это на месте, однако, если местных ИТ-специалистов недостаточно (или они недоступны), тогда для надлежащего предоставления услуг используются третьи стороны.

Сервисы разработки информационных технологий. ИТ-разработка включает в себя все ресурсы, используемые для разработки и управления платформой или программным обеспечением. При использовании услуг сторонняя помощь может быть привлечена для помощи в завершении проектов или любых различных задач, необходимых для завершения программного обеспечения. Некоторые из этих услуг включают тестирование QA, бизнес-решения, миграцию, разработку приложений и обслуживание приложений. Как правило, удаленная помощь, если ею не занимается персонал на месте, предназначена для краткосрочных проектов. Иногда их называют «теневыми разработчиками».

Сервис ИТ печати. *Сервисы ИТ печати* включают в себя все услуги, связанные с управлением, записью и печатью документации. Обычно выполняется собственными силами компании, но в редких случаях, когда требуется дополнительная помощь, третья сторона может управлять большими объемами запросов на печать, поддерживать резервные копии документации и преобразовывать указанную документацию в виртуальные электронные таблицы.

Однако не у всех компаний есть такие же ресурсы, как у крупных предприятий, и когда ИТ необходимы для сохранения конкурентоспособности, вы легко можете почувствовать себя обделенными. Итак, при рассмотрении сторонних решений обратите внимание на следующее:

вы сталкиваетесь с частыми вторжениями вредоносных программ, атаками и сбоями в работе сети;

проекты часто останавливаются, откладываются или сбрасываются из-за нехватки опыта и ресурсов;

коммуникации в бизнесе беспорядочны и не организованы. Сообщения регулярно теряются, а организация звонков и встреч – сложный и громоздкий процесс;

существуют более простые процессы для решения определенных задач в бизнесе, таких как хранение документации;

не существует способа полного восстановления и защиты данных в случае аварии, серьезного сбоя оборудования или вторжения вредоносных программ;

мобильные и удаленные устройства не настроены для работы с сетью компании;

Необходимо быстро расширять ресурсы для удовлетворения потребностей новых сотрудников, но не хватает капитала для инвестиций в новое оборудование;

Текущая модель поддержки клиентов отстает и не может эффективно реагировать на большое количество дней/часов.

Если какая-либо из этих ситуаций применима к вашему бизнесу, вероятно, пришло время обратиться за ИТ-услугами к управляемому поставщику. Часто внутренние проблемы и нестабильность приводят к потере рабочего времени и, в конечном счете, снижают размер прибыли. Представьте, например, как универсальная коммуникационная платформа может помочь, централизовав способы общения всех сотрудников. Вместо того, чтобы Джерри из бухгалтерии пропустил электронное письмо, потому что он был на встрече, программное обеспечение может указать, где он был и что делал в это время. Чем меньше времени сотрудники бегают друг за другом в этом сценарии, тем больше времени они могут сосредоточиться на своих задачах. Это всего лишь один из десятков примеров, которые могут предложить решения проблем, вызывающих головную боль.

Поисковые сервисы Интернет

Одной из основных сервисных составляющих Интернет являются поисковые программы. Эти сервисы позволяют найти любую проиндексированную информацию в сети так называемого белого Интернета. Белый Интернет представляет совокупность информации, которая проиндексирована хотя бы одним из поисковых сервисов Интернет. Лучшими мировыми поисковыми сервисами являются Google, Yahoo, Yandex, Bing, Baidu.

Поисковые сервисы обычно объединены с почтовыми сервисами. Все вышеперечисленные сервисы предоставляют так же и услуги электронной почты. Среди российских поисковых систем, которые выросли из почтовых сервисов следует выделить сервисы mail.ru и gambler.ru. Это первые поисково-почтовые сервисы, которые появились в России. Сейчас они сдали свои позиции поисковым сервисам Google и Yandex, но до сих пор остаются востребованными.

Поисковые сервисы Интернет индексируют примерно 5% информации, которая находится в Интернет. Для того, чтобы ваша страница (сайт) появилась в белом Интернете необходимо зарегистрироваться хотя бы в одном (а лучше в нескольких) поисковых сервисах. Примерно через месяц поисковые боты сервиса посетят вашу страницу и проведут индексирование информации. Поисковые боты индексируют только ту информацию, которая является для них новой. Ваша страница появится в поисковой системе в последних строчках поиска по заданному контексту. Что бы страница поднялась по поиску заданного контекста необходимо, что бы на нее ссылались и посещали. Вышеуказанные действия назы-

ваются SEO – оптимизация, инженерия оптимизации поиска в Интернет.

Кроме белого Интернета существует серый и темный или глубинный Интернет. Серый интернет – это вся информация Интернет, которая не проиндексирована поисковыми системами. В эту категорию относится информация на персональных компьютерах и гаджетах, которая находится в личном пользовании потребителей сети. Эту информацию можно увидеть и извлечь, если знать к ней путь или ссылку на нее. Поиском конфиденциальной информации занимаются специалисты по конкурентной разведке [44].

Кроме белого и серого Интернета существует еще глубинный или темный Интернет, который представляет собой аналог белого с поисковой системой Tor. В этой системе нельзя (или сложно) отследить персональный адрес заказчика и исполнителя. Она используется для продажи оружия, наркотиков, порнографии и прочих запрещенных товаров, распространение которых подпадает под действие уголовного кодекса.

Научные поисковые сервисы

Научные поисковые сервисы предоставляют услуги по поиску научной информации. В России основным поисковым сервисом для поиска и анализа научной информации является сервис eLIBRARY.RU. Он концентрирует в себе всю информацию по научным источникам в России. Зарегистрироваться в этом сервисе может каждый человек, который имеет электронный почтовый ящик для обмена сообщениями. Предусмотрены формы участия в качестве читателя, автора, издательства и научного учреждения. Организация коммерческая, некоторые услуги платные, но далеко не все. Этот сервис используется научными организациями России для учета вклада ученых в научную деятельность.

Академия Google (Google scholar) – используется в мировом научном сообществе для привязки ссылок на электронные публикации.

Scopus – мировой научно-поисковый сервис, который позволяет вести учет научных публикаций, ученых и научных изданий, которые входят в эту систему.

Web of Science – самый авторитетный сервис для поиска и рейтингования литературных источников и научного цитирования.

Кроме вышеназванных научно-поисковых сервисов имеется ряд региональных и отраслевых сервисов по учету литературных источников.

Идея создания международных научных сервисов, конечно, хорошая, но она усложняется коммерческими и политическими интересами различных стран.

Мультимедийные поисковые сервисы

YouTube – это глобальный онлайн сервис для обмена видео и социальных сетей со штаб-квартирой в Сан-Бруно, Калифорния. Он был запущен 14 февраля 2005 года Стивом Ченом, Чадом Херли и Джаведом Каримом. Он принадлежит Google и является вторым по посещаемости веб-сайтом после Google Search.

RUTUBE – российский мультимедийный поисковый сервис. Он включает в себя библиотеку лицензионного контента, включая фильмы, сериалы, мультфильмы, шоу и прямые трансляции. Здесь также размещаются блоги, подкасты, игровые стримы и образовательный контент. RUTUBE имеет веб-версии, версии для iOS, Android и Smart TV.

Геоинформационные сервисы

Особым видом информационных сервисов являются геоинформационные сервисы (рис. 1). Обычно геоинформационные услуги предоставляются поисковыми программами Интернет, такими как Yandex, Google, Bing, 2GIS, Google Earth, SASPlanet.

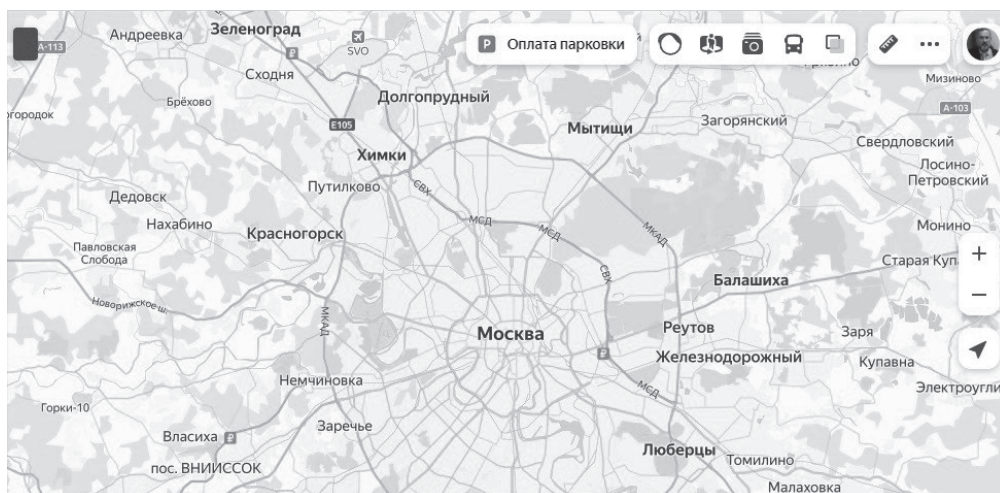


Рисунок 1 – Maps.Yandex.ru

Геоинформационные сервисы позволяют получать различную пространственно-распределенную информацию. Эта информация поставляется туда с обработанных космических снимков. Снимки векторизуются при помощи геоинформационных систем ГИС. К ним привязывается алфавитно-цифровая и мультимедиа информация справочного характера. Геоинформационные сервисы позволяют не только отображать пространственно-распределенную информацию, но и производить ее анализ, создавать новые производные карты (рисунок 2).



Рисунок 2 – Изображение с www.everpoint.ru

Применение информационных сервисов

Ограниченность объема одной статьи не дает возможности нам дать обзор всех информационных сервисов и показать возможности их применения. Однако, стоит отметить, что использование информационных сервисов проникает во все области цифровой экономики и цифрового производства [45-50]. Конечно это прежде всего образование. Цифровые деканаты – это тоже сервисы (рисунок 3). Они помогают организовать процесс обучения как в очном, так и в дистанционном режиме [51-54].

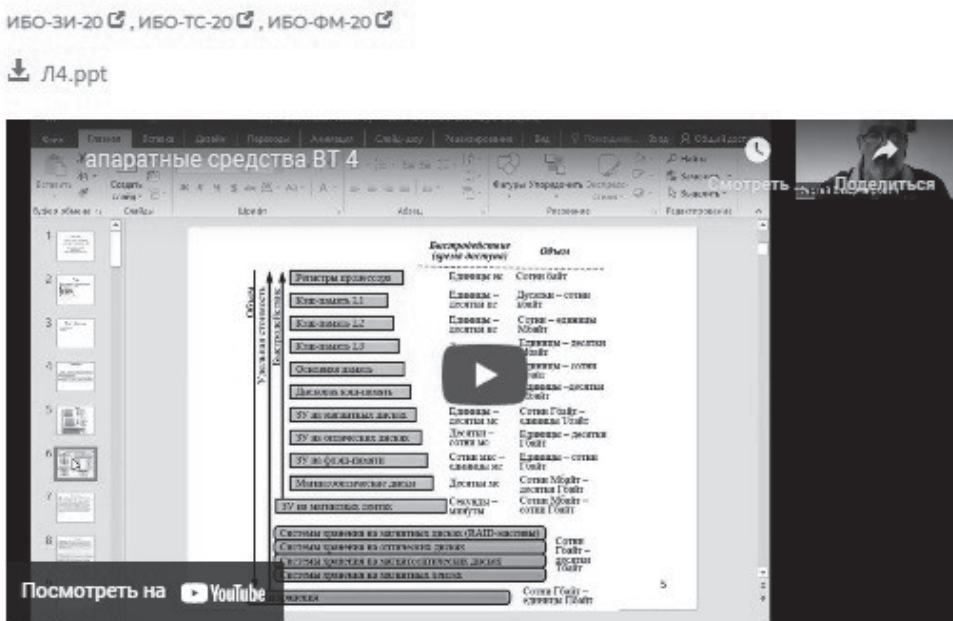


Рисунок 3 – Использование информационных сервисов для организации дистанционной лекции

Таким образом мы видим, что для решения отдельных народнохозяйственных задач используются самые разные информационные сервисы, которые работают в симбиозе между собой, что увеличивает их синергетический эффект. Применение различных информационных сервисов позволяет перейти нам к информационному обществу потребления информационных услуг на основе информационных сервисов. Поэтому изучение и освоение информационных сервисов становится так актуально.

Заключение

В этой статье обсуждаются концепции данных, информации и знаний, необходимость информации и типы информационных потребностей пользователя. Она также предоставляет обзор различных видов услуг, предлагаемых библиотеками и информационными центрами.

Кроме того, в ней рассматривается влияние информационных и коммуникационных технологий.

Правительственные организации благодаря своей разнообразной деятельности, такой как управление, администрации, переписи и обследования, генерируют новую информацию. Отдельные лица, как исследователи, изобретатели, новаторы, первооткрыватели, мыслители, авторы, планировщики и политики, судьи и т.д. все вовлечены в задачу сбора информации.

Полученная таким образом информация обрабатывается и записывается в различные источники и форматы, чтобы предоставить доступ для общего пользования. Большой объем информации создается каждый год в виде печатных изданий, фильмов, электронных и оптических носителей, средств массовой информации и распространяется через различные каналы, такие как печать, телефон, радио, телевидение и Интернет. Печатная информация доступна на различных первичных источниках (таких как периодические издания, диссертации, исследовательские отчеты, патенты, стандарты и т.д.), вторичные источники (такие как индексирование и реферирование периодических изданий, книг, словарей, энциклопедии, справочники и т.д.) и третичные источники (такие как каталоги, библиография библиографий, путеводители и др.).

Электронная информация доступна для всех печатных версий в виде электронных ресурсов, таких как электронные книги, электронные журналы и т.д. Библиотеки систематически собирают, обрабатывают, хранят и распространяют эту информацию для своих пользователей.

Внедрение ИТ-решений для устранения недостатков в бизнесе – отличный способ повысить эффективность и оптимизировать общение. Сегодня современный бизнес сталкивается с растущим спросом на обеспечение безопасности данных, обеспечение качественной поддержки клиентов и использование передовых технологий и программного обеспечения, сохраняя при этом деликатную норму прибыли. Для малого и среднего бизнеса это легче сказать, чем сделать. Однако любое из перечисленных нами ИТ-решений может обеспечить столь необходимое облегчение для предприятия, испытывающего трудности.

Литература

1. Галимханова В.Р., Редькина Н.С. Сервисы библиотечно-информационного обслуживания ученых: анализ мировых тенденций – В сборнике: Наука, технологии и информация в библиотеках (Libway-2019). Сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Е.Б. Артемьевой. 2019. С. 74-75.
2. Шайтура С.В. Информация, данные, знания, система // Славянский форум. 2012. № 2(2). С. 240-250.
3. Рыльский И.А. Инвентаризация и мониторинг лесов на основе лазерной локации, цифровой аэро- и космической фотосъемки и спутникового геопозиционирования / И.А. Рыльский, К.А. Варьгин // Материалы 3-й Междунар. практ. конф. по лесоустройству. Новосибирск, 2013. С. 87-91.
4. Шайтура С.В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. 2018. Т. 2. № 1(5). С. 62-68.

5. Королькова Н.А. Особенности применения системы электронного документооборота в практике высшего учебного заведения // II международная конференция «цифровая трансформация общества, экономики, менеджмента и образования»: материалы конференции, Екатеринбург, 05-06 декабря 2019 года. Екатеринбург: ústav personalistiku, 2020. С. 104-110.
6. Shaitura S.V., Ordov K.V., Minitaeva A.M. Digital learning methods for the digital economy – In: 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Сер. «Advances in Economics, Business and Management Research». 2019. С. 606-611.
7. Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Ordov K.V. Digital management railway – In: 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. «Advances in Economics, Business and Management Research». 2019. Yekaterinburg, Russia. pp. 181-185. doi:10.2991/iscde-19.2019.34.
8. Tsvetkov V.Ya., Shaytura S.V., Sultaeva N.L. Digital Enterprise Management in Cyberspace. – Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth» (MTDE 2020). Yekaterinburg, Russia. pp. 361-365. doi:10.2991/aebmr.k.200502.059.
9. Shaitura S.V., Feoktistova F.M., Minitaeva A.M., Olenev L.A., Chulkov V.O., Kozhaev Y.P. Spatial geomarketing powered by big data // Revista Turismo Estudos & Práticas. 2020. № S5. С. 13.
10. Шайтура С.В., Галкин Д.А. Геомаркетинговый анализ больших данных // Информационные технологии. 2021. Т. 27 № 4. С. 180-187.
11. Шайтура С.В., Замятин П.А., Белю Л.П., Султаева Н.Л. Совокупная стоимость владения решениями на базе технологии «интернет вещей» // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 124-133.
12. Лихачев В.А., Шайтура С.В. Электронная валюта «биткойн» как средство интернет-платежей // Славянский форум. 2016. № 1(11). С. 91-97.
13. Shaytura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Ordov K.V. Blockchains in spatial data security – In: CEUR Workshop Proceedings. Selected Papers of the X Anniversary International Scientific and Technical Conference on Secure Information Technologies (BIT 2019). 2019. p. 70-74.
14. Shaytura S.V., Olenev L.A., Nedelkin A.A., Minitaeva A.M., Ordov K.V., Feoktistova V.M. Blockchain in technogenic safety and risk management // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2021. Т. 11. № 12. С. 72-78.
15. Гаврилова В.В., Шайтура С.В. Естественный и искусственный интеллект // Славянский форум. 2014. № 2(6). С. 24-27.
16. Гаврилова В.В., Шайтура С.В. Интеллектуальная обработка информации в области оценки недвижимости // Славянский форум. 2012. № 1(1). С. 164-171.
17. Шайтура С.В. Интеллектуальные системы и технологии – Учебное пособие / Бургас. 2016. 83 с.
18. Шайтура С.В. Интеллектуальный анализ геоданных // Перспективы науки и

- образования. 2015. № 6(18). С. 24-30.
19. Шайтура С.В. Интеллектуальный анализ данных // Славянский форум. 2015. № 2(8). С. 341-350.
20. Розенберг И.Н., Шайтура С.В., Цветков В.Я. Методы и программные средства информационного сервиса в информационных и пространственных полях. Сборник научных трудов / Бургас. 2020. 177 с.
21. Цыбулько В.В., Дуванская Е.В. Роль информационного сервиса в обеспечении информационного взаимодействия предприятия // Новая наука: От идеи к результату. 2015. № 5-2. С. 171-173.
22. Найденова Л.И. Применение информационных технологий в процессе подготовки бакалавров по специальности «информационный сервис» // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2012. № 1. С. 114-116.
23. Фаткулин А.Н. Моделирование распределённых информационных сервисов // Информационные технологии моделирования и управления. 2007. № 1(35). С. 126-133.
24. Лаврова Г.Н., Чубрина К.А. Развитие модели агрегации информационных сервисов электронной коммерции // Экономика и управление: проблемы, решения. 2018. Т. 6. № 12. С. 95-99.
25. Скрябин В.П. Анализ облачных сервисов с точки зрения информационной безопасности // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 25. С. 551-562.
26. Неделькин А.А., Степанова М.Г., Шайтура С.В. Тенденции и перспективы развития информационно-коммуникационных технологий дистанционного обучения в подготовке экономистов // Славянский форум. 2016. № 2(12). С. 171-179.
27. Романова Ю.Д., Шайтура С.В. Технологии поиска информации // Славянский форум. 2015. № 2(8). С. 283-292.
28. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Анализ математических моделей информационных параметров сигналов, обрабатываемых радиолокационными устройствами наблюдения ближнего действия // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2014. № 5. С. 14-20.
29. Князева М.Д., трапезников С.Н. Управление знаниями в корпоративной образовательной системе // Фундаментальные исследования. 2012. № 6-1. С. 112-116.
30. Гаврилова В.В., Шайтура С.В. Информационные модели данных и баз знаний в геоинформационных системах // Славянский форум. 2016. № 2(12). С. 71-85.
31. Шайтура С.В. Информационные модели данных и баз знаний в геоинформатике // Славянский форум. 2012. № 2(2). С. 69-79.
32. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Измерение параметров движения протяженных объектов в условиях мешающих воздействий и изменяющейся дальности // Двойные технологии. 2015. № 1(70). С. 69-74.
33. Артюшенко В.М., Корчагин В.А. Расчет и моделирование вероятности появления внутриканальных и интермодуляционных помех беспроводных устройств с малым радиусом действия // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2014. Т. 10. № 1. С. 57-65.

34. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С., Аббасов А.Э. Условия эффективного применения виртуальных лабораторий для инженерного образования. В сборнике: Инновационные технологии в современном образовании, сборник трудов по материалам II Международной научно-практической интернет-конференции. 2015. С.12-19.
35. Аббасова Т.С., Артюшенко В.М. Методы инсталляции и проектирования электрических кабельных линий в 10-гигабитных системах связи // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2009. Т. 5. № 2. С. 8-16.
36. Советов В.М., Артюшенко В.М. Основы функционирования систем сервиса. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 100101 «Сервис» / Москва, 2010. 624 с.
37. Артюшенко В.М. Сервис информационных систем в электротехнических комплексах. Монография / Москва, 2010. 98 с.
38. Сумзина Л.В., Шайтура С.В. Геоинформационные сервисы инфраструктуры пространственных данных – Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции. 2018. № 9. С. 90-97.
39. Шайтура С.В. Интеграция геоинформационных систем и интернет // Славянский форум. 2012. № 1(1). С. 92-99.
40. Шайтура С.В., Сумзина Л.В. Анализ туристических Интернет-ресурсов Московской области // Славянский форум. 2018. № 2(20). С. 176-183.
41. Бажанов Р.С., Шайтура С.В. Ключевые показатели эффективности интернет проектов как основа измерений в веб аналитике // Славянский форум. 2013. № 2(4). С. 13-22.
42. Шайтура С.В., Кожаев Ю.П., Бердыко А.П. Геоинформационные сервисы в планировании туристических маршрутов // Славянский форум. 2021. № 1(31). С. 356-368.
43. Шайтура С.В., Шайтура Е.Н., Минитаева А.М., Кудров Ю.В., Зюкин Д.А. Геоинформационные сервисы в сфере туризма. Монография / Бургас, 2021. 135 с.
44. Shaitura S.V., Ordov K.V., Lesnichaya I.G., Romanova Yu. D., Khachaturova S.S. Services and mechanisms of competitive intelligence on the internet // Espacios. 2018. Т. 39. № 45. С. 24.
45. Шайтура С.В., Максимов А.В., Филимонов С.Л., Томашевская Н.Г., Барбасов В.К. Цифровая экономика, точное позиционирование и беспилотное вождение в сельском хозяйстве // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4. С. 38-44.
46. Шайтура С.В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. 2018. Т. 2. № 1(5). С. 62-68.
47. Шайтура С.В., Коломейцев А.В., Позняк И.И., Минитаева А.М., Прохоров Ю.Н. Точное земледелие как один из аспектов цифровизации сельского хозяйства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 161-166.

48. Шайтура С.В., Бело Л.П. Цифровая трансформация экономики // Славянский форум. 2021. № 4(34). С. 344-355.
49. Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Ordov K.V., Gospodinov S.G., Chulkov V.O. Review of distance learning solutions used during the Covid-19 crisis – In: «Advances in Social Science, Education and Humanities Research». 2020. С. 1-9.
50. Shaitura S.V., Ordov K.V., Pigoreva O.V., Kosterina I.V., Zyukin D.A., Gerasimova V.G. Problems of distance education // Revista Inclusiones. 2020. V. 7. № S4-1. p. 24-38.
51. Неделькин А.А., Степанова М.Г., Шайтура С.В. Тенденции и перспективы развития информационно-коммуникационных технологий дистанционного обучения в подготовке экономистов // Славянский форум. 2016. № 2(12). С. 171-179.
52. Шайтура С.В. Дистанционное образование во время пандемии // Славянский форум. 2020. № 2(28). С. 201-205.
53. Шайтура С.В. Дистанционное образование как повышение качества жизни // Научные труды Вольного экономического общества России. 2012. Т. 164. С. 99-103.
54. Шайтура С.В. Методы дистанционного образования в геоинформационном сервисе // Славянский форум. 2020. № 1(27). С. 177-188.

УДК 004.05

Оценка эффективности гиперконвергентных решений при обработке больших данных

Татьяна Сергеевна Аббасова, кандидат технических наук,
доцент кафедры информационных технологий и управляющих систем,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,

Андрей Борисович Семенов, доктор технических наук, профессор,
Национальный исследовательский университет Московский государственный
строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва,

Тимур Эльшанович Аббасов, финансовый аналитик, компания «OZON»,
г. Москва

Проанализированы характеристики гиперконвергентных технологий, определены показатели их эффективности. Показатели эффективности описаны функциональными уравнениями, выражающими количество обрабатываемых в единицу времени связанных с большими данными запросов; время информационного взаимодействия. Даны практические рекомендации по реализации логических компонентов архитектуры обработки больших данных на основе решений российских производителей.

Виртуальные технологии, гиперконвергентные платформы, архитектуры обработки, логические компоненты.

Assessment of the effectiveness of hyperconvergent solutions when processing big data

Tatyana Sergeevna Abbasova, Candidate of technical Sciences,
Associate Professor of the Department

of Information Technologies and Control Systems,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,

Andrey Borisovich Semenov, Doctor of Technical Sciences, professor,
National Research University Moscow State University of Civil Engineering
(NRU MGSU) Moscow,

Timur Elshanovich Abbasov, financial analyst, company «OZON», Moscow

The characteristics of hyperconverged technologies are analyzed, indicators of their effectiveness are determined. Performance indicators are described by functional equations expressing the number of requests processed per unit of time related to big

data; time of information interaction. Practical recommendations are given for the implementation of the logical components of the big data processing architecture based on the solutions of Russian manufacturers.

Virtual technologies, hyperconvergent platforms, processing architecture, logical components.

Введение

В настоящее время широко внедряются средства серверной виртуализации, распределённых и многомерных хранилищ данных [2, С. 56;4, С. 17;6, С. 70] прикладных сервисов для них [1, С. 42] для организаций корпоративного и государственного сектора с применением технологий гиперконвергенции. Технологии гиперконвергенции объединяют программно-определяемые инфраструктуры на всех уровнях, позволяют снизить совокупную стоимость решения и повысить быстродействие при обработке больших данных. Проблемы внедрения гиперконвергентных решений в России заключаются в выборе отечественных аналогов для реализации единого виртуального набора средств обработки больших данных, которые обеспечивали бы низкие капитальные затраты и стоимость владения, эффективность управления [11, С. 5;19, С. 26], а также миграцию с дорогих или с санкционно-опасных решений.

Результаты исследования

На основе анализа технологий VMware vSphere, Microsoft Hyper-V и специализированным систем хранения данных (СХД) иностранного производства [13, С. 25;15, С. 5;18, С. 6] сформулированы требования к отечественным решениям:

- работа виртуальных машин и экземпляров распределенного хранилища на одних и тех же серверах за счет технологии гиперконвергенции для уменьшения совокупной стоимости решения;
- непосредственная установка решения на серверное оборудование любого производителя;
- устойчивость к потере сервера/кластера/стойки/ЦОДа;
- гарантия непрерывности поддержки на всех уровнях внедрения решения в России.

При внедрении гиперконвергентных решений важен выбор архитектуры системы больших данных.

Архитектура обработки больших данных основана на логических компонентах, состав и функции которых показаны на рисунке 1.

Проанализируем более подробно применение логических компонентов.

Примеры источников больших данных (компонент «Источники данных» на рисунке 1) приведены на рисунке 2.

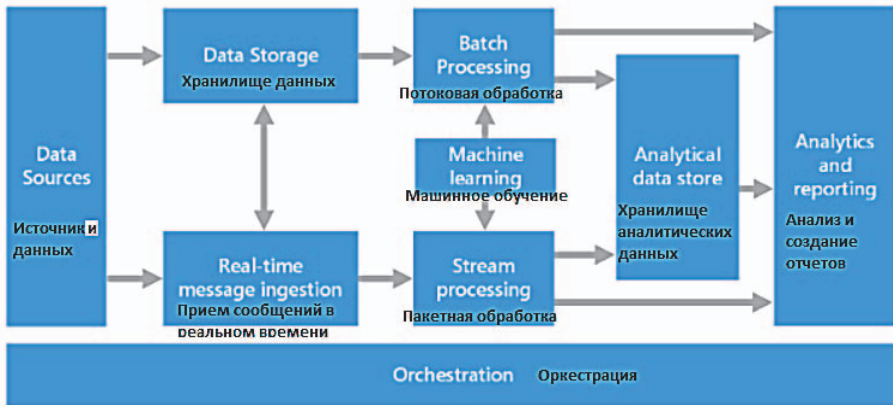


Рисунок 1 – Типовая архитектура обработки больших данных, основанная на логических компонентах

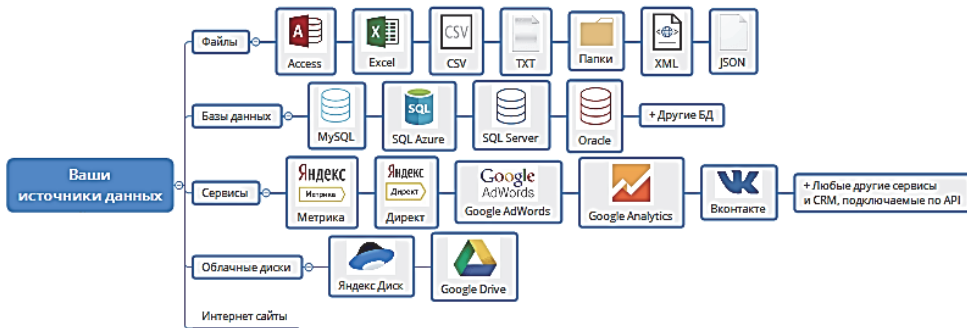


Рисунок 2 – Источники больших данных

На рисунке 2 показано, что источниками больших данных, кроме широко используемых приложений, могут быть любые сервисы, подключенные с помощью программных интерфейсов приложения.

Элемент «Хранилище данных» реализован как «Озеро данных», которое работает с большими файлами разных форматов. Пакетная обработка должна осуществляться в режиме реального времени, то есть непривязанный поток входных данных должен иметь минимальное время задержки при обработке – порядка нескольких миллисекунд.

Широкое распространение в архитектурах обработки больших данных получил логический компонент «Машинное обучение». Пример алгоритмов машинного обучения, использующихся во многих системах, приведен на рисунке 3.

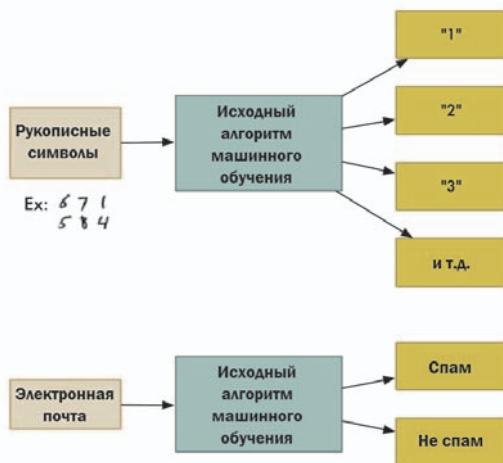


Рисунок 3 – Примеры алгоритмов машинного обучения при обработке больших данных

Пример схемы логического компонента «Анализ и создание отчетов» показан на схеме алгоритма рисунка 4.

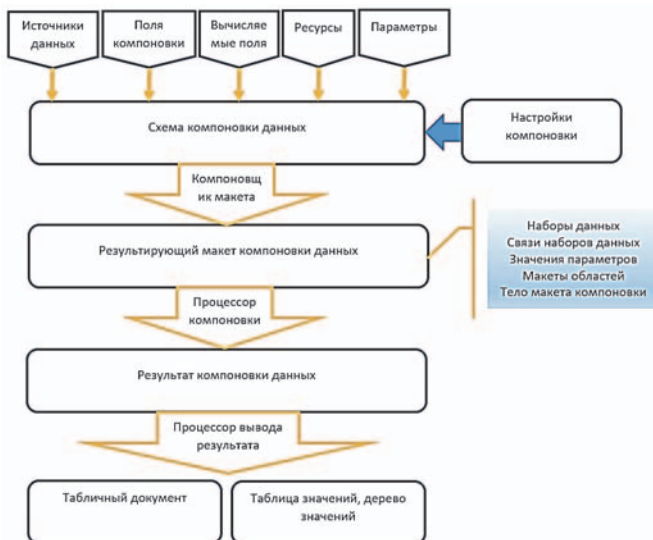


Рисунок 4 – Алгоритм формирования отчетов по обработке больших данных

Логический компонент «Оркестрация» автоматизирует выполнение повторяющихся в семах больших данных рабочих процессов, осуществляющих преобразование и перемещение данных между несколькими источниками и приемниками, загрузку обработанных данных в хранилище или на панель монито-

ринга. Модуль оркестратора может быть создан самостоятельно или использован для его создания некоторый каркас (фреймворк программного обеспечения). Схематично архитектура модуля оркестратора изображена на рисунке 5.

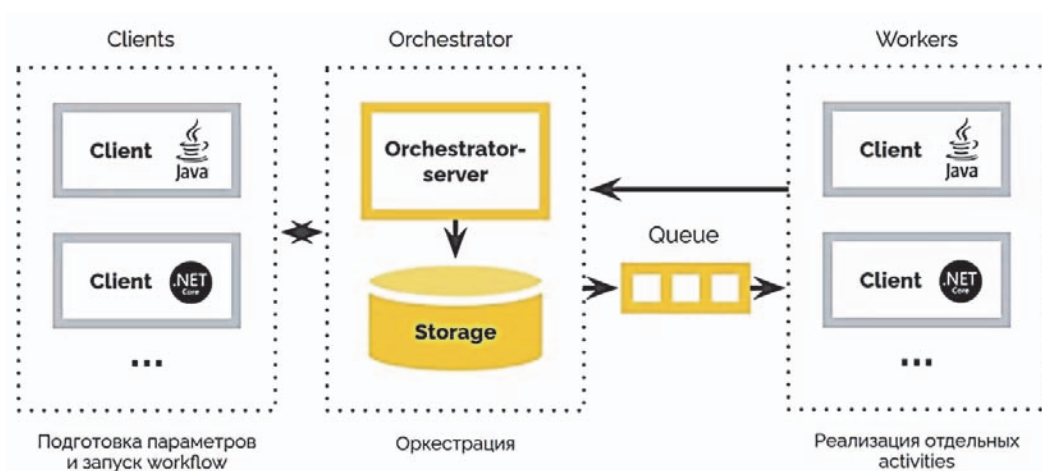


Рисунок 5 – Типовая архитектура фреймворка для оркестрации

Модуль оркестрации имеет собственное хранилище данных для того, чтобы в случае прерывания процесса обработки данных по различным причинам возобновление вычислительного процесса можно будет начать с того же места.

Отдельные решения по реализации архитектуры обработки больших данных могут не содержать все компоненты в схеме, приведенной на рисунке 1. Широко распространены лямбда-архитектура (рисунок 6) и каппа-архитектура (рисунок 7).

Недостатком является ее сложность. Логика обработки применяется в двух различных местах, в холодном и критическом путях, с использованием различных структур. Это приводит к дублированию логики вычислений и усложняет управление архитектурой для обоих путей.

Сравнительный анализ Лямбда-архитектуры, для которой характерно дублирование вычислений для холодного и горячего пути, и Каппа-архитектуры показывает, что Каппа-подход является упрощением Лямбда-подхода к проектированию систем больших данных, в этой архитектуре удален уровень пакетной обработки данных (в системах, построенных в соответствии с Лямбда-архитектурой, пакетный уровень является «холодным», то есть более низкоскоростным путем, по которому идет основной поток данных).

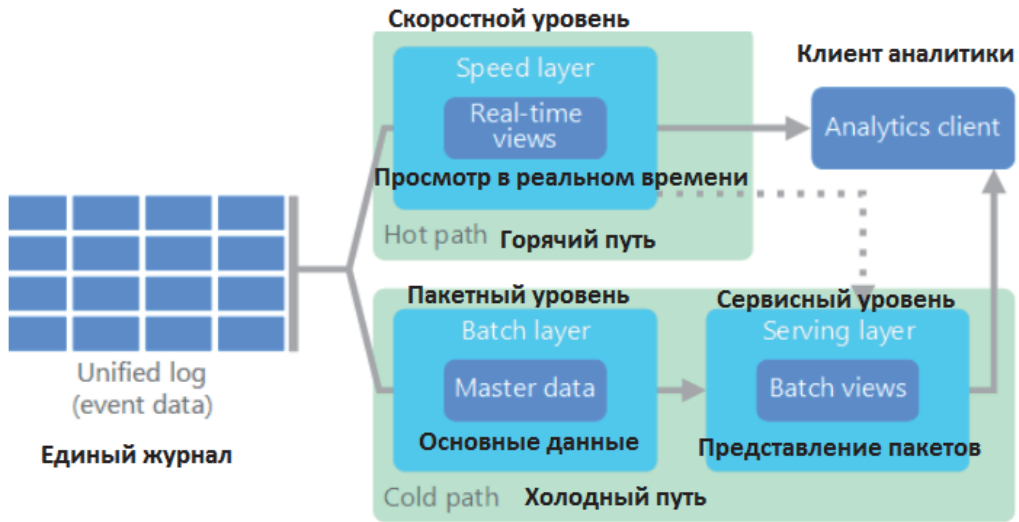


Рисунок 6 – Лямбда-архитектура

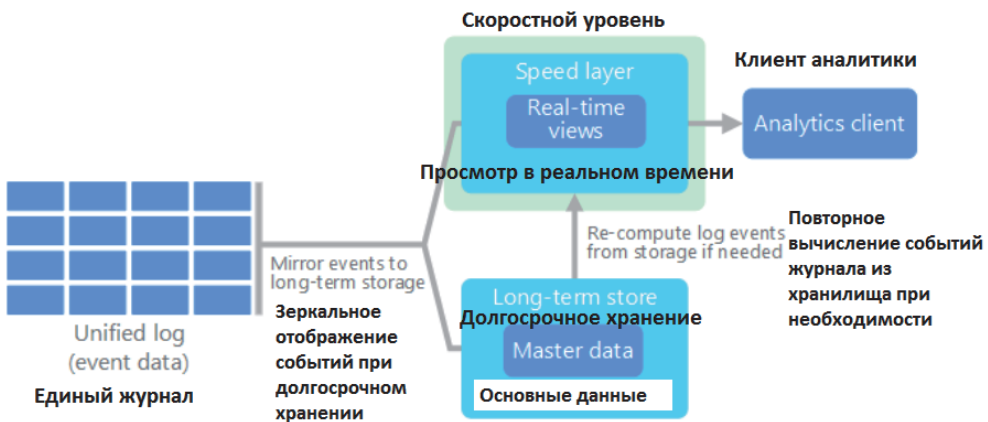


Рисунок 7 – Каппа-архитектура

Лямбда-архитектура применяется в тех случаях, когда необходима разовая обработка запросов с использованием неизменяемого хранилища данных; нужны быстрые ответы и различные обновления в форме новых потоков данных; обязательна сохранность исторических данных, когда ни одна из записей не должна быть удалена, с возможностью добавления обновлений и новых данных в хранилище.

В настоящее время широко развивается архитектура Интернета вещей (АИВ) (рисунок 8), которая отличается продуманным планированием при обработке многочисленных источников данных от подключенных к сети Интернет устройств [14, С. 46]. Для преодоления недостатков архитектуры Интернета вещей (не самая отличная безопасность, достоверность и приватность данных, не-

достаточное масштабирование) разрабатываются децентрализованные архитектуры.



Рисунок 8 – Архитектура Интернета вещей

Характеристики лямбда-архитектуры можно описать функциональным уравнением, которое выражает количество обрабатываемых в единицу времени запросов

$$Q = \lambda_{CD} = \lambda_{LSD} \cdot \lambda_{SD}, \quad (1)$$

где Q – связанные с данными запросы; λ_{CD} – интенсивность обработки всех данных по запросам, λ_{LSD} – интенсивность обработки данных «в прямом эфире» (т.е. потоковой передачи в реальном времени с помощью скоростного уровня), λ_{SD} – интенсивность обработки сохраненных данных (из исторического хранилища).

Выражение (1) показывает объединение результатов обработки больших данных из хранилища и из модуля потоковой обработки для определения количества связанных с данными обрабатываемых запросов.

Характеристики каппа-архитектуры также можно описать функциональным уравнением

$$Q = K_{ND} = K_{LSD}, \quad (2)$$

где Q – связанные с данными запросы; K_{ND} – интенсивность обработки новых данных по запросам с применением каппа-функции, K_{LSD} – интенсивность обработки данных при потоковой передаче в реальном времени с помощью скоростного уровня с применением каппа-функции.

Количество обрабатываемых запросов в (1) и (2) является критерием эффективности, чем оно больше, тем эффективность системы больших данных вы-

ше.

При формализации функционирования Интернета вещей необходимо учитывать, что математическое описание его работы – на стыке теории вероятностей и математической статистики, теории массового обслуживания. Так как многие подключаемые к Интернету вещей устройства мобильны, то для описания их движения используются модели распространения радиоволн с учетом многолучевого распространения, вероятностные характеристики занятости беспроводных каналов связи; модели теории массового обслуживания и теории телетрафика, в которых учитывается гиперконвергентная инфраструктура сети Интернета вещей. В итоге получается очень сложный математический аппарат.

При выборе гиперконвергентной платформы, типовая схема которой приведена на рисунке 9, необходимо учитывать архитектуру обработки больших данных и требования, предъявляемые к скорости их обработки.



Рисунок 9 – Гиперконвергентная платформа

Путем имитационного моделирования проведена оценка времени обрабатываемых в единицу времени запросов, связанных с большими данными. В ходе проведения имитационных экспериментов задействовано двадцать две серии больших данных, с которыми были связаны запросы. Сравнивались варианты с применением каппа-архитектуры (КА) и с применением архитектуры Интернета вещей (АИВ). По результатам сравнения на рисунке 10 представлена гистограмма.

Из гистограммы рисунка 11 можно сделать вывод, что в среднем, время на выполнение запроса с применением архитектуры Интернета вещей уменьшается на 18%, следовательно, производительность обработки (количество) запросов увеличивается на 18%.

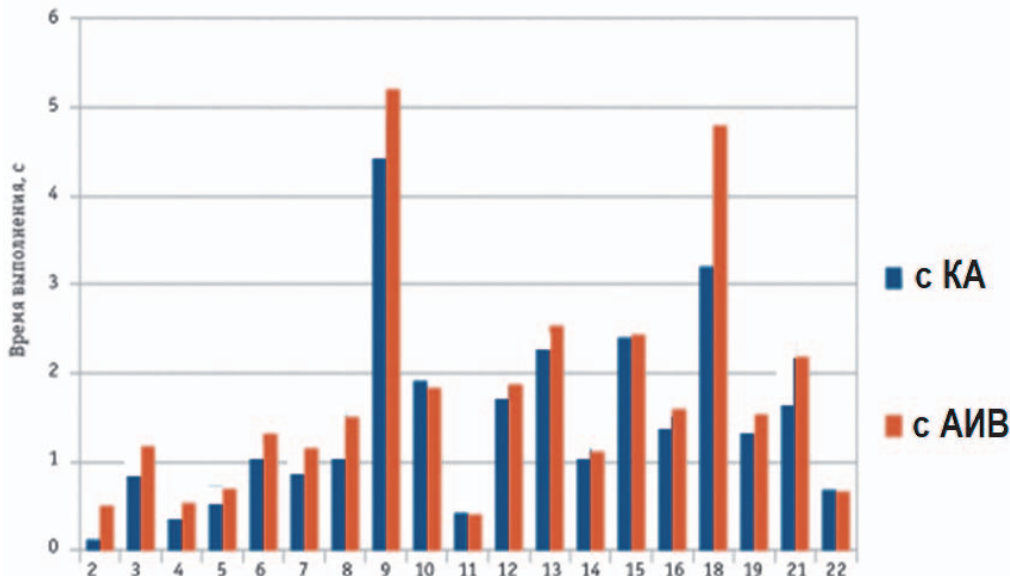


Рисунок 10 – Производительность при обработке запросов по большим данным

Для внедрения гиперконвергентных платформ в России уже разработано множество решений, представленных на схеме рисунка 11. Решения разделены на уровни: «производители аппаратного обеспечения («железа»», в том числе структурированных [17, С. 34] и мультисервисных кабельных систем [12, С. 23]; «производители средств виртуализации и хранения данных»; производители прикладного программного обеспечения, систем управления базами данных и многомерными хранилищами данных [5, С. 84; 7, С. 80; 10, С. 47], средств информационной безопасности [9, С. 21], средств информатизации банковских структур [8, С. 104], бекапов (резервных копий данных), операционных систем»; «готовые комплексные решения», например, широко распространенное решение 1С [3, С. 54].



Рисунок 11 – Импортзамещающие стеки от российских партнеров

Среди российских решений для средств виртуализации и хранения больших данных можно выделить решение «Росплатформа». Это решение включено в Реестр российского ПО Минкомсвязи РФ, что обеспечивает устойчивость в условиях санкций и валютных колебаний, при этом сохраняя в основе технологии международного класса и являясь достойной альтернативой таким зарубежным решениям, как VMware vSphere, Microsoft Hyper-V и специализированным СХД иностранного производства.

На современном этапе развития средств децентрализованной обработки больших данных необходимо решение вопросов поддержки серверных платформ без операционной системы, которые позволяют программному обеспечению получать прямой доступ к аппаратной части (bare-metal), виртуальных машин, контейнеров для реализации конкретных структур данных, о технологии ускорения графики для разделения ресурсов одного графического процессора между несколькими виртуальными компьютерами (vGPU), программного управления созданием, тиражированием, масштабированием инфраструктурных сред. Схема прямого доступа серверной платформы к аппаратной части приведена на рисунке 12.

Среди российских компаний с области средств виртуализации и хранения больших данных можно выделить ведущего российского разработчика «Базис», который предлагает решения уровня Enterprise и Cloud Provider с самой большой подтвержденной референсной базой.

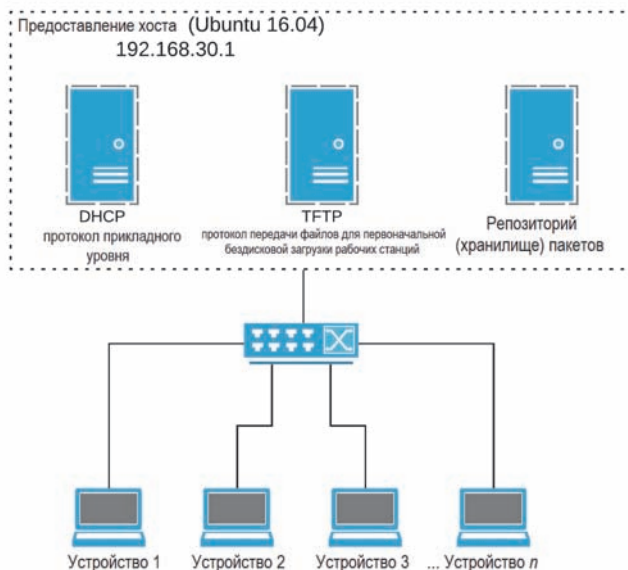


Рисунок 12 – Инфраструктура серверных платформ bare-metal

Данные по российским платформам серверной виртуализации приведены

в таблице 1 [16, С. 21].

Таблица 1 – Российские платформы серверной виртуализации

| Решение | Дата включения в ЕРРП, рег. номер | Компания |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| «Рустэк» | 01.06.2016, № 981 | «Рустэк» |
| «Р-Виртуализация» | 03.05.2017, № 3348 | «Россплатформа» |
| ПК СВ «Брест» | 23.07.2017, № 3742 | «РусБИТех-Астра» (ГК «Астра») |
| «Хост» | 16.04.2018, № 4407 | ГК «Хост» |
| SharxBase | 16.04.2018, № 4445 | «Шаркс Датацентр» |
| Veil | 05.07.2018, № 4608 | НИИ «Масштаб» |
| «Горизонт-BC23» | 19.09.2018, № 4764 | ИЦ «Баррикады» |
| zVirt | 03.12.2018 № 4984 | «Орион» |
| ROSA Virtualization | 10.01.2019 № 5091 | НТЦ ИТ РОСА |
| «Альт Сервер Виртуализации» | 07.04.2020, № 6487 | «Базальт СПО» |
| «РЕД Виртуализация» | 01.09.2020, № 6929 | «РедСофт» |
| «СКАЛА-Р Управление» | 14.02.2022 № 12847 | «Облачная платформа» |
| SpaceVM | 29.12.2022 №16085 | ООО «ДАКОМ М» |

Совокупность предложенных отечественных средств позволяет эффективно управлять созданием, тиражированием и масштабированием инфраструктурных сред.

Выводы

Проанализированы архитектуры обработки больших данных для гиперконвергентных решений, показано, что архитектура Интернета вещей является самой быстроедействующей.

Проведена оценка улучшения производительности обработки запросов за счет применения архитектуры Интернета вещей для обработки больших данных. Показано, что производительность обработки запросов увеличилась на 18% по сравнению с обработкой запросов, которая проводилась с помощью широко используемой до внедрения архитектуры Интернета вещей Каппа-архитектуры.

Литература

1. Аббасов Э.М., Польшин С.Н. Повышение производительности больших баз данных и действующих на их основе прикладных сервисов // Информационно-технологический вестник. 2020. № 1(23). С. 42-54.
2. Аббасова Т.С. Задачи оптимизации инфокоммуникационных систем // Информационно-технологический вестник. 2018. № 3(17). С. 55-65.
3. Аббасова Т.С., Аббасов Т.Э. Оценка автоматизации деятельности учреждения в «1С:Предприятие» // Новые информационные технологии в образовании: Сборник научных трудов 18-й международной научно-практической конференции, Москва, 30-31 января 2018 года / Под общ. ред. Д.В. Чистова. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «1С-Пабблишинг», 2018. С. 53-55.

4. Аббасова Т.С., Акимкина Э.Э. Построение таблицы подключения к многомерному кубу данных с помощью широко распространенных пакетов программ // Перспективы, организационные формы и эффективность развития сотрудничества российских и зарубежных ВУЗов: сборник материалов VII Ежегодной международной научной конференции (10-11 апреля 2019 г., Научград Королев, Московская область). М.: Издательство «Научный консультант», 2019. С. 15-21 (676 с.).
5. Акимкина Э.Э. Оптимизация обработки данных в системах поддержки принятия решений с элементами обслуживания // Вестник Воронежского государственного университета, серия: Системный анализ и информационные технологии. 2017. № 2. С. 79-85.
6. Акимкина Э.Э. Рекомендации по развертыванию многомерных систем аналитической обработки данных // Информационно-технологический вестник. 2017. № 5(11). С. 68-80.
7. Акимкина Э.Э. Структуризация и визуализация показателей в многомерных кубах данных // Информационно-технологический вестник. 2018. № 4(18). С. 79-87.
8. Акимкина Э.Э., Аббасов Т.Э. Совершенствование фискальной политики государства с помощью информационных технологий // Вопросы региональной экономики. 2017. № 3(32). С. 103-116.
9. Акимкина Э.Э., Аббасов Т.Э., Шмелева Ю.А. Проблемы внедрения технологий бесконтактной идентификации на производстве и в банковских структурах // Информационно-технологический вестник. 2016. № 4(10). С. 18-33.
10. Артюшенко В.М., Акимкина Э.Э. Имитационная модель адаптивной системы поддержки принятия решений // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 2. С. 46-56.
11. Артюшенко В.М., Семенов А.Б., Аббасова Т.С. Пути наращивания эффективности инфокоммуникационных систем: монография / Под научной редакцией А.Б. Семенова. М.: Издательство «Научный консультант», 2019. 232 с.
12. Артюшенко В.М., Семенов А.Б., Аббасова Т.С. Проектирование и расчет мультисервисных кабельных систем: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2019. 174 с. (Высшее образование: Бакалавриат).
13. Детков Е.А., Коревых А.А. Виртуализация и его особенности // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2019. № 3. С. 25-26.
14. Елизаров М.А. Модель оценки временных характеристик при взаимодействии в сети интернета вещей // Информационно-управляющие системы. 2017. № 2(87). С. 44-50.
15. Расчет параметров системы управления обработкой больших данных: отчет о НИОКР, выполняемой в рамках тематического плана по заданию Минобрнауки РФ в 2020 году, фундаментальное исследование, № госрегистрации АААА-А20-120022590034-8 / Москва: ГБОУ ВО «МГОТУ», 2020. 65 с.
16. Носов Н. Российские облака и платформы виртуализации: смена вендоров // ИнформКурьер-Связь ИКС. 2013. № 1. С. 20-23.

17. Семенов А.Б., Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Введение в структурированные кабельные системы // М.: Научный консультант, 2018. 206 с.
18. Тиханьчев О.В. Теория и практика автоматизации поддержки принятия решений. М.: Эдитус, 2018. 76 с.
19. Фрэнкс Б. Революция в аналитике. Как в эпоху Big Data улучшить ваш бизнес с помощью операционной аналитики // Альпина Диджитал, 2016. 230 с.

УДК 303.732

Анализ и разработка алгоритмов автокалибровки оптических съемочных систем, корректирующих с повышенной точностью искажения темного кадра и виньетирования

Наталья Юрьевна Бобкова, Начальник управления стратегического развития, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,

Сергей Евгеньевич Самаров, студент,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», МФТИ, г. Москва,

Андрей Федорович Серженко, студент,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Разработанный в статье алгоритм компенсации искажения виньетирования основан на построении матрицы выровненного поля, состоящей из корректирующих коэффициентов, при умножении на которые яркость всех пикселей светочувствительной матрицы оптической съемочной системы становится одинаковой. Первым этапом алгоритма компенсации искажения виньетирования является разработанный в статье алгоритм компенсации искажения темного кадра.

Искажение темного кадра; искажение виньетирования; алгоритм, корректирующий искажения.

Analysis and development of algorithms for auto-calibration of optical shooting systems that correct with increased accuracy the distortion of the dark frame and vignetting

Natalia Yurievna Bobkova, Head of the Strategic Development Division, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,

Sergey Yevgenievich Samarov, student,

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Institute of Physics and Technology

(National Research University)», MIPT, Moscow,

Andrey Fedorovich Serzhenko, student,

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

The vignetting distortion compensation algorithm developed in the article is based on the construction of an aligned field matrix consisting of correction coefficients, when multiplied by which the brightness of all pixels of the photosensitive matrix of the optical shooting system becomes the same. The first stage of the vignetting distortion compensation algorithm is the dark frame distortion compensation algorithm developed in the article.

Dark frame distortion; vignetting distortion; algorithm correcting distortions.

Фотограмметрическая калибровка и автокалибровка оптического съёмочного оборудования

Калибровкой оптического съёмочного оборудования называют процесс оценивания его параметров, которые необходимы для эффективного использования оборудования в автоматизированных системах, связанных с техническим зрением, и позволяют корректировать искажения изображений, возникающие при фото и видео съёмке.

При калибровке оптического съёмочного оборудования оценивают два вида параметров: внешние калибровочные параметры и внутренние калибровочные параметры, причем эти параметры вовсе не сводятся к техническим характеристикам оборудования, информацию о которых фирмы-производители оборудования сообщают потребителям оборудования [5].

Внешние калибровочные параметры, представляющие собой компоненты трехмерных матриц поворота и компоненты трехмерных векторов, описывают искажения изображений, вызванные ориентацией объектива и камеры, расположением объектива по отношению к камере, а также расположением объектива и камеры в некоторой пространственной системе координат.

Калибровку съёмочной системы по внешним параметрам называют фотограмметрической калибровкой.

Фотограмметрическая калибровка съёмочных камер производится с помощью калибровочных пространственных шаблонов, геометрия которых известна с высокой точностью. Эти шаблоны обычно состоят из нескольких плоскостей, ортогональных друг другу, с различными нанесенными на них тестовыми изображения (точки, линии и т.д.).

Кроме специальных пространственных шаблонов для осуществления фотограмметрической калибровки оптических съёмочных систем требуются также дорогостоящие калибровочные аппараты и их высокоточная установка [6].

Внешние калибровочные параметры используются в видеонаблюдении, трёхмерной реконструкции, картографии, системах распознавания образов, системах взаимодействия с компьютером, системах управления роботами и т.д.

В отличие от калибровки по внешним параметрам для проведения калибровки по внутренним параметрам требуются плоские эталонные калибровочные изображения, сделанные съемочными камерами, внутренние параметры которых измерены с высокой степенью точности и известны.

При проведении калибровки по внутренним параметрам в качестве эталонных калибровочных изображений, как правило, используются изображения, называемые «Шахматная доска (Chessboard)», «Сетка ArUco», а также их различные комбинации.

Калибровку оптических съемочных систем по внутренним параметрам называют автокалибровкой.

При автокалибровке съемочных систем используется математическая модель, схема которой изображена на рисунке 1.

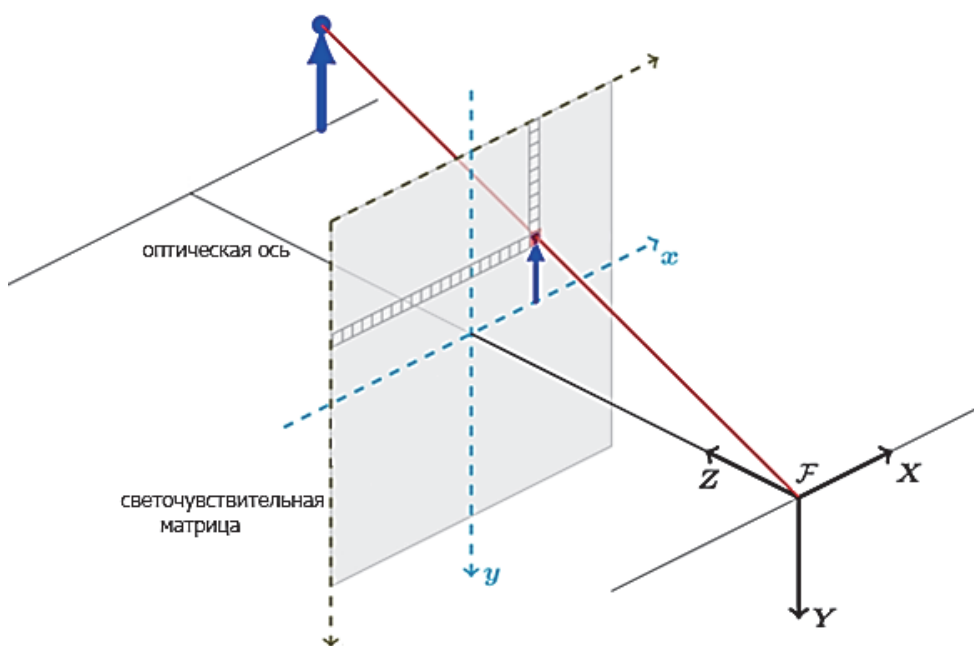


Рисунок 1 – Математическая модель «Камера – обскура», применяемая для автокалибровки съемочных систем

Внутренние калибровочные параметры оптической съемочной системы описывают искажения, вызванные конкретным установленным в съемочной системе объективом, и включают фокусное расстояние, размер пикселя, координаты принципиальной точки (точки пересечения оптической оси объектива со светочувствительной матрицей) и коэффициенты радиального искажения. Эти параметры необходимо учитывать при решении большинства задач технического зрения.

Для калибровки съёмочных камер и корректировки искажений разработано и широко применяется программное обеспечение, приведенное в таблице 1.

Таблица 1 – Программное обеспечение для обработки изображений

| Наименование программного обеспечения | Краткое описание |
|--|--|
| OpenCV (Open Source Computer Vision Library) | Библиотека алгоритмов компьютерного зрения для обработки изображений и численных алгоритмов различного назначения. Реализована на языке C/C++, разрабатывается также для Python, Java, Ruby, Matlab, Lua и других языков. |
| PCL (Point Cloud Library) | Открытая платформа для обработки 2D/3D-изображений и облаков точек. Содержит алгоритмы фильтрации, оценки параметров, реконструкции поверхностей, регистрации, подбора моделей, сегментации. |
| ROS (Robot Operating System) | Платформа разработки программного обеспечения для роботов. Представляет собой набор инструментов, библиотек и соглашений, позволяющих организовывать распределенную разработку программ высокого уровня для управления различными типами роботов, включая программы компьютерного зрения. |
| MATLAB (Matrix Laboratory) | Язык программирования высокого уровня и интерактивная среда для программирования, численных расчётов и визуализации результатов, содержащая обширный набор средств и инструментов для анализа данных, разработки алгоритмов, создания моделей и приложений. |
| CUDA (Compute Unified Device Architecture) | Программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений, разработанная фирмой Nvidia. Позволяет существенно увеличить вычислительную производительность компьютеров благодаря использованию графических процессоров фирмы Nvidia. |
| Adobe Photoshop | Многофункциональный графический редактор для обработки изображений всех типов, включая трехмерную графику и веб-дизайн, а также для рисования. Предусмотрены регуляторы, позволяющие, в частности, корректировать искажения изображений, вызванные виньетированием, дисторсией и хроматической аберрацией. |
| Adobe Camera RAW | Плагин для редактора Adobe Photoshop для корректирования искажений изображений в форматах цифрового негатива, поддерживает RAW – изображения, созданные большинством оптических записывающих съёмочных систем. |
| Dxo Optics Pro | Высокотехнологичный и инновационный Графический редактор, созданный для коррекции изображений в формате RAW. Программа является одной из лучших в своей области за счет применения совершенно уни- |

| Наименование программного обеспечения | Краткое описание |
|---------------------------------------|---|
| | кальных технологий. |
| PTLens | Программа, предназначенная для корректирования подушкообразных искажений, бочкообразных искажений, искажений перспективы, а также виньетирования. При коррекции искажений использует технические характеристики съёмочной камеры, предоставляемые фирмой-производителем камеры. |

Существуют и другие программные продукты с той же областью применения, например, Imatest и DCamProf.

Несмотря на то, что методы калибровки съёмочных систем и коррекции дефектов изображений постоянно совершенствуются, эти методы далеки от завершения.

Искажение темнового кадра

Темновым кадром называют изображение «темноты», т.е. изображение, полученное при съёмке с надетой на объектив съёмочной камеры крышкой.

По своему смыслу темновой кадр – это изображение шумов светочувствительной матрицы оптической системы, вызванных малыми электрическими токами, протекающими через светочувствительные сенсоры. Эти малые токи, которые называют темновыми токами, являются одними из главных причин возникновения шумов в светочувствительном оборудовании.

Темновые токи появляются из-за наличия температурных градиентов внутри полупроводников, внешних электрических полей, космических лучей и ряда других причин.

При снижении температуры темновые токи снижаются, поэтому для повышения точности изображений высокочувствительное съёмочное оборудование различными способами охлаждают до низких температур.

В случае отсутствия искажений темновой кадр должен быть равномерно черным.

Искажение темнового кадра – это одно из искажений оригиналов изображений, не связанное с объективом съёмочной системы.

В настоящее время для подавления шумов в изображении, вызванных темновыми токами, автоматика съёмочной системы с включённым режимом подавления шумов ведёт съёмку темнового кадра сразу же вслед за съёмкой основного кадра, после чего из основного кадра вычитается темновой кадр. Обычно это используется при съёмках с длительными выдержками.

Пример темнового кадра с искажением представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Темновой кадр с искажением

Как показывает практика, для корректировки искажения темного кадра единичного экспонирования «темноты» недостаточно.

Искажение виньетирования

Существует свыше десятка оптических искажений оригинала, вызываемых объективами оптических съемочных систем, но наиболее часто встречаются искажения, называемые виньетированием, дисторсией и хроматической аберрацией.

Виньетирование – это дефект изображения, состоящий в том, что на изображении появляются затенения, отсутствующее на оригинале, причем такие затенения, которые усиливаются при приближении к краям изображения [3].

На рисунке 3 представлено изображение с дефектом, вызванным виньетированием. По краям этого изображения хорошо заметно затенение.

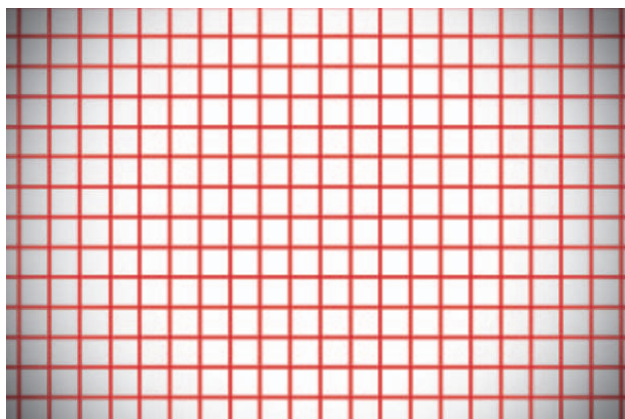


Рисунок 3 – Изображение с искажением виньетирования

На рисунке 4 представлен оригинал изображения с дефектом виньетирования. На нем нет затемнений по краям, все линии прямые, нет размытия цветов.

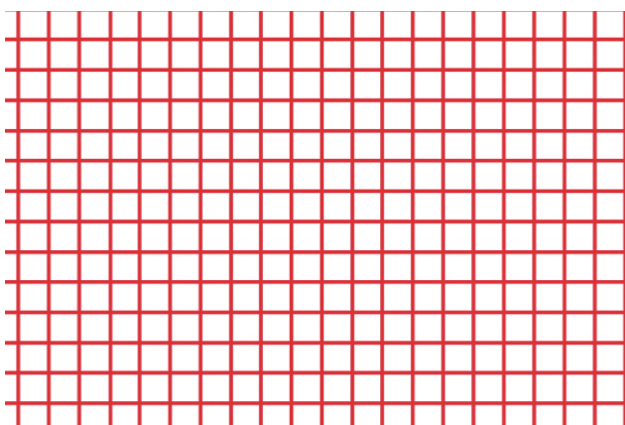


Рисунок 4 – Оригинал изображения, не имеющий дефектов

Виньетирование в большей или меньшей степени присуще всем типам объективов.

Фирмы – производители объективов оптических съемочных систем постоянно улучшают качество объективов, однако все объективы в той или иной степени вызывают искажения оригинала, причем специалисты считают, что невозможно создать объектив без оптических дефектов.

Анализ матричной структуры цифровых изображений, RAW-изображения

Одним из важнейших элементов современной оптической съемочной системы является светочувствительная матрица, которая, как правило, имеет форму прямоугольника и состоит из световых датчиков (сенсоров) [1]. При попадании монохроматического света каждый из световых датчиков генерирует электрический ток, напряжение которого зависит от яркости падающего света.

Если на светочувствительной матрице ввести прямоугольные координаты

(x, y) с осями, параллельными сторонам матрицы, то возникает координатная сетка, а напряжения электрических импульсов, генерируемых световыми датчиками в зависимости от значений яркости падающего света, формируют числовую матрицу, которая и представляет собой необработанное изображение [2].

Яркость одноцветного изображения, синонимами которой являются интенсивность и уровень серого, определяется функцией двух вещественных переменных

$$z = z(x, y),$$

где аргументы x и y – координаты на плоскости. Значение функции всегда принимает положительные значения.

Цветное изображение характеризуется вектор-функцией \vec{z} , имеющей три координаты

$$\vec{z} = \begin{pmatrix} z_R \\ z_G \\ z_B \end{pmatrix} (x, y),$$

где, z_R, z_G, z_B – зависимые переменные, составляющие пространство RGB и определяющие яркость красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue) цветов соответственно, а аргументы x и y – координаты на плоскости, как и в случае одноцветного изображения.

Одноцветное или цветное изображение, аргументы и значения функции (вектор-функции) которого, принимают только дискретные значения, число которых конечно, называются цифровыми.

В зависимости от рассматриваемой задачи цветные цифровые изображения рассматривают не только в пространстве RGB, но и в других цветовых пространствах.

Значение $z = 0$ считается уровнем яркости черного цвета, а значение $z = z_{max}$ – уровнем яркости белого цвета. Все промежуточные значения считаются уровнями яркости серого цвета.

Изменяя масштаб осей координат, координатную сетку в пространстве (x, y, z) можно преобразовать в целочисленную координатную сетку.

Если целочисленная координатная сетка имеет X ячеек по оси x , Y ячеек по оси y и Z ячеек по оси z , то одноцветное цифровое изображение представляет собой числовую матрицу I , состоящую из Y строк и X столбцов:

$$I = \begin{pmatrix} z(0,0) & z(0,1) & \dots & z(0, X-1) \\ z(1,0) & z(1,1) & \dots & z(1, X-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z(Y-1,0) & z(Y-1,1) & \dots & z(Y-1, X-1) \end{pmatrix}$$

В отличие от одноцветного цифрового изображения, в котором каждый элемент изображения состоит из одного пикселя, элементы цветного цифрового

изображения являются RGB пикселями, состоящими из трех цветных пикселей: красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue). По этой причине для моделирования цветного цифрового изображения одной матрицы I недостаточно, а требуются три матрицы R , G , B :

$$R = \begin{pmatrix} r(0,0) & r(0,1) & \dots & r(0, X-1) \\ r(1,0) & r(1,1) & \dots & r(1, X-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r(Y-1,0) & r(Y-1,1) & \dots & r(Y-1, X-1) \end{pmatrix}$$

$$G = \begin{pmatrix} g(0,0) & g(0,1) & \dots & g(0, X-1) \\ g(1,0) & g(1,1) & \dots & g(1, X-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g(Y-1,0) & g(Y-1,1) & \dots & g(Y-1, X-1) \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} b(0,0) & b(0,1) & \dots & b(0, X-1) \\ b(1,0) & b(1,1) & \dots & b(1, X-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b(Y-1,0) & b(Y-1,1) & \dots & b(Y-1, X-1) \end{pmatrix}$$

Иногда для улучшения качества цветных изображений используют более 3-х цветов.

Для получения цветового негатива часто используют базис, состоящий из дополнительных цветов, а именно, из голубого, пурпурного и желтого цвета, вместо базиса, образованного красным, зеленым и синим цветами.

Значения напряжений, генерируемых световыми датчиками при попадании монохроматического света, формируют числовую матрицу, часто называемую RAW (сырым, необработанным) изображением, хотя стандартизированного формата RAW не существует.

RAW-изображение содержит никак не обработанные данные с матрицы, следовательно, наиболее полную информацию об изображении, которую может предоставить используемое цифровое съёмочное записывающее устройство. Возможность обработки RAW-изображений процессором самого съёмочного устройства предусмотрена во многих современных цифровых съёмочных записывающих устройствах, однако для улучшения качества RAW-изображения об-

рабатываются после съемки при помощи специальных компьютерных программ.

Если пользователи не планируют самостоятельно обрабатывать RAW-изображения, то они, как правило, автоматически преобразуются в форматы JPEG или TIFF, в зависимости от настроек съёмочного записывающего устройства.

Именно RAW-изображения используются в большинстве программных средств для корректировки искажений, возникающих при фото или видео съёмках.

Формат DNG, название которого происходит от английского словосочетания «Digital Negative», что в переводе на русский язык означает «цифровой негатив», является открытым и бесплатным вариантом одного из форматов RAW, разработанным компанией Adobe и поддерживаемым многими софтверными компаниями, занимающимися цифровой обработкой изображений.

Формат DNG является универсальным и очень удобным.

Для того, чтобы преобразовать изображения в формате RAW в изображения в формате DNG, можно воспользоваться программным продуктом «Adobe DNG Converter», обладающим важным свойством обратной конвертации в формат RAW без потерь и совместимым со многими моделями фотокамер.

Существуют DNG-конвертеры и других софтверных компаний.

Из материала, изложенного в данном подразделе, следует, что монохроматическое цифровое изображение представляет собой числовую матрицу, а хроматическое цифровое изображение является совокупностью трех числовых матриц.

Матричная структура цифровых изображений используется при разработке методов калибровки съёмочных систем, позволяющих корректировать искажения, возникающие при фото и видео съёмке [4].

Алгоритм автокалибровки съёмочных систем, корректирующий с повышенной точностью искажение темного кадра

В настоящем подразделе описывается разработанный в статье алгоритм автокалибровки съёмочных систем, в котором, в отличие от стандартного метода, во-первых, изображение «темноты» осуществляется в наиболее информативном формате RAW, а, во-вторых, темновой кадр вычисляется на основе усреднения по массиву изображений «темноты», что дает более точный результат при корректировке искажений темного кадра.

Для описания этого алгоритма калибровки представим его этапы в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Этапы калибровки искажений темного кадра

| № этапа | Действие |
|---------|---|
| 1 | Закрываем крышкой объектив камеры |
| 2 | Устанавливаем нужные параметры работы камеры (размер кадра, частота кадров, количество бит на пиксел и т.д.) |
| 3 | Устанавливаем минимальную экспозицию |
| 4 | Выполняем съемку с закрытой крышкой объектива камеры в количестве N кадров в формате RAW, где $100 \ll N \ll 300$ |

| № этапа | Действие |
|---------|---|
| 5 | Вычисляем темновой кадр, выполняя усреднение по снятым N кадрам |
| 6 | Из основного кадра (кадр, ради которого ведется съемка) вычитаем полученный темновой кадр |

Как показали проведенные измерения, разработанный метод калибровки съемочных систем осуществляет корректировку искажений темнового кадра с повышенной точностью.

Алгоритм автокалибровки съемочных систем, корректирующий с повышенной точностью искажение виньетирования

Искажением плоского поля кадра называют различия в чувствительности сенсоров светочувствительной матрицы оптической съемочной системы.

Метод калибровки съемочной системы, позволяющий корректировать искажения плоского поля кадра, называют выравниванием поля.

При равномерном освещении объекта съемки в случае выровненного поля кадр имеет одну и ту же яркость в каждом пикселе.

В случае искаженного поля в пиксели, расположенные по краям кадра, свет приходит из меньшего телесного угла по сравнению с пикселями в центре сенсора, что вызывает затенение по краям кадра.

Для того, чтобы скорректировать затенение по краям кадра, т.е. искажение виньетирования, для каждого пиксела нужно найти корректирующий коэффициент, при умножении на который яркость всех пикселей светочувствительной матрицы станет практически одинаковой.

Множество корректирующих коэффициентов, вычисленных для используемой светочувствительной матрицы оптической съемочной системы, будем называть матрицей выровненного поля или, сокращенно, МВП.

Нахождение МВП лежит в основе разработанного метода калибровки съемочной системы, позволяющего корректировать искажение виньетирования [5].

Для описания разработанного метода калибровки искажения виньетирования представим этапы этого метода в форме таблицы 3.

Замечание. На одном из этапов калибровки искажения виньетирования требуется произвести съемку основного кадра с равномерной засветкой светочувствительной матрицы съемочной системы (вторая строка таблицы 3). Поскольку прибор для равномерного освещения объекта съемки стоит 8 миллионов рублей, что совершенно неподъемно, то предлагается альтернативный способ для достижения равномерной засветки светочувствительной матрицы съемочной системы. Этот способ состоит не в том, чтобы равномерно засветить светочувствительную матрицу, а в том, чтобы её равномерно затемнить, надевая на объектив камеры рассеиватель из полупрозрачного стекла, который стоит совсем недорого. Как показывает практика, качество калибровки искажений виньетирования при использовании альтернативного способа засветки светочувствительной матрицы является достаточно высоким.

Таблица 3 – Этапы калибровки искажений виньетирования

| № этапа | Действие |
|---------|---|
| 1 | Совершаем калибровку искажения темнового кадра, следуя изложенному в предыдущем подразделе, и получаем темновой кадр без искажений |
| 2 | Производим съемку основного кадра, надевая на объектив камеры рас-сеиватель из полупрозрачного стекла |
| 3 | У основного кадра выделяем три отдельные R , G , B -плоскости |
| 4 | Каждый основной кадр пропускаем через фильтр низких частот, ослаб-ляющий высокочастотные сигналы на каждой из R , G , B -плоскостей с помощью двумерного фильтра размытия Гаусса большого радиуса |
| 5 | Находим максимальное значение яркости для каждого кадра, а также расположение пиксела, на котором этот максимум достигается |
| 6 | Для каждого пиксела осуществляем деление найденного значения мак-симум яркости на значение яркости рассматриваемого пиксела и сохра-няем результат в этом пикселе. Полученное значение и является для рас-сматриваемого пиксела корректирующим коэффициентом, т.е. элемен-том МВП |
| 7 | Сохраняем матрицу МВП в формате 32 бита на пиксел |
| 8 | Вычитаем из основного кадра темновой кадр, а полученный результат умножаем на МВП поэлементно. Коррекция искажения виньетирования осуществлена |

Как показали проведенные измерения, разработанный метод калибровки осуществляет корректировку искажения виньетирования с повышенной точно-стью.

Выводы

Проведенный в статье анализ показал, что несмотря на то, что методы ка-либровки съемочных камер и коррекции дефектов изображений постоянно со-вершенствуются, эти методы далеки от завершения, и необходимо разрабатывать новые методы калибровки съемочных систем, в частности, методы, эффективно корректирующие искажения темнового кадра и виньетирования.

Разработке эффективных методов корректировки искажений темнового кадра и виньетирования и посвящена данная статья.

В статье разработан метод калибровки съемочных систем, осуществляю-щий корректировку искажений темнового кадра с повышенной точностью, а также метод калибровки съемочных систем, осуществляющий корректировку искажений виньетирования с повышенной точностью.

Литература

1. Волосов Д.С. Фотографическая оптика. 2-е изд. М.: Искусство, 1978. 543 с.
2. Заказнов Н.П., Кирушин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1992. 448 с.
3. Искажения в объективе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cameralabs.org/3033-iskazheniya-v-obektive-vse-chto-dolzhen-znat-kazhdiy-fotograf> (дата обращения: 10.03.2023).

4. Yan K. Calibration of camera intrinsic parameters using a single image // Proceedings of the 2017 International Conference on Robotics and Artificial Intelligence. 2017. P. 39-45.
5. Yu W. Research of improved Zhang's calibration method // Chinese Automation Congress (CAC). IEEE. 2017. P. 1423-1427.
6. Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2000. Vol. 22. № 11. P. 1330-1334.

УДК 004.051

Анализ средств разработки динамических web-сайтов

Лариса Валерьевна Меньшикова, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных технологий и управляющих систем,
Мурад Анатольевич Ибрафиллов, студент 5 курса группы Информационные системы и технологии Заочного отделения,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,
Дария Михайловна Найденова, студентка 1-го курса Факультета вычислительной математики и кибернетики,
Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Проведен анализ технологии создания динамических сайтов, раскрыты их функции, преимущества и недостатки по сравнению со статическими. Проанализирована архитектура, информационная безопасность и используемые в динамических и статических сайтах протоколы. На основе рекомендаций по выбору средства проектирования динамических веб-сайтов приведены примеры обоснованного выбора средств их разработки.

Проекты информатизации, проектирование централизованных информационно-аналитических систем, веб-сайт, хранилище данных.

Analysis of dynamic web development tools

Larisa Menshikova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Control Systems,
Murad Israfilov, 5st year student of the Information systems and technologies of Distance learning Department,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,
Darya Naydenova, 1st year student of the Department of Applied Mathematics and Cybernetics of Moscow State University named after M.V.Lomonosov, Moscow

An analysis of the technology for creating dynamic sites has been carried out, their functions, advantages and disadvantages compared to static ones have been disclosed. The architecture, information security and protocols used in dynamic and static sites are analyzed. Based on recommendations for choosing a dynamic website design tool, examples of a reasonable choice of tools for their development are given.

IT-projects, design of centralized information and analytical systems, website, Data

Warehouse.

Введение. Технологии хранилищ данных для динамических сайтов

Преобразование противоречивой и разрозненной информационной среды любого предприятия в структурированную – первый шаг к открытой и гибкой архитектуре корпоративного хранилища данных (КХД), создание которого является необходимым условием для последующей успешной разработки систем поддержки принятия решения крупного предприятия [2,3,4]. Архитектура КХД определяет трудоемкость реализации возможности создания централизованного непротиворечивого информационного пространства для своевременного принятия решений на основе разработанной модели данных, отвечающей описанию предметной области деятельности предприятия. Именно от архитектуры КХД зависит устойчивость, надежность, а так же скорость работы каждой информационно-аналитической системы (ИАС), как системы-источника данных, так и системы-потребителя информации.

В ходе проекта создания единой централизованной ИАС предприятия на основе КХД необходимо соблюдать ряд организационных принципов:

- поддерживать постоянную заинтересованность руководства в проекте и обеспечить поддержку со стороны топ-менеджера – куратора проекта для гарантии квалифицированного решения спорных вопросов административным способом в минимально короткие сроки;
- централизовать сбор данных, предпочтительно – атомарных и не сгруппированных в целях минимизации задержки данных при сборе и частичного устранения рассогласования измерений и фактов;
- проводить работы с участием подразделений, участвующих в бизнес-процессах автоматизируемой области деятельности, для корректного анализа в ИАС действий, производимых с данными КХД.

При этом следует отметить, что участие бизнес-специалистов при создании КХД необходимо только на этапах анализа и разработки логической модели данных.

Разработку хранилища данных можно проводить в несколько этапов:

- анализ бизнес-задач в целях определения необходимых для решения этих задач данных;
- разработка модели данных с учетом агрегации и консолидации данных, а так же устранение противоречивых фактов в информационной среде предприятия;
- разработка базы данных на основе построенной модели;
- первичная загрузка данных в КХД;
- организация процессов дозагрузки данных в КХД;
- организация выгрузки данных из КХД в витрины данных (наличие этого этапа зависит от концептуальной архитектуры хранилища).

Создание модели данных КХД возможно только при непосредственном участии специалистов предметной области. Никакие внешние консультанты, имеющие опыт создания ИАС и КХД, но не знающие досконально особенности деятельности предприятия, на котором проводится автоматизация, не могут провести анализ корректно. Типовые системы аналитики и шаблоны хранилищ данных могут способствовать сокращению сроков создания системы и затрат на ее реализацию.

Следование вышеуказанным организационным принципам позволяет наиболее эффективно решить многие проблемы при построении хранилища данных и создании централизованной ИАС, и установить эффективное партнерство между информатизацией и бизнесом в части понятийного аппарата и формализации проблем, которые решаются в рамках проводимой автоматизации. Кроме того, отсутствие понимания у конечного пользователя, какой именно результат должен быть получен от проводимого проекта, и почему этого нельзя добиться с использованием той или иной технологии, еще одна причина появления противоречий между бизнес-подразделениями и ИТ-департаментом.

Организационные принципы создания единой централизованной ИАС предприятия распространяются и на проект создания КХД. С технической точки зрения при создании КХД можно определить архитектурные принципы создания КХД, к которым относятся принципы разработки модели данных, принципы работы механизма запросов к данным, принципы построения рабочих хранилищ, принципы построения метаданных, принципы масштабируемости и принципы управления хранилищем данных.

При любом выборе концептуальной архитектуры КХД [5,6] должны быть решены следующие вопросы:

- движение данных от источников к хранилищу;
- распределение и обработка данных для хранилища;
- описание метаданных, проектирование модели и собственно ХД;
- обработка запросов и представление информации.

Архитектура хранилища данных делится на три части:

- архитектуру доступа;
- архитектуру данных;
- технологическую архитектуру.

Архитектура доступа представляет собой описание способов, с помощью которых конечные пользователи получают доступ к данным из хранилища данных, а также к данным, помещаемым в КХД.

Архитектура данных – это описание структуры и жизненного цикла данных.

Технологическая архитектура – это описание технологических деталей КХД и его взаимодействия с унаследованными системами и используемыми на предприятии информационными технологиями.

Фактически же формулировка архитектурных принципов зависит от ИТ-среды, в которой должно быть построено КХД. Если придерживаться вышеуказанных организационных принципов стоит всегда, то архитектурные принципы нельзя рассматривать в качестве полного множества принципов для произвольного проекта. Кроме того, принципы должны соответствовать конкретному проекту, методологии разработки КХД и корпоративной культуре предприятия. Нужно учитывать следующие факторы: величину проектного бюджета, количество ИТ-специалистов, выделенных для участия в проекте, время, выделенное на выполнение проекта, структуру организации и ее опыт в области создания децентрализованных ИАС и хранилищ данных.

При оценке времени и ресурсов, необходимых для построения КХД, необхо-

димо учесть следующие факторы:

- количество и типы пользователей КХД;
- расположение пользователей и количество мест их расположения;
- количество и типы источников данных;
- количество и типы баз данных–источников;
- количество и типы баз данных КХД;
- частоту загрузки данных в хранилище;
- выделенное время подготовки и загрузки данных;
- необходимое время подготовки и загрузки данных;
- сложность типичных незапланированных запросов к хранилищу;
- сложность стандартных отчетов.

Все вышеописанные посылы применимы и к созданию динамических вебсайтов (как прототипов централизованных информационно-аналитических систем предприятий и организаций), для которых все чаще используется трехуровневая архитектура «клиент-сервер» с БД/СУБД на третьем уровне, о которых и идет речь в нашей статье.

Создание веб-сайта с использованием трехуровневой архитектуры

Несмотря на несомненные преимущества статических сайтов, средства разработки которых были рассмотрены в предыдущем обзоре [1], особенно в части информационной безопасности и устойчивости к взлому и DDos-атакам, большая часть ресурсов интернет занята онлайн-магазинами, которые содержат информацию о продаваемом товаре (некоторые типовые данные о товаре, его цене, артикуле и т.п., категорированные некоторым рубрикатором). Такие данные нецелесообразно размещать на статических Интернет-сайтах, так как эти данные не требуются на страницах предоставления в полном объеме и хранятся в базах данных или в витринах данных, то есть на ресурсах, которые являются элементами хранилища данных. Кроме того, что всегда требуется предоставлять эти данные не в полном объеме, а только их часть, часто динамические сайты разрабатываются не программистами, как статические сайты – HTML–документы с использованием CSS или JavaScript, а самими владельцами малого бизнеса, продающими эти товары в онлайн-магазинах.

Двухуровневая архитектура статических сайтов (рис. 1) относится к «*клиент-серверной*». Приведем основные протоколы передачи данных (табл. 1) статических сайтов по сети Интернет/Интранет. Во-первых, это определяющий взаимодействие веб-клиента с веб-сервером протокол передачи гипертекста HTTP (прикладной уровень, уровень представления данных и сеансовый уровень 7-уровневой модели ISO/OSI). Во-вторых, это управляющий отдельными сеансами связи между серверами и клиентами протокол управления передачей данных TCP (транспортный уровень 7-уровневой модели ISO/OSI). И, в-третьих, это протокол межсетевое обмена IP (сетевой уровень 7-уровневой модели ISO/OSI). На канальном и физическом уровнях 7-уровневой модели ISO/OSI используются те протоколы, которые отвечают сетям передачи данных (СПД) и технологии доступа в Интернет/Интранет соответственно в локальной вычислительной сети (ЛВС) предприятия.



Рисунок 1 – Общая архитектура статического и динамического веб-сайта

Трехуровневая архитектура динамических сайтов (рис. 1) так же относится к «*клиент-серверной*» и содержит наряду с клиентскими приложениями, с которыми работают пользователи, и серверами приложений, которые есть и в двухуровневой модели «клиент-сервер», третий уровень. Это сервер баз данных, с которым работают сервера приложений, и к которому не имеют прямого доступа пользователи. Перед тем как перейти к рассмотрению протоколов, используемых для передачи данных на динамические сайты (табл. 1) из хранилищ данных, средствам и языкам их разработки, отметим, что в зависимости от выбранной категоризации известны и другие виды архитектур программного обеспечения: многослойная (к которой можно отнести двухуровневую), многоуровневая (к которой можно отнести как двухуровневую, так и трехуровневую), сервисно-ориентированная и микросервисная [7, С. 115]. Помимо архитектуры «клиент-сервер» есть еще и архитектура «файл-сервер», которая так же может использоваться в сети Интернет/Инtranет, и много других видов архитектур приложений, работающих в сети Интернет/Инtranет, но это мы оставили за рамками нашего обзора. Кроме того, при создании динамических сайтов используется объектно-ориентированный метод (методология, парадигма) создания приложений, а не структурный метод, как в случае создания статических сайтов, из-за наличия в трехуровневой архитектуре сервера баз данных.

Протоколы передачи информации динамических веб-сайтов

Следует отметить, что при разработке динамических сайтов часто вместо протокола HTTP используется протокол FTP, инкапсулированный в HTTP для прохождения прокси-сервера.

Таблица 1 – Протоколы компьютерных сетей

| | Уровни модели ISO/OSI | Уровни модели TCP/IP | Единицы измерения данных/ОС или сеть | Функция | Варианты протоколов |
|---|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---|---|
| 1 | уровень приложений | уровень приложений | поток/ОС | прикладная задача | HTTP, HTTPS, SMTP, SNTP, DNS, RIP, FTP, FTPS, FTP-SSL, Telnet, POP3, NTP и др. |
| 2 | уровень представления данных | | поток/ОС | представление данных, шифрование и т.д. | MIME, SSL, Finger и др. |
| 3 | сеансовый уровень | | поток/ОС | взаимодействие хостов на уровне ОС | DNS, LDAP, iSCSI, RPC, ISAKMP, IPDC, NetBIOS и др. |
| 4 | транспортный уровень | транспортный уровень | сегмент/ОС | соединение точка-точка, контроль передачи данных | TCP, UDP Mobile IP, DCCP, SCTP, RUDP, BGP4 и др. |
| 5 | сетевой уровень | межсетевой уровень | пакет/сеть | логическая адресация и маршрутизация пакетов | IP, ICMP, IGMP, ARP, VRRP, RIP, PIM, GRE, DVMRP и др. |
| 6 | канальный уровень | уровень сетевого доступа | фрейм/сеть | физическая адресация | Ethernet (IEEE 802.3 и др.), Frame Relay, IP/MPLS (вместо ATM), Token Ring, ARP, DHCP и др. |
| 7 | физический уровень | | бит/сеть | кодирование и передача данных по физическому каналу | Ethernet (IEEE 802.3 и др.), Frame Relay, IP-VPN (вместо ATM), Token Ring, витая пара и др. |

Это объясняется тем, что несмотря на то, что оба протокола FTP и HTTP, работающие на прикладном уровне над TCP транспортного уровня и IP сетевого уровня, используются для передачи с клиента на сервер («заливки») и для взятия клиентом с сервера («скачивания») как текста, так и бинарных данных в сетях Интернет/Интранет, характеристики [8] их сильно отличаются (табл. 2).

Основное отличие – скорость загрузки данных, особенно для низкоскоростных сетей передачи данных, по протоколу FTP намного выше. Кроме того, при передаче большого количества файлов БД небольшого объема, использование заголовков в HTTP так же замедляет передачу данных.

Таблица 2 – Параметры протоколов передачи данных

| Характеристика | Протокол передачи гипертекста HTTP | Протокол передачи файлов по сети FTP | FTP через SSH (туннелирование обычной FTP-сессии через SSH-соединение – т.н. «безопасный FTP») |
|---|--|---|---|
| Скорость передачи | средняя, так как нет метаописаний и не требуется перекодировка | высокая, так как повторное использование установленных соединений повышает производительность TCP | низкая |
| Дата появления | 1997 год | 1971 год | 1997 год |
| «Заливка» | + | + | + |
| Форматы ASCII, EBCDIC или бинарный | все | только бинарный | только бинарный |
| Заголовки, в которых содержатся метаданные | + | – | – |
| Пайплайны/ конвейеры, ускоряющие загрузку файла | конвейеры | пайплайны | пайплайны |
| Количество запросов при скачивании одного большого файла или в ходе одной сессии | 1 | множество | множество |
| Разделение потоков передачи команд и данных | – | + | + |
| Файрволы и NAT | – | + | + |

| Характеристика | Протокол передачи гипертекста HTTP | Протокол передачи файлов по сети FTP | FTP через SSH (туннелирование обычной FTP-сессии через SSH-соединение – т.н. «безопасный FTP») |
|---|---|---|--|
| Активный и пассивный режимы | – | + | – |
| Зашифрованные управляющие соединения | + (HTTPS) | + (FTTTPS, FTP–SSL и их гибридные версии) | + |
| Схемы авторизации | Логин/пароль, направленные методом проверки не в виде обычного текста | Логин/пароль, направленные в виде обычного текста | Логин/пароль, |
| «Скачивание» | + | + | + |
| Диапазоны/ возобновление скачивания | Восстановление соединения только при скачивании | Восстановление соединений, прерванных при скачивании или закатке файлов | + |
| Постоянные соединения | Использует одно соединение для передачи любого количества файлов | Создает новый сеанс связи для каждого файла | + |
| Кодирование HTTP-чанков | + | – | – |
| Сжатие | Выбор алгоритма сжатия данных одновременно сервером и клиентом | Официальное использование только RLE-сжатия | + |
| Технология передачи данных с сервера на сервер как от клиента FXR | – | + | + |
| IP | + | + | + |
| Виртуальный хостинг на основе имени | + | – | – |

| Характеристика | Протокол передачи гипертекста HTTP | Протокол передачи файлов по сети FTP | FTP через SSH (туннелирование обычной FTP-сессии через SSH-соединение – т.н. «безопасный FTP») |
|--------------------|------------------------------------|--|--|
| Просмотр каталогов | Нет | Есть возможность просмотра списка файлов в папке, не скачивая их | + |
| Поддержка прокси | + | – | – |

Перейдем теперь к средствам разработки (в части создания самих сайтов и баз данных, работающих под управлением систем управления базами данных на третьем уровне архитектуры «клиент-сервер»), языкам разработки динамических веб-сайтов, а так же к средствам их защиты.

Информационная безопасность динамических веб-сайтов

Выше уже было отмечено, что информационная безопасность и устойчивость к взлому и DDos-атакам динамических сайтов значительно ниже, чем у статических сайтов прежде всего потому, что способ и технологии передачи данных на динамические сайты предполагают передачу данных, а не файлов, как в случае статических сайтов, а, следовательно, в эту схему легче встроить вредоносное программное обеспечение [9, С. 22], вирусы, рекламу и рекламоподобные вирусы, и требуется постоянным мониторинг динамического веб-приложения, что само по себе является непростой задачей [10, С. 125].

Одна из принятых категоризаций уровней защиты в сети Интернет/Инtranет основана на 7-уровневой модели ISO/OSI, протоколы в рамках которой мы только что рассмотрели. Так как одна категоризация, полностью описывающая все инциденты информационной безопасности, отличается от другой только методом разбиения множества инцидентов на прямую сумму непересекающихся подмножеств, то можно без ограничения общности изложения считать эту категоризацию единственной и достоверной, если она описывает защиту от всех видов атак, существующих в настоящее время: как глобальных, так и локальных. Для начала отметим, что **локальные атаки**, как правило, направлены на кражу информации или перехват управления на отдельном, нужном мошенникам, сервере и являются взломом самого сайта или хостинга, где он расположен. Их можно разделить на вредоносную рекламу, SQL-инъекции, LDAP-инъекция, XPath-инъекция, SSI-инъекция, переадресацию результатов работы поискового сервера, межсайтовый скриптинг (XSS), виртуальный хостинг, HTML-инъекции (CSS) и использование уязвимостей программ социальных форумов. **Глобальные атаки** направлены на несколько сайтов и ставят своей целью заражение всех посетителей этих сайтов тем или иным видом вируса, таким как, например, «троянский конь» или «червь», методом поиска «фишингом», то есть предприняв попытку загрузить вредоносное ПО на ваш компьютер или в

сеть (ис помощью относящегося к нему средства доставки «спуфинга», то есть принудив вас сообщить конфиденциальную или финансовую информацию злоумышленнику), и т.п. К сетевым атакам, наряду с так же можно отнести социальную инженерию, обман или мошенничество типа «скам», к которому относят самые разные события, например просьба от «сотрудника вашего банка» продиктовать SMS-код, чтобы получить доступ к онлайн-банку, который можно принять за «спам» – рассылку рекламы. Таким образом, сетевые атаки используют 3 и 4 уровни на 7-уровневой модели ISO/OSI и называются «уровня L3/L4», а глобальные – 7 уровень 7-уровневой модели ISO/OSI и называются «уровня L7». DDoS-атаки, то есть «распределенный отказ в обслуживании» с использованием большого числа взломанных или контролируемых источников, происходят на 3, 4, 6 и 7 уровнях 7-уровневой модели ISO/OSI, в то время, как DoS-атаки, то есть «отказ в обслуживании», просто делают недоступным сайт или приложение на сайте для пользователей (уровень L7) или передаваемые пакеты данных (то есть относятся к уровню L3).

Распределение функций безопасности по уровням 7-уровневой модели ISO/OSI [11] без указания механизмов реализации функций защиты (шифрование, электронная подпись, управление доступом, проверка целостности, идентификация, управление маршрутизацией и т.п.), а также мер защиты, представлено в Таблице 3.

Таблица 3 – Распределение функций безопасности по уровням модели ISO/OSI

| Функция безопасности | Уровень 7-уровневой модели OSI/OSI, на котором можно реализовать данную функцию, отмечен «+» | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Аутентификация | – | – | + | + | – | – | + |
| Управление доступом | – | – | + | + | – | – | + |
| Конфиденциальность соединения | + | + | + | + | – | + | + |
| Конфиденциальность вне соединения | – | + | + | + | – | + | + |
| Избирательная конфиденциальность | – | – | – | – | – | + | + |
| Конфиденциальность трафика | + | – | + | – | – | – | + |
| Целостность с восстановлением | – | – | – | + | – | – | + |
| Целостность без восстановления | – | – | + | + | – | – | + |
| Избирательная целостность | – | – | – | – | – | – | + |
| Целостность вне соединения | – | – | + | + | – | – | + |
| Безотказность | – | – | – | – | – | – | + |

Частично степень защиты зависит от выбора веб-браузера, которые мы

рассмотрели в предыдущем обзоре [1, С. 105], а так же установленного на компьютерах антивирусного программного обеспечения, если оно не отключено. Кроме того, хостинг-провайдер всегда использует средства информационной безопасности, которые распространяются и на сайты, расположенные в его зоне. Владелец хостинга, обеспечивает анализ входящего трафика, блокировку подозрительных запросов, фильтрацию входящего трафика, блокировку адресов или разрешения на доступ по геолокации и т.д., частично обеспечивая защиту на уровнях L3 (вплоть до маскировки IP-адреса) и L7 (в части ботов и фильтрации заголовков, сравнения с шаблонами скриптов и файлов cookie).

Отдельно опишем атаки, цель которых – динамические сайты (табл. 4).

Таблица 4 – Атаки и уязвимости динамических сайтов

| Атака | Уязвимость | Уровень модели OSI/OSI, какое ПО подвержено атаке на этом уровне |
|--|---|--|
| Внедрение операторов XPath (XPath-инъекция) – атака на сервер, который создает запросы на языке XPath на основе данных, которые вводит пользователь | Переполнение буфера (Buffer Overflow) – уязвимость, которая позволяет изменить путь исполнения программы с помощью перезаписи данных в памяти системы | L5, например, скрипты |
| Внедрение серверных сценариев (SSI-инъекция) – передача исполняемого кода, который будет выполнен на веб-сервере | Выполнение команд ОС-уязвимость, которая позволяет направлять команды операционной системе на веб-сервере с помощью манипуляций входными данными | L5 и L6, операционная система |
| Внедрение операторов SQL (SQL-инъекция) – атака на сервера, которые создают SQL-запросы к серверам систем управления базами данных на основе того, что вводит пользователь | SQLi-уязвимость, которая позволяет атакующему использовать фрагмент вредоносного кода на языке структурированных запросов SQL для манипулирования базой данных и получения доступа к потенциально ценной информации | L7, подвержены любые сайты, которые взаимодействуют с базой данных на языке запросов SQL |
| Внедрение операторов LDAP (LDAP-инъекция) – атаки на сервера, которые создают запросы к службе LDAP на основе данных пользователей | Уязвимость в изменении LDAP-оператора, после чего процесс будет выполняться с такими же привилегиями, как и компонент, который выполняет команду (СУБД, Веб-сервер). | L5, скрипты |

| Атака | Уязвимость | Уровень модели OSI/OSI, какое ПО подвержено атаке на этом уровне |
|---|---------------------------|--|
| Атака на функции форматирования строк (Format String Attack) – путь исполнения программы модифицируется методом перезаписи областей памяти с помощью функций форматирования символьных переменных | Уязвимости форматирования | L7, форматные строки программного кода |

Конечно, большинство атак уровней L5, L6 и L7, направлены на веб-сайты, написанные на HTML, как наиболее распространенном языке написания и представления (отображения) веб-сайтов.

Языки и программные средства разработки динамических веб-сайтов

Наиболее популярными технологиями (средами разработки) создания динамических веб-страниц являются: CGI, PHP, ASP, ASP.NET, JSP, Cold Fusion, AJAX, Python, CSS, базы данных MySQL, PostgreSQL, Oracle, Access и т.д.

Основным языком разработки статических сайтов является HTML, который поддерживается всеми рассмотренными в обзоре [1, С. 101] программами разработки веб-сайтов. В динамических сайтах используются на сервере различные языки [11] с интерпретатором для обеспечения подстановки данных, а не компилятором: PHP, Python, Ruby, Go, Perl, а также ASP.NET и JSP, серверный JavaScript и т.д., а на стороне клиента соответствующие им: AJAX, DHTML JavaScript, Visual Basic и XMLHttpRequest. Вообще говоря, при разработке динамических сайтов используется две технологии – вышеуказанная – на основе интерпретируемых сценариев, и с помощью компилируемых модулей (CGI, написанные в основном на языке Perl), которые мы оставим за рамками нашей статьи.

Более подробный обзор языков программирования динамических сайтов, технологий и средств их разработки можно увидеть на сайте «Словари и энциклопедии на Академике» [11], на основе которого составлен ряд сводных таблиц, интегрирующих эту информацию в том же виде, что и в предыдущем обзоре [1, С. 89].

Сначала дополним Таблицу 5 программ разработки сайтов обзора средств проектирования веб-сайтов [1, С. 89] средствами разработки динамических сайтов с учетом, что ряд средств предыдущего обзора пригодны и для динамических сайтов (*Notepad++*, *Komodo Edit*, *Atom*, *Visual Studio Code*, *Vim* нами уже были рассмотрены).

Таблица 5 – Программы разработки веб-сайтов

| Название | Описание | Основные функции и/или особенности ПО | Поддерживаемые языки | Компания/сайт/ год первого релиза/год последнего релиза (если поддержка завершилась)/ОС | Преимущества | Недостатки |
|----------|---|---------------------------------------|---|--|---|--|
| Apache | Свободное программное обеспечение для создания и размещения веб-сервера | Создание и размещение веб-сервера | ASP.NET, C++, CFML, ECMA Script, Java, JavaScript, Scala, PHP, Python, и т.д. | http://www.fusebox.org/ 1995/ Microsoft Windows, Unix-подобные системы | Динамическая модульная структура, содержащая более 500 модулей различной функциональности | 1. Скорость обработки запросов ниже, чем у конкурентов; 2.гибкость веб-сервера иногда уменьшает производительность: каждый раз считывается несколько конфигурационных файлов на сервере, расходуя системные ресурсы и время |

| Название | Описание | Основные функции и/или особенности ПО | Поддерживаемые языки | Компания/ сайт/ год первого релиза/год последнего релиза (если поддержка завершилась)/ОС | Преимущества | Недостатки |
|----------|---|--|----------------------|--|--|---------------------------------------|
| usebox | Программное обеспечение для создания сайта, способствующее структурированию кода разработчиками с помощью набора простых соглашений | Создание большого, многофункционального приложения | CFML, PHP | http://www.fusebox.org/ 1997/ 2012/ Microsoft Windows | Использование шаблонов проектирования и методов объектно-ориентированного программирования; простое в освоении | 2012 год – разработка прекращена |
| Horde | Бесплатное групповое программное обеспечение разработки приложений на основе PHP с совместным доступом к коду нескольких человек | Почтовый клиент Horde IMP; пакет группового программного обеспечения (календарь, заметки, задачи, файловый менеджер) | PHP | https://github.com/horde/base 2001/ Кроссплатформенный | Есть программное обеспечение для отслеживания времени и задач | Отсутствует описание на русском языке |

| Название | Описание | Основные функции и/или особенности ПО | Поддерживаемые языки | Компания/ сайт/ год первого релиза/год последнего релиза (если поддержка завершилась)/ОС | Преимущества | Недостатки |
|-----------------|---|---|----------------------|---|--|---------------------------------------|
| Zeta Components | Высококачественная библиотека слабо связанных компонентов общего назначения для разработки приложений на основе PHP | Механизм шаблонов, инструменты базы данных; компонент MVC | PHP | https://irc.freenode.net/#zetacomponents/2010/ | Командная строка; различные инструменты; библиотека визуализации диаграмм; универсальный компонент преобразования документов | Отсутствует описание на русском языке |

На основе рассмотрения основных функций и особенностей ПО и в соответствии с задачами динамического сайта можно выбрать программу и язык разработки. Следует отметить, что выбор программы был сделан ранее, и в таблицу попали только программы, содержащие Apache и язык PHP.

Системы управления базами данных разработки динамических веб-сайтов.

И, наконец, остановимся на БД и СУБД, которые можно использовать при разработке динамических веб-сайтов.

Для этого дополним Таблицу 6 систем управления контентом [1, С. 92] средствами обработки информации динамических сайтов – клиент-серверными базами данных с учетом, что ряд средств, которые работают совместно с БД/СУБД, в предыдущем обзоре мы уже занесли в аналогичную таблицу: **Joomla** и **Drupal**.

Таблица 6 – Средства обработки информации для динамических сайтов

| Название | Описание | Язык запросов/ БД | Отличие от других СУБД | Сайт/ год первого релиза/ОС | Преимущества | Недостатки |
|---------------|--|------------------------------|--|--|--|--|
| MySQL | Бесплатная реляционная СУБД разработку и поддержку которой осуществляет фирма Oracle | SQL/ C, C++ | Максимальный размер таблиц – до 4 Гбайт | http://mysql.com 1995/ Linux, Microsoft Windows, macOS, FreeBSD, Solaris и Unix – подобные ОС | 1. Хорошо документирована; 2. может работать с другими БД; 3. масштабируема | 1. Ограничение на количество столбцов, которое можно добавить в одну таблицу (409); 2. автоматические функции других СУБД отсутствуют – например, создание инкрементных резервных копий |
| PostgreSQL | Бесплатная объектно-реляционная СУБД | SQL/ C | 1. Максимальный размер таблиц – до 32 Тбайт ; 2. поддержка индексов следующих типов: В-дерево, хеш, GiST, GIN, BRIN, Bloom. | https://www.postgresql.org/ 1996/ FreeBSD, OpenBSD, Linux, macOS, Solaris, Microsoft Windows и Unix – подобные ОС | 1. Поддерживает ряд объектно-ориентированных функций; 2. асинхронная репликация | 1. Хранимые процедуры |
| MS SQL Server | Система управления реляционными БД фирмы Microsoft | SQL/ C, C++, C# | 1. Есть генерация скриптов для перемещения данных | http://www.microsoft.com/sqlserver/en/us/default.aspx /1989/ UNIX, OS/2, Microsoft Windows | 1. Проста и используется; 2. визуализация с мобильных устройств | 1. Проблемы при импорте файлов; 2. занимает все ресурсы, которые имеются |
| Oracle | Объектно-реляционная СУБД фирма Oracle | PL/SQL /Java, C, C++, Python | 1. Многоверсионность данных для управления параллельными транзакциями; | https://www.oracle.com/database/ 1977/ кроссплатформенная: UNIX, OS/2, Microsoft Windows и т.д. | 1. Этап надежности | 1. Высокая стоимость внедрения и владения; 2. требования к ресурсам – высокие |

На основе рассмотрения основных функций и особенностей СУБД и ранее рассмотренных CMS (систем управления содержимым), созданных на основе СУБД, и в соответствии с задачами динамического сайта можно выбрать необходимое средство разработки. Так как количество клиент-серверных СУБД и БД невелико, то отметим, что за рамками обзора остались только следующие клиент – серверные СУБД: Firebird, Interbase, IBM DB2, Informix, Sybase Adaptive Server Enterprise, Cache, ЛИНТЕР.

Сервера разработки и функционирования динамических веб-сайтов

И, наконец, рассмотрим популярные готовые сервера разработки динамических сайтов, в состав которых входят те или иные из рассмотренных нами ранее компонентов. Википедия объединяет некоторые из них в три большие категории в зависимости предполагаемой к использованию на компьютере (либо сервере) операционной системы: WAMP (для ОС Microsoft Windows), LAMP (для ОС Linux), MAMP (для ОС MacOS). Системы WAMP, MAMP и LAMP представляют собой пакет прикладных программ (ППП), связывающих входящие в их состав компоненты, которые мы перечислим, без указания их назначения, в Таблице 7. ППП поставляются так, чтобы их не нужно было устанавливать и настраивать по отдельности, то есть в режиме «plug and play». Это означает, что нужно просто запустить программу развертывания сервера и следовать простым инструкциям для подготовки сервера разработки сайтов и пуска его в кратчайшие сроки и с минимальными усилиями.

Часть компонентов этой таблицы нами уже рассмотрена, функциональность остального перечисленного программного обеспечения, входящего в сервер, можно посмотреть в Википедии, которая, в основном, дает корректные описания для ППП. Отметим только, что обязательными элементами таких серверов разработки динамических веб-сайтов, является:

1. СУБД/БД или CMS;
2. средства ETL (загрузки и выгрузки файлов БД, иногда называемые по-другому, например ELT и т.п. в зависимости от используемых технологий и порядка очистки/загрузки/выгрузки данных из БД);
3. средства разработки динамического сайта;
4. среда программирования и компилятор/интерпретатор языка разработки динамического сайта;
5. средства информационной безопасности сайта и защиты его данных.

Таблица 7 – Сервера разработки динамических веб-сайтов

| Название | Компоненты ППП стандартной поставки | СУБД | Категория/ОС |
|-----------------|--|--|------------------------------|
| Open Server | Apache, Nginx, PHP, SlimFTPd, Fake Sendmail, NNCron Lite, Adminer, Webgrind, PHPPgAdmin, PHPMyAdmin, PHPMemcachedAdmin | MySQL, PostgreSQL, HeidiSQL, MariaDB, Memcached, Redis | WAMP |
| Denver | Apache, PHP, PHPMyAdmin | MySQL, PostgreSQL, InterBase/FireBird | WAMP |
| XAMPP | Apache, PHP, PHPMyAdmin | MySQL | WAMP, LAMP, MAMP, OC Solaris |
| EasyPHP | Apache, PHP | MySQL, PHPMyAdmin | WAMP, LAMP |
| VertrigoServ | Apache, PHP, Smarty, Xdebug, PHPMyAdmin, SQLiteManager | MySQL, SQLite, | WAMP |
| AppServ | Apache, PHP, PHPMyAdmin | MySQL | WAMP |
| WampServer | Apache, PHP, XDebug, XDC, webGrind, PHPMyAdmin | MySQL | WAMP |
| AMPPS | Softaculous AMPPS, Apache, PHP, PERL, Python | MySQL, MongoDB | WAMP, MAMP, |
| Zend Server | Apache HTTP Server, PHP, Zend Framework, PHPMyAdmin | Oracle, DB2, MySQL, PostgreSQL, MariaDB | LAMP |

Примеры выбора программного обеспечения и языка разработки в соответствии с назначением динамического сайта

1. Пусть организуется разработка автоматизированной информационной системы (АИС) для ресторана ООО «Виктория» в виде динамического веб-приложения, которое должно обеспечить возможность совершать онлайн-заказ

столика, выбора меню и времени посещения заведения. Важным компонентом разрабатываемого программного средства является реляционная база данных, которую в целях экономии решено использовать бесплатную – MySQL, которая отвечает следующим требуемым характеристикам: 1) является решением для малых и средних приложений; 2) входит в состав серверов WAMP, AppServ, LAMP и в портативные сборки серверов Denwer, XAMPP, VertrigoServ, которые планируют использовать для хранения данных и создания АИС. Кроме того, MySQL будет использоваться в качестве сервера, к которому обращаются локальные или удалённые клиенты, однако в дистрибутив входит библиотека внутреннего сервера, позволяющая включать MySQL и в автономные программы. Так же АИС будет подключена к базе данных MySQL для хранения и обработки информации связанной с заказами, гостями и персоналом заведения. Требуется хранение на хостинге 30 резервных копий, а так же почта для доменов. Таким образом, вышеуказанные сервера были выбраны благодаря тому, что в их состав входит программа разработки динамических сайтов веб-сервер Apache, язык программирования PHP, используемый для создания веб-приложений, операционная система Linux и база данных MySQL, как наиболее пригодные для задач создания системы заказов и бесплатные. Так как требовалось 40ГБ на жестком диске, SSL-сертификат от GlobalSign или Let's Encrypt, а доступ организуется по протоколу FTP/SSH с защитой от DDoS на уровнях L3/L4, то разработка планировалась на языке программирования PHP в рамках веб-приложения, размещенного на хостинг-площадке и имеющего свой домен в сети Интернет. Хостинг планируется с хорошим оборудованием и достаточными для обеспечения бесперебойной и быстрой работы АИС характеристиками.

2. Приведем еще один пример выбора средства разработки динамического веб-сайта Интернет-магазина. Пусть требуется создать интернет-сайт магазина, который имеет большую номенклатуру товаров, например, запчастей любой автомобильной фирмы. Запчасти требуются во всем мире и их поставщики хотят видеть названия их на языке страны, в которой они продаются. В этом случае стоит задуматься над тем, чтобы сделать динамический сайт, так как перевод номенклатурных единиц носит специализированный характер. Сначала стоит понять, какой трафик потребуется для передачи запросов такого сайта на ближайшие склады, которых не так много у любого дилера, то есть определить объем предполагаемого трафика и пропускную способность сети, которая его пропустит без задержек [12, С. 95], так как передача потребуется не только артикулов, но и картинок, на которых искомые запчасти представлены в комплекте узлов автомобиля. Надежность и защищенность информации могут определить требования к БД. Пусть определено, что фирма может себе позволить СУБД ORACLE, так как при заказе дорогостоящих запчастей любая покупка имеет большую стоимость, а количество «серых» запчастей на рынке не позволит фирме получить свою прибыль в полном объеме и может привести к тому, что неоригинальная запчасть сильно уменьшит безопасность отремонтированной машины. Таким образом, появляется необходимость в хорошо защищенных каналах передачи данных и нетиповом варианте создания сайта. Посмотрев таблицу 7 нашего об-

зора можно остановить свой выбор на PL/SQL, так как предполагается быстрая разработка web-приложений с ограниченной функциональностью с последующей пакетной передачей данных с помощью PL/SQL блоков, т.е. небольшой программы на языке программирования PL/SQL. Из представленных средств разработки Drupal лучше всего подходит, и в соответствии с этим выбираем язык PHP и ОС Microsoft Windows, как более защищенную от взлома.

Выводы

Таким образом, осуществлен анализ средств разработки динамических веб-сайтов, рассмотрены примеры выбора средств для разработки динамических сайтов в соответствии с их целями и решаемыми задачами. На основании приведенного примера показано, что для средств разработки web-приложений с ограниченной функциональностью лучше всего подходит Drupal, в соответствии с чем наиболее удобным является язык PHP и операционная система Microsoft Windows, как наиболее защищенная от взлома.

Литература

1. Меньшикова Л.В., Найденова Д.М., Шорохов Н.В., Яковлев Д.А. Обзор программного обеспечения разработки web-сайтов // «Информационно-технологический вестник». 2023. № 1. С. 89-106.
2. Меньшикова Л.В. Модели хранилищ данных информационно-аналитических систем. Часть 1 // Технологии и средства связи. 2011. № 3. С. 42-43.
3. Меньшикова Л.В. Модели хранилищ данных информационно-аналитических систем. Часть 2 // Технологии и средства связи. 2011. № 4. С. 46-48.
4. Меньшикова Л.В. Модели хранилищ данных информационно-аналитических систем. Часть 3 // Технологии и средства связи. 2012. № 1. С. 50-51.
5. Спирли Эрик. Корпоративное хранилище данных. Концепция Инмана // Издательский дом «Вильямс». 2001г. 396 с.
6. Уильям Инман. Типы хранилищ данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iso.ru>.
7. Артюшенко В.М. Сервис информационных систем в электротехнических комплексах. Монография / Москва. 2010. 142 с.
8. Булешный Н.М. HTTP против IP [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nsoft-s.com/mychatarticles/1164-http-vs-ftp.html>.
9. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Эффективность защиты от внешних помех электропроводных каналов структурированных кабельных систем для передачи высокоскоростных информационных приложений // Информационные технологии. 2014. С. 13. 24.
10. Меньшикова Л.В., Найденова Д.М. Мониторинг радиочастотного спектра сети спутниковой связи, охватывающей всю территорию Российской Федерации: особенности практики территориально распределенного решения // «Информационно-технологический вестник». 2022. № 4. С. 119-135.
11. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dic.academic.ru> [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1871848> (дата об-

ращения: 07.02.2023).

12. Меньшикова Л.В., Найденова Д.М. Пропускная способность сети спутниковой связи с космическим сегментом – геостационарным искусственным спутником Земли. // «Информационно-технологический вестник». 2022. № 3. С. 89-106.

УДК 621.45.022.2

Анализ развития и состояния энергетической эффективности жидкостных ракетных двигателей малой тяги в России

Юрий Иванович Агеенко, доктор технических наук, профессор, заслуженный конструктор Российской Федерации,
Анна Сергеевна Бубнова, студентка 5 курса кафедры техники и технологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

В декабре 2022 года на космическом корабле «Союз МС-22» произошла разгерметизация внешнего контура жидкостной системы терморегулирования, что явилось причиной отказа от его дальнейшего использования и срочного изготовления дополнительного космического корабля для доставки космонавтов на Землю. В связи с этой нештатной ситуацией авторами проведен анализ возможности эксплуатации ЖРДМТ на аналогичных космических аппаратах без внешнего жидкостного контура системы терморегулирования. В данной статье проводится такой анализ, в ходе которого была исследована энергетическая эффективность различных схем смесеобразования.

Жидкостный ракетный двигатель малой тяги (ЖРДМТ), смесеобразование, энергетическая эффективность, форсунка, жидкостная система терморегулирования.

Analysis of the development and state of energy efficiency of liquid-propellant thrusters in Russia

Yuri Ivanovich Ageenko, Doctor of Technical Sciences, professor, Honored Designer of the Russian Federation,
Anna Sergeevna Bubnova, 5th year student of the Department of Engineering and Technology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

In December 2022, a depressurization of the external circuit of the liquid thermal control system occurred on the Soyuz MS-22 spacecraft, which was the reason for the refusal of its further use and the urgent production of an additional spacecraft to deliver astronauts to Earth. In connection with this emergency situation, the authors analyzed the possibility of operating the liquid-propellant thrusters on similar space vehicles without an external liquid circuit of the thermal control system. In this article, such an analysis is carried out, during which the energy efficiency of various mixture formation schemes was investigated.

Liquid propellant rocket engine, mixture formation, energy efficiency, nozzle, liquid thermal control system.

Для управления полетом космических летательных аппаратов необходимы различные системы управления, которыми, чаще всего, выступают жидкостные ракетные двигатели малой тяги (ЖРДМТ). ЖРДМТ могут быть однокомпонентными и двухкомпонентными, на различных видах ракетного топлива, но самыми распространенными являются ЖРДМТ на рабочей паре АТ (азотистый тетраоксид) + НДМГ (несимметричный диметилгидразин), разработанные в Советском Союзе (в основном, в России). Еще одной распространенной парой ракетного топлива для ЖРДМТ является АТ + ММГ (монометилгидразин), широко применяемая за рубежом.

Исходя из назначения, к ЖРДМТ предъявляются следующие требования:

- многорежимность, которая обусловлена работой как в непрерывном, так и в различных импульсных режимах;
- суммарное время работы (τ_{Σ}) до 50 000 с и более, и суммарное количество включений (N_{Σ}) 500 000 и более;
- обеспечение высокой энергетической эффективности, удельный импульс ($I_{уд}$) выше 2 950 Нс/кг (300 с) и более;
- высокая надежность при эксплуатации, а, следовательно, и приемлемое тепловое состояние.

Все эти требования создают большие трудности при проектировании.

В настоящее время основными разработчиками двухкомпонентных ЖРДМТ в России являются КБхиммаш им. А.М. Исаева и НИИМАШ.

Первой организацией в России, разработавшей в 60х-70х годах параметрический ряд двухкомпонентных ЖРДМТ на АТ+НДМГ является ТМКБ «Союз» [5], которая прекратила работы по новым разработкам ЖРДМТ в середине 70-х годов прошлого столетия. Эти ЖРДМТ, по меркам настоящего времени, обладают низкой эффективностью, как ранние разработки. Учитывая это, в дальнейшем сравнении ЖРДМТ будут проводиться по разработкам НИИМАШ и КБхиммаш имени А.М. Исаева, которые начали заниматься ЖРДМТ с самого начала 70-х годов.

Необходимо отметить, что ТМКБ «Союз» разработало ЖРДМТ МДТО-117, тягой 0,4 Н на самовоспламеняющемся жидком ракетном топливе (СЖРТ) АТ+НДМГ [5]. Этот двигатель является уникальным и единственным в своем классе (расход горючего $\sim 0,07$ г/с, расход окислителя $\sim 0,13$ г/с). Организация смешения компонентов топлива осуществляется сталкивающимися вытекающими из капилляров струями в предкамере.

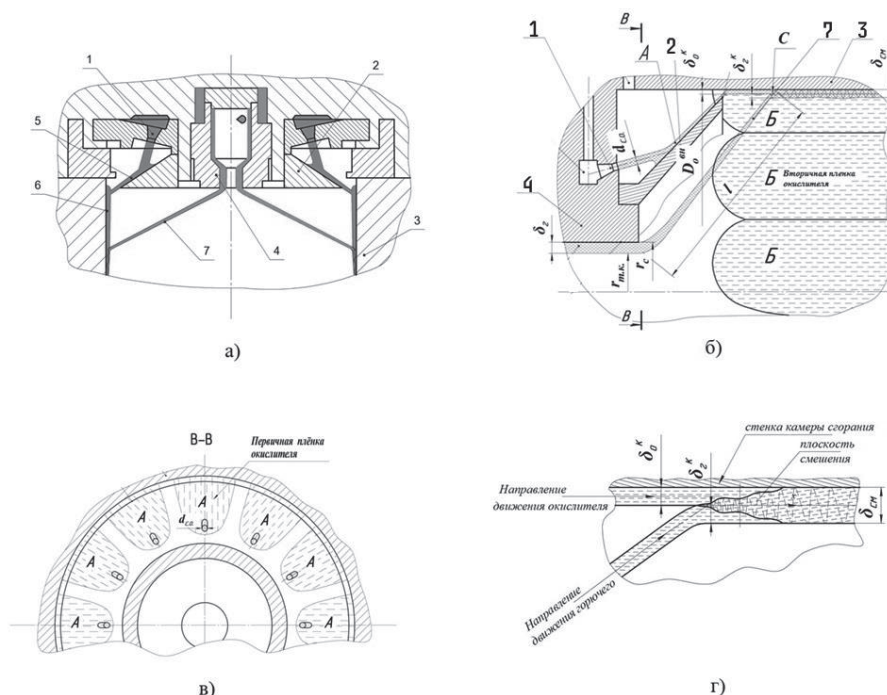


Рисунок 1 – Дефлекторно-центробежная схема смешения
 1 – струйные форсунки; 2 – дефлектор; 3 – стенка камеры сгорания; 4 – центробежная форсунка; 5 (А) – первичная плёнка окислителя; 6 (Б) – вторичная плёнка окислителя, 7 – конус распыливания горючего

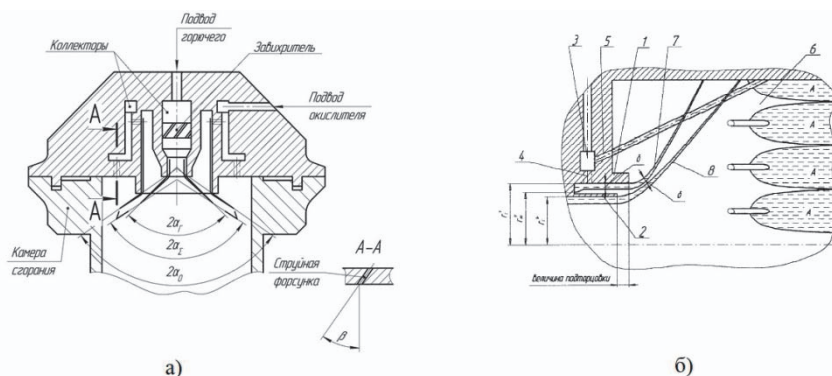


Рисунок 2 – Схема смешения, образованная двухкомпонентной центробежной форсункой, соосной с КС
 1 – сопло внешней центробежной форсунки окислителя; 2 – сопло внутренней центробежной форсунки горючего; 3 – коллектор периферийных дальнобойных струйных форсунок окислителя на завесное охлаждение в виде пленок А на огневой стенке КС; 4 – двухкомпонентная ЦБФ форсунка; 5 – конус распыливания внешней центробежной форсунки окислителя; 6 – камера сгорания, 7 – конус распыливания окислителя (внешняя ЦБФ); 8 – конус распыливания горючего (внутренняя ЦБФ)

На рисунке 1 представлена дефлекторно-центробежная схема смесеобразования самовоспламеняющихся компонентов топлива на огневой стенке КС ЖРДМТ [8], а на рисунке 2 – схема смесеобразования самовоспламеняющихся топлив, образованная одной двухкомпонентной центробежной форсункой (ЦБФ) сосной с КС и рядом периферийных струйных форсунок (СФ), расположенных по окружности также сосной с КС [8]. Это две основные схемы смесеобразования, по которым изготавливаются и успешно эксплуатируются в настоящее время российские ЖРДМТ.

Дефлекторно-центробежная схема смесеобразования (ДЦСС) (рисунок 1, а, б, в) организована следующим образом: на коническую поверхность дефлектора 2 поступает струя окислителя, диаметр которой 0,2-1 мм (в зависимости от размерности ЖРДМТ). Далее струя окислителя растекается на поверхности дефлектора в виде первичной ленки А, шириной от 10 мм. Далее пленка стекает с острой кромки дефлектора и попадает на огневую стенку камеры сгорания (КС) 3 и растекается на ней уже во вторичную пленку Б, которая значительно больше первичной пленки А. В сечении С вторичная пленка окислителя встречается с пленкой горючего 7, конус распыливания которого образован истечением из единственной центробежной форсунки, соосной с КС. Далее пленки окислителя и горючего совместно текут по огневой стенке КС и взаимно проникают в толщину друг друга δ_o^k и δ_r^k (рис. 1, г), образуя совместную толщину слоя смещения $\delta_{см}$, и осуществляя интенсивное пленочное охлаждение стенки КС. Так как компоненты топлива самовоспламеняющиеся, то в слое смещения на огневой стенке КС происходит не только жидкофазное смещение, но и процесс преобразования топлива из жидкой фазы в газообразную продуктов сгорания (воспламенение, испарение, преобразование и т.д.).

Для достижения наибольшей энергетической эффективности ЖРДМТ (обеспечения максимального удельного импульса при одновременном интенсивном охлаждении стенки КС и максимальном запасе по тепловому состоянию ЖРДМТ) необходимо обеспечить вектора количества движения пленок «О» и «Г» (рисунок 1, г), обеспечивающие их взаимное проникновение на полную толщину $\delta_{см}$ слоя смещения (ни больше, ни меньше). Это достигается расчетом и обеспечением необходимых конструктивных размеров струйной и центробежной форсунок при проектировании ЖРДМТ.

Таким образом, в ДЦСС всё топливо, 100% окислителя и 100% горючего, подается на огневую стенку КС, где осуществляется их эффективное жидкофазное смещение с одновременным интенсивным пленочным ее охлаждением. Одновременно с этим обеспечивается максимальная энергетическая эффективность и большой запас по тепловому состоянию (удельный импульс $I_{уд} = 2950 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{кг}$ (300 с) (и более) и максимальная температура стенки КС $T_{\max \text{КС}} = 400 - 600^\circ\text{C}$).

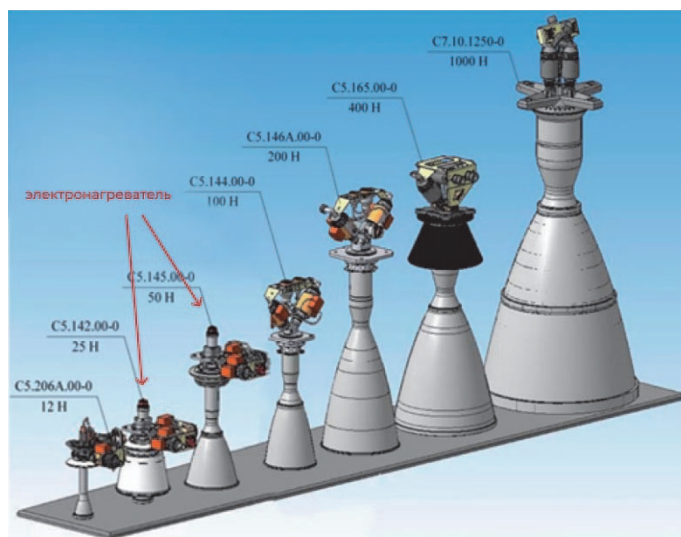


Рисунок 3 – Параметрический ряд двигателей разработки КБхиммаш им. А.М. Исаева

По ДЦСС в КБхиммаш им. А.М. Исаева создан параметрический ряд ЖРДМТ с очень высокой энергетической эффективностью различных тяг (рисунок 3) [4]. Каждый из этих ЖРДМТ содержит одну однокомпонентную жидкостную центробежную форсунку «Г», соосную с КС и от 3 до 25 (в зависимости от размерности ЖРДМТ) струйных форсунок «О». Для обеспечения в этих ЖРДМТ максимальной энергетической эффективности необходимо обеспечить в них параметрические критериальные зависимости [8].

$$\frac{D_o^{\text{ВН}} + \delta_o^{\text{К}}}{2(r_{m.k} + \delta_r^{\text{К}})} = 12 \dots 18 \qquad \frac{D_o^{\text{ВН}} + \delta_o^{\text{К}}}{d_{c.o} \cdot n_{c.o}} = 6 \dots 14$$

Где $D_o^{\text{ВН}}$ – диаметр огневой стенки КС;

$r_{m.k}$ – радиус вихря на стенке сопла ЦБФ;

$d_{c.o}$ – диаметр струи окислителя;

$n_{c.o}$ – число струй окислителя;

$\delta_o^{\text{К}}$ – толщина пленки окислителя на огневой стенке КС;

$\delta_r^{\text{К}}$ – толщина пленки горючего на огневой стенке КС.

Отработка и успешная штатная эксплуатация ЖРДМТ с ДЦСС на самовоспламеняющейся паре компонентов АТ+НДМГ показала, что они обеспечивают высокое значение удельного импульса 2955-3080 м/с (300-312 с), в зависимости от размерности двигателя, с обеспечением его устойчивой работы в непрерывном и импульсном режимах и одновременный запас по температуре стенки КС 400...600°C.

Потенциальные возможности ДЦСС значительны. Отдельные экземпляры ЖРДМТ самой малой размерности, тягой 12 Н, обеспечивали удельный импульс на АТ+НДМГ 318-320 с с большим запасом по тепловому состоянию.

Необходимо отметить, что, благодаря интенсивному пленочному охлаж-

дению стенки КС, в ЖРДМТ с ДЦСС не требуется отвода тепла при его огневой работе в непрерывном и импульсном режимах. То есть такой ЖРДМТ может устанавливаться в КЛА с большим термосопротивлением и не «сбрасывать» части теплового потока в объект при своей огневой работе. Для обеспечения приемлемого теплового состояния ЖРДМТ (незамерзания компонентов топлива) в режиме длительных пауз между его включениями, на его форсуночной головке предусмотрена установка штатного малогабаритного электронагревателя (ЭН) 1 (рисунок 3) мощностью $\sim 2,5$ Вт. В техническом задании на ЖРДМТ С5.142.00-0, тягой 25 Н, к нему предъявляются следующие жесткие требования: ЖРДМТ устанавливается в КЛА с большим термосопротивлением, в течение всего периода эксплуатации включен ЭН мощностью 2,5 Вт, независимо от того работает ли двигатель, или «молчит», штатно установленный на его форсуночной головке и на ЖРДМТ действует значительный тепловой поток от маршевого ЖРД. В таких жестких условиях не может работать ни один ЖРДМТ с другой схемой смесеобразования. В этом преимущество ДЦСС. Например, ЖРДМТ С5.142.00-0, тягой 25 Н, более 15 лет успешно штатно эксплуатировался в составе КК «Союз-ТМА». ЖРДМТ (12 двигателей) устанавливались на КК с большим термосопротивлением, к нему не подводилась жидкостная СТР, при этом ЭН, установленный на его форсуночной головке включался на Земле перед стартом и не отключался в течение всего периода эксплуатации, до прекращения существования КК.

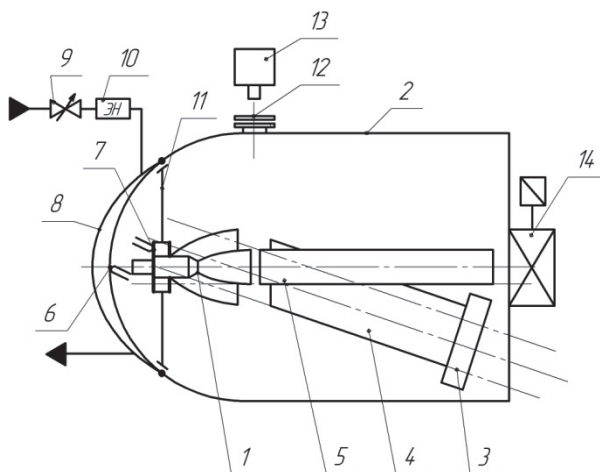


Рисунок 4 – Схема стеновой установки ЖРДМТ С5.142.00-0

1 – ЖРДМТ; 2 – вакуумная камера; 3 – излучатель теплового потока q_1 ; 4 – дефлектор излучателя теплового потока q_1 ; 5 – кормовой диффузор; 6 – датчик температуры для измерения температуры оболочки вакуумной камеры; 7 – преобразователь для измерения плотности теплового потока q_2 ; 8 – теплообменник «рубашка»; 9 – регулятор расхода жидкости; 10 – электронагреватель; 11 – стендовая экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ); 12 – окно с кварцевым стеклом; 13 – тепловизионная система; 14 – вакуумная задвижка

На экспериментальной базе Самарского Государственного Авиационного

Университета (СГАУ) были проведены тепловые огневые испытания ЖРДМТ С5.142.00-0 тягой 25 Н [3]. Схема стендовой установки приведена на рисунке 4 [3]. При огневой работе ЖРДМТ с включенным его ЭН, в вакууме при $P_h = 10^{-3} - 10^{-4}$ мм.рт.ст., на него действовали тепловые потоки:

$q_1 = 20$ кВт/м² – тепловой поток от имитатора маршевого двигателя;

$q_2 = 20$ Вт/м² – тепловой поток, проходящий через экранно-вакуумную теплоизоляцию изделия;

q_3 – тепловой поток, эквивалентный тепловому потоку от абсолютно черного тела, имеющего температуру 40°C (имитация теплового потока от объекта).

Двигатель подтвердил свою работоспособность в таких жестких условиях с запасом по тепловому состоянию.

Схема смесеобразования, образованная одной двухкомпонентной центробежной форсункой, соосной с КС (рисунок 2) работает следующим образом [1][9]. Горючее, истекая из сопла внутренней ЦБФ 8, образует пелену горючего в виде конуса распыливания. Окислитель, истекая из сопла наружной ЦБФ 7 образует пелену окислителя в виде конуса распыливания. При отдельных проливках эти конуса распыливания образуют углы, показывающие, что эти конуса не соприкасаются и между ними образуется минимальное расстояние δ . При совместной проливке (работе ЖРДМТ) за счет эффекта эжекции пространство между конусами пелен окислителя и горючего вакуумируется и происходит столкновение этих пелен со слабым, не активным, проникновением пелен окислителя и горючего в их толщины с обеспечением жидкофазного смешения [9]. Малая активность проникновения обусловлена тем, что количество движения пелен в направлении, перпендикулярном образующей наружного конуса (расстояние δ) окислителя значительно меньше, чем вдоль образующей конуса, где скорость движения компонентов максимальна.

Так как компоненты АТ и НДМГ самовоспламеняющиеся, то при столкновении пелен начинается реакция преобразования жидкого топлива в газообразные продукты, вследствие чего часть компонентов отталкивается друг от друга из-за эффекта сепарации и не участвует в жидкофазном смесеобразовании. Этому способствует слабая активность внедрения пелен в их толщины. В результате ухудшается энергетическая эффективность смесеобразования, то есть, достичь высокого удельного импульса при таком смесеобразовании не представляется возможным [1], [9]. К тому же часть жидкости в пленках не достигает огневой стенки КС и не участвует в ее охлаждении. Необходимо отметить, что процесс вакуумирования полостей между конусами окислителя и горючего является нестабильным и это приводит к значительной неустойчивости внутрикамерных процессов с возникновением существенных колебаний давления в КС [9].

С целью повышения стабильности внутрикамерных процессов, а также организации охлаждения камеры сгорания, часть окислителя подается через струйные форсунки 3, равномерно расположенные по окружности, соосной с

центробежной форсункой и камерой сгорания, далее струи окислителя пересекают совместный конус распыливания и достигают огневой стенки КС, растекаясь в виде пелен А (рис. 2, б), которые обеспечивают пленочное охлаждение [9]. Известно, что эта часть компонента, идущая на завесное пленочное охлаждение, преобразуется в газообразные продукты сгорания с недостаточно максимальной энергетической эффективностью, то есть не способствует обеспечению максимального удельного импульса. Дополнительную ролью струй окислителя, является образование ими свободного газообмена между надконусной и законусной частью в камере сгорания. Это происходит за счет образования в конусе (конусах) свободного от пелены пространства и этим значительно уменьшается эффект эжектирования, одновременно выравнивая давление в этих полостях и значительно улучшая стабильность внутрикамерных процессов [1], [9]. Однако, эта вынужденная мера в данной схеме смесеобразования (подача части окислителя в эти струи) значительно уменьшает возможность обеспечения максимального удельного импульса.

Для повышения удельного импульса и уменьшения теплового состояния в схеме смесеобразования с помощью двухкомпонентной ЦБФ, соосной с КС, осуществляется активизация взаимного внедрения и жидкофазного смешения компонентов топлива при обеспечении следующих условий [9]:

$$\delta_0 \leq r_c^H - r_c^{BH} \leq (r_c^H - r_{mk}^H + \Delta r) \text{ при } \Delta r \rightarrow 0$$

Где δ_0 – толщина пелены жидкости в сопле наружной форсунки;

r_c^H – радиус сопла наружной форсунки;

r_c^{BH} – радиус сопла внутренней форсунки;

r_{mk}^H – радиус вихря на стенке камеры закручивания наружной форсунки в зоне входных тангенциальных каналов;

Δr – толщина стенки сопла внутренней форсунки.

Расстояние между точками пересечения осей струйных форсунок с огневой поверхностью стенки КС не должно превышать тридцати диаметров струйной форсунки [9].

Эти условия обеспечиваются и контролируются подторцовкой торцев сопел ЦБФ «О» и «Г» на величину определяемую отдельной и затем совместной проливками модельной жидкостью до и после подторцовки (рис.2, б) [9], а окончательный контроль величины удельного импульса и теплового состояния ЖРДМТ осуществляется обязательными огневыми стендовыми контрольно-технологическими испытаниями (КТИ). Это значительно удлиняет технологический цикл изготовления ЖРДМТ и удорожает его стоимость. Дефлекторно-центробежная схема смесеобразования и параметрический ряд ЖРДМТ с этой схемой, представленный на рисунке 3, не требует проведения огневых КТИ и при их изготовлении и поставках они не проводятся, это их преимущество.



Рисунок 5 – Параметрический ряд двигателей, разработки НИИМАШ

По схеме смесеобразования с одной двухкомпонентной ЦБФ, соосной с КС в НИИМАШ создан параметрический ряд двухкомпонентных ЖРДМТ на АТ+НДМГ различных тяг (50, 135, 200, 400 Н) (рисунок 5) [6], [10]. Как отмечается в работах [1], [9], данная схема смесеобразования не позволяет достичь максимального удельного импульса, близкого к теоретическому, при заданном соотношении компонентов. Это обусловлено значительно малой активацией взаимного проникновения плен с последующим жидкофазным смесеобразованием, т.к. это происходит при значительно меньших количествах движения пленок окислителя и горючего в направлении, перпендикулярном поверхности конуса распыливания центробежной форсунки окислителя, по сравнению с количеством движения пленок в направлении вдоль образующей конусов распыливания, как это происходит в ДЦСС (см. рисунок 1, г), а также необходимостью организации пленочного завесного охлаждения (~20 – 30% от общего расхода окислителя). Эта часть окислителя не способствует достижению максимальной эффективности жидкофазного смешения компонентов. В ДЦСС весь компонент участвует в их жидкофазном смешении, а также весь компонент осуществляет эффективное пленочное охлаждение стенки КС, в этом ее огромное преимущество. Преимущество по энергетической эффективности (удельному импульсу) видно в Таблице 1 и Таблице 2 [2].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики двухкомпонентных ЖРДМТ тягой от 10 Н до 129 Н

| Сравнительные характеристики двухкомпонентных ЖРДМТ тягой от 10 Н до 129 Н | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Компания-разработчик | DASA (Daimler Chrysler Aerospace) | EADS (Airbus Defence & Space) | Kaiser Marquard (Boeing) | НИИмаш | НИИмаш | КБ Химмаш | КБ Химмаш | КБ Химмаш |
| Индекс ЖРДМТ | S10/1 | 22N (for ESA's ATV) | R-1E-3 | 11Д428 А-16 | 11Д457Ф | C5.142 | C5.144 | C5.145 |
| Тяга, Н | 10 | 22 | 110 | 129 | 54 | 25 | 100 | 50 |
| Удельный импульс, с | 287 (289)* | 290 | 281 (291)* | 290 (307)* | 294 (310)* | 286 (303)* | 304 (312)* | 305 (310)* |
| Топливо | ММГ+МОН | ММГ+МОН | ММГ+АТ | НДМГ+АТ (ММГ+АТ)* | НДМГ+АТ (ММГ+АТ)* | НДМГ+АТ (ММГ+АТ)* | НДМГ+АТ (ММГ+АТ)* | НДМГ+АТ (ММГ+АТ)* |
| Соотношение компонентов | 1,65 | 1,65 | 1,65 | 1,85 (1,65)* | 1,85 (1,65)* | 1,85 (1,65)* | 1,85 (1,65)* | 1,85 (1,65)* |
| Время включения, с | - | - | - | 0,03..2000 | 0,03..2000 | 0,03..4000 | 0,03..4000 | 0,03..4000 |
| Степень расширения сопла | 90 (150)* | 150 | 40 (150)* | 56 (150)* | 52 (150)* | 45 (150)* | 100 (150)* | 200 (150)* |
| Длина, мм | 138 (188)* | 212 | 100 (120)* | 389 (370)* | 257 (308)* | 189 (256)* | 342 (400)* | 280 (256)* |
| Масса, кг | 0,35 (0,42)* | 0,65 | 1,6 (1,9)* | 1,5 (1,8)* | 1,3 (1,4)* | 0,9 (1,0)* | 1,6 (1,9)* | 1,2 (1,1)* |

Таблица 2 – Сравнительные характеристики двухкомпонентных ЖРДМТ тягой от 200 Н до 555 Н

| Сравнительные характеристики двухкомпонентных ЖРДМТ тягой от 200 Н до 555 Н | | | | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Компания-разработчик | EADS (Airbus Defence & Space) | EADS (Airbus Defence & Space) | Kaiser Marquard (Boeing) | Royal Ordnance (Lockheed Martin) | НИИМаш | КБ Химмаш | КБ Химмаш |
| Индекс ЖРДМТ | 200N (for ESA's ATV) | S400-12 | R-4D | LEROS 2R | 11Д458М | С5.146 | С5.165 |
| Тяга, Н | 216 | 420 | 490 | 555 | 392 | 200 | 392 |
| Удельный импульс, с | 270 | 318 (316)* | 312 | 316 | 302 (310)* | 307 (315)* | 312 (320)* |
| Топливо | ММГ+АТ или (МОН) | ММГ+АТ или (МОН) | ММГ+АТ | ММГ+АТ | НДМГ+АТ (ММГ+АТ)* | НДМГ+АТ (ММГ+АТ)* | НДМГ+АТ (ММГ+АТ)* |
| Соотношение компонентов | 1,65 | 1,65 | 1,65 | 1,65 | 1,85 (1,65)* | 1,85 (1,65)* | 1,85 (1,65)* |
| Время включения, с | 0,05...1500 | - | - | - | 0,05...1000 | 0,03...4000 | 0,05...4000 |
| Степень расширения сопла | - | 220 (150)* | 164 | 150 | 100 (150)* | 100 (150)* | 100 (150)* |
| Длина, мм | - | 503 (390)* | 554,1 | 710 | 470 (575)* | 420 (500)* | 485 (590)* |
| Масса, кг | - | 3,6 (2,9)* | 3,63 | 3,77 | 3 (3,7)* | 1,7 (2,1)* | 2,7 (3,4)* |

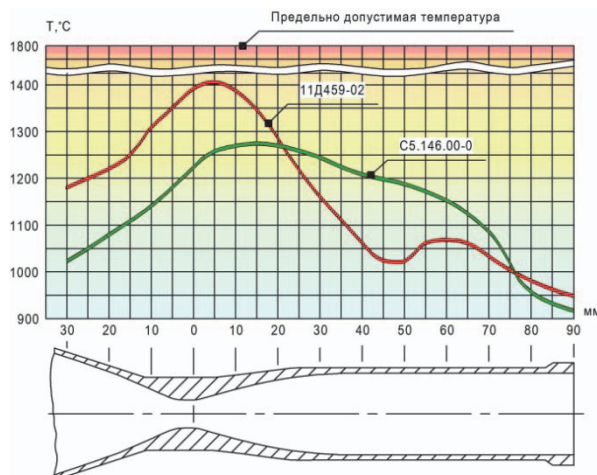


Рисунок 6 – График теплового состояния при стендовых испытаниях ЖРДМТ 11Д459-02 и С5.146.00-0

Преимущество по тепловому состоянию продемонстрировано на рисунке 6 при испытании на одних и тех же стендах и при одних и тех же условиях ЖРДМТ 11Д459-02 с одной соосной двухкомпонентной ЦБФ, тягой 200 Н и ЖРДМТ С5.146.00-0 с ДЦСС тягой 200 Н [2].

Преимущество ЖРДМТ с ДЦСС по использованию и эксплуатации указанных выше ЖРДМТ можно продемонстрировать следующим образом: на пилотируемом космическом корабле (КК) и грузовом корабле «Прогресс» установлена ДУ с 28 ЖРДМТ 11Д428А-16 тягой 135 Н. Они требуют жидкостной системы терморегулирования (СТР), которая подводит к коллектору в районе форсуночной головки каждого из 28 ЖРДМТ теплоноситель и отводит от нее, закольцовывая ее в общую систему. Для надежной теплостабилизации теплоноситель должен подводиться с температурой ~20°С. Для этого СТР должна содержать насос для прокачки теплоносителя, устройство (типа радиатора) для охлаждения теплоносителя (при необходимости) и устройство для подогрева теплоносителя (при необходимости). Без СТР ЖРДМТ эксплуатироваться не могут, т.к. при своей огневой работе они «сбрасывают» часть теплового потока в объект. СТР обес-

печивает работоспособность ЖРДМТ и в режиме длительного «молчания». СТР обладает определенной существенной массой (трубки подвода, масса теплоносителя, насос, устройства для охлаждения и подогрева теплоносителя). Как говорилось выше ЖРДМТ с ДЦСС (рисунок 3) не требуют жидкостной СТР и могут надежно работать без нее. В этом огромное преимущество ЖРДМТ с ДЦСС. Например, в декабре 2022 года на корабле Союз МС-22 произошла разгерметизация внешнего контура системы терморегулирования и утечка охлаждающей жидкости, вследствие чего на корабле упало давление, а температура воздуха повысилась до 30 градусов Цельсия. Из-за этой ситуации Роскосмосом было принято решение продлить миссию космонавтов на МКС, Союз МС-22 вернуть на Землю в беспилотном режиме для затопления, а для доставки экипажа отправить корабль Союз МС-23 ранее планируемого срока [7]. Если бы не ГК использовались ЖРДМТ с ДЦСС, то не было бы внешнего контура жидкостной СТР и не произошло бы такой аварии. Всё это привело к дополнительным финансовым расходам, а также нарушению плана.

Подводя итоги, приходим к выводу, что дефлекторно-центробежная схема смесеобразования обладает большей энергетической эффективностью, как по удельному импульсу, так и по обеспечению приемлемого теплового состояния, а также по конструктивным соображениям, так как она не требует СТР. Всё это делает ДЦСС более предпочтительной для использования при разработке новых космических кораблей.

Литература

1. Андреев Ю.З. Исследование зависимостей характеристик ЖРДМТ тягой 50...400 Н на топливе АТ+НДМГ от основных параметров двухкомпонентной соосной центробежной форсунки и струйных форсунок завесы: Автореф. дис. канд.техн.наук. Н. Салда, 2004. 24 с.
2. Агеенко Ю.И., Панин И.Г., Пегин И.В., Смирнов И.А. Основные достижения в ракетных двигателях малой тяги Конструкторского бюро химического машиностроения им. А.М. Исаева // Научно-технический журнал «Двигатель». 2014. № 2(92+243). 2014. С. 24-27.
3. Агеенко Ю.И., Гальперин Р.Н., Ивашин Ю.С., Нигодюк В.Е., Рыжков В.В., Сулинов А.В. Исследование влияния теплового потока от маршевого ЖРД на параметры управляющих ЖРДМТ в условиях двигательной установки перспективного разгонного блока // Вестник СГАУ. 2012. № 3(34). 4.3. С. 251-259.
4. АО КБХиммаш им. А.М. Исаева [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kbhimmash.ru/> (дата обращения 02.12.2022).
5. АО «Тураевское машиностроительное конструкторское бюро «Союз» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tmkb-soyuz.ru/> (дата обращения 18.02.2023).
6. Каталог продукции АО «НИИМаш», 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.niimashspace.ru/index.php/produce/rkt> (дата обращения 14.12.2022).

7. О ситуации с пилотируемым кораблем «Союз МС-22» на МКС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/38641/> (дата обращения 23.01.2023).
8. Патент РФ №2535596 20.12.2014 Бюл. № 35. Способ организации рабочего процесса в камере сгорания жидкостного ракетного двигателя малой тяги // Агеенко Ю.И., Панин И.Г., Пегин И.В., Смирнов И.А.
9. Патент РФ №2319853 20.03.2008 Бюл. № 8. Способ организации рабочего процесса в камере сгорания жидкостного ракетного двигателя малой тяги // Казанкин Ф.А., Ларин Е.Г., Бешенев Ю.А., Кутуев Р.Х., Салич Л.В.
10. Сайт Научно-исследовательского института машиностроения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.niimashspace.ru/> (дата обращения 13.12.2022).

УДК 004.04

**Аналитика систем мониторинга в организациях
с высокими требованиями автоматизации контроля
жизнеобеспечения на примере международной космической станции**

Елена Григорьевна Макарова, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информационных технологий и управляющих систем»,
Эмиль Рафаэлевич Нугманов, магистрант группы ИМО-ПИ-21,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*В настоящее время процесс развития и постоянной модернизации долго-
временных орбитальных станций, а также перспективы освоения дальнего кос-
моса представляет научный и практический интерес. В статье рассмотрены и
проанализированы системы мониторинга в организациях с высокими требова-
ниями автоматизации контроля жизнеобеспечения на примере международной
космической станции. Связь системы жизнеобеспечения с центром управления
полетов и центральной вычислительной машиной предполагает необходимость
разработки нового управляющего программного обеспечения.*

Космос, системы жизнеобеспечения, МКС, программное обеспечение.

**Analytics of monitoring systems in organizations with high requirements
for automation of life support control on the example of the international
space station**

Elena Grigorievna Makarova, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the ITUS Department,
Emil Rafelevich Nugmanov, student of IMO-PI-21 group,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*At present, the process of development and constant modernization of long-
term orbital stations, as well as the prospects for deep space exploration, is of scien-
tific and practical interest. The article discusses and analyzes monitoring systems in
organizations with high requirements for automating life support control using the ex-
ample of the international space station. The connection of the life support system with
the mission control center and the central computer implies the need to develop new
control software.*

Space, life support systems, ISS, software.

Введение. Современные организации высокотехнологичных отраслей ставят перед собой задачу постоянного контроля и мониторинга жизнеобеспечения в рабочих условиях. Это особенно актуально в случае международных космических проектов, где каждая секунда может иметь решающее значение для жизненной безопасности космонавтов. В таких условиях становится необходимым использование современных систем мониторинга, аналитики и управления данными. В данной статье будет проведен анализ систем мониторинга в организациях с высокими требованиями автоматизации контроля жизнеобеспечения на примере международной космической станции (МКС). Будут рассмотрены основные характеристики таких систем, а также выявлены наиболее эффективные способы анализа данных для обеспечения максимальной безопасности и эффективности работы персонала.

Международная космическая станция является модульной, что позволяет добавлять или убирать модули станции, находясь в космическом пространстве.

На ней установлены несколько модулей, каждый из которых имеет свои системы жизнеобеспечения:

- Модуль «Звезда» (Star) – первый модуль, запущенный на орбиту в 1998 году. На нем установлены системы обеспечения атмосферы, очистки воздуха, очистки воды и управления отходами. В нем расположены системы жизнеобеспечения, системы управления полетом, энергетический и информационный центры, а также каюты для экипажа. Также на данном модуле установлена радиоантенна «Лира».

- Модуль «Заря» (Zarya) – запущен на орбиту в 1998 году. На нем установлены системы питания и управления отходами.

- Модуль «Гармония» (Harmony) – запущен на орбиту в 2007 году. На нем установлены системы обеспечения атмосферы, очистки воздуха, очистки воды и управления отходами.

- Модуль «Транспортный» (Transport) – используется для перевозки грузов и экипажа на МКС. На нем установлены системы обеспечения атмосферы и очистки воздуха.

- Модуль «Наука» (Nauka) – запущен на орбиту в 2021 году. На нем установлены системы обеспечения атмосферы, очистки воздуха, очистки воды, управления отходами и питания.

Каждый модуль имеет свою уникальную систему жизнеобеспечения, но все они взаимодействуют между собой для обеспечения безопасной и комфортной жизнедеятельности экипажа на борту МКС.

Таким образом, на Международной космической станции используются несколько систем жизнеобеспечения, но в данной статье будут рассмотрены следующие:

1. Система регенерации воздуха – позволяет перерабатывать выдыхаемый человеком углекислый газ в кислород для дыхания, а также удалять из воздуха избыточную влагу и загрязнения.

2. Система регенерации воды – позволяет перерабатывать отходы человеческой жизнедеятельности и использованную воду в питьевую воду.
3. Система коммуникации – обеспечивает связь между экипажем МКС и земным контролем.
4. Система охлаждения – позволяет регулировать температуру на борту МКС и предотвращать перегрев электроники и других систем.

Все эти системы работают в комплексе, обеспечивая безопасность и комфорт жизни на борту МКС, а также соответствие медико-биологическим требованиям (таблица 1) [2-3]. Особенно важны системы регенерации кислорода и воды, так как эти ресурсы невозможно доставить грузовыми кораблями на станцию, которая находится вне земной орбиты.

Таблица 1 – Некоторые параметры, контролируемые системой жизнеобеспечения космических станций и кораблей

| Параметр | Значение | | |
|---|----------|----------|-------------------|
| | минимум | максимум | оптимальная |
| Общее давление, кПа/мм рт. ст. | 33,3/250 | 107/800 | 54...69/405...520 |
| Парциальное давление кислорода, кПа/мм рт. ст. | 16/120 | 40/300 | 20,6/155 |
| Парциальное давление азота, кПа/мм рт. ст. | 9,3/70 | 80/600 | 47/350 |
| Парциальное давление углекислого газа, кПа/мм рт. ст. | 0 | 1,0/7,6 | 0,03 |
| Температура воздуха, °С | 16 | 24 | 21,0 ± 1,0 |
| Относительная влажность, % | 30 | 75 | 45 |
| Температура стенок жилого отсека, °С | 18 | 26 | 22 |
| Тепловыделение экипажа, мДж/(чел·сут) | 10,5 | 14,7 | 11,7 |
| Потребление кислорода, г/(чел·сут) | 760 | 990 | 850 |
| Выделение углекислого газа, г/(чел·сут) | 870 | 1215 | 990 |
| Потребление воды и пищи, г/(чел·сут) | 1500 | 6400 | 2000 |
| Дыхательный коэффициент | 0,8 | 1 | 0,87 |
| Метаболическая вода, г/(чел·сут) | 250 | 500 | 350 |
| Гигиеническая вода, г/(чел·сут) | 680 | 3000 | 2000 |

1. Система регенерации воздуха на МКС является одной из самых важных систем жизнеобеспечения, поскольку обеспечивает постоянный доступ к

кислороду для дыхания экипажа. Система работает по принципу переработки выдыхаемого человеком углекислого газа в кислород.

Воздух на МКС состоит примерно на 21% из кислорода и на 78% из азота. Кроме того, в воздухе присутствуют различные загрязнения, такие как углекислый газ, метан, аммиак и другие вредные вещества.

Система регенерации воздуха на МКС состоит из нескольких компонентов, каждый из которых выполняет свою функцию:

1. Карбоновый фильтр – удаляет из воздуха загрязнения, такие как углекислый газ и другие вредные вещества.
2. Сплит-система – разделяет выдыхаемый человеком углекислый газ на кислород и углекислый газ.
3. Реактор Sabatier – использует углекислый газ и водород для производства воды и метана.
4. Система электролиза – использует воду для производства кислорода и водорода.



Рисунок 1 – Система «Электрон-ВМ» – система кислород - обеспечения МКС

После прохождения через все компоненты системы, воздух становится чистым и содержит необходимое количество кислорода для дыхания. Кроме того, система также удаляет из воздуха избыточную влагу, которая может накапливаться в закрытом пространстве МКС.

Система регенерации воздуха на МКС является очень эффективной и позволяет обеспечивать постоянный доступ к кислороду для дыхания экипажа.

Один из основных компонентов системы – это система контроля давления. Она включает в себя датчики, которые измеряют давление в различных

частях станции. Эти данные передаются на Землю для анализа и принятия решений о необходимости регулирования давления [4].

Не менее важна система регулирования давления. Она состоит из насосов и клапанов, которые регулируют поток воздуха внутри станции, чтобы поддерживать оптимальное давление. Клапаны могут быть открыты или закрыты, чтобы изменять поток воздуха и, следовательно, давление.

Система регулирования давления также включает в себя систему рекуперации кислорода, которая позволяет перерабатывать выдыхаемый экипажем воздух и использовать его повторно. Это позволяет снизить потребность в постоянном поступлении свежего воздуха на станцию и, следовательно, уменьшить риск изменения давления.

Система регулирования давления на МКС является критически важной для обеспечения безопасности и комфорта экипажа. Она позволяет поддерживать оптимальный уровень давления внутри станции, что защищает экипаж и оборудование от возможных повреждений.

2. Система регенерации воды на МКС также является важной системой жизнеобеспечения, поскольку обеспечивает доступ к чистой питьевой воде для экипажа. Система работает по принципу переработки отходов и потребляемой жидкости в питьевую воду.

Система регенерации воды на МКС состоит из нескольких компонентов, каждый из которых выполняет свою функцию:

1. Система фильтрации – удаляет из отходов и потребляемой жидкости загрязнения, такие как микробы, остатки пищи и другие вредные вещества.

2. Система обработки – использует различные методы обработки, такие как ультрафиолетовое облучение и химическую обработку, для уничтожения микробов и других вредных веществ.

3. Система дистилляции – использует технологию дистилляции для удаления солей и других минералов из отходов и потребляемой жидкости.

4. Система обратного осмоса – использует технологию обратного осмоса для удаления бактерий, вирусов, солей и других минералов из отходов и потребляемой жидкости.

После прохождения через все компоненты системы, вода становится чистой и безопасной для питья. Кроме того, система также позволяет экипажу использовать воду для других целей, таких как гигиенические процедуры.

Система регенерации воды на МКС является очень эффективной и позволяет обеспечивать доступ к чистой питьевой воде для экипажа. Без этой системы жизнь на борту МКС была бы невозможна.

3. Система коммуникации на МКС обеспечивает связь между экипажем станции и земным контролем, а также между членами экипажа. Она включает в себя несколько компонентов, которые работают вместе для обеспечения надежной и безопасной связи.

Один из основных компонентов системы коммуникации – это спутниковая связь. МКС использует спутники, чтобы передавать данные и обеспечивать связь с земным контролем. Это позволяет экипажу станции получать инструкции

и руководство от земного контроля, а также передавать данные о состоянии станции и выполнении задач.

Другой важный компонент системы коммуникации на МКС – это радиосвязь. Эта система обеспечивает связь между членами экипажа на борту станции. Каждый член экипажа имеет переносное радио, которое позволяет им связываться друг с другом в любое время.

Также на МКС установлены различные виды коммуникационного оборудования, такие как видеокамеры и микрофоны, которые позволяют экипажу передавать данные и общаться с земным контролем.

Например:

- Радиосистема «Связь-2» (Sputnik-2) – основная система связи на МКС. Она позволяет экипажу общаться с центром управления полетом на Земле и передавать данные и видеоизображения.

- Система «Курс» (Kurs) – используется для автоматической стыковки МКС с другими космическими аппаратами, такими как грузовые корабли «Прогресс» или пилотируемые корабли «Союз».

- Система «Радуга» (Raduga) – спутниковая система связи, которая позволяет экипажу МКС общаться с земными станциями в режиме реального времени.

- Система «Интеркосмос» (Interkosmos) – используется для связи с космическими аппаратами других стран, которые находятся на орбите Земли.

- Система «Аматорское радио» (Amateur Radio) – позволяет экипажу МКС общаться с радиолюбителями на Земле и проводить научные эксперименты в области радиосвязи.

Система коммуникации на МКС является критически важной для обеспечения безопасности и эффективности работы станции. Она позволяет экипажу получать необходимые инструкции и руководство от земного контроля, а также связываться друг с другом в случае необходимости.

Для передачи данных между модулями МКС используется стандарт связи **MIL-STD-1553**. Это стандарт связи Министерства обороны США, разработанный в 1973 году. Принят в СССР как **ГОСТ 26765.52-87**, после в РФ как **ГОСТ Р 52070-2003**. Стандарт связи распространяется на магистральный последовательный интерфейс с централизованным управлением, применяемый в системах электронных модулей.

Особенностью интерфейса является двойная линия передачи информации, где каждая линия управляется своим контроллером канала и использует полудуплексный протокол “команда – ответ”, с возможностью подключения до 31 удаленного абонента.

Стандарт устанавливает требования к:

- составу технических средств интерфейса;
- организации контроля передачи информации;
- характеристиками линии передач (ЛПИ);
- характеристикам устройства интерфейса;
- интерфейсу с резервированием.

Каналы обмена информации выполнены по данному протоколу имеют шинную организацию. Протокол предусматривает резервирование, это означает, что каждый абонент может быть подключен к основному каналу и резервному. Тактируемая скорость в канале составляет 1 Мбит/с. Основной канал обозначается как “Канал А”, резервный канал обозначается как “Канал Б”.



Рисунок 2 – Топология шина по протоколу MIL-STD-1553
Контроллер шины – Центральное устройство системы

Оконечное устройство – Периферийное устройство (одно из 31 возможных).

Монитор канала – Отчетное устройство, осуществляет сбор статистик, следит за информацией в канале и пр.

Передача телеметрии по радиоканалу происходит через радиантенну “Лира”, установленную на модуле “Звезда”.

Лира – это система связи МКС с землей, система является двухсторонней. Связь осуществляется через Российскую группировку спутников “Луч”.

С января 2010 года на станции организован прямой доступ в сеть **Internet**, компьютеры на борту станции соединены при помощи **Wi-Fi** в беспроводную сеть и связаны с землей. Скорость соединения МКС-Земля имеет значение 3 Мбит/с, скорость соединения Земля-МКС имеет значение 10 Мбит/с.

4. **Система охлаждения** на МКС является еще одной важной системой жизнеобеспечения, которая обеспечивает поддержание оптимальной температуры на борту станции. Система состоит из нескольких компонентов:

1. Теплообменники – на борту МКС установлены теплообменники, которые используются для передачи тепла от систем и оборудования на борту станции к системе охлаждения.

2. Радиаторы – используются для отвода тепла из системы охлаждения в открытый космос.

3. Циркуляционные насосы – используются для циркуляции жидкости в системе охлаждения.

4. Распределительные щиты – используются для распределения охлаждающей жидкости по всей станции.

Система охлаждения на МКС обеспечивает поддержание оптимальной температуры на борту станции, что позволяет обеспечить нормальную работу всех систем и оборудования на борту. Она также позволяет предотвратить пере-

грев систем и оборудования, что может привести к серьезным последствиям для экипажа и станции в целом.

Система охлаждения на МКС является очень надежной и эффективной, что позволяет обеспечивать нормальную работу станции и безопасность экипажа в течение всего периода пребывания на борту.

Все системы жизнеобеспечения являются модульными и передают данные с каждой системы жизнеобеспечения на центральную вычислительную машину (ЦВМ), после чего пакет данных в онлайн режиме либо в записи во время сеанса связи отправляются в центр управления полетов, расположенный на земле [1].

Для корректировки работы системы жизнеобеспечения МКС, в центре полетов формируется пакет данных и во время сеанса связи отправляется радиосигналом на МКС, где ЦВМ отдает команды системам жизнеобеспечения, часть оборудования МКС является аналоговым и членам экипажа приходится в ручном режиме производить корректировки.

Для обеспечения бесперебойной работы системы жизнеобеспечения необходимо постоянно контролировать ее состояние и своевременно выявлять возможные неполадки. Для этого используются различные датчики и сенсоры, которые постоянно проверяют состояние различных компонентов системы.

Однако для более эффективного мониторинга и управления системой жизнеобеспечения видится целесообразность применения специального приложения, которое бы предоставляло операторам информацию о состоянии системы в режиме реального времени и предупреждало о возможных аварийных ситуациях.

Разработка приложения для мониторинга системы жизнеобеспечения может значительно улучшить ее работу, повысить безопасность и комфортность пребывания космонавтов на борту МКС. Такое приложение должно обладать широкими функциональными возможностями, включая мониторинг состояния различных компонентов системы, анализ данных с датчиков и сенсоров, предупреждение о возможных неполадках и аварийных ситуациях, а также возможность удаленного управления системой жизнеобеспечения.

При получении данных приложение обрабатывает полученные значения и по их результатам реагирует согласно заложенным алгоритмам. Например, рассмотрим показатели давления кислорода.

В случаях, когда показатели выходят за пределы допустимых значений (для давления кислорода минимальный порог 120 кПа/мм рт. ст., максимальный порог 300 кПа/мм рт. ст., оптимальным давлением кислорода считается 155 кПа/мм рт. ст), то приложение начинает сигнализировать о критических значениях текстовым и звуковым сопровождением.

В случае звукового сопровождения используется одна и так же мелодия (Внимание!). В случае текстового сопровождения меняются сообщения либо «Критически высокое давление кислорода» либо «Критически низкое давление кислорода» с указанием истинного значения давления. Если показатели совпадают с нормами, приложение не реагирует и продолжает работу в фоновом или

активном режиме в зависимости от предпочтения пользователя.

Таким образом, приложение мониторинга будет передавать все данные и сообщения от центральной вычислительной машины, отвечающей за работоспособность и управление систем жизнеобеспечения МКС, что упростит работу членам экипажа, отвечающим за работу и обслуживание систем жизнеобеспечения. Это позволит быстро выявлять возможные неисправности и принимать меры по их устранению, а также планировать ремонт и замену оборудования.

Кроме того, приложение может быть полезным инструментом для обучения космических экипажей и инженеров, работающих на МКС, в области жизнеобеспечения и технического обслуживания систем. Также оно сможет в режиме реального времени передавать данные на все мобильные носимые устройства, как ответственных членов экипажа, так и другим членам экипажа, находящимся на борту.

Необходимость разработки приложения для мониторинга системы жизнеобеспечения международной космической станции, также обуславливается возможностью переходом с ноутбуков, используемых сейчас на МКС, на носимые мобильные устройства, которые имеют ряд преимуществ:

- **Меньший вес:** позволяет взять дополнительное оборудование или иной полезный груз;
- **Меньшие габариты:** размеры оборудования имеют критическое значение при выходе летательных аппаратов на орбиту или при нахождении на станции, где нет возможности использовать пространство станции эффективно, так же они более удобны при использовании;
- **Меньшая стоимость:** что позволяет перенаправить денежные ресурсы в другие направления;
- **Не содержат большое количество подвижных частей:** упрощение систем пропорционально уменьшает вероятность выхода из строя приборов;
- **Имеют большой запас заряда аккумуляторной батареи:** позволяет устройству дольше находиться в рабочем состоянии без перезарядки аккумуляторных батарей;
- **Не уступают по функционалу:** с развитием технологий стало возможно производить более компактные и более мощные вычислительные мобильные устройства.

Для передачи информации в приложение также потребуется специальное программное обеспечение, которое будет передавать данные из ЦВМ. Это может быть отдельный модуль системы управления полетом МКС или отдельная автоматизированная система управления комплексом систем жизнеобеспечения.

Вывод. Рассмотрев некоторые системы жизнеобеспечения международной космической станции, можно сделать вывод: МКС – это пример высокотехнологичной системы жизнеобеспечения, которая требует автоматизации контроля и мониторинга для обеспечения безопасности и комфорта экипажа, а также защиты оборудования от повреждений.

Анализ систем жизнеобеспечения на МКС подчеркивает важность ис-

пользования современных систем мониторинга в организациях с высокими требованиями автоматизации контроля жизнеобеспечения. Представляется целесообразным разработку специального программного обеспечения для этих целей, в том числе, работающего на мобильных устройствах. В связи с дальнейшим совершенствованием орбитальных станций такое приложение также будет актуальным при использовании с новыми автоматизированными системами управления комплексом систем жизнеобеспечения.

Литература

1. Актовая речь Синяка Ю.Е. на заседании Ученого Совета Российской Академии Наук Государственного научного центра РФ – Института медико-биологических проблем, Москва, октябрь 2008 г.
2. Гузенберг А.С., Железняков А.Г., Романов С.Ю., Телегин А.А., Юргин А.В. Выбор комплекса жизнеобеспечения для экипажей долговременных космических станций // Космическая техника и технологии. 2015. № 1(8). С. 67-80.
3. ГОСТ Р 50804-95 Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования. М.: Госстандарт России, 1995. 118 с. Дата введения 1996-07-01.
4. Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов: [Учеб. для втузов] / В.В. Малоземов, В.Ф. Рожнов, В.Н. Правецкий – Москва: Машиностроение, 1986. 583 [1] с.: ил.; 22 см.; ISBN (В пер.) (В пер.): 1 р. 60 к., 2300 экз.

УДК 621.317.7

**Методика и установка для градуировки датчиков теплового потока
на среднеинтенсивные диапазоны**

Александр Петрович Мороз, доктор технических наук, профессор Технологического университета, Академик Российской академии космонавтики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,

Александра Владимировна Соколова, ведущий специалист,

Андрей Николаевич Демин, кандидат технических наук, ведущий инженер,

Сергей Валерьевич Сорокин, начальник отдела,

Акционерное общество «Научно-производственное объединение измерительной техники» (АО «НПО ИТ»), г. Королев, Московская область

Рассматриваются вопросы измерения параметров тепловых потоков в среднеинтенсивных диапазонах при испытаниях и целевом применении энергонасыщенного оборудования. Предложена методика и установка для градуировки датчиков теплового потока в диапазоне до 2000 кВт/м² на основе двухфокусного эллиптического отражателя, позволяющая обеспечить погрешность задания образцовых тепловых потоков не более 5%. Исследованы и оценены погрешности задания образцовых тепловых потоков на основе двухфокусного эллиптического отражателя в зависимости от оптических отклонений места установки датчика в реальной схеме относительно идеальной. Предложен способ измерений повышенных значений образцовых тепловых потоков при использовании существующих образцовых приемников тепловых потоков меньшей мощности и делителя тепловых потоков.

Тепловой поток, датчик, погрешность измерений, градуировка датчика теплового потока, оптическая схема, моделирование.

**Methodology and installation for calibration of heat flow sensors
for medium-intensity ranges**

Alexander Petrovich Moroz, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Technological University, Academician of the Russian Academy of Cosmonautics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,

Alexandra Vladimirovna Sokolova, leading specialist,

Andrey Nikolaevich Demin, Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer,

Sergey Valerievich Sorokin, Head of the Department,

Joint Stock Company «Scientific and Production Association of Measuring Equipment» (JSC «NPO IT»), Korolev, Moscow region

The issues of measuring the parameters of heat flows in medium-intensity ranges during testing and targeted use of energy-saturated equipment are considered. A technique and installation for the calibration of heat flow sensors in the range up to 2000 kW/m² based on a two-focus elliptical reflector is proposed, which allows for an error of setting the model heat flows of no more than 5%. The errors of setting model heat fluxes based on a two-focus elliptical reflector depending on the optical deviations of the sensor installation location in a real circuit relative to the ideal one are investigated and estimated. A method for measuring increased values of exemplary heat fluxes using existing exemplary heat flux receivers of lower power and a heat flux divider is proposed.

Heat flow, sensor, measurement error, calibration of the heat flow sensor, optical circuit, modeling.

Тепловой поток является одной из важнейших характеристик всех протекающих тепловых процессов и явлений в сферах и отраслях, где имеет место применение энергонасыщенного оборудования [1]. В связи с чем является очевидным, что контроль и измерение параметров тепловых потоков приобретает особую значимость применительно к вопросам испытаний, отработки и эксплуатации различных энергонасыщенных аппаратов и механизмов [2, 3].

Для указанных целей все более широкое применение находят датчики теплового потока (ДТП), которые позволяют проводить непосредственную оценку значения плотности теплового потока, выделяемого в процессе передачи и распространения тепловой энергии. Их применение позволяет получить более полную и точную информацию об исследуемом процессе передачи и распространения тепловой энергии, чем использование для этой цели нескольких датчиков температуры. При этом наибольшее применение в различных областях на сегодняшний день находят ДТП для измерения в среднеинтенсивных диапазонах (до 2000 кВт/м²).

При проведении измерений с помощью ДТП следует учитывать целый ряд метрологических составляющих измерений [4, 5]. Среди них основополагающее значение имеет погрешность измерений величины теплового потока, в которую входит погрешность градуировки ДТП. Таким образом, задания образцовых значений тепловых потоков непосредственно обуславливает погрешность проведения измерений ДТП.

Для градуировки ДТП необходима установка, формирующая образцовые потоки теплового излучения. Очевидными требованиями к установке являются [6]:

- стабильность излучения во времени;
- однородность теплового потока на площадке, соизмеримой с размерами чувствительного элемента ДТП;
- спектр излучения должен соответствовать реальным спектрам тепловых

потоков, для измерения которых предназначен калибруемый датчик.

Исходя из указанных требований, лучше всего для излучателя подходит галогеновая лампа накаливания [7]. Излучаемая мощность зависит только от температуры спирали, которую легко стабилизировать с помощью стабилизации мощности нагрева.

В качестве примера рассмотрим галогеновые лампы накаливания фирмы OSRAM. В линейке ламп для студийных прожекторов можно выбрать лампы мощностью от 1 до 5 кВт. Мощность излучения таких ламп в полном спектральном диапазоне составляет 50...60% от входной электрической мощности. Однако с ростом мощности лампы возрастает и размер тела накаливания. Пересчет мощности лампы на единицу поверхности тела накаливания дает результат $\sim 5 \text{ Вт/мм}^2$ вне зависимости от полной мощности лампы. Таким образом, начиная с определенного порога, увеличение мощности лампы не приводит к увеличению теплового потока на ДТП. Для проведения расчетов использовалась модель галогеновой лампы OSRAM 64789 мощностью 2000 Вт. Размер тела накаливания равен $20 \times 19 \text{ мм}^2$.

Для выбора оптимальной оптической схемы было проведено математическое моделирование на основе законов линейной оптики и характеристик термодинамики ДТП [8]. Исследовались две оптические системы формирования теплового потока. Это, во-первых, эллипсоид с телом накаливания галогеновой лампы в первом фокусе и приемником излучения во втором фокусе, во-вторых, два параболических отражателя, первый из которых формирует параллельный пучок света от источника, а второй собирает параллельный пучок на приемник излучения.

Рассмотрим более подробно градуировочные установки с оптической системой с эллиптическим отражателем и с оптической системой с двумя параболическими отражателями.

Моделирование оптической системы с эллиптическим отражателем

Оптическая система градуировочной установки с эллиптическим отражателем приведена на рисунке 1. Эллипсоид с телом накаливания галогеновой лампы размещался в первом фокусе оптической системы, а чувствительный элемент ДТП размещался во втором фокусе. Для проведения расчета использовался эллиптический отражатель, обрезанный по первому фокусу в плоскости тела накаливания галогеновой лампы. Радиус кривизны в вершине отражателя составлял 300 мм. Диаметр отражателя составляет порядка 600 мм. Была рассчитана модель сбора излучения от галогеновой лампы с плоским телом накаливания, расположенным перпендикулярно главной оси эллипсоида.

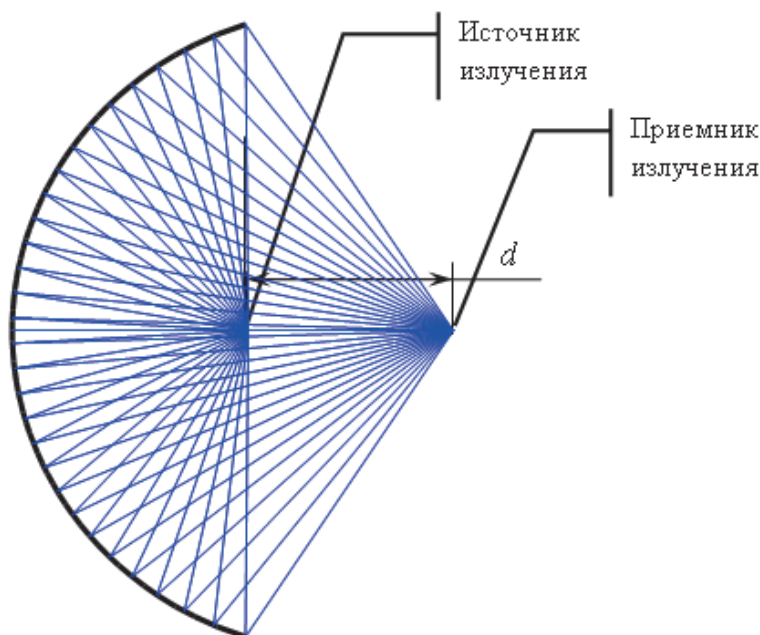


Рисунок 1 – Оптическая схема с эллиптическим отражателем

Моделирование проводилось для нескольких значений расстояния между фокусами эллипсоида d . При моделировании вычислялась мощность, падающая на приемную площадку диаметром 5 мм. По полученному результату рассчитывался средний поток тепла на площадку.

При расчете были приняты следующие допущения:

- КПД лампы равен 50%;
- коэффициент отражения зеркальной поверхности равен 100%;
- затенение приемника непрозрачными деталями крепежа лампы не учитывается.

Полученные численные значения результатов моделирования приведены в таблице 1. В виде графической зависимости результаты моделирования показаны на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты моделирования оптической системы с эллиптическим отражателем без смещения приемника

| Расстояние d (мм) | 50 | 100 | 150 | 200 |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| Поток E (МВт/м ²) | 1,91 | 2,04 | 1,96 | 1,79 |

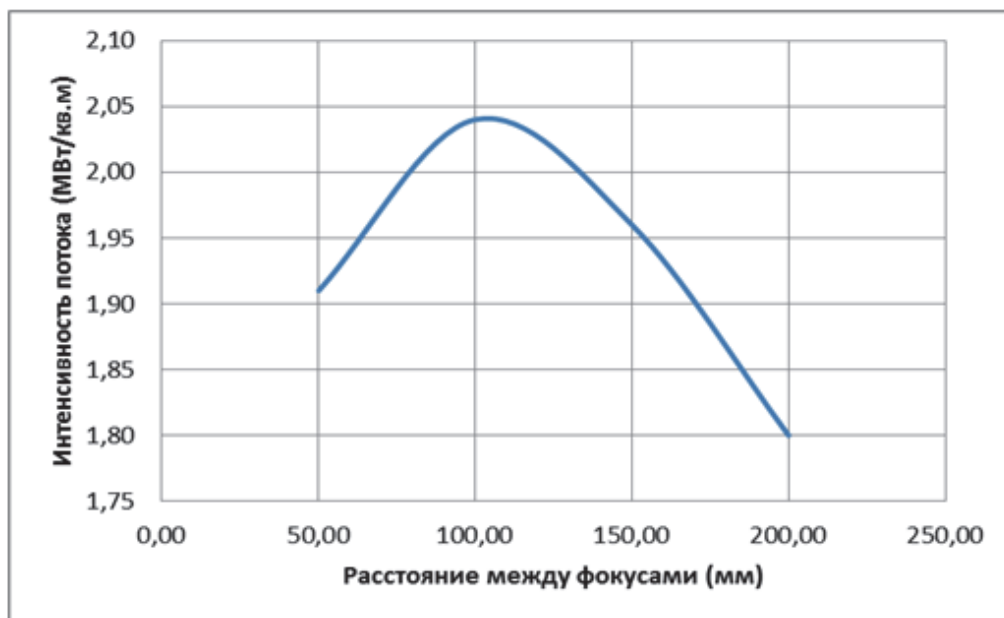


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности теплового потока на приемную площадку датчика, расположенного во втором фокусе эллипсоида, от расстояния между фокусами

Однако высокая интенсивность потока получается при точном расположении датчика в фокусе эллипсоида. При смещении датчика из точки фокусировки интенсивность теплового потока падает. Результаты моделирования изменения интенсивности при смещении приемника перпендикулярно оптической оси приведены в таблице 2. В виде графических зависимостей результаты моделирования показаны на рисунке 3.

Таблица 2 – Результаты моделирования оптической системы с эллиптическим отражателем с приемником, смещенным перпендикулярно оптической оси на величину dY

| Смещение приемника dY (мм) | Расстояние d (мм) | | | |
|------------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | $d=50$ | $d=100$ | $d=150$ | $d=200$ |
| Смещение dY | Поток E (МВт/м ²) | | | |
| 0 | 1,91 | 2,04 | 1,96 | 1,8 |
| 1 | 1,89 | 2,01 | 1,92 | 1,75 |
| 2 | 1,81 | 1,86 | 1,75 | 1,6 |
| 3 | 1,7 | 1,68 | 1,55 | 1,38 |
| 4 | 1,58 | 1,51 | 1,36 | 1,2 |

| Смещение приемника dY(мм) | Расстояние d (мм) | | | |
|---------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| | d=50 | d=100 | d=150 | d=200 |
| Смещение dY | Поток E (МВт/м ²) | | | |
| 5 | 1,48 | 1,35 | 1,2 | 1,05 |
| 6 | 1,34 | 1,21 | 1,07 | 0,94 |
| 7 | 1,21 | 1,08 | 0,96 | 0,84 |
| 8 | 1,03 | 0,94 | 0,84 | 0,75 |
| 9 | 0,79 | 0,76 | 0,72 | 0,67 |
| 10 | 0,52 | 0,58 | 0,6 | 0,57 |

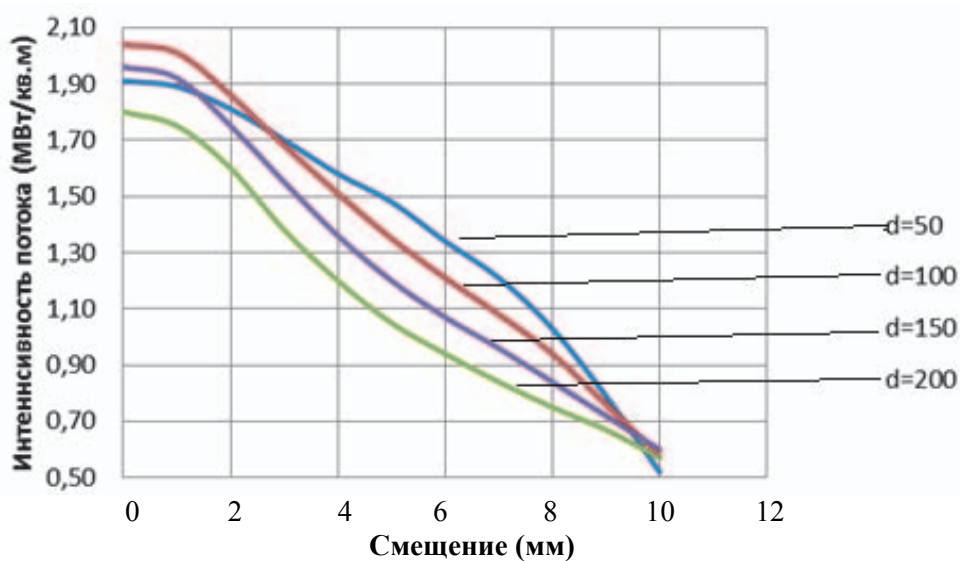


Рисунок 3 – Зависимость интенсивности теплового потока на приемную площадку датчика от смещения датчика перпендикулярно оптической оси

Интенсивность теплового потока на приемной площадке датчика также падает и при смещении датчика вдоль оптической оси. Численные результаты моделирования такого случая представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты моделирования оптической системы с эллиптическим отражателем с приемником, смещенным вдоль оптической оси на величину dZ

| Смещение приемника dZ (мм) | Расстояние d (мм) | | | |
|------------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | $d=50$ | $d=100$ | $d=150$ | $d=200$ |
| dZ (мм) | Поток E (МВт/м ²) | | | |
| -5 | 0,7 | 0,7 | 0,68 | 0,68 |
| -4 | 0,8 | 0,81 | 0,8 | 0,78 |
| -3 | 0,94 | 0,96 | 0,93 | 0,93 |
| -2 | 1,12 | 1,15 | 1,17 | 1,17 |
| -1 | 1,39 | 1,52 | 1,65 | 1,62 |
| 0 | 1,91 | 2,04 | 1,96 | 1,8 |
| 1 | 1,38 | 1,53 | 1,65 | 1,61 |
| 2 | 1,09 | 1,13 | 1,14 | 1,13 |
| 3 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,89 |
| 4 | 0,78 | 0,76 | 0,77 | 0,75 |
| 5 | 0,68 | 0,66 | 0,66 | 0,64 |

В виде графических зависимостей результаты моделирования такого случая представлены на рисунке 4.

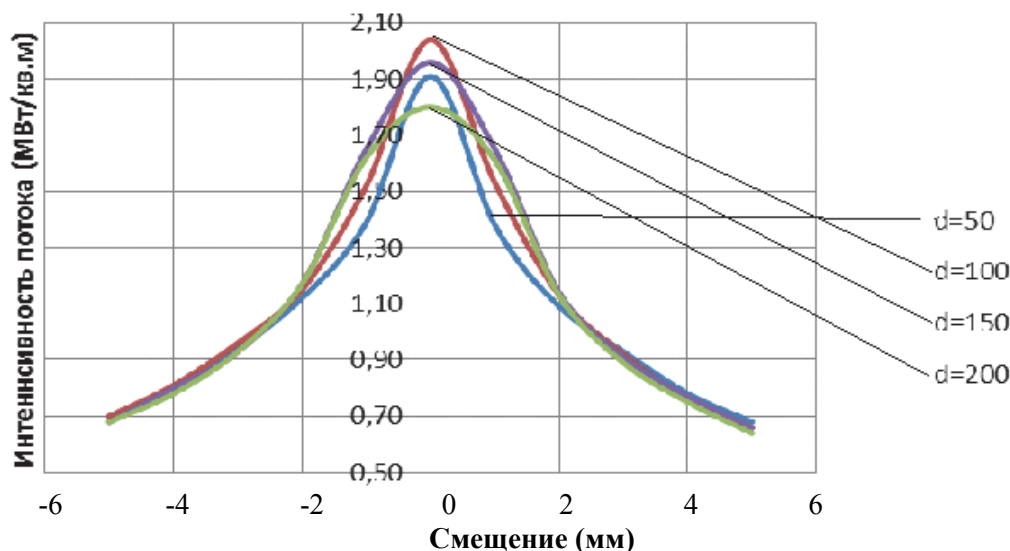


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности теплового потока на приемную площадку датчика от смещения датчика вдоль оптической оси

Методика градуировки датчика теплового потока в градуировочной установке с эллиптическим отражателем заключается в следующем.

Создается некоторый интенсивный тепловой поток. Производится изме-

рение значения его плотности в единицах $\text{кВт}/\text{м}^2$ с помощью эталонного датчика теплового потока. Затем измеренный тепловой поток подается на градуируемый датчик теплового потока и фиксируется величина сигнала датчика. Далее, сопоставляя сигнал датчика уже известному числовому значению плотности падающего теплового потока, определяется его коэффициент преобразования. Таким образом, при разных значениях плотности производится калибровка калибруемого датчика.

При этом должна быть обеспечена коррелируемость с существующими эталонами РФ. Применительно к предлагаемой схеме градуировки ДТП эталонном является рабочий эталон (РЭ) ФГУП ВНИИФТРИ «Фотон-1», воспроизводящий единицу плотности теплового потока в диапазоне от $1\text{кВт}/\text{м}^2$ до $1000\text{кВт}/\text{м}^2$. Погрешность воспроизведения $2,9\%$. Других эталонов на этот диапазон в РФ не существует. Также возможно применение эталонного приемника типа Гардона, с его дальнейшей поверкой на РЭ «Фотон-1» в диапазоне $1\dots 200\text{кВт}/\text{м}^2$, с погрешностью $4,0\%$. Изготовление приемника на диапазон $200\dots 1000\text{кВт}/\text{м}^2$, как средства передачи единицы, пока не является освоенным.

Отдельно стоящей задачей является измерение тепловых потоков плотностью до $2000\text{кВт}/\text{м}^2$ с помощью приемника, верхняя граница диапазона измерений которого в десять раз меньше необходимой плотности, составляющей только $200\text{кВт}/\text{м}^2$.

Ее можно решить путем создания и использования десятикратного делителя плотности теплового потока. Конструктивно такой делитель представляет собой вращающийся диск, диаметром 800 мм , изготовленный из медного листа толщиной 5 мм , с секторными прорезями, образованными радиусами диска. При этом площади секторных прорезей и площади секторных лопастей должны соотноситься как $1/10$. Скорость вращения диска, определяющая время смены прорезей и лопастей, должна быть таковой, чтобы при заданной инерционности тепловых приемников это время не сказывалось на результатах измерений. При изготовлении такого секторного делителя точно выдержать соотношение $1/10$ не удастся. Определить получившееся соотношение в изготовленном делителе можно будет с применением микроскопа УИМ-1 с погрешностью $0,5\%$ и затем использовать полученное соотношение при измерениях.

Использование образцового приемника теплового потока и делителя позволяет достигнуть суммарной погрешности измерения плотности тепловых потоков в диапазоне до $2000\text{кВт}/\text{м}^2$, не превышающей 5% .

Моделирование оптической системы, состоящей из двух параболических отражателей

Оптическая схема градуировочной установки, состоящей из двух параболических зеркал, приведена на рисунке 5.

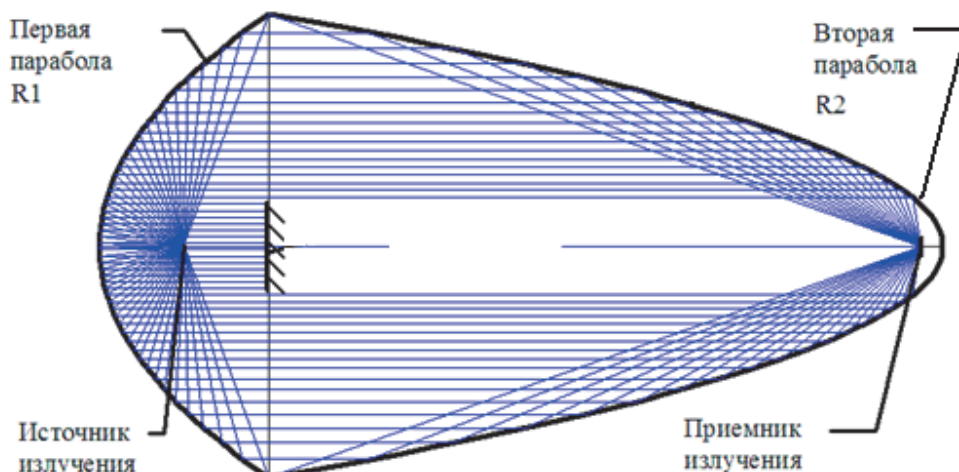


Рисунок 5 – Оптическая система с двумя параболическими отражателями

Используются два параболоида с разным радиусом кривизны R_1 и R_2 . Первый параболоид создает квазипараллельный пучок лучей от источника излучения. Второй параболоид собирает параллельные лучи в точку на чувствительной поверхности приемника. Вторая парабола имеет меньший радиус кривизны, чтобы сконцентрировать поток лучей на приемной площадке датчика.

$$\text{Масштабный коэффициент } K = \frac{R_2}{R_1}.$$

Радиус кривизны первой параболы R_1 , радиус кривизны второй параболы $R_2 = K \cdot R_1$.

Первая парабола по координате Z имеет размер двух фокусов.

Тогда [9] фокус первой параболы находится на расстоянии $\frac{R_1}{2}$ от вершины, радиус апертуры при этом равен R_1 , на двух фокусах радиус апертуры равен $\sqrt{2}R_1$. При этом апертурный угол составит

$$180 - \arctg\left(\frac{\sqrt{2}R_1}{R_1/2}\right) = 180 - \arctg(2\sqrt{2}) = 180 - 70.53 = 109.47.$$

К первой параболе вплотную пристыкована вторая парабола с радиусом кривизны $R_2 = K \cdot R_1$. Апертуры парабол в точке стыковки совпадают. Протяженность второй параболы Z_2 составит

$$Z_2 = \frac{(\sqrt{2}R_1)^2}{2 \cdot K \cdot R_1} = \frac{R_1}{K}. \quad (1)$$

Приемная площадка детектора принимает лучи только с передней стороны, поэтому вторая парабола обрезана по плоскости приемной площадки (обрат-

ные лучи от вершины второй параболы все равно потеряны). Чтобы не потерять эту энергию, на стыке парабол ставится зеркало с полудиаметром равным R_2 . Лучи, отражаясь от зеркала, возвращаются в фокус первой параболы к источнику света и, если источник света прозрачный, продолжают свой путь в противоположном направлении.

Для моделирования были выбраны следующие параметры параболоидов.

Первая парабола: радиус кривизны вершины $R_1 = 200$ мм, протяженность параболы 200 мм, выходная апертура 566 мм.

Вторая парабола: радиус кривизны вершины $R_2 = 50$ мм, протяженность параболы со срезанной вершиной 775 мм, входная апертура 566 мм, выходная апертура 100 мм.

При этом оптическая система, изображенная на рисунке 5, имеет в центральной части зону, не занятую траекториями лучей. В эту зону можно поместить дополнительный источник света с небольшим эллиптическим отражателем и дополнительно увеличить тепловой поток на датчик, как показано на рисунке 6.

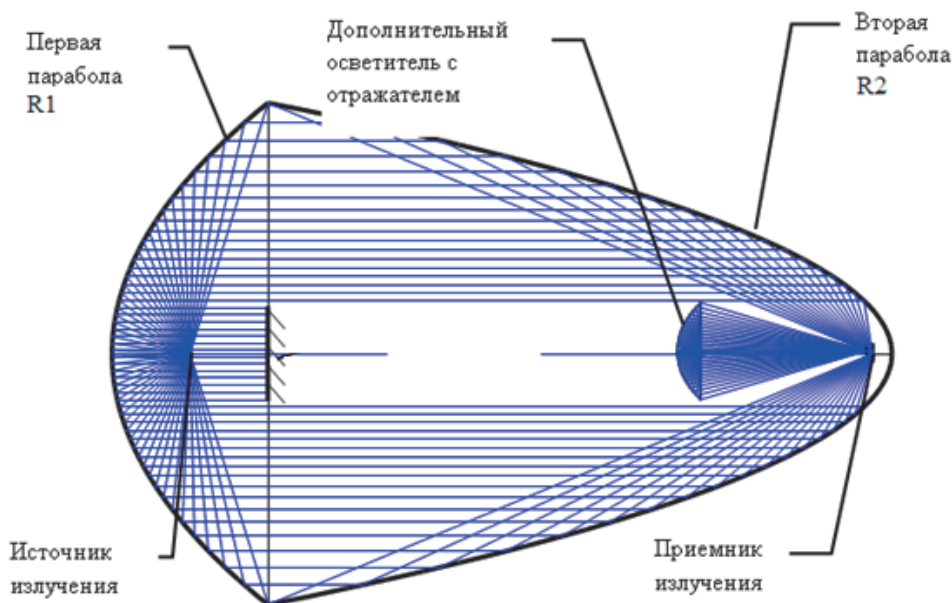


Рисунок 6 – Оптическая система с двумя параболическими отражателями и дополнительным источником света

Как и в случае с эллипсоидом при моделировании вычислялась мощность, падающая на приемную площадку датчика диаметром 5 мм. По полученному результату рассчитывался средний тепловой поток на площадку. При расчете были приняты следующие допущения:

- КПД лампы равен 50%;
- коэффициент отражения зеркальной поверхности равен 100%;
- затенение приемника непрозрачными деталями крепежа лампы не учи-

тывалось.

Далее приведены результаты моделирования изменения теплового потока E_1 – для двух параболоидов, E_2 – для системы с дополнительным источником излучения с эллиптическим отражателем.

Результаты моделирования при смещении приемника перпендикулярно оптической оси приведены в таблице 4. В виде графических зависимостей результаты моделирования показаны на рисунке 7.

Таблица 4 – Результаты моделирования оптической системы с двумя параболическими отражателями с приемником, смещенным перпендикулярно оптической оси на величину dY

| dY (мм) | E_1 (МВт/м ²) | E_2 (МВт/м ²) | E_1+E_2 (МВт/м ²) |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 0 | 1.85 | 0.26 | 2.11 |
| 1 | 1.76 | 0.25 | 2.02 |
| 2 | 1.61 | 0.23 | 1.84 |
| 3 | 1.41 | 0.21 | 1.62 |
| 4 | 1.25 | 0.19 | 1.43 |
| 5 | 1.04 | 0.17 | 1.20 |
| 6 | 0.87 | 0.16 | 1.02 |
| 7 | 0.73 | 0.15 | 0.88 |
| 8 | 0.60 | 0.14 | 0.74 |
| 9 | 0.50 | 0.13 | 0.63 |
| 10 | 0.43 | 0.12 | 0.55 |

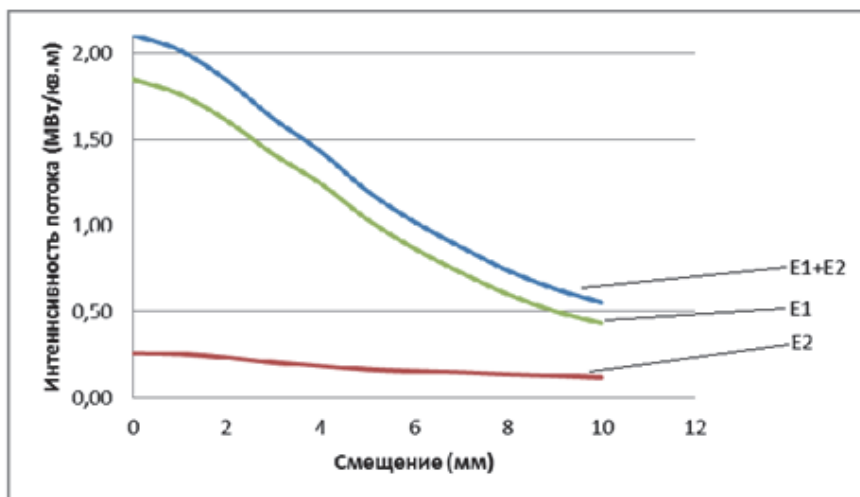


Рисунок 7 – Зависимость интенсивности теплового потока на приемную площадку датчика от смещения датчика поперек оптической оси для схемы с двумя параболическими отражателями

Результаты моделирования изменения теплового потока при смещении приемника вдоль оптической оси приведены в таблице 5. В виде графических зависимостей результаты моделирования показаны на рисунке 8.

Таблица 5 – Результаты моделирования оптической системы с двумя параболическими отражателями с приемником, смещенным вдоль оптической оси на величину dZ

| dZ (мм) | E_1 (МВт/м ²) | E_2 (МВт/м ²) | E_1+E_2 (МВт/м ²) |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| -5 | 0.94 | 0.28 | 1.21 |
| -4 | 1.18 | 0.27 | 1.45 |
| -3 | 1.37 | 0.27 | 1.64 |
| -2 | 1.55 | 0.26 | 1.82 |
| -1 | 1.71 | 0.26 | 1.97 |
| 0 | 1.85 | 0.26 | 2.11 |
| 1 | 1.85 | 0.25 | 2.10 |
| 2 | 1.78 | 0.24 | 2.02 |
| 3 | 1.57 | 0.23 | 1.80 |
| 4 | 1.23 | 0.22 | 1.45 |
| 5 | 0.90 | 0.21 | 1.10 |

Как видно из вышеприведенных характеристик, оптическая система с двумя параболическими отражателями по сравнению с системой с эллиптическим отражателем, является более требовательной к соблюдению геометрических размеров как самой системы, так и соблюдения единоразмерности чувствительных элементов датчика, что может ограничивать ее применение в практических целях для градуировки датчиков.

Для сравнения рассмотрим оптическую систему с прямым освещением датчика без оптической фокусировки.

Бесконечная излучающая поверхность создает равномерный тепловой поток. Интенсивность такого потока не зависит от расстояния до поверхности и равна плотности излучения энергии с единицы поверхности. Для выполнения этого условия следует приблизить приемную поверхность датчика к поверхности тела накала дополнительного осветителя на расстояние много меньшее, чем размер тела накала. Тело накала рассматриваемой галогеновой лампы составляет 19×20 мм², размер датчика равен 5 мм.

Чтобы выполнить требуемое условие следует приближать датчик к телу накала дополнительного осветителя на доли миллиметра. Ясно, что реально выполнить такое условие не получится, поэтому тепловой поток на приемную площадку датчика будет зависеть от взаимного расположения датчика относительно тела накала лампы.

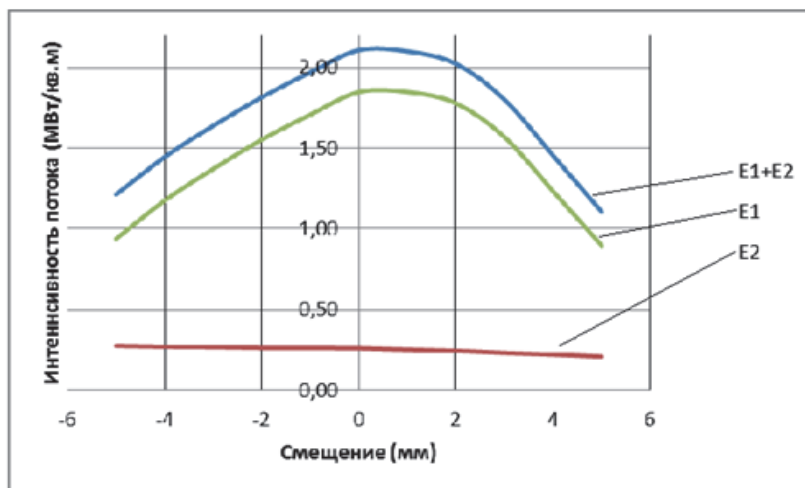


Рисунок 8 – Зависимость интенсивности теплового потока на приемную площадку датчика от смещения датчика вдоль оптической оси для схемы с двумя параболическими отражателями

С помощью математического моделирования оценим зависимость потока от смещения датчика относительно дополнительного осветителя. Примем исходное расстояние между телом накала и приемной поверхностью датчика равным 5 мм.

На рисунке 9 представлена графическая зависимость результатов моделирования теплового потока на приемную площадку датчика при смещении датчика перпендикулярно оптической оси.

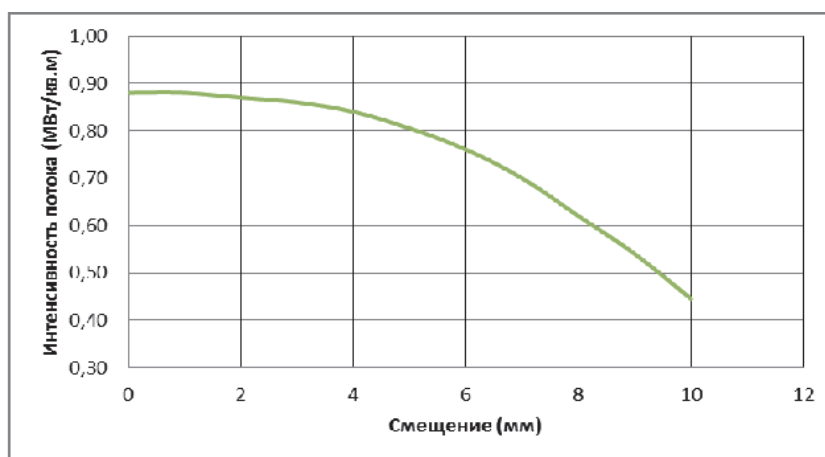


Рисунок 9 – Зависимость теплового потока на приемную площадку датчика от смещения датчика поперек оптической оси в оптической системе без фокусировки

На рисунке 10 представлена графическая зависимость результатов моде-

лирования теплового потока на приемную площадку датчика без фокусировки при смещении датчика вдоль оптической оси.

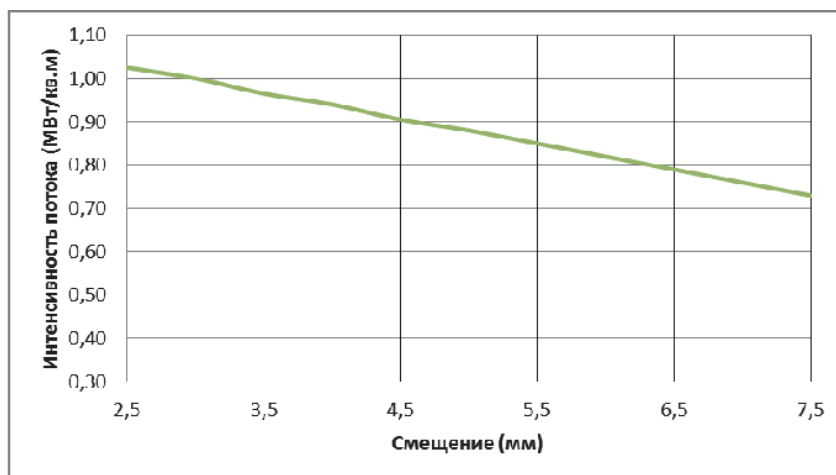


Рисунок 10 – Зависимость теплового потока на приемную площадку датчика от смещения датчика вдоль оптической оси в оптической системе без фокусировки

Выводы

1. Предложена методика и установка для градуировки датчиков теплового потока в диапазоне до 2000 кВт/м^2 на основе двухфокусного эллиптического отражателя, позволяющая обеспечить погрешность задания образцовых тепловых потоков не более 5%.

2. Исследованы и оценены погрешности задания образцовых тепловых потоков на основе оптической системы двухфокусного эллиптического отражателя и оптической системы из двух параболических отражателей в зависимости от оптических отклонений места установки датчика при смещении его параллельно и перпендикулярно оптической оси. Последняя из них является более требовательной к соблюдению геометрических размеров как самой системы, так и геометрической единоразмерности чувствительных элементов датчика, что может ограничивать ее применение в практических целях для градуировки.

3. Предложен способ измерений повышенных значений образцовых тепловых потоков при использовании существующих образцовых приемников тепловых потоков меньшей мощности и делителя тепловых потоков в градуировочной установке с оптической системой на основе двухфокусного эллиптического отражателя.

Литература

1. Информационно-управляющие и измерительные системы 2018. Материалы XI отраслевой научно-технической конференции приборостроительных органи-

- заций ГК «РОСКОСМОС»: посвящается 30-летию полёта многоразовой транспортной космической системы «Энергия – Буран». 2018. 133 с.
2. Мороз А.П. Метод оперативного определения факта возникновения и места взрыва на борту самолета // Информационно-технологический вестник. 2018. № 1(15). С. 33-38.
 3. Мороз А.П. Повышение эффективности телеметрирования быстроменяющихся параметров при натуральных испытаниях летательных аппаратов. Монография. Королев, 2012. 224 с.
 4. Ракетная телеметрия: монография / А.П. Мороз. М.: Издательство «Научный консультант», 2021. 478 с.
 5. Мороз А.П. Основы теории ракетной телеметрии: учебное пособие: [16+] / А.П. Мороз; Технологический университет. Москва: Директ-Медиа, 2022. 469 с.: ил., табл. [Электронный ресурс]. Режим доступа: по подписке: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=685422> (дата обращения: 14.02.2022). Библиогр. в кн. ISBN 978-5-4499-2978-5. Текст: электронный.
 6. Черепанов В.Я. Методы и средства определения метрологических характеристик контактных преобразователей теплового потока // Измерительная техника. 2004. № 8. С. 17-21.
 7. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света. М.: Энергоатомиздат, 1983. 384 с.
 8. Tsai B.K., Gibson C.E. NIST Measurement Services: Heat Flux Sensor Calibration Nat. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 250-65. 37 p. 2004.
 9. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Аналитическая геометрия. М.: Физматлит, 2002. 240 с.

УДК 621.791.011

Получение новых материалов в Дальневосточном регионе

Виктор Михайлович Макиенко, доктор технических наук,
Александр Валерьевич Атеняев, кандидат технических наук,
Дмитрий Геннадьевич Перваков, кандидат технических наук,
Сергей Валерьевич Шадрин, соискатель,
ФГБОУ ВО ДВГУПС «Дальневосточный государственный университет
путей сообщения», г. Хабаровск

Данная работа направлена на создание новых материалов, обеспечивающих требуемые механические и эксплуатационные свойства, а также качество формируемых покрытий. В работе приведены результаты исследований по разработке электродов, порошковых проволоки и флюсов для износостойкой наплавки деталей машин и механизмов. Разработана методика получения материалов. Проведены теоретические расчеты и экспериментальные исследования, по результатам которых были получены сварочно-наплавочные материалы, обеспечивающие требуемые свойства и качество формируемых покрытий. Механические и эксплуатационные свойства обеспечиваются за счет восстановления легирующих элементов и образования в наплавленном слое карбидов хрома (Cr_7C_3), железа (Fe_3C) и других веществ.

Минеральное сырье; шлаковая система; сварочно-наплавочные материалы; твердость; износостойкость; элементный состав; термодинамический расчет; металлургические процессы; легирующие элементы; карбиды.

Manufacturing new materials in the Far East Russia

Viktor Mikhailovich Makiyenko, Doctor of Science (Technology),
Alexander Valeryevich Atenyaev, Candidate of Science (Technology),
Dmitry Gennadievich Pervakov, Candidate of Science (Technology),
Sergei Valerevich Shadrin, postgraduate student,
Educational Institution for Higher Education «Far Eastern State Transport University»,
Khabarovsk

This work is aimed at the producing new materials that ensure specified mechanical and operational properties of the coatings formed as well as their quality level. The paper presents the results of research into the development of electrodes, flux cored wire and fluxes for wear-resistant weld overlay for the parts of machines and mechanisms. The methodology for manufacturing such materials has been developed. The authors have accomplished theoretical calculations and conducted experimental research to obtain hard-facing welding materials, ensuring the required properties and quality of the coatings formed. Mechanical and operational properties are maintained through the reduction of alloying elements and the formation of chrome carbide (Cr_7C_3), iron carbide (Fe_3C) and other substances in the deposited weld layer.

Mineral raw materials; slag system; hard-facing welding materials; hardness; wear resistance; elemental composition; thermodynamic calculation; metallurgical processes; alloying elements; carbides.

Введение

В современных санкционных реалиях рыночной экономики у промышленных компаний все больше замечена необходимость в разработке материалов, отвечающих заданным свойствам. В настоящее время для производства электродов, порошковых проволок, флюсов и иных материалов используют сырье высокой стоимости в виде оксидов всевозможных металлов, фтористых и хлористых соединений, а также других веществ, в состав которых не входит кислород. Одной из методик сокращения себестоимости сварочных материалов считается внедрение минерального сырья в облик отходов производства, не подвергающегося полноценной технологической обработки.

В регионах Дальнего Востока Российской Федерации добывается большое по номенклатуре количество полезных ископаемых (минерального сырья), и, как следствие, возникают в большом количестве отходы горнорудного производства, в состав которых входят химические элементы (цирконий, бор, марганец, вольфрам и другие элементы), которые используются для изготовления всевозможных материалов. Это сырье многокомпонентное, поэтому требуется поиск новых современных методов и технологий производства сварочных материалов, учитывающих как экономические нюансы, так и экологические аспекты.

Методика исследований

За базовую основу создания сварочных материалов на пласте минерального сырья Дальневосточного региона был принят способ, согласно которого весь цикл, начиная от выбора минерального сырья, до получения материала включает следующие этапы [1]:

- выбор компонентов шлаковой основы;
- подготовка компонентов шихты;
- изучение состава и структуры минерального сырья;
- тестирование и анализ вероятных термодинамических процессов в шлаковой основе;
- расчет основности и активности шлака;
- изготовление шлаковой основы;
- производство сварочного материала;
- исследование структуры, состава и свойств наплавленного металла;
- опытно-сравнительные проверки и испытания.

Выбор состава шихты реализован на подборе составляющих Дальневосточного минерального сырья по содержанию известного химического вещества, имеющего подобные свойства. При этом взамен известных химических веществ (именуемых «эталоном»), рекомендованных нормативной документацией, подбираются отдельно для каждого элемента шихты – газообразующие, раскисляющие, стабилизирующие и другие вещества.

Для подготовки компонентов применялась стандартизированная методика, включающая размол, дробление и обогащение минерального сырья [2].

При проведении анализов структуры, состава минерального сырья и концентратов применялись стандартные методики и аттестованное специализиро-

ванное оборудование (металлографический комплекс МПМ 3 ФЦ, спектроскан «МАКС GV», электронный микроскоп «VEGA 3 LMH», спектрометр оптико-эмиссионный FOUNDRY-MASTER модель Smart).

Анализ возможных термодинамических процессов в шлаковой основе производился на базе термодинамических расчетов по энергии Гиббса, применяя уравнение [3]:

$$\Delta G_{x.p.}^0 = \Delta H_{x.p.}^0 - T\Delta S_{x.p.}^0 - \Delta C_{px.p.}^0 M_0 T \quad (1)$$

Расчет основности шлака выполнялся по формуле [4]:

$$B = \frac{CaO + MgO + BaO + Na_2O + K_2O + Li_2O + CaF_2 + 0,5(MnO + FeO)}{SiO_2 + 0,5(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)} \quad (2)$$

Химическая активность шлака проводилась по формуле [4]:

$$A_{\Phi} = \frac{(SiO_2) + 0,5(TiO_2) + 0,4(Al_2O_3 + ZrO_2) + 0,42B^2(MnO)}{100B} \quad (3)$$

Разработка шлаковых систем, а также получение на их базе сварочных материалов выполнялись с использованием экспериментальных исследований с помощью построения математических моделей диаграмм влияния параметров электродугового процесса и легирующих элементов на технологические параметры и уровень качества формируемых покрытий [5].

Производство сварочных материалов (электродов, порошковых проволок, флюсов) осуществлялось с использованием стандартного оборудования (пресс ПЭ-6, волочильный стан НИИМ-ПП 4/350 и др.).

Испытания полученных опытных образцов выполнялись на аттестованном оборудовании (твердомер «ТН-300», разрывная машина «Р-100», маятниковый копер «2010 КМ-30», машина трения «ИИ-5018») с использованием стандартизированных методик.

Обсуждение результатов

Для создания шлаковой основы сварочно-наплавочных материалов были выбраны составляющие, приведенные в таблицах 1-4. В качестве прототипов использовались стандартные электроды, порошковые проволоки и флюсы.

Таблица 1 – Шлакообразующие компоненты

| Компонент | Концентрат | Химический состав, масс. % | Место нахождения |
|--|-------------|--|------------------|
| CaF ₂ | Флюорит | 92-CaF ₂ ; 2,5-SiO ₂ ; 2,5-CaO; 0,2-SO ₃ ; | Приморский край |
| SiO ₂ ; Al ₂ O ₃ | Гранодиорит | 63-SiO ₂ ; 16-Al ₂ O ₃ ; 5,49-Fe ₂ O ₃ ; 5,1-CaO; 4,28-K ₂ O; 3,3-Na ₂ O; | Хабаровский край |
| SiO ₂ ; Al ₂ O ₃ ; Fe ₂ O ₃ | Туф | 49,89-SiO ₂ ; 19,74-Al ₂ O ₃ ; 1,8-TiO ₂ ; 11,82-Fe ₂ O ₃ ; 7,03-CaO; 2,79-MgO | Хабаровский край |

Флюорит (CaF₂) снижает температуру плавления, что придает расплавленному шлаку требуемую вязкость и уменьшает содержание водорода в сварном шве. Гранодиорит, содержащий 63% оксида кремния (SiO₂), обеспечивает рафинирование и защиту расплавленного металла от окружающей среды. Первоочередная функция мрамора (CaCO₃) при электродуговом процессе – обеспечение газовой защиты сварочной ванны за счет выделенных газов, образующих защитную оболочку. Титаномагнетит содержит 22,57% ильменита (FeTiO₃), который является шлакообразующей и легирующей частью шлаковой основы флю-

сов. Условная блокировка металла от окружающей среды обеспечивается шлаковой пленкой, препятствующей протеканию окислительных процессов. Кроме того титан, который содержится в ильмените, является легирующей добавкой и содействует устойчивости горения дуги. Шеелит, содержащий 59,5% оксида вольфрама (WO_3), необходимо добавлять в шлаковую ванну в качестве легирующей добавки с целью улучшения механических свойств металла. Основными компонентами браунита являются оксид марганца (MnO) – 21,55% и оксид кремния (SiO_2) – 25,45%. Марганец и кремний, содержащиеся в минерале, раскисляют металл и позволяют восстанавливать элементы из образовавшихся в сварочной ванне оксидов, способствуя повышению качества и свойств формируемых покрытий. Помимо этого при создании сварочных материалов, обеспечивающих улучшенные механические и эксплуатационные свойства, применялось и другое минеральное сырье Дальневосточного региона (циркониевый концентрат, молибденит, датолит, алунит), содержащее легирующие элементы в виде оксидов циркония, молибдена, бора, алюминия [6, 7, 8].

В целях определения оксидного состава дальневосточного сырья проводились металлографические исследования. Например, общий вид и фазовый состав титаномагнетита приводятся на рисунках 1 и 2.

В результате исследований фазового состава установлено (рис. 2), что главными компонентами титаномагнетита являются ильменит ($FeTiO_3$), оксид кремния (SiO_2) и железа (Fe_2O_3).

Таблица 2 – Стабилизирующий компонент

| Компонент | Отходы горного производства | Химический состав, масс. % | Место нахождения |
|-----------|-----------------------------|---|------------------|
| $FeTiO_3$ | Титаномагнетит | 18,27- SiO_2 ; 22,57 – $FeTiO_3$; 1,41 – Al_2O_3 ; 13,97 – Fe_2O_3 ; 0,94 – MnO ; 1,81 – CaO | Приморский край |

Таблица 3 – Газообразующие компоненты

| Компонент | Концентрат | Химический состав, масс. % | Место нахождения |
|------------------------|------------|--|------------------|
| $CaCO_3$; $MgCO_3$ | Доломит | 58,1- $CaCO_3$; 37,4 $MgCO_3$; 0,45- SiO_2 ; 0,81- Al_2O_3 ; 0,32- Fe_2O_3 ; 0,01- SO_3 ; 0,01- P_2O_5 | Приморский край |
| $CaCO_3$ | Известняк | 77,67- CaO ; 7,89- MgO ; 5,19- SiO_2 ; 0,81- Al_2O_3 ; 0,54- Fe_2O_3 ; 0,05- SO_3 ; 0,04- P_2O_5 | Амурская область |
| $CaCO_3$ | Мрамор | 98- $CaCO_3$; 0,15- SiO_2 ; 0,63- MgO ; 0,07- Fe_2O_3 ; 0,02 SO_3 ; 0,03 P_2O_5 | Хабаровский край |

Таблица 4 – Легирующие компоненты

| Компонент | Концентрат | Химический состав, масс. % | Место нахождения |
|-------------------------------|------------|---|------------------------------|
| MnO | Браунит | 21,55-MnO; 25,45-SiO ₂ ; 0,5-TiO ₂ ; 5,62-Al ₂ O ₃ ; 9,02-FeO; 15,47-CaCO ₃ ; 4,34-MgO; 0,85-K ₂ O; 0,05-SO ₃ ; 0,06-P ₂ O ₅ | Еврейская автономная область |
| TiO ₂ | Ильменит | 14,3-SiO ₂ ; 11,24-TiO ₂ ; 37,52-Fe ₂ O ₃ ; 4,12-Al ₂ O ₃ ; 0,78-MnO; 6,57-MgO; 6,55-CaO; 0,06-SO ₃ ; 4,4- P ₂ O ₅ | Приморский край |
| ZrO ₂ | Бадделеит | 46,6-SiO ₂ ; 48,3 ZrO ₂ ; 2,1-WO ₃ ; 0,08-SO ₃ ; 0,06 -P ₂ O ₅ | Амурская область |
| WO ₃ | Шеелит | 2,9-SiO ₂ ; 26,8-CaO; 59,5-WO ₃ ; ,8-Fe ₂ O ₃ ; 1,6-MgO; 0,2-SO ₃ ; 0,31-P ₂ O ₅ | Приморский край |
| B ₂ O ₃ | Датолит | 37-SiO ₂ ; 37-CaO; 17,4-B ₂ O ₃ ; 2,1-Fe ₂ O ₃ ; 0,3-MgO; 0,08-SO ₃ ; 0,06-P ₂ O ₅ | Приморский край |

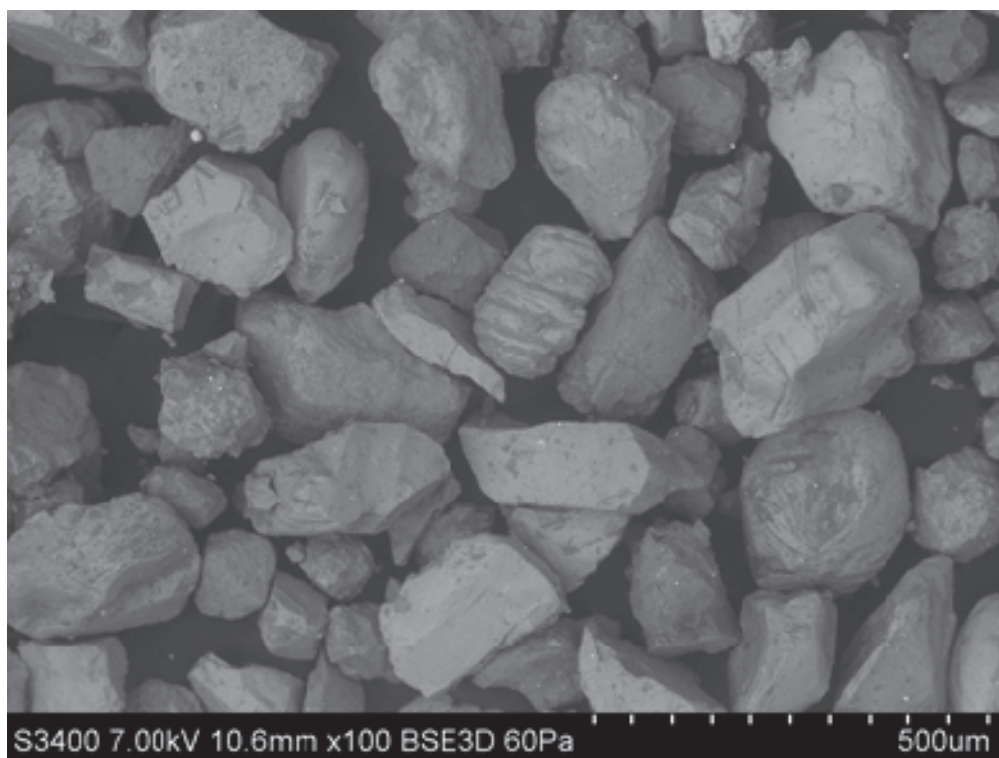


Рисунок 1 – Общий вид титаномагнетита при увеличении x100

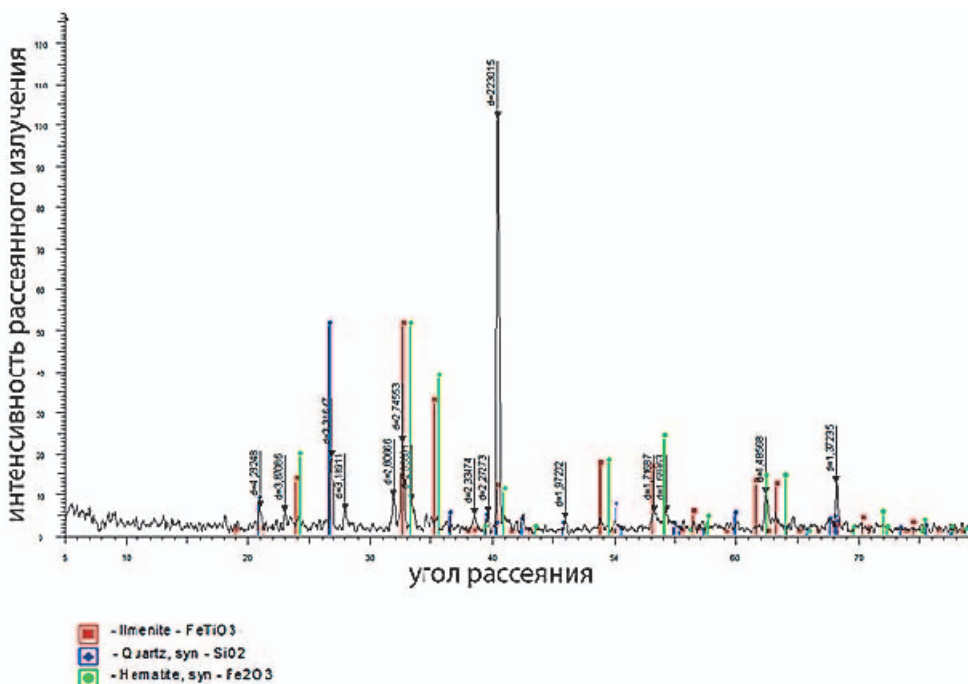
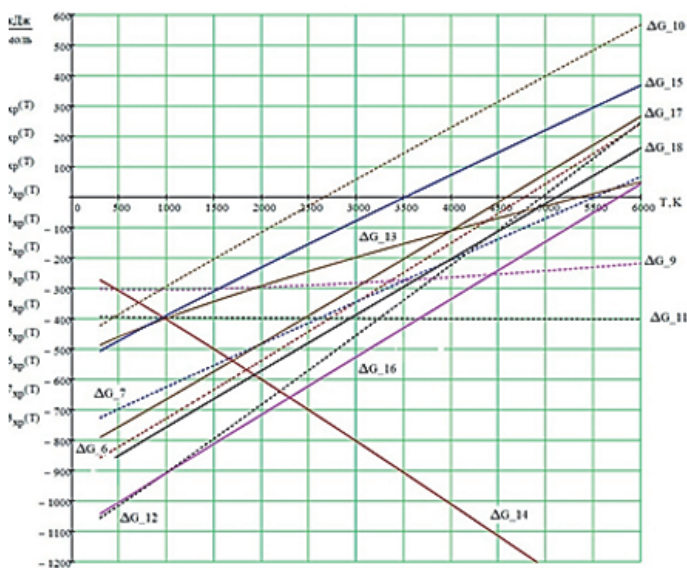


Рисунок 2 – Фазовые линии титаномагнетита

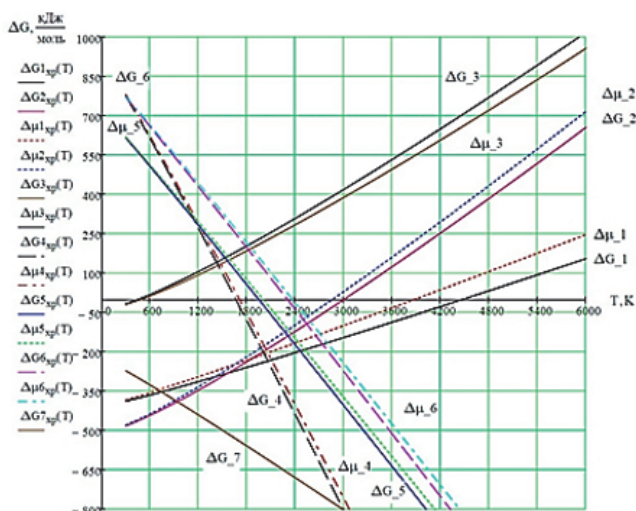


6. $\text{Si} + \text{O}_2 = \text{SiO}_2$
7. $2\text{Mn} + \text{O}_2 = 2\text{MnO}$
9. $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$
10. $2\text{Ni} + \text{O}_2 = 2\text{NiO}$
11. $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$
12. $4/3\text{Al} + \text{O}_2 = 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$
13. $2\text{Fe} + \text{O}_2 = 2\text{FeO}$
14. $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$
15. $2/3\text{W} + \text{O}_2 = 2/3\text{WO}_3$
16. $\text{Zr} + \text{O} = \text{ZrO}_2$
17. $4/3\text{B} + \text{O}_2 = 2/3\text{B}_2\text{O}_3$
18. $\text{Ti} + \text{O}_2 = \text{TiO}_2$

Рисунок 3 – Химическое средство элементов шлаковой системы к кислороду

Термодинамическое определение потенциальных реакций в исследуемой шлаковой системе позволит судить о возможных химических реакциях, а также провести предварительную оценку влияния окислительной среды на элементы

анализируемой системы. Результаты расчета для некоторых элементов приведены на рисунках 3 и 4.



1. $2/3B_2O_3+Al=B+Al_2O_3$
2. $3TiO_2+4Al=$
 $=3Ti+2Al_2O_3$
3. $ZrO_2+4Al=$
 $=3Zr+2Al_2O_3$
4. $B_2O_3+3C=2B+3CO$
5. $TiO_2+2C =Ti+2CO$
6. $1/2ZrO_2+2C=$
 $=1/2Zr+2CO$
7. $2C+O_2=2CO$

Рисунок 4 – Изменение свободной энергии Гиббса ($\Delta G_{x,p}^0$) и химического потенциала ($\Delta\mu_{x,p}$) от температуры для оксидов бора, титана и циркония при взаимодействии с углеродом и алюминием

По результатам анализа реакций сделаны следующие выводы:

– химическое сродство к кислороду (без учета мольных долей элементов) располагается в порядке уменьшения в следующий ряд: (Zr>Al>C>Ti>Si>B>Mn>W>Fe>Ni);

– определение энергии Гиббса показало, что если не рассматривать химическое взаимодействие между окислами, то механизм разложения большинства оксидов (без учета мольных долей) будет происходить при температуре от 2500 до 4500 К;

– итоги термодинамических расчетов позволили прийти к выводу, что разработанная шлаковая система способствует восстановлению циркония, титана, бора и других легирующих элементов.

На следующем этапе выполнялся предварительный расчет составляющих шлаковой основы, а также определение основности и химической активности шлака.

В дальнейшем для получения оптимального по эффективности состава компонентов шихты сварочных материалов проводились опытно-экспериментальные исследования, по результатам которых были получены математические зависимости и диаграммы влияния состава шихты на уровень качества и свойства формируемых покрытий.

При разработке электродов на базе шеелитового концентрата для сварки

и наплавки машиностроительных сталей с требуемыми механическими и эксплуатационными свойствами были получены математические зависимости (4), (5) и построены контурные кривые (рис. 5).

– для твердости

$$Y_{HB} = 455,54 - 8,3067x_1 - 31,6484x_2 - 0,1752x_1^2 + 0,33298x_2^2 + 1,251x_1x_2 - 0,001x_1^3 + 0,002774x_1^2x_2 - 0,01476x_1x_2^2 + 0,001294x_2^3 \quad (4)$$

– для износостойкости

$$Y_{ИЗН} = 3,6222 - 0,04446x_1 - 0,2366x_2 - 0,001585x_1^2 + 0,002347x_2^2 + 0,006248x_1x_2 + 0,00002667x_1^3 - 0,00005497x_1^2x_2 - 0,00001279x_1x_2^2 - 0,00001125x_2^3 \quad (5)$$

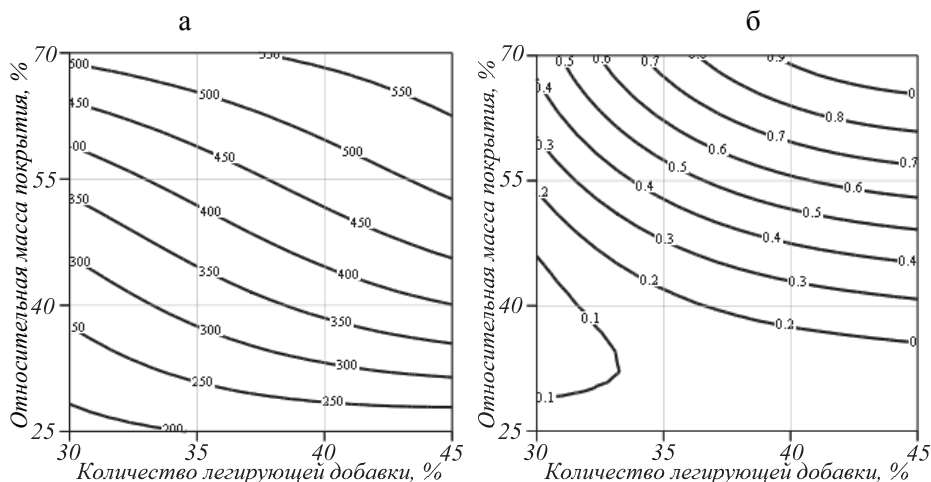


Рисунок 5 – Контурные кривые поверхностей откликов: а – твердости наплавленного металла, HB; б – износостойкости наплавленного металла относительно инструментальной стали P18

По контурным кривым (рис. 5) был определен состав электродного покрытия (33% легирующей добавки при относительной массе покрытия 43%) и проведена опытная наплавка. Также установлено, что технологические свойства вновь разработанных электродов не отличаются от стандартных. Изучены химический состав, структура и механические свойства наплавленного металла (табл. 5, рис. 6).

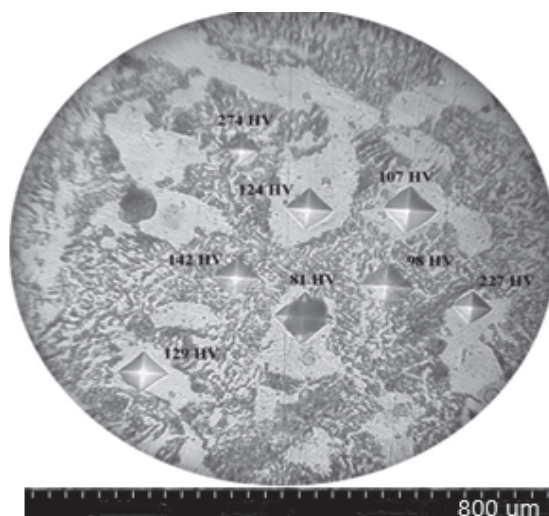
Таблица 5 – Химический состав и механические свойства сплава

| Химический состав, масс.% | | | | | | Предел прочности σ_b , МПа | Ударная вязкость КСУ, Дж/см ² | Твердость, НВ |
|---------------------------|-------|-------|------|------|------|-----------------------------------|--|---------------|
| C | Si | Mn | W | S | P | | | |
| 0,3-0,35 | 0,536 | 0,765 | 3,39 | 0,02 | 0,03 | 588-640 | 56-58 | 321 |

Из таблицы 5 видно, что количество вольфрама перешедшего из шлаковой ванны составляет 3,39 %. Микроструктура сплава (рис. 6) представляет собой смесь легированного феррита с $H_u = 107-227$ НВ и перлита с $H_u = 98-274$ НВ.

Экспериментальные исследования по разработке электродов продемонстрировали, что шеелитовый концентрат может быть использован в качестве легирующей добавки шихты покрытий электродов, с помощью которых можно наплавлять слои с содержанием вольфрама 2-7 масс.%, твердостью 200-580 НВ и износостойкостью относительно стали Р18 – 0,123-0,993. При этом в качестве сердечника электрода применяется низкоуглеродистая сварочная проволока Св-08А, а покрытие фактически полностью состоит из минерального сырья Дальневосточного региона, которое не требует какой-либо предварительной технологической переработки.

При разработке порошковых проволок было использовано дальневосточное минеральное сырье (гранодиорит, флюорит, мрамор, бадделеит, титаномагнетит, датолит) и стандартные ферросплавы (ферромарганец, ферросилиций). После предварительного расчета состава шихты были проведены опытно-экспериментальные исследования, получены математические зависимости (6), (7), (8) и построена совмещенная диаграмма (рис. 7), позволяющая определить рациональный состав шихты в зависимости от заданных свойств наплавленного металла.

Рисунок 6 – Микроструктура наплавленного металла при увеличении $\times 800$

– для определения твердости:

$$y(\text{HB}) = 512x_1 + 294x_2 + 335x_3 - 64x_1x_2 - 2x_1x_3 - 14x_2x_3 + 106,6667x_1x_2(x_1 - x_2) + 130,6667x_1x_3(x_1 - x_3) - 8x_2x_3(x_2 - x_3) + 352x_1x_2(x_1 - x_2)^2 + 29,3x_1x_3(x_1 - x_3)^2 + 24x_2x_3(x_2 - x_3)^2 - 1368x_1^2x_2x_3 + 589,3x_1x_2^2x_3 + 544x_1x_2x_3^2 \quad (6)$$

– для определения коэффициента износостойкости:

$$y(Ki) = 4,7x_1 + 2,5x_2 + 3,1x_3 + 2,8x_1x_2 + 4x_1x_3 + 0,4x_2x_3 + 5,8x_1x_2(x_1 - x_2) + 5,8x_1x_3(x_1 - x_3) + 1,182334x_2x_3(x_2 - x_3) + 3,7x_1x_2(x_1 - x_2)^2 + 2,1x_1x_3(x_1 - x_3)^2 - 0,5x_2x_3(x_2 - x_3)^2 - 32,53x_1^2x_2x_3 - 1,06x_1x_2^2x_3 - 2,6x_1x_2x_3^2 \quad (7)$$

– для определения ударной вязкости:

$$y(KCU) = 11x_1 + 61x_2 + 45x_3 - 16x_1x_2 - 4x_1x_3 - 8x_2x_3 + 96x_1x_2(x_1 - x_2) + 53,3x_1x_3(x_1 - x_3) + 16x_2x_3(x_2 - x_3) + 32x_1x_2(x_1 - x_2)^2 - 16x_1x_3(x_1 - x_3)^2 + 21,3x_2x_3(x_2 - x_3)^2 - 170,667x_1^2x_2x_3 - 90,6667x_1x_2^2x_3 - 53,3x_1x_2x_3^2 \quad (8)$$

На следующем этапе по диаграмме (рис. 7) была выбрана структура шихты, обеспечивающая твердость формируемых покрытий в пределах 500 HB, был изготовлен опытный образец порошковой проволоки, выполнена наплавка и проведены исследования структуры, состава и свойств наплавленного слоя. Итоги проведённых исследований приведены в таблицах 6, 7 и на рисунке 8.

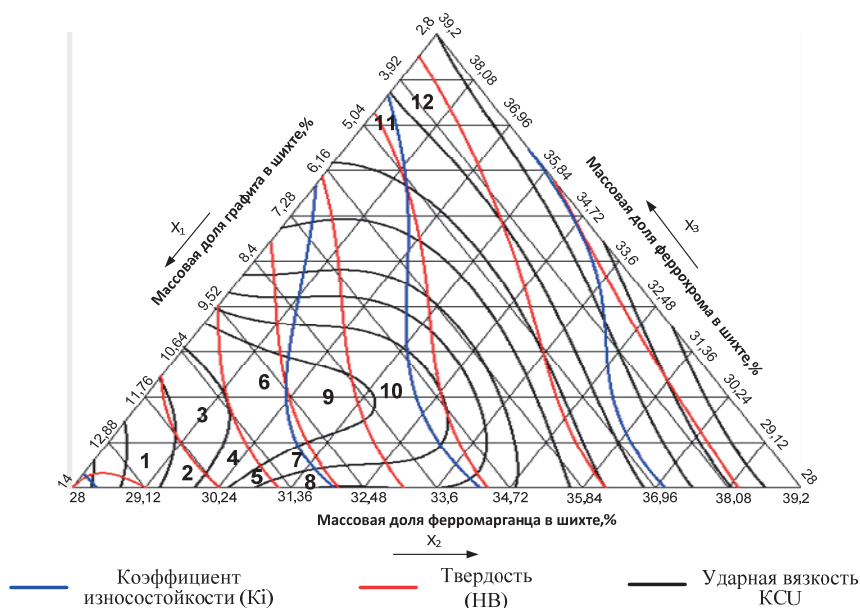


Рисунок 7 – Совмещенная диаграмма влияния соотношения массовых долей входных параметров на свойства наплавленного металла

Таблица 6 – Химический состав наплавленного металла с твердостью 500 НВ

| Fe | Si | P | S | Cr | Mn | Ni | Cu | Ti | C |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 95,41 | 0,051 | 0,014 | 0,075 | 1,323 | 1,514 | 0,048 | 0,121 | 0,024 | 1,42 |

По химическому составу наплавленный металл отвечает структуре заэвтектоидной стали. Содержание углерода 1,42%, хрома 1,323%, марганца 1,514%, что позволяет сделать вывод о возможности образования карбидов и закалочных структур.

Таблица 7 – Механические свойства наплавленного металла с твердостью 500 НВ

| | |
|---|-----|
| Твердость, НВ | 500 |
| Ударная вязкость, Дж/см ² (при температуре 20°С) | 30 |
| Коэффициент износостойкости относительно стали 20ФЛ, (Ки) | 5 |

При твердости 500 НВ наплавленный металл имеет ударную вязкость 30 Дж/см² и высокую износостойкость относительно стали 20ФЛ, что соответствует установленным техническим условиям.

Микроструктура (рис. 8) игольчатая, троостомартенситная с карбидными включениями. Трещины, поры и другие дефекты отсутствуют.

В результате исследований установлено, что разработанная порошковая проволока обеспечивает требуемые механические и эксплуатационные свойства. Кроме того, испытания опытных образцов проволоки подтвердили их высокие сварочно-технологические свойства.

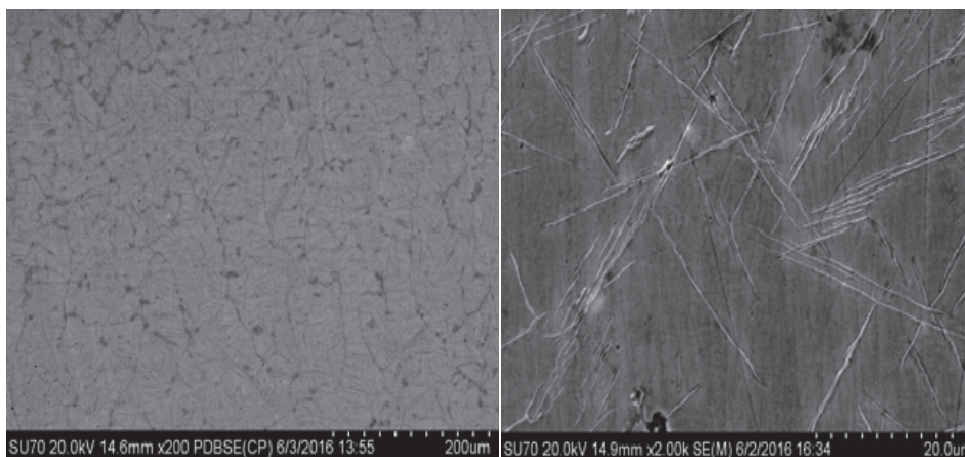


Рисунок 8 – Микроструктура наплавленного металла с твердостью 500НВ при увеличении: (а) x200, (б) x2000

Для разработки плавненно-керамических флюсов применялось минеральное сырье Дальневосточного региона и стандартные флюсы (АН348А, АН22). По результатам теоретических расчетов были получены математические уравнения (9), (10), и построена совмещенная диаграмма (рис. 9).

– для определения твердости (HRC):

$$y(\text{HRC}) = 46,9x_1 + 25,8x_2 + 29,9x_3 + 27,8x_1x_2 + 22,4x_1x_3 + 31,8x_2x_3 - 163,46x_1x_2(x_1 - x_2) + 1062,93x_1x_3(x_1 - x_3) - 1354,93x_2x_3(x_2 - x_3) + 30,13x_1x_2(x_1 - x_2)^2 - 45,33x_1x_3(x_1 - x_3)^2 + 19,46x_2x_3(x_2 - x_3)^2 - 12x_1^2x_2x_3 - 29,86x_1x_2^2x_3 - 47,2x_1x_2x_3^2; \quad (9)$$

– для определения коэффициента износостойкости (Ki):

$$y(\text{Ki}) = 9,91x_1 + 3,062x_2 + 3,54x_3 - 7,66x_1x_2 + 19,62x_1x_3 + 13,35x_2x_3 + 65,29x_1x_2(x_1 - x_2) - 26,17x_1x_3(x_1 - x_3) + 276,81x_2x_3(x_2 - x_3) + 8,36x_1x_2(x_1 - x_2)^2 - 7,2x_1x_3(x_1 - x_3)^2 - 7,55x_2x_3(x_2 - x_3)^2 + 21,72x_1^2x_2x_3 + 27,23x_1x_2^2x_3 - 16,05x_2x_3^2 \quad (10)$$

По рисунку 9 был выбран оптимальный состав компонентов флюса в зависимости от необходимых свойств наплавленного слоя, выполнена опытная наплавка и проведены металлографические исследования. Результаты исследований элементного состава, твердости, ударной вязкости и коэффициента износостойкости наплавленного металла приведены в таблице 8 и на рисунке 10.

По химическому составу наплавленный металл с использованием разработанного флюса соответствует заэвтектоидной стали, легированной хромом, марганцем, вольфрамом и другими элементами. Высокое содержание легирующих элементов говорит о возможном образовании закалочных структур, карбидов, легированного цементита и других веществ в наплавленном слое.

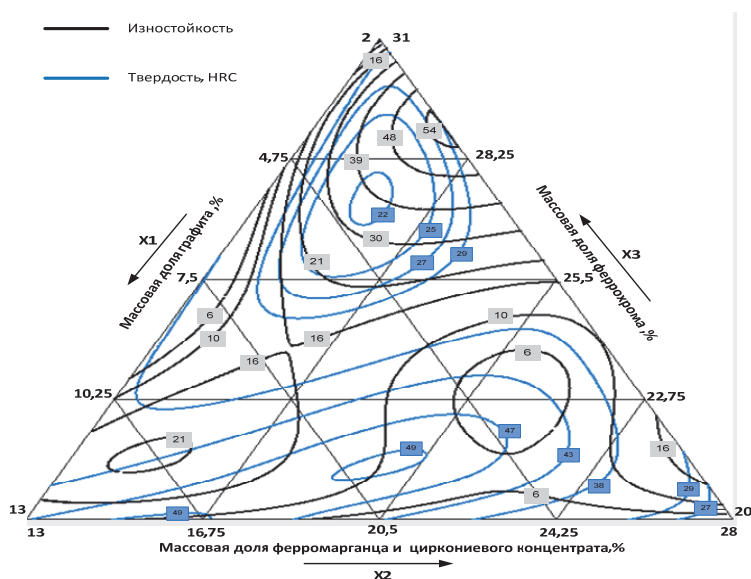


Рисунок 9 – Совмещенная диаграмма влияния соотношения элементов шлаковой основы на критерии работоспособности (HRC, Ki)

Таблица 8 – Элементный состав металла, наплавленного опытным флюсом

| Опытный флюс | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Концентрация элементов, % | | | | | | | | |
| C | Al | Si | Ni | Ti | Cr | Mn | Zr | W |
| 1,4- 1,7 | 0,894 | 2,129 | 1,282 | 0,251 | 9,374 | 8,326 | 0,390 | 0,087 |

Таблица 9 – Механические свойства металла, наплавленного с использованием опытного флюса

| | |
|---|-----|
| Твердость, HRC | 47 |
| Коэффициент износостойкости относительно стали 20, (Ki) | 8,5 |
| Ударная вязкость KCU, Дж/см ² (при температуре 20°C) | 39 |

Наплавленный металл имеет высокие значения механические и эксплуатационных свойств, что отвечает требованиям технических условий эксплуатации железнодорожного подвижного состава. Высокая твердость наплавленного слоя обусловлена образованием карбидов и легированного цементита, что подтверждено металлографическими исследованиями.

Структура слоя наплавленного флюсом состоит из трёх фаз. Одна из фаз формирует округлые области (зерна), выстроенные в направлении роста дендритов, структура которой состоит из аустенита, имеющего микротвердость 250-300 HV. Другая фаза соответствует механической смеси, которая состоит из легированного цементита и аустенита (400-450 HV). В межзеренном пространстве расположена карбидная фаза (легированный цементит, 550-620 HV). По результатам исследования можно сделать вывод о том, что микроструктура слоя наплавленного флюсом экспериментальным флюсом состоит из аустенита, эвтектоида и карбидной фазы. Исследования фазового состава наплавленного слоя подтверждают возможность образования карбида железа Fe₃C и карбида хрома Cr₇C₃ (рис. 11).

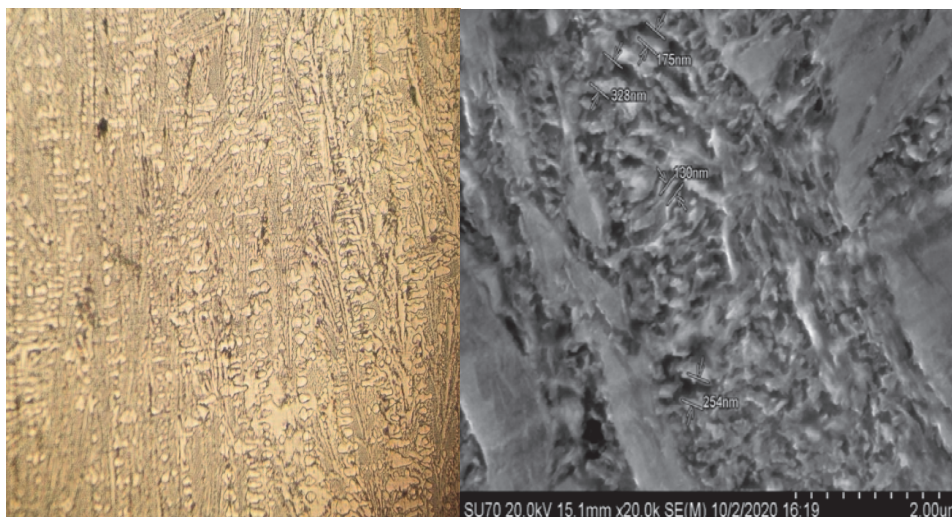


Рисунок 10 – Микроструктура наплавленного слоя

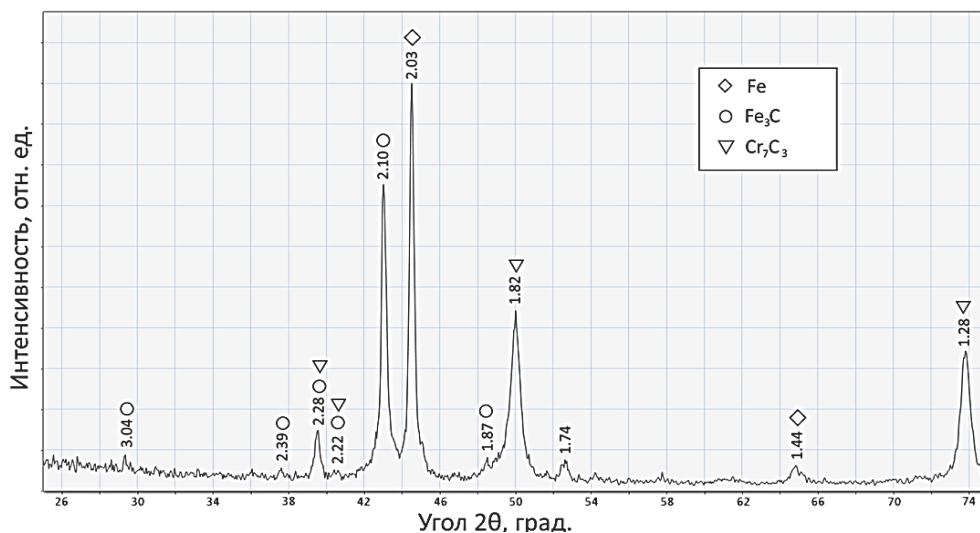


Рисунок 11 – Дифрактограмма наплавленного слоя

Выводы

Исследованиями установлено, что дальневосточное минеральное сырье содержит все необходимые компоненты, обеспечивающие сварочно-технологические свойства и качество формируемых покрытий. В настоящее время разработаны и запатентованы ряд электродов, порошковых проволок и флюсов на основе Дальневосточного минерального сырья.

Литература

1. Макиенко В.М. Совершенствование процессов создания шлаковых систем и получение сварочных материалов с использованием минерального сырья Дальневосточного региона. Дис. на соиск. учен. степ. доктора техн. наук [Текст] / В.М. Макиенко – Барнаул. 2011.
2. Строителев Д.В. Разработка порошковых проволок карбонатно-флюоритного типа на основе шихты из минерального сырья Дальневосточного региона. Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук [Текст] / Д.В. Строителев – Якутск. 2008.
3. Якушин Б.Ф. Расчеты металлургических процессов при сварке и наплавке. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. С. 54.
4. Конищев Б.П. Сварочные материалы для дуговой сварки: справочное пособие: в 2-х т. М.: Машиностроение, 1989. Т.1. С. 544.
5. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М.: Наука, 1976. С. 390.
6. Лукьянчук А.В. Разработка и создание покрытий сварочно-наплавочных электродов на основе вольфрамсодержащего минерального сырья. Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук [Текст] / А.В. Лукьянчук – Комсомольск-на-Амуре. 2006.

7. Соколов П.В. Разработка материала на основе концентратов и отходов горнорудного производства для получения порошковых проволок. Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук [Текст] / П.В. Соколов – Комсомольск-на-Амуре. 2016.
8. Макиенко В.М., Соколов П.В., Лукьянчук А.В., Атеняев А.В. Разработка сварочно-наплавочных флюсов на основе минерального сырья ДВ региона // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. № 15. (178). С. 442-448.
9. Атеняев А.В. Разработка шлаковой основы легирующих флюсов с использованием минерального сырья Дальневосточного региона. Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук [Текст] / А.В. Атеняев – Комсомольск-на-Амуре. 2021.

УДК 620.192

Механизм разрушения рабочих поверхностей при структурных преобразованиях и трещинообразовании при трении

Игорь Эдуардович Пашковский, доктор технических наук,
профессор кафедры «Техника и технология»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,
лётчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

В статье приведены результаты аналитических исследований повреждения микроструктуры сталей при насыщении диффузионно-активным водородом. Рассмотрен механизм разрушения поверхностного слоя деталей технологического оборудования.

Повреждение микроструктуры, водородное охрупчивание, разрушение, диффузионно-активный водород.

The mechanism of destruction of working surfaces during structural transformations and cracking during friction

Igor Eduardovich Pashkovsky, Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Engineering and Technology,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

The article presents the results of analytical studies of damage to the microstructure of steels when saturated with diffusion-active hydrogen. The mechanism of destruction of the surface layer of technological equipment parts is considered.

Microstructure damage, hydrogen embrittlement, destruction, diffusion-active hydrogen.

Процесс фрикционного разрушения поверхностей деталей невозможно рассмотреть без учета образования дефектов структуры и их развития при эксплуатации.

Практически все рабочие поверхности деталей технологического оборудования и машин в процессе эксплуатации находятся под действием контактных нагрузок, которые, воздействуя на поверхностные слои, способствуют развитию образованных на этапе изготовления микро- и макротрещин, а также развитию новых

дефектов структуры. В поверхностном слое существуют продольные и поперечные трещины, способные аккумулировать диффузионно-активный водород. Эти трещины являются нарушениями продольных и поперечных атомных связей структуры материала деталей.

Конфигурация трещины, которая может иметь практически любую форму, аппроксимируемую геометрическими поверхностями 2-го порядка, не имеет существенного значения с точки зрения водородного изнашивания, так как для диффузионно-активного водорода важен только объем, который он может занять. Поэтому для объяснения сущности трещинообразования под действием контактных нагрузок надо принимать во внимание как деформацию поперечной, так и продольной связи, приводящих к разрыву межатомных связей.

Рассматривая условия, при которых разрываются поперечные и продольные межатомные связи можно сделать следующие выводы. При данной температуре материала и амплитуде вынужденных колебаний атомов меньше амплитуды их тепловых колебаний, происходит разрыв поперечных и продольных межатомных связей. Эти связи разрываются в каждой из трещин не одновременно. В зависимости от сечения, в котором расположены взаимодействующие атомы, происходит разрыв или поперечных, или продольных межатомных связей. При этом продольные связи разрываются все у большего числа трещин по мере удаления от источника деформации. Когда размеры трещин приближаются к критическим, они могут объединяться.

Если при данной температуре материала амплитуда вынужденных колебаний атомов будет больше амплитуды их тепловых колебаний, то происходит преимущественно разрыв продольных межатомных связей, а разрыв поперечных связей начинается у трещин большего размера.

При деформации в результате разрыва поперечных межатомных связей по границам трещин происходит сдвиг их поверхности на величину межатомного расстояния δ , при этом возникают дислокации. Они перемещаются по материалу вдоль образца до тех пор, пока вместе с трещинами не займут элементарную площадь поперечного сечения образца. От этого сечения $m-m$ и происходит первоначальный сдвиг материала на величину δ , (рис. 1). Положение данного сечения можно определить как место, в котором площадь проекций всех выше-расположенных поперечных трещин, являющихся источником дислокаций, вплоть до опасного сечения, окажется равной площади поперечного сечения, не занятой расположенными в ней трещинами.

Анализ механизма разрыва поперечных межатомных связей на поверхности поперечных трещин при действии растягивающих напряжений позволяет прогнозировать направление, в котором должны перемещаться возникающие дислокации.

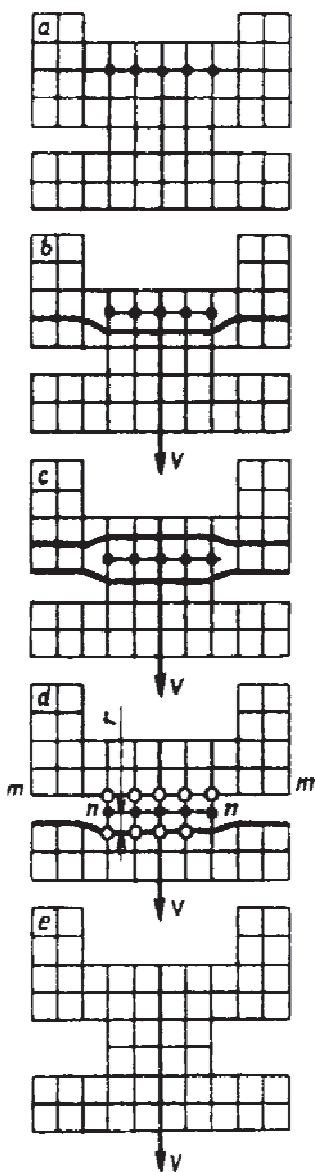


Рисунок 1 – Перемещение дислокации

Очевидно, что они будут перемещаться в сторону отрицательного градиента сил межатомного взаимодействия. А так как источником возмущающих колебаний при деформации образца, приводящих к разрыву поперечных межатомных связей на поверхностях поперечных трещин, является перемещающееся концевое сечение, то отрицательный градиент сил межатомного взаимодействия на поверхности поперечной трещины в момент возникновения дислокации направлен в сторону деформации образца. В дальнейшем направление этого градиента будет сохраняться на дислокации, указывая направление ее перемещения. При возникновении дислокаций поверхности поперечных трещин перемещаются на расстояние δ , увеличивая продольные размеры трещин. Постепенно поперечные трещины превращаются в продольные. Продольные размеры таких трещин увеличиваются в направлении деформации образца. Сами же трещины пересекают расположенные на пути их перемещения поперечные сечения образца. Встретятся сечения, в которых эти трещины сольются с расположенными в них трещинами. Поперечные размеры образовавшихся трещин станут больше, и опасное сечение образца переместится в сечение, где возникнут большие по размеру трещины. Теперь уже дислокации, возникшие от поверхностей этих трещин, вызовут сдвиг образца в другом сечении сдвига, расположенном на меньшем расстоянии от нового опасного сечения. И так будет повторяться многократно до тех пор, пока опасное сечение не совпадает с сечением сдвига, полностью перекрыв его трещиной: при этом часть образца отрывается.

Процесс последовательных сдвигов материала на величину межатомного расстояния представляет собой дислокационный механизм пластической деформации, который сопровождается разрушением материала и энергетически выгоден. Переход от одного равновесного положения атомов к другому, например, от положения, изображенного на рисунке 1.а, к изображенному на рисунке 1.е, должен был бы проходить через сильную упругую деформацию, для чего потребовалось бы напряжение порядка величины модуля сдвига G . В действительности же пределы упругости реальных тел обычно в 10^2 - 10^4 раз меньше модулей сдвига и для осуществления сдвига не требуется

больших усилий. Это объясняется тем, что скольжение осуществляется за счет передвижения дислокаций в кристаллах, связанного с незначительной перестройкой решетки, затрагивающей атомы только вблизи одной линии.

Таким образом, происходит периодическое перемещение поверхностей поперечных трещин на величину межатомного расстояния не только в кристаллических материалах. В результате таких перемещений возникают продольные трещины. По величине и протяженности трещины подразделяют на [3]: нано-, микро- и макроскопические (магистральные). Разрушение материалов проходит по одному и тому же механизму, связанному с разрывом межатомных связей. Наноскопические трещины образуются в результате разрыва продольных межатомных связей. Причем в первую очередь разрываются связи, которые оказались предварительно напряженными в процессе изготовления материала или наличия в структуре различных дефектов, включения и т.д. При разрыве продольных межатомных связей атомы на поверхности образовавшейся трещины при растяжении будут смещаться в сторону целого материала, предавая трещине чевицеобразную форму. Очевидно, что с увеличением размера трещин их форма при деформации растяжения становятся все более выпуклой. Это объясняется тем, что силы, действующие со стороны окружающих ее атомов на противоположные поверхности трещины, должны уравниваться атомными силами, действующими вдоль ее периметра. Но первые из этих сил изменяются примерно пропорционально квадрату диаметра трещины, а вторые – пропорционально диаметру в первой степени. Таким образом, перенапряжение межатомных связей у поперечных трещин большего размера облегчает их деформацию и разрыв при действии возмущающих колебаний. У твердых тел могут также возникать трещины иной формы. Специфичность в размерах и форме субмикроскопических трещин является следствием структурных и физико-механических особенностей материалов. Наиболее напряженными в кристаллических телах, т.е. требующими меньшей энергии для своего разрыва, будут межатомные связи на границах структурных элементов. Например, при затвердевании расплавленного металла образуется множество небольших беспорядочно ориентированных кристаллов. Вырастая за счет остывающего расплава, они приходят в соприкосновение друг с другом. Так как вероятность хорошего совпадения решеток соприкасающихся кристаллов очень мала, между ними после затвердевания остается поверхность или граница, в области которой происходит «приспособление» соседствующих решеток, которые образуют границы зерен, являющиеся теми областями, где могут возникать при нагрузке сильные перенапряжения. Разрыв межатомных связей, приводящий к зарождению и развитию трещин, может происходить не только при действии внешних силовых нагрузок, но и при структурообразовании, при возникновении термических напряжений и т.д.

По мере роста упругой и пластической деформации и соответствующего увеличения напряжения в материале будет происходить разрыв перенапряженных продольных межатомных связей на участках целого материала и образование новых субмикроскопических трещин, а также сокращение числа наиболее крупных трещин за счет их слияния при пластической деформации. При этом средний диаметр микротрещин будет уменьшаться, а количество их возрастать.

А так как число предварительно напряженных продольных межатомных связей ограничено, то при увеличении напряжения и соответственно аннигиляции таких связей скорость роста числа трещин должна уменьшаться, а их число асимптотически приближаться к некоторому предельному значению. Однако при осуществлении фрикционного контакта этого не происходит, так как развитию трещин способствует поступление диффузионно-активного водорода.

Из анализа взаимодействия материалов деталей машин, видно, что в зоне контакта рабочих поверхностей присутствует воздушная (с содержанием влаги) и смазочная среда. В результате трибодеструкции смазочного материала в зоне контакта образуется большое количество легких фракций, принадлежащих к газам: водород, кислород, метан и др. Деструктивные процессы протекают с разрывом цепи макромолекул, диссоциацией молекул на атомы, в результате чего в зоне фрикционного контакта образуется значительное количество диффузионно-активного водорода [5]. Кроме смазочного материала во фрикционном контакте участвуют также другие водородсодержащие материалы: пластмассы, резины, вода, водные растворы химических веществ. Многочисленными исследованиями, в том числе проведенными автором [3, 7] доказано, что присутствие этих материалов в зоне фрикционного контакта приводит к наводороживанию металла. Это обуславливает необходимость более подробного рассмотрения процессов взаимодействия водорода с металлами.

Изучению взаимодействия водорода с металлами, особенностям и закономерностям этих процессов посвящено значительное количество исследований, результаты которых обобщены в коллективной монографии учёных разных стран [3]. Теоретическому и экспериментальному рассмотрению вопросов влияния водорода на свойства сталей и закономерностям их изменения уделено также серьезное внимание российских учёных [1, 5, 7].

Для описания механизма водородного охрупчивания сталей было предложено большое количество теорий [3, 4, 7]. Обобщая результаты этих исследований можно сделать вывод о том, что водород группируется вокруг различного рода структурных несовершенств, создавая высокие давления и внутренние напряжения, приводящие к зарождению и росту микро-, а затем и макротрещин.

Важный шаг в теоретическом описании процесса был сделан А. Мак-Наббом и П. Фостером, получившими решение уравнения диффузии для различных условий захвата [7]. Их выражение для коэффициента диффузии D_{eff} , записанного через истинный коэффициент диффузии в идеальном материале D (при отсутствии ловушек), имеет вид:

$$D_{eff} = D \left(\frac{1 + Nk}{p} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где: k – параметр, характеризующий захват; p – параметр, характеризующий испускание; N – плотность несовершенств (ловушек).

Р. Ориани [3] исследовал механизм диффузии и захвата водорода в сталях при определенных условиях локального равновесия, и оценил соответствующие параметры захвата. Он установил, что ловушки на границах раздела играют более важную роль в процессе захвата водорода в сталях, чем ловушки на дислокациях и

предложил следующее выражение для эффективного коэффициента диффузии:

$$D_{eff} = D_{CL} [C_L + C_X (1 - \Theta_X)]^{-1}, \quad (2)$$

где: C_L – концентрация водорода в решетке; C_X – концентрация водорода, захваченного ловушками; Θ_X – доля ловушек, занятых водородом.

Ван-Эллебрук и др. [7] рассмотрели гипотезу, согласно которой в сталях поры, содержащие газовые фракции, в том числе, водород, возникают в результате термических или деформационных технологических процессов. По их предположению, водород захватывается малыми порами обратимым образом. Результаты их исследований по дегазации стальных образцов дали хорошее согласование с экспериментальными данными и позволили вычислить скорость испарения водорода из микропор. Замечено, что скорость поглощения водорода деформированным металлом увеличивается по сравнению с отожжённым.

Адсорбция водорода на пассивированной, например, окисленной, поверхности после восстановления или разрушения окислов протекает непосредственно на ювенильных поверхностях, на которых в силу поверхностной активности среды активизируются также источники дислокаций, при разрядке которых образуются ступеньки ювенильных поверхностей, служащих катализатором диссоциации молекул. Образовавшийся при этом ионизированный водород может проникать вглубь металла, как за счёт решеточной диффузии, так и взаимодействуя с дислокациями с образованием атмосфер Коттрелла. Кроме взаимодействия с дислокациями водород может скапливаться в коллекторах (структурных несовершенствах) и образовывать химические соединения с примесями [2].

Многочисленные экспериментальные и теоретические работы по диффузии, проницаемости и растворимости водорода в металлах [3, 4] показали, что, обладая высокими диффузионными характеристиками, водород может проникать на большие расстояния, диффундируя через кристаллическую решетку, атомы водорода могут выходить на поверхность коллекторов (ловушек), где происходит молизация, приводящая к возникновению высокого давления молекулярного водорода и способствующая развитию трещин. Здесь следует отметить, что зародыши трещин могут образовываться не только под действием водорода, но и при деформировании металла. При фрикционном нагружении металлов пластическую деформацию претерпевают тонкие приповерхностные слои. Известно, что деформация таких слоев при удельной нагрузке 1,5 МПа превышает 25%; для достижения деформации того же уровня для этого материала при статическом сжатии необходимо довести нагрузку до 600...700 МПа. Локализация пластической деформации в малых приповерхностных объемах, специфика нагружения при трении и наличие факторов барьерной роли поверхности (окисленные плёнки, различия параметров решетки и др.) приводят к формированию своеобразной дислокационной структуры с обилием заторможенных групп дефектов и повышенной их средней плотностью. Упругие поля этих скоплений тормозят движение вновь генерированных дислокаций, в результате чего в приповерхностных объемах реализуется критическое упругонапряжённое состояние, обуславливающее трещинообразование. Этому способствует также наличие на поверхно-

сти концентратов напряжений.

Вышесказанное даёт представление о механизме захвата водорода металлом и его охрупчивании. В реальных материалах наблюдается более сложная картина взаимодействия водорода с металлами и сплавами, объединяющая различные модели, например, диффузионную и адсорбционную, когда продиффундировавший водород хемосорбируется на границах зерен и других коллекторах, снижая тем самым поверхностную энергию. Аналогично можно говорить о связи дислокационной гипотезы с молекулярной и т.д. Сложность реально происходящих процессов обуславливается также тем, что захват водорода металлом может происходить на всех стадиях изготовления и эксплуатации деталей.

Водород может захватываться металлами и сплавами при выплавке [4]. Повышенное содержание водорода в стали при её выплавке может приводить к флокенам – внутренним надрывам, образующимся в результате высоких давлений, развиваемых водородом вследствие понижения растворимости; с присутствием водорода связывают повышенную чувствительность к образованию закалочных трещин. Такой водород называют биографическим (металлургическим).

Насыщение сталей водородом может происходить вследствие термообработки. В работе [6] отмечается, что для сталей с равновесно-неустойчивыми структурами проявляется склонность к повышению водородопоглощения по сравнению с равновесными структурами. Наибольшее охрупчивание наблюдается в закалённых сталях с мартенситной структурой [1].

Сильное наводороживание сталей происходит при цементации (за счёт влаги в карбюризаторе) и азотировании (за счёт диссоциации аммиака) [4].

Из всего многообразия технологических источников, вызывающих наводороживание сталей, наиболее распространенными являются процессы электрохимической и химической обработки и первое место среди них занимают процессы электроосаждения металлов, в частности кадмия, никеля и цинка, которые всегда сопровождаются побочным выделением водорода. При этом, в процессе эксплуатации может возникнуть водородная хрупкость. В.Н. Кудрявцевым [7] подробно рассмотрены основные особенности механизма и закономерности проникновения водорода в сталь при образовании покрытия. Сложность изучения наводороживания при электроосаждении металлов связана с тем, что одновременно с выделением водорода и сорбцией его сталью происходит изменение состояния поверхности катода, связанное с непрерывным формированием новой фазы: в начальный период это сталь, затем сталь, частично экранированная осадком, и, наконец, постоянно растущий осадок, структура которого с толщиной непрерывно меняется. Наиболее вероятные пути (источники) проникновения водорода в основу в ходе формирования электролитического осадка. Выделение металла при электролизе происходит не одновременно по всей поверхности, а сначала на отдельных, наиболее активных, ее участках. При блокировании этих участков осаждаемым покрытием, разряд водорода происходит уже непосредственно на самом покрытии. И в первом, и во втором случае водород диффундирует в стальную подложку. Реакции выделения водорода и разряда ионов металла всегда являются сопряженными и протекают одновременно. При этом растущий осадок захватывает разряжающийся одновременно с ним водород. При опреде-

ленных условиях количество водорода, поглощенного в покрытии, может значительно превышать количество водорода, абсорбируемого основой. В этом случае водород, поглощенный покрытием, может непосредственно в процессе электроосаждения переходить из осадка в основу и таким образом служить еще одним источником наводороживания. Последний источник наводороживания связан с генерацией атомарного водорода в результате катодного внедрения в электролитический осадок катионов щелочных металлов и разложения водой образовавшихся интерметаллидов.

Для удаления водорода и восстановления свойств стальных изделий их подвергают прогреву при 190-210 °С в течение 23 часов [3].

Во многих технологических процессах машиностроительного производства используется травление стальных изделий в кислотах и кислотных растворах, например, при очистке после термообработки. Это приводит к растворению железа на анодных участках и выделению водорода на катодных с одновременным его внедрением в сталь. Механическая обработка заготовок, особенно с применением смазочно-охлаждающих жидкостей, также приводит к значительному повышению содержания водорода в сталях [4]. Наводороживание конструкционных материалов может происходить и при осуществлении других технологических процессов; водород, захваченный при этом металлом, называют технологическим.

Анализируя процесс взаимодействия водорода со сталями необходимо учитывать [6], что в зоне трибоконтакта водород может существовать в трех формах: в виде ионизированного атома-протона H^+ , атомарного H и молекулярного H_2 водорода. Водород присутствует в различных соединениях, но выделяться из них он может в виде H^+ . Прежде всего это относится к молекулам поверхностно-активных веществ смазок и к воде, которые имеют $COOH$ - и OH - группы. Такие молекулы, образуя благодаря наличию водородных связей ассоциативные димеры, тримеры и т.д., характеризуются растягивающими силами, действующими на водородсодержащую полярную группу, т.е. способствующими отрыву H^+ . Вследствие этого вероятность ионизации возрастает на 35 и более порядков по сравнению с теми же индивидуальными молекулами, находящимися в газообразной среде. Протолитическому заряджению способствуют внешние воздействия – механические, тепловые, гидродинамические, электрополевые, которые в совокупности реализуются в узлах трения. Вторым фактором, способствующим выделению H^+ , является попадание аналогичной дипольной группы на границу раздела сред. Этот процесс также усиливается разными видами трения, при которых возникают до- и сверхпробойные напряженности поля, активно действующие как на исходно нейтральные электрически молекулы, так и на материал поверхности в целом.

Химические и физические несовершенства поверхности трения наиболее активны в отношении разрушения и изнашивания. Первые – посредством соединения с H , вторые – из-за того, что представляют исходную стадию для формирования микронарушений, в частности, образования микрорельефа. Выступы микрорельефа поверхности подвержены интенсивной адсорбции полярных групп, на них локализуются электрические поля. Это приводит к отделению про-

тона от молекул ПАВ, содержащих в дипольном фрагменте концевой Н. Идущее непосредственно на поверхности выделение энергии при цепном процессе способствует нивелированию. Так, в процессе приработки возникает микрорельеф, оптимальный с точки зрения эксплуатационных параметров.

Впадины микрорельефа и микротрещины наиболее уязвимы в отношении водородного изнашивания, поскольку являются своеобразными ловушками атомов водорода, в которых локализуется энергетическое воздействие. Кроме того, последующие при цепном превращении формы водорода имеют больший объем, чем исходные. Так, поперечный размер Н составляет $0,7 \times 10^{-10}$ м, у молекулы H_2 он будет $2,7 \times 10^{-10}$ м. Вследствие этого в микрополости наряду с тепловым действует механическое разжимающее усилие, способствующее разрушению.

В процессе трения микротрещина испытывает чередующиеся во времени сжатия и расширения, т.е. она работает как своеобразный насос с турбулизацией микроколичеств жидкости, приводящей к электризации, вплоть до образования здесь H^+ и всей цепи превращений с максимумом энергетического выхода. В полости химические превращения Н приводят к тепловому и механическому разрушению.

Направленное перемещение атома или протона водорода в сталь может определяться электрическим полем, градиентом концентрации протонов, температурным полем, напряжённым состоянием решетки и изменениями химического и структурного состояния стали. Эти факторы влияют на диффузию водорода в стали.

Таким образом подтверждается гипотеза о том, что водород должен перераспределяться в кристаллической решетке под влиянием напряжений [5]. При растягивающих напряжениях водородная проницаемость сталей монотонно увеличивается, а при сжатии уменьшается.

Литература

1. Арчаков Ю.И. Современные проблемы защиты металлов от водородной коррозии // Физико-химическая механика материалов. 1986. Т. 22. № 3. С. 15-20.
2. Бичуя А.Л. Разрушение металлов под действием водородсодержащих сред // Физико-химическая механика материалов. 1982. Т. 18. № 3. С. 26-30.
3. Водород в металлах. В 2-х т. / Под ред. Г. Альфельда и И. Фелькля. М.: Мир, 1981. Т. 1. Основные свойства. 475 с.; Т. 2. Прикладные аспекты. 430 с.
4. Гельд П.В., Рябов Р.А., Мохрачева Л.П. Водород и физические свойства металлов и сплавов. М.: Наука, 1985. 232 с.
5. Защита от водородного износа в узлах трения / Под ред. А.А. Полякова. М.: Машиностроение, 1980. 135 с.
6. Красиков Н.Н. К обоснованию особенностей водородного изнашивания при граничном трении // Трение и износ. 1989. Т. 10. № 6. С. 1079-1082.
7. Пашковский И.Э. Технологические методы защиты деталей бытовых машин и оборудования сервиса от водородного изнашивания: Монография. М.: МГУС, 2004. 228 с.

УДК 621.793.74:62-408.64

Профиль пятна в плазменно-разрядной технологии напыления на криволинейную поверхность

Михаил Евгеньевич Соловьев, доктор физико-математических наук, профессор кафедры Информационные системы и технологии, Институт цифровых систем Ярославского государственного технического университета, г. Ярославль,

Сергей Сергеевич Кокарев, кандидат физико-математических наук, директор, региональный научно-образовательный центр «Логос», г. Ярославль,

Сергей Львович Балдаев, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по технологиям,

Лев Христофорович Балдаев, доктор технических наук, генеральный директор, ООО «Технологические системы защитных покрытий», г. Москва, г. Щербинка

Предложена методика расчета профиля пятна напыления материала в процессе газотермического нанесения порошковых покрытий на криволинейную поверхность детали. На основании векторного уравнения кривой напыления получено уравнение закона движения плазменной свечи в лабораторной системе координат и построены его нормальные сечения и профиль пятна напыления. В качестве иллюстрации предложенной методики решена задача о напылении порошкового материала на цилиндрическую поверхность.

Газотермическое напыление, профиль сечения, криволинейная поверхность, моделирование.

Spot profile in plasma-discharge technology of deposition on a curved surface

Mikhail Evgenievich Soloviev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Information Systems and Technologies,

Institute of Digital Systems, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl,

Sergey Sergeevich Kokarev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Director of the Logos Regional Scientific and Educational Center, Yaroslavl,

Sergey Lvovich Baldaev, Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director for Technologies of Technological Systems of Protective Coatings LLC, Moscow, Shcherbinka,

Lev Khristoforovich Baldaev, Doctor of Technical Sciences, General Director of Technological Systems of Protective Coatings LLC, Moscow, Shcherbinka

A method for calculating the profile of the spray spot of a material in the process of gas-thermal deposition of powder coatings on a curved surface of a part is proposed. On the basis of the vector equation of the deposition curve, the equation of the law of motion of the plasma candle in the laboratory coordinate system is obtained,

and its normal sections and the profile of the deposition spot are constructed. As an illustration of the proposed technique, the problem of spraying a powder material onto a cylindrical surface is solved.

Thermal spraying, section profile, curved surface, modeling.

Введение

Процессы газотермического нанесения специальных покрытий на поверхность металлов широко используются во многих областях техники, в том числе в машиностроении, аэрокосмической отрасли, судостроении [1, 2, 8]. При формировании порошкового покрытия по данной технологии важную роль играет характер профиля сечения первичной дорожки покрытия [9, 11, 13], образующейся при взаимодействии газодисперсной струи, выходящей из головки распылителя с поверхностью детали – профиль пятна напыления. Поскольку поверхность покрытия формируется в результате сплавления первичных дорожек [10, 14], то регулируя форму профиля пятна напыления можно управлять характером поверхности покрытия, а также его толщиной и свойствами [12].

При аппроксимации профиля сечения пятна напыления достаточно распространенным является использование простых функций [10, 11], таких как парабола, дуга окружности или эллипса, хотя на практике форма профиля может быть более сложной [9, 16]. В этой связи в работе [5] был предложен более общий подход к аппроксимации профиля пятна напыления, основанный на теории размерностей. В данной работе предполагалось, что при напылении покрытия ось головки распылителя направлена по нормали к обрабатываемой поверхности. Это является наиболее желательным вариантом, но на практике достигается не всегда. Поэтому в работе [6] была разработана методика расчета профиля пятна напыления при наклонном положении плазменной свечи относительно плоской поверхности обрабатываемой детали. Однако для реальных технологических задач и этой методики будет недостаточно, поскольку обрабатываемые детали, такие как лопатки газотурбинных двигателей [3, 7, 15], могут иметь сложную криволинейную форму и расчет геометрических характеристик профиля пятна напыления требует достаточно серьезного обобщения, особенно на участках с большими значениями кривизны поверхности, т.е. такими областями, на которых ширина дорожки $D \sim R$, где R – один из главных радиусов кривизны поверхности. Чтобы сильно не усложнять формулы, мы примем во внимание общепризнанный факт оптимальности свойств покрытия по большинству его физически значимых характеристик в том случае, когда ось плазменной свечи расположена нормально к поверхности напыления. Таким образом, факторы наклонности и факторы кривизны можно в некотором смысле отделить друг от друга, если рассмотреть технологию напыления на криволинейную поверхность, в которой ось свечи в каждый момент времени ориентирована по нормали к поверхности в точке их пересечения. Именно в такой постановке мы и формулируем методику расчета геометрии пятна напыления в настоящей статье. Общий случай получится

объединением полученных в настоящей статье формул, учитывающих эффекты кривизны, с расчетными формулами работы, учитывающими наклон свечи [6].

Мы используем в настоящей статье концепцию *функции плотности потока идеального материала*, которая подробно описана в работе [6]. Все необходимые сведения из дифференциальной геометрии [4] приводятся и поясняются непосредственно в тексте по мере необходимости.

1. Кривая напыления и локальное уравнение поверхности

Ввиду обычной малости размеров пятна напыления по сравнению с размерами обрабатываемой детали, с самого начала можно ввести удобную систему координат, учитывающую это обстоятельство, для упрощения вычислений. Пусть Σ – поверхность, которая традиционно задается в R^3 своей некоторой параметризацией:

$$\Sigma: \vec{r} = \vec{r}_{\Sigma}(u, v), \quad (1)$$

где $(u, v) \in R^2$ – параметры, а $\vec{r}_{\Sigma}(u, v)$ – вектор-функция, задающая векторное уравнение поверхности Σ (или ее связного куска). Кривая $\gamma \in \Sigma$, лежащая на поверхности, будет задаваться в свою очередь, системой параметрических уравнений:

$$\gamma: \{u = u(\xi), v = v(\xi)\}, \quad (2)$$

где ξ – параметр на кривой γ , который без ограничения общности можно выбрать натуральным. Последнее означает, что: а) ξ является длиной некоторого куска кривой γ , начинающегося в точке $\{u(0), v(0)\}$; б) вектор параметрической скорости кривой $\dot{\gamma}$ является единичным. В явном виде последнее условие записывается в виде:

$$\dot{\vec{r}}_{\gamma}(\xi) \cdot \dot{\vec{r}}_{\gamma}(\xi) = 1, \vec{r}_{\gamma}(\xi) = \vec{r}_{\Sigma}|_{\gamma} = \vec{r}_{\Sigma}(u(\xi), v(\xi)) = \gamma(\xi). \quad (3)$$

Будем считать, что кривая γ на поверхности получается как след пересечения оси движущейся вдоль поверхности свечи, ориентированной так, что эта ось в каждой точке кривой всегда остается перпендикулярной к этой поверхности. Таким образом, восстанавливая единичный вектор внешней нормали \vec{n}_{Σ} в каждой точке кривой γ , мы получаем векторное поле $\vec{n}_{\Sigma}(\xi)$ на кривой γ , которую естественно называть *кривой напыления*. Кривая напыления определяет общий контур следа напыления, получаемый за один проход свечи, но ничего не говорит о его локальной структуре. Очевидно, что последняя будет определяться лишь точками поверхности Σ , расположенными где-то на расстоянии порядка D в окрестности кривой γ , а удаленные от этой кривой участки поверхности никакой роли не играют. По этой причине целесообразно ввести локальную систему координат, которая максимально упрощенно, но правильно воспроизводит форму поверхности вблизи кривой γ (см. рис. 1).

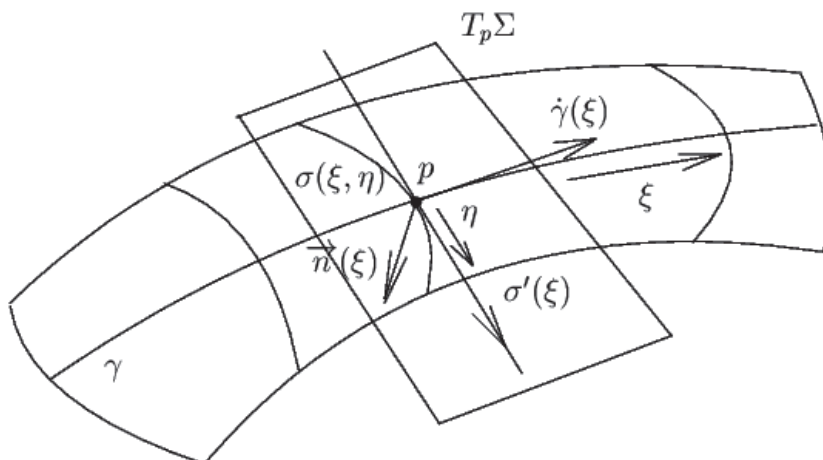


Рисунок 1 – Локальная система координат на поверхности Σ вблизи кривой напыления γ

Для ее введения из каждой точки кривой γ выпустим кривую $\sigma(\xi, \eta)$ (ξ – параметр точки, через которую эта кривая проходит, η – параметр на самой кривой), которая удовлетворяет следующим условиям:

1. Семейство кривых $\sigma(\xi, \eta)$ начинается на кривой γ , т.е. $\sigma(\xi, 0) = \gamma(\xi)$;
2. Семейство кривых $\sigma(\xi, \eta)$ ортогонально кривой γ , то есть

$$\dot{\gamma}(\xi) \cdot \sigma'(\xi, 0) = 0, \quad (4)$$

где здесь и далее производная по ξ обозначается точкой, а по η – штрихом.

3. Параметр η является натуральным, то есть:

$$\sigma'(\xi, \eta) \cdot \sigma'(\xi, \eta) = 1. \quad (5)$$

4. Семейство кривых $\sigma(\xi, \eta)$ является геодезическим на поверхности Σ , то есть удовлетворяет условию автопараллельности на поверхности:

$$\nabla_{\sigma'} \sigma' = 0, \quad (6)$$

где ∇ – т.н. ковариантная производная на поверхности Σ , согласованная с метрикой вложения на ней. В координатах это условие принимает вид уравнения геодезической (в натуральной параметризации):

$$\sigma'' + \Gamma(\sigma', \sigma') = 0, \quad (7)$$

где Γ – коэффициенты связности, определяющие параллельный перенос геометрических объектов на поверхности Σ .

В частности, значение $\sigma''(\xi, 0)$, которое понадобится в дальнейшем, согласно (7), вычисляется по формуле:

$$\sigma''(\xi, 0) = -\Gamma|_{\gamma}(\sigma'(\xi, 0), \sigma'(\xi, 0)), \quad (8)$$

где $\Gamma|_{\gamma} = \{\Gamma_{jk}^i(u(\xi), v(\xi))\}$ – коэффициенты связности, ограниченные на кривую γ .

Теперь мы можем написать уравнение поверхности Σ в окрестности кривой γ в виде векторной суммы-разложения по координате η :

$$\vec{r}_\Sigma(\xi, \eta) = \vec{r}_\gamma(\xi) + \sigma'(\xi, 0)\eta + \frac{1}{2}\sigma''(\xi, 0)\eta^2. \quad (9)$$

Согласно определениям дифференциальной геометрии вторая производная $\sigma''(\xi, 0)$ в натуральной параметризации совпадает с вектором кривизны кривой σ в точке $(\xi, 0)$ поверхности:

$$\vec{k}_\sigma = k_\sigma(\xi)\vec{n}_\sigma(\xi), \quad (10)$$

где $k_\sigma(\xi)$ – кривизна кривой σ в ее начале, $\vec{n}_\sigma(\xi)$ – единичный вектор внутренней нормали к кривой σ в этой же точке. Этот вектор всегда перпендикулярен к касательному вектору $\sigma'(\xi, 0)$ в той же точке кривой. При этом, в силу того, что σ – геодезическая кривая на Σ , ее геодезическая кривизна на Σ равна нулю и поэтому вектор кривизны \vec{k}_σ перпендикулярен поверхности во всех точках кривой σ . Отсюда следует, что векторное поле $\vec{n}_\sigma(\xi)$ может только знаком отличаться от введенного выше векторного поля внешних нормалей $\vec{n}_\Sigma(\xi)$. Этот факт можно зафиксировать с помощью соотношения:

$$\vec{n}_\Sigma = \epsilon\vec{n}_\sigma(\xi) \equiv \epsilon\vec{n}(\xi), \quad (11)$$

где знаковый множитель $\epsilon = \pm 1$ отслеживает потенциальное изменение знака кривизны $k_\sigma(\xi)$ кривой σ вдоль кривой γ . Теперь (9) можно переписать в более явном виде:

$$\vec{r}_\Sigma(\xi, \eta) = \vec{r}_\gamma(\xi) + \sigma'(\xi, 0)\eta + \frac{1}{2}k_\sigma(\xi)\vec{n}_\sigma\eta^2, \quad (12)$$

при этом в силу (8)

$$k_\sigma(\xi)n_\sigma^i = -\Gamma_{js}^i(\xi)\sigma'^j(\xi, 0)\sigma'^s(\xi, 0). \quad (13)$$

Наглядно второе и третье слагаемые в правой части (12) представляют собой уравнение параболы в локальной декартовой системе координат (X, Y) , где $\vec{e}_X = \sigma'(\xi, 0)$, $\vec{e}_Y = \vec{n}(\xi, 0)$, $X = \eta$ и $Y = X^2/2R(\xi)$.

Для завершения описания введенной системы координат осталось вычислить координаты вектора $\sigma'(\xi, 0)$, через которые выражаются составляющие зависимости (12). Как известно [4], первая квадратичная форма поверхности $I_\Sigma(\vec{\Delta l}, \vec{\Delta l})$ определяет квадрат длины вектора смещения $\vec{\Delta l} = \{du, dv\}$ на ней по формуле:

$$\vec{\Delta l} \cdot \vec{\Delta l} = E(u, v)du^2 + 2F(u, v)dudv + G(u, v)dv^2, \quad (14)$$

где коэффициенты E, G, F вычисляются по формулам:

$$\begin{cases} E(u, v) \equiv (\vec{r}_\Sigma)_{,u} \cdot (\vec{r}_\Sigma)_{,u}; \\ G(u, v) \equiv (\vec{r}_\Sigma)_{,v} \cdot (\vec{r}_\Sigma)_{,v}; \\ F(u, v) \equiv (\vec{r}_\Sigma)_{,u} \cdot (\vec{r}_\Sigma)_{,v}, \end{cases} \quad (15)$$

при этом точка в (15) обозначает обычное скалярное произведение векторов в R^3 , а точка в (14) обозначает скалярное произведение векторов из касательного пространства $T_p\Sigma$ некоторой точки $p \in \Sigma$ относительно внутренней метрики на поверхности, индуцированной ее вложением в R^3 . Более общо, скалярное произведение векторов $\vec{a}, \vec{b} \in T_{(u,v)}\Sigma$ с помощью первой квадратичной формы вычисляется по формуле:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} \equiv g(\vec{a}, \vec{b}) = I_\Sigma(\vec{a}, \vec{b}) = \quad (16)$$

$$E(u, v)a_u b_u + F(u, v)(a_u b_v + a_v b_u) + G(u, v)a_v b_v,$$

где скалярное произведение представлено с помощью метрического тензора g , матричные компоненты которого совпадают с коэффициентами первой квадратичной формы (14). Теперь пункты 2 и 3 из списка требований на σ можно с помощью формы (16) записать в виде следующей системы линейных уравнений на компоненты вектора скорости $\sigma'(\xi, 0) = \{u', v'\}$:

$$\begin{cases} \dot{\gamma}(\xi) \cdot \sigma'(\xi, 0) = 0; \\ \sigma'(\xi, \eta) \cdot \sigma'(\xi, \eta) = 1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} E(\xi)\dot{u}u' + F(\xi)(\dot{u}v' + \dot{v}u') + G(\xi)\dot{v}v' = 0; \\ E(\xi)u'^2 + 2F(\xi)u'v' + G(\xi)v'^2 = 1, \end{cases} \quad (17)$$

где

$$\begin{cases} \mathcal{E}(\xi) = E(u, v)|_\gamma = E(u(\xi), v(\xi)); \\ \mathcal{G}(\xi) = G(u, v)|_\gamma = G(u(\xi), v(\xi)); \\ \mathcal{F}(\xi) = F(u, v)|_\gamma = F(u(\xi), v(\xi)). \end{cases}$$

Ее решение можно записать в виде:

$$\sigma'(\xi, 0) = \pm \left(\frac{-\mu(\xi)}{v(\xi)}, \frac{1}{v(\xi)} \right), \quad (18)$$

где

$$\mu(\xi) \equiv \frac{G\dot{v} + F\dot{u}}{E\dot{u} + F\dot{v}}; v(\xi) \equiv \sqrt{E\mu^2 - 2F\mu + G}$$

– величины, которые изначально вычисляются через заданное параметрическое уравнение (2) кривой γ , уравнение (1) поверхности Σ , и суженные на кривую γ коэффициенты первой квадратичной формы, которые вычисляются по формулам (15).

Таким образом, все параметры зависимости (12), задающей локальное уравнение поверхности Σ в окрестности кривой напыления γ вычисляются через изначально заданные уравнения (2) и (1). В заключении этого раздела, примем следующее правило знаков: в формуле (18) мы будем из двух знаков выбирать тот, который соответствует правой тройке векторов $\{\sigma'(\xi, 0), \vec{n}(\xi), \dot{\gamma}(\xi)\}$, то есть при котором смешанное произведение:

$$(\sigma'(\xi, 0), \vec{n}(\xi), \dot{\gamma}(\xi)) > 0. \quad (19)$$

2. Закон движения свечи и плотность потока эффективного материала в лабораторной системе координат

Поскольку в рассматриваемой постановке задачи свеча движется с перпендикулярной к поверхности Σ осью, закон ее движения полностью определяется положением центра ее выходного сопла на линейчатой поверхности $\Sigma_n(\gamma)$ нормалей вдоль кривой γ , уравнение которой в исходной системе координат имеет вид:

$$\vec{r}n = \vec{r}_\gamma(\xi) + \lambda \epsilon \vec{n}(\xi), \quad (20)$$

где параметр ξ отвечает за перемещение вдоль линии γ , лежащей на этой поверхности, а новый параметр λ имеет смысл расстояния от точки поверхности $\Sigma_n(\gamma)$ до кривой γ , формирующей ее профиль. Закон движения свечи задается парой зависимостей $\{\xi(t), \lambda(t)\}$, которые после подстановки в (20) зададут закон движения и траекторию свечи (точнее центра ее выходного сечения, см. рис. 2):

$$\vec{r}_s(t) = \vec{r}_v(\xi(t)) + \lambda(t)\vec{n}(\xi(t)). \quad (21)$$

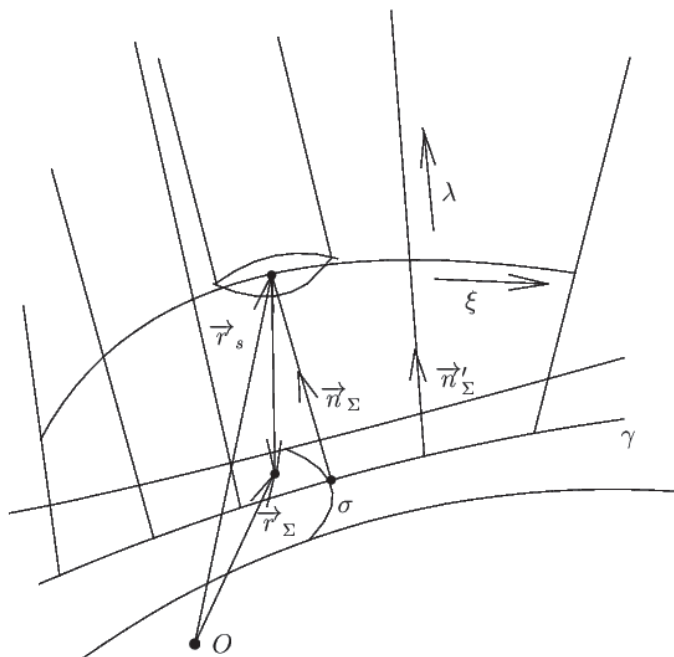


Рисунок 2 – Закон движения свечи и локальные координаты, в которых задана функция $j(R, Z)$

Пусть, как и в работе [6], процесс напыления описывается осесимметричной функцией эффективной плотности потока идеального материала, которая в системе координат, привязанной к центру сопла свечи, имеет вид некоторой зависимости $j(R, Z)$. Как показано в работе [6], эту функцию можно получить некоторым интегральным преобразованием семейства наблюдаемых поперечных профилей пятна напыления на плоской поверхности в нормальной геометрии напыления. Если \vec{r} – произвольная точка области действия свечи в исходной лабораторной системе координат, то координаты Z и R этой точки вычисляются по формулам:

$$\begin{cases} Z(t) = -\epsilon(\vec{r} - \vec{r}_s(t)) \cdot \vec{n}(\xi(t)), \\ R(t) = \sqrt{|\vec{r} - \vec{r}_s(t)|^2 - Z^2(t)} = |(\vec{r} - \vec{r}_s(t)) \times \vec{n}(\xi(t))|, \end{cases} \quad (22)$$

где $R(t), Z(t)$ закономерно оказываются функциями времени, что учитывает перемещение области действия свечи в пространстве вместе с самой свечой. Таким образом, функция эффективной плотности потока, записанная в лабораторной системе координат, имеет вид:

$$j_L(\vec{r}, t) = j(R(t), Z(t)), \quad (23)$$

где аргументы j выражаются формулами (22).

3. Действие свечи на поверхности напыления

Нас интересует пересечение области действия свечи с самой поверхностью Σ в ее окрестности кривой γ . Это пересечение представляет собой пятно овальной формы, границы которого перемещаются вслед за свечой по полосе, примыкающей к кривой γ (рис. 3).

При этом действие свечи на самой поверхности описывается зависимостями (22)-(23), в которые вместо \vec{r} подставлена локальная параметризация (12):

$$j_{\Sigma}(\xi, \eta, t) \equiv j_L(\vec{r}_{\Sigma}, t). \quad (24)$$

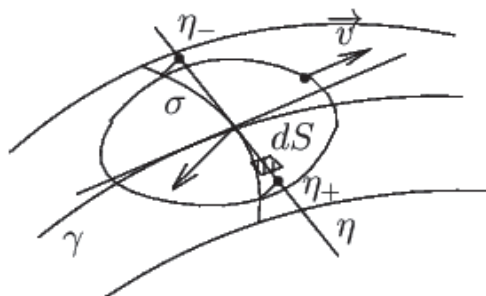


Рисунок 3 – Пятно действия свечи на поверхности Σ и накопление материала на элементарной площадке

Уравнение

$$j_{\Sigma}(\xi, \eta, t) = 0 \quad (25)$$

определяет движущуюся по поверхности границу этого пятна. При фиксированных ξ и η появляются два решения этого уравнения:

$$t = t_{\pm}(\xi, \eta), \quad (26)$$

так что интервал $t_+ - t_-$ это время работы свечи над участком в окрестности точки с координатами (ξ, η) . Кроме того, при каждом фиксированном ξ уравнение (25) определяет для неявной зависимости $\eta = f(\xi, t)$ максимальные (по отношению к переменной t) значения $\eta_{\pm}(\xi)$, которые будут определять ширину напыляемой дорожки.

Зафиксируем теперь такую точку вместе с координатной площадкой $d\xi d\eta$. Этой координатной площадке соответствует элемент площади на касательной плоскости $T_{(\xi,0)}\Sigma$ поверхности:

$$dS(\xi, \eta) = \sqrt{\det g} d\xi d\eta, \quad (27)$$

которая нормальна к потоку. В (27) $\det g = EG - F^2$ – определитель матрицы метрики на поверхности в выбранной точке, определяющий геометрический элемент площади. При этом проекция этой площадки на нормальную к оси свечи плоскость получится дополнительным умножением на

$$\cos\theta(\xi, \eta) = \epsilon \vec{n}(\xi) \cdot \vec{N}(\xi, \eta), \quad (28)$$

где $\vec{N}(\xi, \eta)$ – вектор внешней нормали к поверхности, вычисленный в выбранной точке. За время своей работы свеча, проходя над выбранным участком, насыплет объем идеального материала, равный:

$$dV = \cos\theta \sqrt{\det g} d\xi d\eta \int_{t_-(\xi, \eta)}^{t_+(\xi, \eta)} j_{\Sigma}(\xi, \eta, t) dt. \quad (29)$$

Весь напыленный объем получится последовательным интегрированием выражения (29) по η и по ξ :

$$V = \int_0^L d\xi \int_{\eta_-(\xi)}^{\eta_+(\xi)} d\eta \cos\theta \sqrt{\det g} \int_{t_-(\xi, \eta)}^{t_+(\xi, \eta)} j_{\Sigma}(\xi, \eta, t) dt. \quad (30)$$

Из этого выражения предстоит выделить информацию о профиле нормального сечения напыленного объема, что технически удобнее сделать в отдельном разделе.

4. Нормальные сечения и профиль пятна

Введем теперь новую 3-мерную криволинейную систему координат, приспособленную для нашей задачи, скомбинировав формулы (12) и (20):

$$\vec{r}_c(\xi, \eta, \chi) = \vec{r}_\gamma(\xi) + \sigma'(\xi, 0)\eta + \frac{1}{2}k_\sigma(\xi)\vec{n}_\sigma\eta^2 + \epsilon\vec{n}(\xi)\chi. \quad (31)$$

Формула (31) в векторном виде представляет выражение исходных декартовых координат (x, y, z) через новые криволинейные (ξ, η, χ) , при этом напыляемая поверхность является одной из координатных поверхностей: $\chi = 0$. Для вычисления объема напыленного материала в этой системе координат следует проинтегрировать форму объема $dV(\xi, \eta, \chi)$ по области напыленного материала. Форма объема в криволинейных координатах получается из евклидовой формы объема $dV = dx dy dz$ посредством якобиана преобразования:

$$\frac{D(x, y, z)}{D(\xi, \eta, \chi)} = J(\xi, \eta, \chi) = \begin{vmatrix} x_{c,\xi} & y_{c,\xi} & z_{c,\xi} \\ x_{c,\eta} & y_{c,\eta} & z_{c,\eta} \\ x_{c,\chi} & y_{c,\chi} & z_{c,\chi} \end{vmatrix}. \quad (32)$$

Непосредственное вычисление после некоторых упрощений приводит к следующему явному выражению:

$$J(\xi, \eta, \chi) = \epsilon \left(1 - (\sigma' \cdot \vec{k}_\gamma)\eta - (\vec{k}_\sigma \cdot \vec{k}_\gamma) \frac{\eta^2}{2} - \epsilon\chi(\vec{k}_\gamma \cdot \vec{n}) \right), \quad (33)$$

где $\vec{k}_\gamma(\xi) = \dot{\gamma}(\xi)$ – вектор кривизны кривой γ в точке ξ . Из формулы (33) следует, что $|J|$, определяющий форму (неориентированного геометрического) объема в криволинейной системе координат, является линейной функцией от переменной χ , которую удобно представить в виде:

$$|J| = J_1(\xi, \eta) + \chi J_2(\xi),$$

где

$$J_1 = 1 - (\sigma' \cdot \vec{k}_\gamma)\eta - (\vec{k}_\sigma \cdot \vec{k}_\gamma) \frac{\eta^2}{2}; J_2 = -\epsilon(\vec{k}_\gamma \cdot \vec{n}). \quad (34)$$

Если $F(\xi, \eta)$ – искомая функция профиля, отсчитываемая от оси η , то объем напыленного материала будет вычисляться с помощью формулы:

$$V = \int_{V_{\text{мат}}} dV(\xi, \eta, \chi) = \int_0^L d\xi \int_{\eta_-(\xi)}^{\eta_+(\xi)} d\eta \int_0^{F(\xi, \eta)} |J(\xi, \eta, \chi)| d\chi = \quad (35)$$

$$\int_0^L d\xi \int_{\eta_-(\xi)}^{\eta_+(\xi)} d\eta \int_0^{F(\xi,\eta)} (J_1 + \chi J_2) d\chi = \int_0^L d\xi \int_{\eta_-(\xi)}^{\eta_+(\xi)} d\eta (J_1 F + J_2 F^2/2),$$

Из равенства (30) и (35), в силу совпадения интегралов для произвольных областей, заполненных материалом, следует равенство подынтегральных функций:

$$\cos\theta \sqrt{\det g} \int_{t_-}^{t_+} j_{\Sigma} dt = J_1 F + J_2 F^2/2, \tag{36}$$

которое представляет собой квадратное уравнение относительно искомой функции профиля F . В практически важных случаях когда $F \ll R, \eta \ll R$, где R характерный радиус кривизны поверхности в ее обрабатываемой части, второй скобкой справа в (36) можно пренебречь по сравнению с первой, уравнение (36) линейнуется и выражение для F немного упрощается:

$$F(\xi, \eta) = \frac{\cos\theta \sqrt{\det g}}{J_1} \int_{t_-}^{t_+} j_{\Sigma} dt. \tag{37}$$

Полученная формула вместе с промежуточными формулами, необходимыми для ее использования, и решает поставленную задачу о профиле пятна напыления на произвольной криволинейной поверхности. Рисунок 4 иллюстрирует формулу (37).

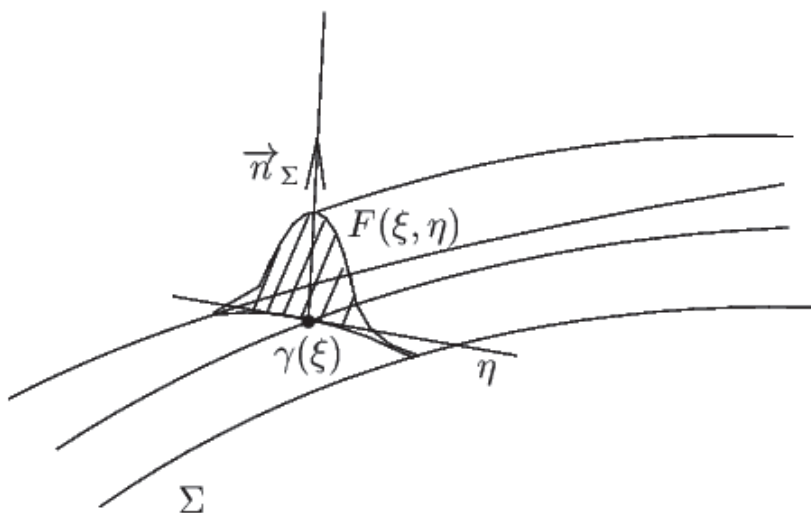


Рисунок 4 – Профиль пятна напыления на криволинейной поверхности

Для завершения расчетной методики выведем в требуемом (квадратичном по η) приближении явные формулы для дифференциально-геометрических величин, входящих в конечную формулу (37). Прежде всего убедимся, что поперечная координата x , отсчитываемая в сечении вдоль оси $\sigma'(\xi)$ в квадратичном приближении совпадает с координатой η . Действительно, с одной стороны, η – это параметр длины параболы вида $y = ax^2$, поэтому:

$$\eta(x) = \int_0^x \sqrt{1 + y'^2(u)} du = \int_0^x \sqrt{1 + 4a^2u^2} du = \frac{2ax\sqrt{1 + 4a^2x^2} + \text{Arsh}(2ax)}{a}. \quad (38)$$

С другой стороны, разложение (38) в ряд Маклорена по x приводит к соотношению:

$$\eta(x) = x + \frac{2}{3}a^2x^3 = x + o(x^2), \quad (39)$$

что и требовалось доказать. Доказанное обстоятельство отражено на рисунке 4, где координата x и отождествлена с η . Величина $k_\sigma(\xi)$ является, по существу, нормальной кривизной поверхности Σ в точках кривой γ в направлении $\sigma'(\xi, 0)$. В дифференциальной геометрии доказывается, что такая кривизна равна отношению $II(\sigma', \sigma')/I(\sigma', \sigma')$ второй и первой квадратичной форм поверхности в точках кривой γ . В силу натуральной параметризации кривых $\sigma(\xi, \eta)$ по параметру η , значение первой квадратичной формы на касательном векторе σ' равно 1, следовательно:

$$k_\sigma = II(\sigma', \sigma') = L(\xi)u'_\sigma{}^2(0) + 2M(\xi)u'_\sigma(0)v'_\sigma(0) + N(\xi)v'_\sigma{}^2(0), \quad (40)$$

где

$$\begin{cases} \mathcal{L}(\xi) = L(u, v)|_\gamma = L(u(\xi), v(\xi)); \\ \mathcal{M}(\xi) = M(u, v)|_\gamma = M(u(\xi), v(\xi)); \\ \mathcal{N}(\xi) = N(u, v)|_\gamma = N(u(\xi), v(\xi)), \end{cases}$$

а величины L, M, N – коэффициенты второй квадратичной формы, которые вычисляются с помощью следующих векторных формул:

$$\begin{cases} L \equiv \vec{r}_{\Sigma,u,u}(u, v) \cdot \vec{N}_\Sigma(u, v); \\ N \equiv \vec{r}_{\Sigma,v,v}(u, v) \cdot \vec{N}_\Sigma(u, v); \\ M \equiv \vec{r}_{\Sigma,u,v}(u, v) \cdot \vec{N}_\Sigma(u, v), \end{cases} \quad (41)$$

где

$$\vec{N}_\Sigma(u, v) = \frac{\vec{r}_{\Sigma,u} \times \vec{r}_{\Sigma,v}}{|\vec{r}_{\Sigma,u} \times \vec{r}_{\Sigma,v}|} \quad (42)$$

векторное поле единичной нормали к поверхности Σ .

Для явного вычисления $g, \cos\theta$ и J_1 будут полезны обобщенные формулы Френе для трехгранника $(\sigma'; \vec{n}; \dot{\gamma})$, сопровождающего кривую γ , который отличается от трехгранника Френе тем, что содержит не главную нормаль к кривой γ , а нормаль к поверхности Σ . Эти формулы имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{\gamma} = \vec{k}_\gamma; \\ \dot{\sigma}' = -(\vec{k}_\gamma \cdot \sigma')\dot{\gamma} + (\dot{\sigma}' \cdot \vec{n})\vec{n}; \\ \dot{\vec{n}} = -(\vec{k}_\gamma \cdot \vec{n})\dot{\gamma} - (\dot{\sigma}' \cdot \vec{n})\sigma', \end{cases} \quad (43)$$

где $\dot{\sigma}'$ вычисляется непосредственно с помощью формул (18). Вычисление компонент первой квадратичной формы в окрестности кривой γ с помощью формул (15), (12) и (43) приводит к следующим выражениям, выведенным с точностью до $o(\eta^2)$:

$$\begin{cases} E(\xi, \eta) = (\vec{r}_{\Sigma})_{,\xi} \cdot (\vec{r}_{\Sigma})_{,\xi} = 1 - 2(\vec{k}_{\gamma} \cdot \sigma')\eta + (\sigma'^2 - \vec{k}_{\gamma} \cdot \vec{k}_{\sigma})\eta^2; \\ G(\xi, \eta) = (\vec{r}_{\Sigma})_{,\eta} \cdot (\vec{r}_{\Sigma})_{,\eta} = 1 + k_{\sigma}^2\eta^2; \\ F(\xi, \eta) = (\vec{r}_{\Sigma})_{,\xi} \cdot (\vec{r}_{\Sigma})_{,\eta} = (\vec{k}_{\sigma} \cdot \sigma')\eta^2/2. \end{cases} \quad (44)$$

Из (44) следует, что с той же точностью:

$$\det g = EG - F^2 = 1 - 2(\vec{k}_{\gamma} \cdot \sigma')\eta + (\sigma'^2 - \vec{k}_{\gamma} \cdot \vec{k}_{\sigma} + k_{\sigma}^2)\eta^2 \quad (45)$$

и с той же точностью

$$\sqrt{\det g} = 1 - (\vec{k}_{\gamma} \cdot \sigma')\eta + (\sigma'^2 - \vec{k}_{\gamma} \cdot \vec{k}_{\sigma} + k_{\sigma}^2 - (\vec{k}_{\gamma} \cdot \sigma')^2)\frac{\eta^2}{2}. \quad (46)$$

Значение $\cos\theta$ в (37) вычисляем по формуле:

$$\cos\theta = \vec{n} \cdot \vec{N}(\xi, \eta). \quad (47)$$

Используя в (47) формулы (42) и (12), после некоторых простых преобразований получаем:

$$\cos\theta = \frac{1 - (\sigma' \cdot \vec{k}_{\gamma})\eta - (\vec{k}_{\gamma} \cdot \vec{k}_{\sigma})\eta^2/2}{\sqrt{1 - 2(\sigma' \cdot \vec{k}_{\gamma})\eta + (k_{\sigma}^2 + (\vec{k}_{\gamma} \cdot \sigma')^2 + (\sigma' \cdot \vec{n}) - (\vec{k}_{\gamma} \cdot \vec{k}_{\sigma}))\eta^2}} = \frac{1 - (k_{\sigma}^2 + (\sigma' \cdot \vec{n})^2)\frac{\eta^2}{2} + o(\eta^2)}{1 - (\sigma' \cdot \vec{k}_{\gamma})\eta - (\vec{k}_{\gamma} \cdot \vec{k}_{\sigma})\eta^2/2} \quad (48)$$

С учетом формулы:

$$\frac{(1 + b_1x + c_1)(1 + b_2x + c_2x^2)}{1 + b_3x + c_3x^2} =$$

$1 + (b_2 + b_1 - b_3)x + (b_1b_2 - b_1b_3 - b_2b_3 + b_3^2 + c_1 + c_2 - c_3)x^2 + o(x)$,
получаем в требуемом порядке точности:

$$\frac{\cos\theta \sqrt{\det g}}{J_1} = 1 - (\vec{k}_{\sigma} \cdot \vec{k}_{\gamma})\eta^2 + o(\eta^2), \quad (49)$$

где для упрощения были использованы формулы (43). Окончательная расчетная формула профиля принимает вид:

$$F(\xi, \eta) = (1 - (\vec{k}_{\sigma} \cdot \vec{k}_{\gamma})\eta^2) \int_t^{t+} j_{\Sigma} dt. \quad (50)$$

5. Пример: напыление на цилиндр по винтовой линии

Рассмотрим в качестве поверхности Σ цилиндрическую поверхность, задаваемую векторным уравнением:

$$\vec{r}_{\Sigma} = R(\cos\varphi \vec{e}_x + \sin\varphi \vec{e}_y) + z\vec{e}_z \quad (51)$$

и рассмотрим на ней кривую, заданную параметрически:

$$\gamma = \{\varphi = \varphi, z = \beta\varphi\}, \quad (52)$$

представляющую собой винтовую линию, намотанную на эту поверхность с шагом $2\pi\beta$. В натуральной параметризации

$$\xi = \sqrt{R^2 + \beta^2}\varphi,$$

получаем векторное уравнение этой кривой:

$$\vec{r}_{\gamma} = R \left(\cos\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2 + \beta^2}}\right) \vec{e}_x + \sin\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2 + \beta^2}}\right) \vec{e}_y \right) + \frac{\delta\xi}{\sqrt{1 + \delta^2}} \vec{e}_z \quad (53)$$

и векторное уравнение ее параметрической скорости:

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{\sqrt{1+\delta^2}} \left(-\sin\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2+\beta^2}}\right) \vec{e}_x + \cos\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2+\beta^2}}\right) \vec{e}_y \right) + \frac{\delta}{\sqrt{1+\delta^2}} \vec{e}_z, \quad (54)$$

где $\delta = \beta/R$. Вычисление коэффициентов первой квадратичной формы по формулам (15) приводит к простым выражениям:

$$E = R^2; G = 1; F = 0, \quad (55)$$

которые выражают изометричность кругового цилиндра плоскости. Вычисление по формулам (18) приводит к выражению для направляющего вектора сечения:

$$\sigma'(\xi, 0) = \frac{1}{\sqrt{1+\delta^2}} \left(-\delta \sin\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2+\beta^2}}\right) \vec{e}_x + \delta \cos\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2+\beta^2}}\right) \vec{e}_y - \vec{e}_z \right). \quad (56)$$

Вычисление векторного произведения (54) и (56) дает:

$$\vec{n} = -\cos\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2+\beta^2}}\right) \vec{e}_x - \sin\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2+\beta^2}}\right) \vec{e}_y, \quad (57)$$

а вычисление по формулам (40):

$$\vec{k}_\sigma = \frac{\delta^2}{R(1+\delta^2)} \vec{n} \quad (58)$$

Дифференцирование по ξ уравнения (54) приводит к выражению для вектора кривизны кривой γ :

$$\vec{k}_\gamma = \frac{1}{R(1+\delta^2)} \left(-\cos\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2+\beta^2}}\right) \vec{e}_x - \sin\left(\frac{\xi}{\sqrt{R^2+\beta^2}}\right) \vec{e}_y \right), \quad (59)$$

а его скалярное произведение с \vec{k}_σ :

$$\vec{k}_\sigma \cdot \vec{k}_\gamma = \frac{\delta^2}{R^2(1+\delta^2)^2}. \quad (60)$$

Геометрический коэффициент перед интегралом в формуле (50) равен:

$$K = \left(1 - (\vec{k}_\sigma \cdot \vec{k}_\gamma) \eta^2 \right) = \frac{1+2\delta^2+\delta^4-\delta^2(\eta/R)}{(1+\delta^2)^2} \quad (61)$$

Пусть функция эффективной плотности потока представляется выражением:

$$j = j_0 \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right), \quad (62)$$

где j_0, r_0 – масштабные параметры. На плоской поверхности ей будет соответствовать профиль:

$$F_0(r) = -2 \int_x^r j'(r) \sqrt{r^2 - x^2} dr = \frac{4}{3} \frac{(r_0^2 - x^2)^{3/2}}{r_0^2} \quad (63)$$

Далее общие вычисления с помощью формул подстановок (24) становятся громоздкими и мы переходим к конкретной ситуации, представленной следующим набором числовых значений:

$$R = 2; v = 1; \beta = 4; r_0 = 0.5; \xi = 0. \quad (64)$$

В этом случае явная формула для j_Σ после разложения по η с точностью до кубических членов имеет вид:

$$j_\Sigma = -15 + 16 \cos^2(t/\sqrt{20}) - 3.2t^2 + 3.2 \left(-t + \sqrt{20} \cos(t/\sqrt{20}) \sin(t/\sqrt{20}) \right) \eta + \left(2.4 - 6.4 \cos^2(t/\sqrt{20}) \right) \eta^2. \quad (65)$$

На рисунке 5 (слева) представлена неявная зависимость $j_\Sigma(\eta, t) = 0$ вместе с зависимостью $t^2 + \eta^2 = 0.5^2$, которые, как это видно, практически, неотличимы (их расхождение составляет менее одного процента). По этой причине вместо решения более громоздкого трансцендентного уравнения $j_\Sigma(\eta, t) = 0$ относи-

тельно t , можно решить более простое уравнение $\eta^2 + t^2 = 0.5$. Его пара решений, ограничивающих время действия свечи на участке с координатой η , имеет вид:

$$t_{\pm} = \sqrt{0.5^2 - \eta^2}. \quad (66)$$

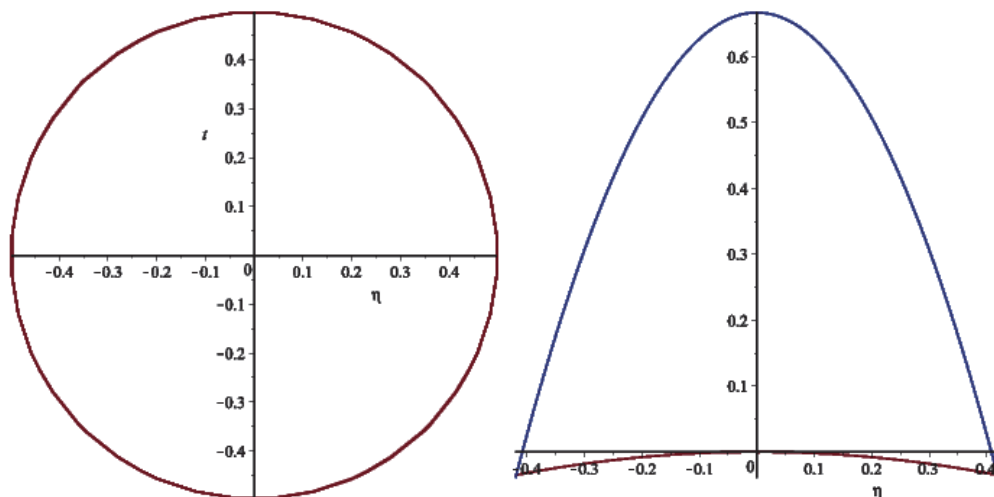


Рисунок 5 – Слева: графики неявной функции $j_{\Sigma} = 0$ и $\eta^2 + t^2 = 0.5^2$ (круговая проекция цилиндрической области действия свечи на касательную плоскость $T_{(0,0)}\Sigma$), которые практически неотличимы; справа: сечение профиля напыления в окрестности точки $\xi = 0, \eta = 0$ поверхности Σ в параметризации (9). Небольшое отличие параметра η_{\pm} от ± 0.5 связано с накоплением эффектов кривизны в плоской визуализации профиля, который на самом деле является криволинейным (неплоским)

Выполняя интегрирование в формуле (50) в пределах (66), подставляя в нее коэффициент (61), проводя разложение по η с точностью до кубических членов, получаем зависимость:

$$F(0, \eta) = 0.667 - 4.002\eta^2, \quad (67)$$

которая останется такой же и при любой другой координате ξ , ввиду равноправия всех точек цилиндра и равномерной спирали на нем. График зависимости (67) вместе с линией сечения цилиндра плоскостью $\text{span}(\vec{n}(0), \sigma'(0))$ представлены на рис. 5 (справа).

Заключение

В настоящей работе предложен метод расчета геометрии пятна напыления при газотермическом нанесении частиц порошкового покрытия на криволинейную поверхность детали. При расчете за основу берется экспериментальный профиль такого пятна при вертикальном расположении рабочей головки. Данный профиль используется для построения зависимости эффективной плотности потока материала от радиальной координаты, отсчитываемой от оси плазменной свечи, на некотором фиксированном расстоянии от выходного сечения сопла свечи, на котором расположена обрабатываемая плоская поверхность.

Получен закон движения свечи и плотность потока эффективного материала в лабораторной системе координат, с использованием которого рассчитано пятно действия свечи на криволинейной поверхности, его нормальные сечения и профиль.

В качестве примера использования предложенной методики решена задача о напыление порошкообразного материала на цилиндр по винтовой линии.

Предлагаемая методика может быть полезной при расчете толщины покрытия и при подготовке программ управления процессом напыления в станках с ЧПУ.

Литература

1. Газотермическое напыление / под общей ред. Л.Х. Балдаева. М.: Маркет ДС, 2007. 344 с.
2. Ильющенко А.Ф., Шевцов А.И., Оковитый В.А., Громыко Г.Ф. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование. Минск: Беларус навука, 2011. 357 с.
3. Панков В.П., Бабаян А.Л., Куликов М.В., Коссой В.А., Варламов Б.С. Теплозащитные покрытия лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 161-172. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.023.
4. Поздняк Э.Г., Шикин Е.В. Дифференциальная геометрия. М.: URSS, 2003. 408 с.
5. Соловьев М.Е., Кокарев С.С., Балдаев С.Л., Балдаев Л.Х., Мищенко В.И., Федорова М.О. Аппроксимация профиля сечения пятна напыления при газотермическом нанесении порошкового покрытия // Информационно-технологический вестник. 2022. № 3. С. 138-163.
6. Соловьев М.Е., Кокарев С.С., Балдаев С.Л., Балдаев Л.Х. Профиль пятна напыления наклонной геометрии при газотермическом нанесении порошкового покрытия // Информационно-технологический вестник. 2023. № 1.
7. Chen H.F., Zhang C., Liu, Y.C. Song P., Li W.-X., Yang G., Liu B. Recent progress in thermal/environmental barrier coatings and their corrosion resistance. Rare Met. 2020. V. 39. P. 49-512. doi: 10.1007/s12598-019-01307-1.
8. Davis J.R. Handbook of thermal spray technology. ASM International, 2004. 338 p.
9. De Oliveira U., Ocelik V., De Hosson J.Th.M. Analysis of coaxial laser cladding processing conditions // Surface & Coatings Technology. 2005. V. 197. P. 127-136. doi: 10.1016/j.surfcoat.2004.06.029.
10. Jain N.K., Sawant M.S., Nikam S.H., Jhavar S. Metal Deposition: Plasma-Based Processes. Encyclopedia of Plasma Technology. New York: Taylor and Francis, 2016. P. 19. doi:10.1081/E-EPLT-120053919.
11. Jhavar S., Jain N.K., Paul C.P. Development of micro-plasma transferred arc (μ -PTA) wire deposition process for additive layer manufacturing applications // Journal of Materials Processing Technology. 2014. V.214. P.1102-1110. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2013.12.016.

12. Ocelik V., Nenadl O., Palavra A., De Hosson J.Th.M. On the geometry of coating layers formed by overlap // *Surface & Coatings Technology*. 2014. V. 242. P. 54-61. doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.01.018.
13. Pinkerton A.J. Advances in the modeling of laser direct metal deposition // *Journal of Laser Applications*. 2015. V. 27. S15001. doi: 10.2351/1.4815992.
14. Sawant M.S., Jain N.K. Evaluation of stellite coatings by μ -PTA powder, laser, and PTA deposition processes // *Materials and Manufacturing Processes*. 2017. V. 33:10. P. 1043-1050. doi: 10.1080/10426914.2017.1364764.
15. Yedida VV S., Mehta A., Vasudev H., Singh S. Role of numerical modeling in predicting the oxidation behavior of thermal barrier coatings // *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 2023. 10 p. doi: 10.1007/s12008-023-01306-8.
16. Yu T., Yang L., Zhao Yu., Sun J., Li B. Experimental research and multi-response multi-parameter optimization of laser cladding Fe313 // *Optics and Laser Technology*. 2018. V. 108. P. 321-332. doi: 10.1016/j.optlastec.2018.06.030.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Адрес редакции:
141070, Королев,
Ул. Октябрьская, 10а
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),
E-mail : rio-kimes@mail.ru,
Site:www. unitech-mo.ru

Подписано в печать 20.03.2023
Формат В5
Печать офсетная. Усл.печ.л. 11,8
Тираж 500 экз.
Заказ № 95-02
Отпечатано
в типографии
ООО «Научный консультант»
г. Москва
Хорошевское шоссе, 35, корп.2
Тел.: +7 (926) 609-32-93,
+7 (499) 195-60-77
E-mail :keyneslab@gmail.com
Site:www.n-ko.ru