



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№8(27)

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2019



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XXVII международной
научно-практической конференции*

№ 8 (27)
Октябрь 2019 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2019

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Ахмеднабиев Расул Магомедович – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

Данилов Олег Сергеевич – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам XXVII междунар. науч.-практ. конф. – № 8 (27). – М.: Изд. «МЦНО», 2019. – 80 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2019

Оглавление

Технические науки	5
Раздел 1. Технические науки	5
1.1. Информатика, вычислительная техника и управление	5
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СХЕМ С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ (ЕСС) Весёлин Дмитрий Игоревич Буханцов Андрей Дмитриевич	5
АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЕТЕВЫХ ПРОБЛЕМ В ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ Воронин Илья Васильевич Газин Алексей Иванович Зияутдинов Владимир Сергеевич Золотарева Татьяна Александровна Селищев Олег Владимирович Скуднев Дмитрий Михайлович	9
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ADVANTA И ATLIASSIAN JIRA Бритиков Максим Игоревич Леперт Михаил Владимирович	17
СОВМЕСТНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЧИСЛОВЫХ РЯДОВ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩИХ АРИФМЕТИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ, НА МНОЖЕСТВЕ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ Плахов Алексей Валерьевич	23
1.2. Машиностроение и машиноведение	28
ПОВЕРХНОСТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ЗАКАЛКА СКАНИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ Шиянок Владислав Васильевич Точилкина Надежда Анатольевна	28
1.3. Транспорт	33
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Трифонова Наталия Сергеевна	33

1.4. Электротехника	37
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ТРЕХФАЗНОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ НА МАГНИТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ТОКА	37
Новожилов Александр Николаевич Колесников Евгений Николаевич Новожилов Тимофей Александрович	
Физико-математические науки	45
Раздел 2. Математика	45
2.1. Математическая физика	45
ПРОБЛЕМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ ТОКОВ	45
Сманцер Дмитрий Сергеевич	
Раздел 3. Механика	53
3.1. Механика деформируемого твердого тела	53
КОЛЕБАНИЯ КОРОБЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	53
Усаров Махаматали Корабоевич Маматисаев Гиёсиддин Илхомидинович	
РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАСТИНЧАТОЙ КОНТИНУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	62
Усаров Махаматали Корабоевич Аюбов Гайратжон Тухтасинович	
Раздел 4. Физика	72
4.1. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника	72
ДИНАМИКА РЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ И ВОЗБУЖДАЕМОГО ИМ ПОЛЯ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ ВАКУУМНОЙ СВЧ ЭЛЕКТРОНИКИ	72
Кузнецов Анатолий Михайлович	

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СХЕМ С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ (ЕСС)

Весёлин Дмитрий Игоревич

*магистрант, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет,
РФ, г. Белгород*

Буханцов Андрей Дмитриевич

*канд. техн. наук, доцент, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет,
РФ, г. Белгород*

SUGGESTIONS FOR IMPROVING ELLIPTIC CURVE CRYPTOGRAPHIC SCHEMES (ECC)

Dmitry Vesulin

*Undergraduate student,
Belgorod State National Research University,
Russian Federation, Belgorod*

Andrey Bukhantsov

*Candidate of Technical Sciences, associate Professor,
Belgorod State National Research University,
Russian Federation, Belgorod*

Аннотация. Аутентификация и конфиденциальность являются двумя основными аспектами криптографии. никоим образом нельзя сказать, что сообщение полностью защищено: любая третья сторона может атаковать сообщение на любой стадии обработки. Для отправки конфиденциальных сообщений необходимо использование преобразований информации, доступных законным сторонам информационного процесса и недоступных всем остальным. Необходимо закодировать сообщение перед шифрованием в ECC. В этой статье мы использовали новый механизм для обеспечения значения k с помощью генератора PRN и значения m с помощью SHA (для использования одностороннего свойства). На основе смоделированных результатов мы получаем надежный механизм аутентификации и конфиденциальности, который в конечном итоге повышает безопасность данных.

Abstract. Authentication and privacy are two main aspects of cryptography. In no way can we say that the message is completely protected: any third party can attack the message at any stage of processing. To send confidential messages, it is necessary to use transformations of information that are accessible to the legitimate parties of the information process and inaccessible to everyone else. You must encode the message before encryption in ECC. In this article, we used a new mechanism to provide the value of k using the PRN generator and the value of m using SHA (to use the one-way property). Based on the simulated results, we get a reliable authentication and privacy mechanism that ultimately improves data security.

Ключевые слова: кодирование; декодирование; ECC; PRN; хэш-функция; точечное шифрование.

Keywords: encoding; decoding; ECC; PRN; hash function; point encryption.

Криптография с эллиптической кривой (ECC) была открыта в 1985 году Нилом Коблицем и Виктором Миллером. Криптографические схемы с эллиптической кривой представляют собой механизмы с открытым ключом, которые обеспечивают те же функциональные возможности, что и схемы RSA. Однако их безопасность основана на сложности другой задачи, а именно задачи дискретного логарифма эллиптической кривой (ECDLP). В настоящее время лучшие алгоритмы,

известные для решения ECDLP, имеют полностью экспоненциальное время выполнения, в отличие от алгоритмов субэкспоненциального времени, известных для задачи целочисленной факторизации. Это означает, что желаемый уровень безопасности может быть достигнут с помощью значительно меньших ключей в системах с эллиптической кривой, чем это возможно с их аналогами RSA [1].

Преимущества, которые можно получить от ключей меньшего размера, включают скорость и эффективное использование энергии, пропускной способности и хранилища. Параметры домена - это набор предопределенных констант, которые должны быть известны всем устройствам в ECC. Генератор псевдослучайных чисел (PRNG) [2], также известный как генератор детерминированных случайных битов (DRBG), представляет собой алгоритм для генерации последовательности чисел, которая приближает свойства случайных чисел. Последовательность не является действительно случайной в том смысле, что она полностью определяется относительно небольшим набором начальных значений, называемых состоянием PRNG, которое может включать в себя действительно случайное начальное число.

Защищенный алгоритм хеширования [3] определяет четыре алгоритма - SHA-1, SHA-256, SHA-384 и SHA-512 – для вычисления сжатого представления электронных данных / сообщений. Когда сообщение любой длины <264 бит (для SHA-1 и SHA-256) или <2128 бит (для SHA-384 и SHA-512) вводится в алгоритм, результатом является выход, называемый дайджестом сообщения. Дайджесты сообщений имеют длину от 160 до 512 бит, в зависимости от алгоритма. Алгоритмы защищенного хеширования обычно используются с другими криптографическими алгоритмами, такими как алгоритмы цифровой подписи и коды аутентификации сообщений с хеш-ключами, или для генерации случайных чисел (битов).

Общее кубическое уравнение эллиптических кривых имеет вид

$$y^2+axy+by=x^3+cx^2+dx+e. \quad (1)$$

После преобразования уравнения (1), получаем:

$$y^2 = x^3 + ax + b$$

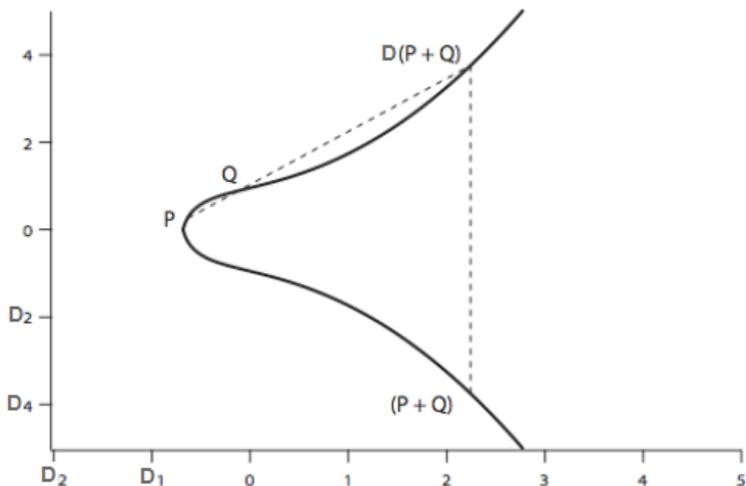


Рисунок 1. Общая кривая для уравнения $y^2 = x^3 + ax + b$

$E_P(a, b)$, состоящий из всех точек (x, y) , которые удовлетворяют вышеуказанному уравнению, вместе с элементом на бесконечности O . Группу можно определить на основе набора $E_P(a, b)$ для конкретных значений a и b . Если P, Q, R являются точками на $E_P(a, b)$, то коммутативность отношений, ассоциативность, существование единичного элемента и существование обратного - верны. Центральной проблемой для реализации ЕСС является проблема дискретного логарифма, которая может быть сформулирована как «сложно найти значение k такое, что $Q = kP$, где P и Q известны». Но «должно быть относительно легко найти Q , где k и P известны» P, Q - точки на эллиптической кривой [4].

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД ДЛЯ КОДИРОВАНИЯ ПО ЭТАПАМ:

Шаг 1: Выбор эллиптической кривой $E_P(a, b)$.

Шаг 2: Допустим, что у E есть N точек.

Шаг 3: Предположим, что наш алфавит состоит из цифр, полученных при кодировании ASCII.

Шаг 4: Это преобразует наше сообщение в серию чисел от 0 до 126.

Шаг 5: Теперь выберите вспомогательный базовый параметр, который должен быть сгенерирован генератором псевдослучайных чисел (обе стороны должны договориться об этом).

Шаг 6: Необходимо использование SHA при передаче значения m .

Шаг 7: Нужно рассчитать все возможные пары x и y , соответственно проверить $x = (mk) \bmod p$, затем $x = (mk + 1) \bmod p \dots$ и далее найти для y .

Шаг 8: Найти такой y перед тем, как ввести $x=(mk+k^{-1})\bmod p$. Затем взять точку (x, y) . Теперь это преобразует число m в точку на эллиптической кривой. Таким образом, все сообщение становится последовательностью точек.

ДЕКОДИРОВАНИЕ: Найти каждую точку (x, y) и задать m как наибольшее целое число, меньшее $(x-1)/k$. Затем точка (x, y) декодируется как символ m .

ВЫВОДЫ: Время выполнения для функций кодирования и декодирования немного увеличено по сравнению с оригинальным методом. Использование техники сжатия повышает эффективность, а также делает сообщение более безопасным. Использование PRN и SHA делает метод намного более безопасным, чем другие криптографические методы.

Список литературы:

1. Fulton W. Algebraic Curves. Menlo Park: Benjamin, 1969.
2. Koblitz N. Why study equations over finite fields? – Math Mag., 1982, v. 55, p. 144-149.
3. Koblitz N. Introduction to Elliptic Curves and Modular Forms. 2nd ed. Heidelberg etc.: Springer, 1993.
4. Husemoller D. Elliptic Curves. Heidelberg etc.: Springer, 1987.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЕТЕВЫХ ПРОБЛЕМ В ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Воронин Илья Васильевич

ст. преподаватель

Липецкий государственный педагогический университет

имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,

РФ, г. Липецк

Газин Алексей Иванович

канд. техн. наук, доцент

Липецкий государственный педагогический университет

имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,

РФ, г. Липецк

Зияутдинов Владимир Сергеевич

канд. пед. наук, доцент

*Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
РФ, г. Липецк*

Золотарева Татьяна Александровна

ст. преподаватель

*Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
РФ, г. Липецк*

Селищев Олег Владимирович

преподаватель

*Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
РФ, г. Липецк*

Скуднев Дмитрий Михайлович

канд. техн. наук, доцент

*Липецкий государственный педагогический университет
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,
РФ, г. Липецк*

**ALGORITHMIC SUPPORT OF INTELLIGENT DECISION
SUPPORT SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF NETWORK
PROBLEMS IN LOCAL AREA NETWORK**

Ilya Voronin

Senior Lecturer

*Lipetsk State Pedagogical University
named after P.P. Semen-va-Tyan-Shansky,
Russian Federation, Lipetsk*

Alexey Gazin

Ph.D., Associate Professor

*Lipetsk State Pedagogical University
named after P.P. Semen-va-Tyan-Shansky,
Russian Federation, Lipetsk*

Vladimir Ziyautdinov

*Cand. ped sciences, associate professor
Lipetsk State Pedagogical University
named after P.P. Semen-va-Tyan-Shansky,
Russian Federation, Lipetsk*

Tatyana Zolotareva

*Senior Lecturer
Lipetsk State Pedagogical University
named after P.P. Semen-va-Tyan-Shansky,
Russian Federation, Lipetsk*

Oleg Selishchev

*teacher
Lipetsk State Pedagogical University
named after P.P. Semen-va-Tyan-Shansky,
Russian Federation, Lipetsk*

Dmitry Skudnev

*Ph.D., Associate Professor
Lipetsk State Pedagogical University
named after P.P. Semen-va-Tyan-Shansky,
Russian Federation, Lipetsk*

Аннотация. Целью работы является проверка состояния локальной вычислительной сети при взаимодействии анализаторов различного уровня, рассмотреть их алгоритмическую реализацию.

Abstract. The aim of the work is to check the state of the local computer network in the interaction of analyzers of different levels, to consider their algorithmic implementation.

Ключевые слова: локальная вычислительная сеть; система поддержки принятия решений; алгоритм; анализатор.

Keywords: local area network; decision support system; algorithm; analyzer.

Введение

В настоящее время при разработке локальной вычислительной сети (ЛВС) главным вопросом остается ее диагностика. Активно развивающиеся информационные технологии обеспечивают появление новых идей в решении данного вопроса. Одним из вариантов является разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР) для идентификации состояния ЛВС.

Алгоритмическая реализация СППР для идентификации состояния ЛВС

Для создания на алгоритмическом уровне СППР для проверки состояния локальной вычислительной сети рассмотрим подобную систему как совокупность трех составляющих:

1. статистического анализатора [1];
2. сигнатурного анализатора;
3. нейросетевого анализатора [2-3].

Для гибкой настройки и точной идентификации состояния ЛВС предлагается ввести в полученную совокупность нечетко-логические отношения.

Таким образом, единый менеджер анализаторов включает в себя симбиоз трех компонент и их комбинированное использование - гибридный анализатор.

При помощи данного менеджера анализаторов можно управлять слаженной работой нескольких анализаторов в анализирующем программном модуле (АПМ).

Алгоритм работы анализирующего программного модуля можно описать следующим образом:

1. Получение данных;
2. Обработка статистическим анализатором;
3. Вывод графика №1;
4. Синтез вектора Y_1 ;
5. Обработка сигнатурным анализатором;
6. Вывод графика №2;
7. Синтез вектора Y_2 ;
8. Обработка нейросетевым анализатором;
9. Вывод графика №3;
10. Синтез вектора Y_3 ;
11. Обработка гибридным анализатором;
12. Вывод графика №4.

Каждая составляющая данного алгоритма работы АПМ имеет собственный алгоритм работы, который можно описать следующими этапами:

1. Выборка пакета;
2. Разбиение на отдельные фрагменты;
3. Селекция фрагментов;
4. Обработка ядром анализатора (является главным звеном в работе данного алгоритма);
5. На выход подается соответствующая информация о наличии или отсутствии проблем.

Алгоритмическая реализация статистического анализатора

Работу статистического анализатора можно описать как алгоритм с предусловием, при необходимости проведения анализа выполняются следующие шаги:

1. Формирование входных данных;
2. Определение локальных статистических характеристик потока пакетов сетевого трафика:

2.1. Выборочное среднее ε рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = \sum_{d=1}^D \frac{(x_{d-1} + x_d)}{2} Y_d ;$$

2.2. Выборочная дисперсия Δ^2 рассчитывается по формуле

$$\Delta^2 = \sum_{d=1}^D \left(\frac{(x_{d-1} + x_d)}{2} - \varepsilon \right)^2 Y_d , \text{ где } [x_{d-1}, x_d) - \text{ граничное значение}$$

интервала с номером выборки $d, d = \overline{1, D}$; D – число интервалов разбиения выборки; Y_d – значение локальных частот в выборке с номером d ;

2.3. Статистика χ^2 в соответствии с формулой

$$\chi^2 = n \sum_{d=1}^D \frac{(Y_d - y_d)^2}{y_d} , \text{ где } y_d - \text{ значение глобальных частот в выборке}$$

с номером d ; n – длина выборки;

1. Сравнение локальных и глобальных характеристик (если локальные характеристики превышают порог допустимого отклонения от глобальных характеристик, то такие характеристики являются проблемными);

2. Передача данных о проблеме в систему (генерируется объект, содержащий дату и время наступления проблемного события, адрес-источник хоста ЛВС).

Алгоритмическая реализация сигнатурного анализатора

Данные в процессе сигнатурного анализа проходят несколько стадий обработки: декодирование пакетов, препроцессорная обработка, процессор обнаружения проблем, модули вывода.

При декодировании идентифицируется протокол, содержащийся в анализируемом пакете, проверяется соответствие данных этому протоколу. По декодируемой информации устанавливаются маркеры в структуре пакета на начало следующего уровня и вызывается декодер

следующего уровня. Декодер может создавать свои собственные сигналы, если обнаружены ситуации с нарушениями заголовочных данных пакетов.

На следующем этапе пакет преодолевает очередь препроцессоров, которые фактически являются модифицированными декодерами. Все препроцессоры можно разбить на 3 группы: сборка пакетов, стабилизация протоколов и обнаружение известных проблем в трафике.

Затем пакет с данными поступает в процессор идентификации проблем. Процессор использует комплексную методологию анализа правил. Синтезируются четыре группы базовых правил: ICMP, IP, TCP и UDP.

При обнаружении проблем процессор обнаружений может употреблять различные механизмы. При первом выполнении правил происходит обработка всей совокупности независимо от числа активизировавшихся правил или происходит обработка правил в определенной последовательности.

Вся информация о проблемных сигналах поступает в модули вывода, где происходит ее регистрация. Запись данной информации может вестись в различных форматах.

Алгоритмическая реализация нейросетевого анализатора

Эксплуатация подготовленной интеллектуальной нейронной сети будет происходить по следующему алгоритму (рис. 1).

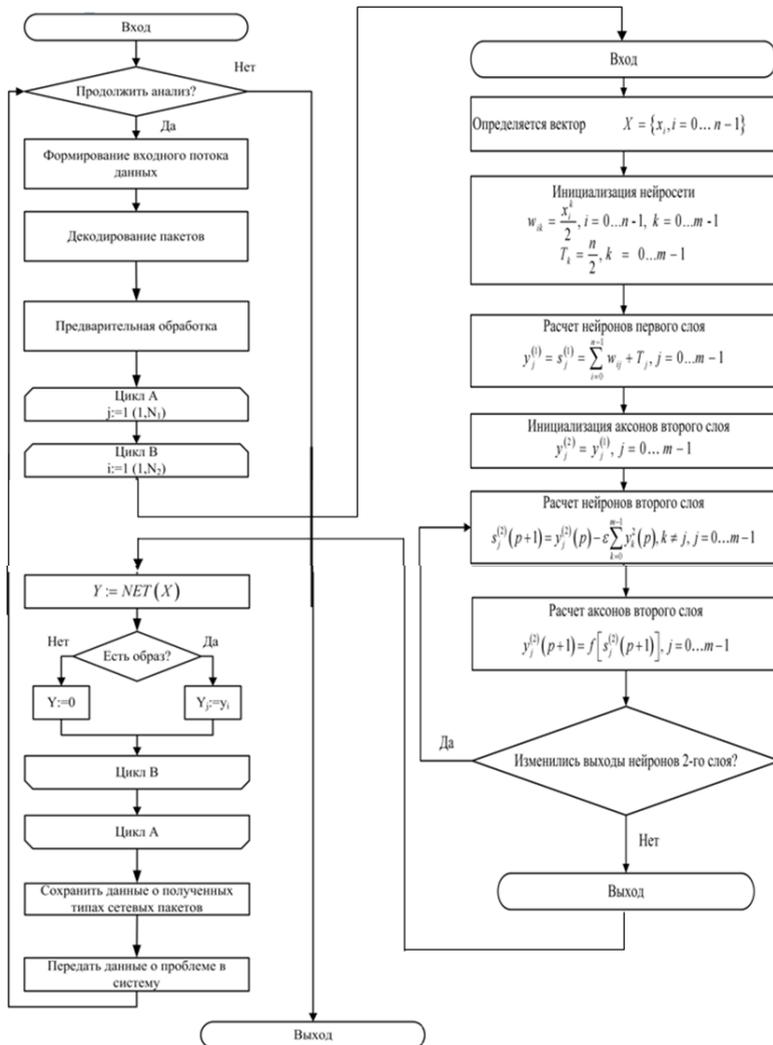


Рисунок. 1. Алгоритм работы нейросетевого анализатора в режиме простой эксплуатации с подробным алгоритмом функционирования нейросети Хемминга

Алгоритмическая реализация гибридного анализатора

Алгоритм работы гибридного анализатора сетевого трафика можно описать следующим образом [4]:

1. Инициализация векторов Y_1 , Y_2 , Y_3 ;
2. Модификация базы нечетной логики;
3. Расчет аналитической характеристики;
4. Экспорт графика характеристики.

Заключение

Реализация рассмотренных статистического, сигнатурного и нейросетевого анализаторов, образует гибридный алгоритм работы, позволяющий проверять состояние ЛВС.

Список литературы:

1. Зияутдинов В.С., Золотарева Т.А., Воронин И.В., Скуднев Д.М. Аналитическое обеспечение интеллектуальной системы поддержки принятия решения для идентификации состояния локальной вычислительной сети / В.С. Зияутдинов, Т.А. Золотарева, И.В. Воронин, Д.М. Скуднев // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 10-2. – С. 280-284.
2. Частиков А.П. Метод выявления сетевых аномалий с использованием модели OSI / А.П. Частиков, А.В. Кучер // *Тр. IV Всероссийской конференции молодых ученых и студентов – Краснодар. Просвещение-Юг, 2007 – С. 152-154.*
3. Ziyautdinov Vladimir Sergeyeovich, Skudnev Dmitry Mikhaylovich, Smirnov Mikhail Yuryevich. Network Synthesis: Using Genetic Algorithms for Network Synthesis / Vladimir Sergeyeovich Ziyautdinov Dmitry Mikhaylovich Skudnev, Mikhail Yuryevich Smirnov // *Indian Journal of Science and Technology*, – 2016. – Vol. 9(44).
4. Емельянов С. Искусственный интеллект и принятие решений / С. Емельянов, УРСС, 2010. - 108 с.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. / С Хайкин, Вильямс, 2006. - 1104 с.
6. 2014 International Conference on Computer Technologies in Physical and Engineering Application (ICCTPEA) Algorithmic implementation of neural network errors analyzer in the local network, Russia, Saint–Petersburg, june 30 – july 4, 2014.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ADVANTA И ATLIASSIAN JIRA

Бритиков Максим Игоревич

магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана,
РФ, г. Москва

Леперт Михаил Владимирович

магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана,
РФ, г. Москва

АННОТАЦИЯ

Предмет. Предметом исследования является «Разработка комплексной системы приложений для интеграции систем управления проектами ADVANTA и ATLIASSIAN JIRA»

Цели. К целям работы относятся:

- разработка комплексной системы приложений для интеграции систем управления проектами ADVANTA и ATLIASSIAN JIRA, способную обеспечить создание единого информационного пространства в компании, использующей эти системы, обеспечить бизнесу автоматическое формирование отчетности, опираясь на достоверные данные
- разгрузка планово-экономического отдела компании за счет автоматизации процессов формирования плана и факта.
- создание механизма для предварительной очистки информации.
- упрощение процесса подготовки отчетов на основе информации из нескольких источников данных.

Методология. Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- снизить трудоемкость процесса подготовки, сбора и проверки отчетности.
- минимизировать усилия по анализу достоверности данных.
- получить актуальный статус по проектам в режиме реального времени.

Все вышеперечисленные задачи должны быть решены разработкой комплекса программных средств, обеспечивающих интеграцию между системами управления проектами в части автоматизации переноса плановой и фактической информации.

Ключевые слова: информационная система; интеграция; система управления проектами; JIRA; Advanta.

Использование систем управления проектами играет важную роль в жизни любой компании и непосредственно влияет на многие аспекты ее жизнедеятельности, начиная от организации производства, заканчивая экономическим состоянием компании.

Большинство компаний для поддержания жизнедеятельности использует несколько систем управления проектами, в одной из которых формируется плановая информация, а в другой фактическая, то есть, в одной системе планируются проекты/задачи/ресурсы на проекты и задачи, а в другой происходит фактическая работа. И важнейшей задачей такой фирмы для обеспечения высокой эффективности работы, является интеграция таких систем и построение на их базе отчетности.

В целом, информационная система – это некоторая экосистема, обеспечивающая автоматизированный сбор, обработку и манипулирование данными в соответствие с бизнес – моделью. Включает она технические средства для обработки данных, программное обеспечение и персонал, обеспечивающий поддержку.

Основой любой информационной системы является база данных, а целью – обработка информации об объектах реального мира. В нашем случае – о деятельности предприятия. Возвращаясь к основе информационной системы – базе данных, стоит сказать, что в целом, база данных это просто способ организации хранения данных, ставший стандартом для использования в любой области жизнедеятельности человека. И непосредственно в базе данных хранится вся информация о предметной области, ведь предметная область – это совокупность знаний об окружающем мире, а в данном случае о деятельности предприятия.

Основой построения базы данных является построение модели данных, которая, в свою очередь строится с оглядкой на бизнес модель предприятия.

Модель данных – это совокупность объектов, свойств и связей, дающее полное понимание о проектируемой БД. Сначала происходит инфологическое (внемашинное) проектирование, включающее описание предметной области, информацию о потребностях пользователя и, непосредственно, инфологическое проектирование. Затем происходит даталогическое (машинное) проектирование, которое, в свою очередь включает уже выбор СУБД, непосредственно даталогическое проектирование и проектирование физической модели. – Таким образом происходит создание базы данных, то есть, основное в данном процессе – упорядочить необходимую информацию и выложить ее в формальном виде.

На рисунке 1 можно увидеть структуру разработанной базы данных:

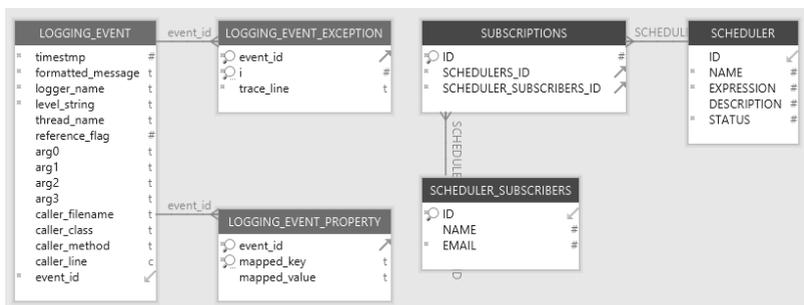


Рисунок 1. Структура созданной базы данных

Как уже было сказано ранее, база данных – это лишь способ организации данных, для построения функциональной информационной системы необходима разработка программного средства, которое и будет оперировать данными, обеспечивая интеграцию между системами управления проектами.

Для успешной разработки программного средства, необходимо четко понимать поставленные задачи и видеть пути их решения, а также понимать затрагиваемые бизнес – процессы. На основании этой информации строятся бизнес – требования к разрабатываемому программному средству – совокупность верхнеуровневых договоренностей относительно программного средства, подлежащего разработке. После достижения договоренностей и построения бизнес – требований, необходимо разработать функциональные требования, где уже будет точно описано, что и как необходимо реализовать в программе.

К общим требованиям по данной системе можно отнести следующее:

Разрабатываемая комплексная система должна обеспечивать идентификацию элементов обеих СУП (проектов, договоров – компонентов, задач – эпиков), составление иерархий проектов, договоров, задач из ADVANTA, проектов, компонентов, эпиков, задач из JIRA. На основании иерархии элементов СУП должна происходить идентификация соответствующих.

Из ADVANTA в JIRA должен происходить перенос плановой информации.

Происходить это должно так:

- по каждому проекту ADVANTA в JIRA ищется соответствующий проект, если не найден – создается новый;

- по каждому договору из Проекта в ADVANTA ищется соответствующий компонент в JIRA и создается, если не был найден;

- в JIRA создаются Эпики на основании задач из ADVANTA.

Обратно, из JIRA в ADVANTA должен происходить перенос факта.

Это должно происходить так:

- по каждому проекту ADVANTA в JIRA ищется соответствующий проект, если не найден – создается новый;

- по каждому договору из Проекта в ADVANTA ищется соответствующий компонент в JIRA и создается, если не был найден;

- в JIRA создаются Эпики на основании задач из ADVANTA;

- из найденного или созданного JIRA – компонента, списанные сотрудниками на задачи часы консолидируются до эпиков и в таком виде переносятся в соответствующие задачи в ADVANTA.

Кроме того, приложение проверки должно осуществлять проверку проверка фактически списанных часов каждым сотрудником.

Во время проверки должен происходить отдельный подсчет фактически списанных часов каждым сотрудником со всех проектов, договоров и задач и расчет плановых часов на каждого сотрудника, с учетом его коэффициента загрузки и даты увольнения, если она входит в диапазон проверки.

Результатом проверки является отчет со списком сотрудников, общее время которых при консолидации списано с отклонением от плана «+, –»

База данных должна содержать таблицу и поля в них для хранения информации о планировщике, формуле, его задающей, описание планировщика и его идентификатор, хранить журналы логов. В свою очередь, требования к программному обеспечению – возможность подключения к базе данных и вывода информации об исключениях, и возможность запуска на нескольких программных платформах.

В качестве основного языка программирования был выбран язык Java, в первую очередь из-за того, что этот язык на данный момент самый популярный и используется в большинстве предприятий, за его надежность за его простоту и, как следствие, высокую скорость разработки программного обеспечения с его помощью. К тому же Java – современный язык программирования, ни один год, занимающий первое место в рейтингах языков программирования и для него, существует множество документации и примеров, в том числе и на русском языке.

Для сборки проектов и работы с зависимостями (библиотеками) в Java – проектах у нас в фирме используется maven – один из самых популярных и удобных сборщиков.

Для работы с базой данных в Spring – проекте в репозитории maven присутствует зависимость «spring-boot-starter-jdbc», по сути, содержащий в себе драйвер для работы с базами данных и зависимость «spring-boot-starter-jpa», реализующий Java persistence API – интерфейс сохранимости Java, предоставляет возможность сохранять в удобном виде Java-объекты в базе данных – с помощью этих зависимостей можно легко организовать отправку запросов к БД и получение результатов их выполнения.

Разработка комплексной системы приложений включает в себя следующие основные этапы:

- разработка базы данных;
- разработка приложения для интеграции систем управления проектами JIRA и ADVANTA в части плана;
- разработка приложения для интеграции систем управления проектами JIRA и ADVANTA в части факта;
- разработка приложения проверки фактически списанных часов каждым сотрудником;
- разработка клиентского приложения для управления системой приложений.

Результат работы разработанного приложения проверки можно увидеть на рисунке 2:

Уважаемые коллеги, добрый день.

Просьба списать недостающее время за текущий месяц в Адванте:

Сотрудник	Должно быть списано, ч	Списано, ч	Отклонение от плана
Алексеев Виктор Петрович	18.0	19.0	-1.0
Бортников Алексей Николаевич	38.0	23.0	15.0
Бортникова Виктория Петровна	38.0	19.0	19.0
Валиков Виктор Петрович	38.0	23.0	15.0
Виноградов Алексей Павлович	18.0	0.0	18.0
Данилов Никита Сергеевич	38.0	23.0	15.0
Жуков Никита Александрович	18.0	19.0	-1.0
Кириллова Анна Сергеевна	38.0	23.0	15.0
Леонов Андрей Викторович	38.0	19.0	19.0
Никитин Олег Данилович	38.0	23.0	15.0

Рисунок 2. Результат работы приложения проверки фактически списанных часов каждым сотрудником

На рисунке 3 изображен разработанный интерфейс для управления планировщиками, запускающими приложения.

Секунда: Час: Месяц:

Каждую сек. Каждый ча. Каждый ме.

Минута: День: Неделя:

Каждую ми. Каждый де.

Каждый день

Понед.

Вторник

Среда

Четверг

Пятница

Суббота

Воскр.

✓ Проверить ▶ Запустить ■ Остановить

* * * * *

{Описание}

Рисунок 3. Интерфейс страницы работы с расписанием запуска приложений

Таким образом, была спроектирована и разработана система приложений, обеспечивающая автоматическую интеграцию между системами управления проектами на предприятии, а также обеспечивающая построение системы отчетности, обеспечивающая таким образом проверку фактически списанных часов каждым сотрудником и разработан графический интерфейс управления.

Список литературы:

1. Гонсалвес Э. Изучаем java EE 7. – Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2016. – 795 с., ил.
2. Дейт К. SQL и реляционная теория. Как грамотно писать код на SQL Пер. с англ. – М: Символ-Плюс, 2010. – 628 с., ил.
3. Дейт К. SQL и реляционная теория. Как грамотно писать код на SQL Пер. с англ. – М: Символ-Плюс, 2010. – 628 с., ил.
4. Крейг У. Spring в действии. – Пер. с англ. – М: ДМК Пресс, 2015. – 855 с., ил.
5. Документация Thymeleaf. [Электронный ресурс] URL: <http://thymeleaf.org/doc/tutorials/3.0/usingthymeleaf.html>.
6. Документация Java. [Электронный ресурс] URL: <https://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/documentation/index.html>.
7. Документация Bootstrap. [Электронный ресурс] URL: <https://getbootstrap.com/docs/4.3/getting-started/introduction>.

СОВМЕСТНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЧИСЛОВЫХ РЯДОВ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩИХ АРИФМЕТИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ, НА МНОЖЕСТВЕ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

Плахов Алексей Валерьевич

сотрудник

*Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации,
РФ, г. Орёл*

JOINT PLACEMENT OF NUMBER SERIES ELEMENTS SATISFACING ARITHMETIC PROGRESSION ON A LOT OF NATURAL NUMBERS

Aleksey Plakhov

*Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation,
Russia, Orel*

Аннотация. Рассмотрены методы совместного размещения объектов на множестве ограниченных сверху натуральных чисел при различных ограничениях. Представлен метод совместного размещения элементов числовых рядов, удовлетворяющих арифметической прогрессии на множестве натуральных чисел, свободный от недостатков, присущих известным методам.

Abstract. The methods of joint placement of objects on the set of natural numbers bounded above from above under various restrictions are considered. The method of co-placement of elements of numerical series that satisfies arithmetic progression on a set of natural numbers, free from the disadvantages inherent in known methods is presented.

Ключевые слова: канал управления; арифметическая прогрессия.

Keywords: control channel; arithmetic progression.

В ряде практически важных случаев, возникающих в задачах управления сложными организационно-техническими системами, требуется решать задачу совместного размещения объектов на множестве ограниченных сверху натуральных чисел при различных ограничениях. К таким ограничениям могут относиться ограничения в виде условий, относительно мощности подмножеств чисел, формируемых на основе арифметической прогрессии.

Выбор арифметической прогрессии в качестве математической схемы генератора элементов совместно упаковываемых подмножеств обусловлен в задачах управления возможностью компактного описания числовых рядов, образующих упаковываемые подмножества, так как при значительных объемах подмножеств это позволяет снизить требования к объемам управляющих сообщений, передаваемых и хранимых в подсистемах управления [1, с. 41].

В общем случае рассматриваемая задача является многоэкстремальной оптимизационной задачей нелинейного программирования в n -мерном пространстве и имеет экспоненциальную сложность. Известные методы размещения объектов можно разделить на два противоположных класса: динамические методы сжатия свободного пространства или методы последовательного размещения объектов. Общий прием использования динамических методов заключается в размещении объектов уменьшенного размера в область установки и предполагает моделирование динамики изменения состояния объекта в целом, что значительно затрудняет решение задачи в условиях случайного характера управляющих воздействий, связанных с размещением новых множеств. Другая группа подходов, названных методами последовательного заполнения, рассматривает системы, подготовленные путем геометрических вычислений, без моделирования динамики элементов. Это определяет актуальность метода последовательного одиночного размещения для решения задачи размещения объектов. Этот метод состоит в том, что все элементы размещаются последовательно, причем ранее размещенные считаются неподвижными, то есть их параметры размещения имеют определенные фиксированные значения. Метод полного перебора практического интереса не представляет, так как количество итераций реализующего его алгоритма равно $n!$, где n – число размещаемых элементов нового упаковываемого подмножества. Сравнительная характеристика метода динамического программирования и метода ветвей и границ для n объектов дает следующие величины: $n2^n$ для динамического программирования и 1.26^n для метода ветвей и границ.

Таким образом, основным недостатком существующих подходов является отсутствие учета зависимости размещаемого объекта от уже размещенных объектов, что не позволяет применить указанные методы для решения рассматриваемой задачи.

Разработан метод совместного размещения элементов числовых рядов, удовлетворяющих арифметической прогрессии на множестве натуральных чисел, свободный от недостатков, присущих известным методам.

Количество возможных вариантов расположения незанятых элементов ограниченного сверху числового ряда определяется выражением

$$Sum_l(n) = \prod_{i=1}^l \frac{n+i-1}{i}, \quad (1)$$

где: $n = N - l + 1$, $n \neq 0$

N – длина ограниченного сверху числового ряда;

l – количество свободных элементов в числовом ряду.

Возможность описания элементов упаковываемого подмножества из числа свободных арифметической прогрессией определяется теоремой Ван дер Вардена [2, с. 35], согласно которой хотя бы одно разбиение целых чисел содержит арифметическую прогрессию.

В этом случае элементы подмножеств представляются числовыми последовательностями, определяемыми выражением

$$a_n = a_1 + d \cdot (n-1), \quad (2)$$

где: a_1 – первый член арифметической прогрессии (первое число ряда, являющегося арифметической прогрессией);

d – смещение чисел арифметической прогрессии;

n – номер элемента арифметической прогрессии.

На количество вариантов размещения подмножеств влияет количество элементов ряда, в которых ранее не размещены элементы других подмножеств, мощность размещаемого подмножества, а также величина d – смещения (шага) арифметической прогрессии. При значительном количестве размещаемых подмножеств может применяться подход, заключающийся в формировании арифметической прогрессии A путем конкатенации k арифметических прогрессий, каждой со смещением d . В таком случае арифметическая прогрессия A описывается выражением вида

$$A_n = (a_1^{(1)} \cup a_1^{(2)} \cup \dots \cup a_1^{(k)}) + d(n-1) \quad (3)$$

В этом случае они представляют собой формулу КУ с перечислением элементов, описывающих размещение на множестве натуральных чисел позиций нового подмножества, а также смещения, относительно каждого элемента формулы.

Следовательно, при разработке алгоритма размещения нового подмножества в числовом ряду необходимо на основе имеющегося массива свободных элементов ряда $Mas = \{Mas_1, \dots, Mas_l\}$ выбрать

$M = \{m_1, \dots, m_p\}$ чисел таким образом, чтобы: все выбранные свободные элементы ряда были меньше длины ряда $m_p < N$; выбранные для размещения элементы описывались формулой минимальной размерности, то есть для $(a_i^{(1)} \cup a_i^{(2)} \cup \dots \cup a_i^{(k)}) \quad k \rightarrow \min$.

В общем случае при $k > 1$, процесс размещения подмножества в числовом ряду представляет собой выделение из имеющего множества свободных позиций такого подмножества, сумма которых в рамках каждого окна k отвечала свойствам арифметической прогрессии и описывалось линейным уравнением вида

$$S_n = S_1 + d \cdot k \cdot (n-1), \quad (4)$$

где S_n – сумма k элементов n -го окна

На итоговый выбор формулы размещения влияют следующие параметры: N – количество позиций, не занятых элементами других подмножеств; M – мощность размещаемого подмножества; j – счетчик числа элементов арифметической прогрессии; k – счетчик числа элементов формулы (первого окна) арифметической прогрессии.

Обобщение описанных выше процессов позволяет сформировать общую функциональную взаимосвязь процессов, определяющих структуру разработанного метода (рисунок 1).

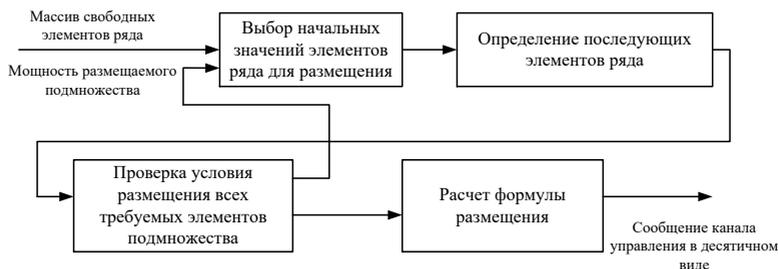


Рисунок 1. Функциональная схема взаимосвязи процедур решения задачи размещения элементов числовых рядов, удовлетворяющих арифметической прогрессии, на множестве натуральных чисел

Известные способы выбора начальных значений (первый свободный, случайный) и объективные требования к изменчивости размещения новых подмножеств позволили сделать вывод о целесообразности случайного выбора различных чисел, определяющих арифметическую прогрессию.

Список литературы:

1. Плахов А.В. Алгоритм размещения каналов передачи информации в цифровом потоке с динамическим мультиплексированием // Плахов А.В. / Промышленные АСУ и контролеры. 2018. – № 4. С. 40–44.
2. Беспмятных С.Н. Раскраска плоскости и теорема Ван дер Вардена о прогрессиях // Квант, № 12. 1983.

1.2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

ПОВЕРХНОСТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ЗАКАЛКА СКАНИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Шиянок Владислав Васильевич

магистрант,

Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь, г. Минск

Точилкина Надежда Анатольевна

магистрант,

Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН»,
РФ, г. Москва

Современное производство, в частности машиностроение, нуждается в деталях и изделиях с повышенными эксплуатационными характеристиками. Изготовление таких изделий традиционными методами зачастую вызывает значительные трудности из-за высокой стоимости процесса обработки. Решение этой проблемы может быть найдено путём разработки принципиально новых технологических процессов упрочняющей обработки материалов, основанных на использовании последних достижений науки и техники. К таким процессам относится лазерная поверхностная закалка, позволяющая существенно поднять ресурс службы инструментов и деталей, изготовленных из различных сталей. Скоростной локальный нагрев и быстрое охлаждение обрабатываемого материала за счет теплоотвода в массив изделия, обеспечиваемые лазерным излучением, способствуют формированию поверхностных слоев толщиной до 2 мм (рис. 1).

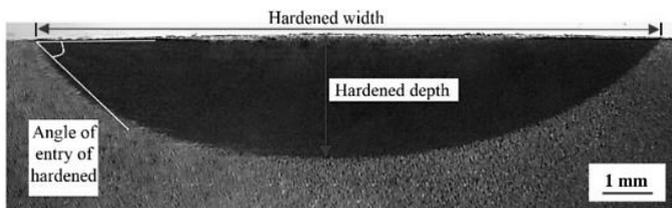
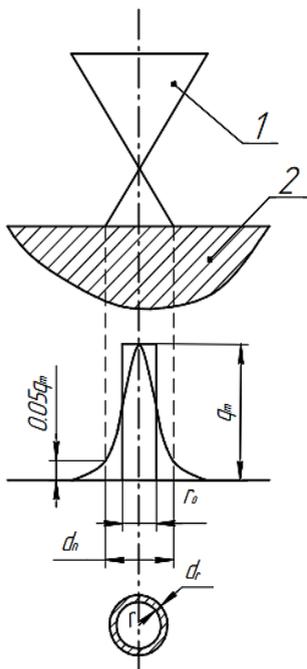


Рисунок 1. Схема геометрических размеров закаленной зоны (ширина, глубина) [2]

Чаще всего распределение плотности мощности $E(r)$ в сечении сфокусированного лазерного излучения происходит по нормальному (гауссовому) распределению. При действии такого излучения на поверхности тела возникает тепловой источник нагрева также с нормальным распределением плотности мощности в пятне лазерного излучения (рис. 2):

$$q_n(r) = A_{\text{эф}} E_{\text{max}} e^{-kr^2} \quad (1)$$

где: q_{max} – максимальная плотность мощности в центре пятна нагрева; $A_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент поверхностного лазерного излучения; E_{max} – максимальная плотность мощности лазерного излучения по оси; k – коэффициент сосредоточенности, характеризующий форму кривой нормального распределения; r – радиус данной точки.



Примечание: 1 – лазерное излучение; 2 – обрабатываемая деталь.

**Рисунок 2. Нормальное распределение плотности мощности
в пятне лазерного излучения**

Однако, повышая концентрацию лазерного излучения, мы значительно увеличиваем скорость нагрева. При таком лазерном излучении она может составлять до 1000000 °С/сек, что в свою очередь способствует формированию поверхностных слоев толщиной в несколько микрон. Такие слои слабо изучены, но в перспективе могут обладать уникальными характеристиками и свойствами. Такой процесс еще называют лазерной аморфизацией поверхностей. Наибольший эффект можно достичь, используя аморфизацию для промышленных сталей и чугунов с одновременным легированием поверхности. Промышленное использование процесса лазерной аморфизации деталей и узлов машин из конструкционных материалов позволит существенным образом повысить такие эксплуатационные свойства как коррозионная стойкость, износостойкость и др.

Таким образом, целью данной работы является исследование физико-механических и трибологических свойств покрытий, сформированных методом сканирующего лазерного излучения.

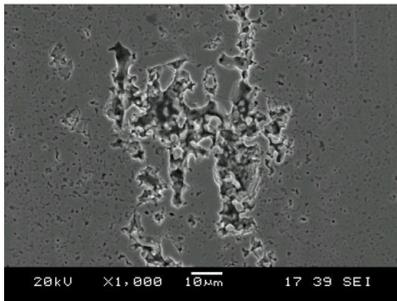
Трибологические испытания проводились для 4 видов образцов: борированные с лазерной закалкой, объемно-закаленные с лазерной закалкой, борированные, объемно-закаленные. Образцы были изготовлены из стали 45. Электронно-микроскопическое исследование изношенных поверхностей выполнялись с помощью сканирующего электронного микроскопа "JEOL JSM-5600LV". Планирование эксперимента проводилось по модели полного факторного эксперимента. Изменяемыми факторами для сканирующей лазерной закалки будут 3 показателя: P , Вт – мощность лазерного излучения, V , мм/с – скорость передвижения лазерного луча, ΔF , мм – фокусное расстояние лазерного луча.

Установлено, что борированная поверхность после дополнительной лазерной закалки при $P = 8$ Вт, $V = 100$ мм/с, $\Delta F = 148$ мм характеризуется наименьшим коэффициентом трения. Наибольшим коэффициентом трения обладает объемно-закаленная поверхность после дополнительной лазерной закалки при $P = 8$ Вт, $V = 100$ мм/с, $\Delta F = 148$ мм. Максимальный коэффициент трения превышает минимальный в 2.5 раза. Выявлено, что объемно-закаленная поверхность после дополнительной лазерной закалкой при $P = 8$ Вт, $V = 100$ мм/с, $\Delta F = 148$ мм обладает наименьшей интенсивностью изнашивания. Наибольшей интенсивностью изнашивания обладает объемно-закаленная поверхность с дополнительной лазерной закалкой при $P = 20$ Вт, $V = 100$ мм/с, $\Delta F = 150$ мм. Максимальная интенсивность изнашивания превышает минимальную в 12,5 раз.

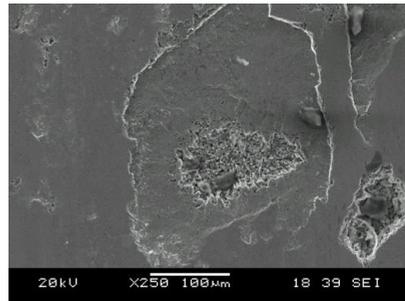
Изображения изношенных поверхностей представлены в таблице 1.

Таблица 1.

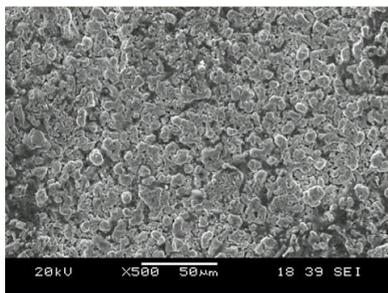
Электронно-микроскопическое исследование



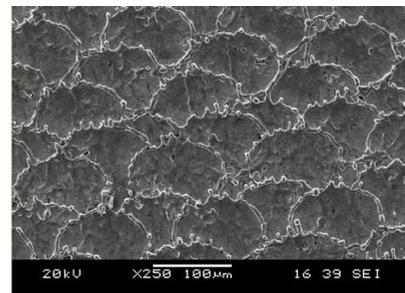
а) Изображение изношенной поверхности борированного образца с лазерной закалкой при $P = 8 \text{ Вт}$, $V = 100 \text{ мм/с}$, $\Delta F = 150 \text{ мм}$.



б) Изображение изношенной поверхности борированного образца с лазерной закалкой при $P = 8 \text{ Вт}$, $V = 100 \text{ мм/с}$, $\Delta F = 148 \text{ мм}$.



в) Изображение изношенной поверхности борированного образца без лазерной обработки



г) Изображение изношенной поверхности объемно-закаленного образца с лазерной закалкой при $P = 20 \text{ Вт}$, $V = 1000 \text{ мм/с}$, $\Delta F = 150 \text{ мм}$.

Проведенные исследования показали целесообразность использования технологии упрочнения сканирующим лазерным излучением с целью повышения ресурса службы изделий.

Список литературы:

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учебное пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 665 с.
2. Moradi M., Moghadam M.K. High power diode laser surface hardening of AISI 4130; statistical modelling and optimization. Optics & Laser Technology. 2019. Vol. 111. P. 554-570.
3. Moradi M., Moghadam M.K., Kazazi M. Improved laser surface hardening of AISI 4130 low alloy steel with electrophoretically deposited carbon coating. Optik. 2019. Vol. 178. P. 614-622.

1.3. ТРАНСПОРТ

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Трифонова Наталья Сергеевна

магистрант,

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
РФ, г. Хабаровск*

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE RUSSIAN AIR TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Natalia Trifonova

undergraduate,

*Far Eastern State University,
Russia, Khabarovsk*

Аннотация. Работа посвящена сравнительному анализу показателей развития инфраструктуры воздушного транспорта Российской Федерации в сравнении с некоторыми странами СНГ и Запада. В результате исследования было выявлено, что Российская Федерация находится примерно на одном уровне со странами СНГ и сильно отстает от стран Запада. Для приближения отечественной инфраструктуры воздушного транспорта к мировым стандартам, необходимы: модернизация и укрупнение аэропортов, строительство и реконструкция ВПП и аэропортов местного назначения.

Abstract. The work is devoted to a comparative analysis of the development of the air transport infrastructure of the Russian Federation in comparison with some CIS countries and the West. The study revealed that the Russian Federation is roughly on the same level as the CIS countries and lags far behind the Western countries. In order to bring the domestic air transport infrastructure closer to world standards, it is necessary: modernization and consolidation of airports, construction and reconstruction of the runway and local airports.

Ключевые слова: инфраструктура; воздушный транспорт; транспортная стратегия; аэропорт; показатели развития; индекс развития.

Keywords: infrastructure; air transport; transport strategy; airport; development indicators; development index.

Воздушный транспорт занимает лидирующие позиции по отношению к другим видам транспорта для пассажирских перевозок, как в Российской Федерации (далее – РФ), так и за рубежом.

Важным элементом в организации авиаперевозок является транспортная инфраструктура аэропортов, которая обеспечивает безопасность полетов, комфортные условия для пассажиров, грузовладельцев и персонала. В связи с этим на современном этапе российское правительство уделяет большое внимание реконструкции крупнейших аэропортов страны.

Согласно докладу о реализации транспортной стратегии РФ за 2018 год были окончены реконструкции аэропортовых комплексов «Баратаевка» (г. Ульяновск) и «Кызыл» (г. Кызыл), а также аэропортов «Тикси» и «Саккырыр» (Республика Саха (Якутия)). В то же время более 80 % работ по реконструкции аэропортовых комплексов окончены в Волгограде и Саранске. На Дальнем Востоке начались реконструкции аэропорта «Экимчан» (Амурская область), аэродромного комплекса «Сокол» (г. Магадан), также строительство аэропорта «Оссора» (Камчатский край) было произведено на 35 %.

Несмотря на обновление части инфраструктуры воздушного транспорта, существующей инфраструктуры не хватает для качественного обслуживания пассажиров, а авиационная подвижность населения с каждым годом возрастает. Для сравнения, в 2018 году подвижность возросла на 6,97 % по сравнению с предыдущим годом.

В последние несколько лет были проведены некоторые исследования в данной области. Как заметили в своём исследовании М. Скоробогатова и И. Кузьмина-Мерлино, на сегодняшний день необходимо разработать методологию измерения эффективности функционирования транспортной инфраструктуры [3, с. 5].

К литературе по данной теме также относится статья С.В. Горбенкова «Оценка развития транспортной инфраструктуры города». Данная работа представляет подробный отчет о системе критериев оценки и взаимосвязи ряда показателей развития транспортной инфраструктуры. В критерии вошли экономические, технические, социальные и природно-экологические показатели, что, по мнению автора, позволит осуществлять анализ положения транспортной инфраструктуры. Предложенная система критериев оценки может стать основой для определения интегрального показателя развития транспортной инфраструктуры [1, с. 5].

Целью работы является проведение сравнительного анализа состояния авиатранспортной инфраструктуры РФ, стран СНГ и зарубежных стран, занимающих лидирующие позиции в области авиации.

Для оценки транспортного комплекса используется Глобальный индекс конкурентоспособности (Global Competitiveness Index) (Рисунок 1). Максимальный индекс качества инфраструктуры воздушного транспорта равен 7, измеряется он как экстенсивность и состояние аэропортов: 1 – крайне бедный – среди худших в мире; 7 – чрезвычайно хороший – среди лучших в мире [4, с. 5].



**Рисунок 1. Индекс качества инфраструктуры
воздушного транспорта**

США, Германия и Франция входят в лидирующие страны мира по показателям развития. Однако во Франции и Германии с 2012-2013 годов наблюдается тенденция ухудшения показателей, сохраняющаяся и в наши дни, в то время как в США в эти годы (2012-2013) наблюдался рост, а с 2014 года состояние показателей оставалось достаточно стабильным. РФ сильно отстаёт от данных стран, к тому же индекс качества инфраструктуры воздушного транспорта на протяжении десятилетий практически не изменялся, оставаясь на среднем уровне (4, 1).

Рассматривая инфраструктуру воздушного транспорта стран СНГ, можно отметить, что РФ опережает страны СНГ в 2-3 раза по количеству действующих авиакомпаний и международных аэропортов и в десятки раз – по объёму перевезённых грузов и количеству перевезённых пассажиров.

Анализ состояния авиатранспортной инфраструктуры западных стран показал значительное отставание России в сравнении с Германией,

Францией и США, занимающих лидирующие позиции в мировом пространстве по развитию авиационной инфраструктуры.

Выполненный анализ текущего состояния и развития инфраструктуры воздушного транспорта приводит к следующему результату: РФ сильно отстает от лидеров в авиационной отрасли, объемы деятельности отличаются от ведущих международных перевозчиков в десятки раз. В то же время РФ находится практически на одном уровне со странами СНГ, немного опережая их.

На сегодняшний день объемные и качественные характеристики транспортной отрасли, в особенности инфраструктуры, не позволяют эффективно разрешать проблемы растущей экономики. Транспортные коммуникации РФ в целом коррелируют с внутренними и внешними транспортно-экономическими связями страны. Однако из-за недостаточного развития транспортной системы страны появились ограничения экономического роста.

Для поднятия уровня российских аэропортов до международных необходима модернизация инфраструктуры и создание новых аэропортов и хабов. Географическое положение России таково, что потоки из Европы в Азию и обратно, проходят через нее [2]. Рост деловой активности в России, дальнейшая интеграция в международную систему политических, торговых и социальных отношений способствуют увеличению пассажиропотока в Европу и страны АТР.

Исследование может иметь некоторую теоретическую и практическую ценность. С одной стороны она может расширить теоретические сведения об инфраструктуре воздушного транспорта. С другой стороны, описанная система может послужить основой для дальнейших исследований.

Список литературы:

1. Горбенков С.В., Корбут Е.Е., Оценка развития транспортной инфраструктуры города [Текст] / С.В. Горбенков, Е.Е. Корбут // Вестник современных исследований - 2018. – с. 246-250.
2. Солодский А.И., Транспортная инфраструктура [Текст] / учебник и практикум для академического бакалавриата / А.И. Солодский, А.Э. Горев, Э.Д. Бондарева; под ред. А.И. Солодкого // Из-во Юрайт. – 2016.
3. O. Skorobogatova, I. Kuzmina-Merlino, Transport Infrastructure Development Performance [Электронный ресурс] / Режим доступа. – URL: https://www.researchgate.net/publication/314269225_Transport_Infrastructure_Development_Performance (Дата обращения 01.10.2019).
4. World economic forum: Global Competitiveness Index [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2015-2016> (Дата обращения: 18.09.2019).

1.4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЩИТ ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ТРЕХФАЗНОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ НА МАГНИТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ТОКА

Новожилов Александр Николаевич

*д-р техн. наук, профессор,
проф. кафедры «Электроэнергетика»
Павлодарского государственного университета
им. С. Торайгырова (ПГУ),
Республика Казахстан, г. Павлодар*

Колесников Евгений Николаевич

*магистрант, докторант PhD
Павлодарского государственного университета
им. С. Торайгырова (ПГУ),
Республика Казахстан, г. Павлодар*

Новожилов Тимофей Александрович

*канд. техн. наук, доцент
Омского государственного технического университета,
РФ, г. Омск*

AN EXPERIMENTAL SETUP FOR THE DEVELOPMENT AND RESEARCH OF PROTECTION AGAINST COIL CIRCUITS IN A THREE-PHASE TRANSFORMER USING MAGNETIC CURRENT TRANSFORMERS

Alexander Novozhilov

*Dr. Tech. sciences, professor, professor of the department "Power"
Pavlodar State University. S. Toraigyrova (PSU),
Kazakhstan, Pavlodar*

Evgeny Kolesnikov

*undergraduate, doctoral candidate PhD
Pavlodar State University. S. Toraigyrova (PSU),
Kazakhstan, Pavlodar*

Timofey Novozhilov

*Cand. tech. Sci., Associate Professor,
Omsk State Technical University,
Russia, Omsk*

Аннотация. Высокой чувствительностью к витковым замыканиям в обмотках трансформаторов обладают защиты, в качестве измерительных преобразователей в которых используются магнитные трансформаторы тока (МТТ). Но такие защиты разработаны только для некоторых видов трансформаторов и не могут использоваться на трехфазных трехобмоточных.

В связи с тем, что разработка устройств релейной защиты невозможна без экспериментальных исследований, была разработана и изготовлена экспериментальная установка, которая позволяет осуществлять все необходимые исследования.

В статье дано описание экспериментальной установки, которое включает в себя принципиальную схему, описание и конструкцию используемых в ней элементов, измерительных приборов и аппаратов, а также указаны ее возможности при проведении экспериментов.

Abstract. High sensitivity to winding short circuits in transformer has protections, as measuring converters in which magnetic current transformers (MCT) are used. But such protection is designed only for some types of transformers and cannot be used on three-phase three-winding.

Due to the fact that the development of relay protection devices is impossible without experimental research, an experimental plant has been developed and manufactured, which allows to carry out all necessary research.

The article describes the experimental installation, which includes the schematic diagram, description and design of the elements, measuring instruments and devices used in it, as well as its capabilities in conducting experiments.

Ключевые слова: Трехфазный трансформатор; витковое замыкание; экспериментальная установка; магнитный трансформатор тока; устройство защиты.

Keywords: Three-phase transformer; winding circuit; experimental installation; magnetic current transformer; protection device.

Одним из наиболее важных и дорогостоящих элементов электроэнергетических систем являются трансформаторы. В частности трехфазные трехобмоточные трансформаторы с обмотками высокого, среднего и низкого напряжения. Для защиты этих трансформаторов от коротких замыканий, согласно [1, 2], традиционно используют токовые защиты на трансформаторах тока. Однако эти защиты обладают низкой чувствительностью к витковым замыканиям в обмотках трансформаторов. Это вызвано тем, что увеличение тока на выводах обмоток трансформатора при витковых замыканиях незначительно по сравнению, например, с увеличением этих токов при броске тока намагничивания трансформатора, от которых следует отстраивать защиту.

В соответствии с [3] высокой чувствительностью к витковым замыканиям обладают защиты, в качестве измерительных преобразователей в которых используются магнитные трансформаторы тока (МТТ). Но такие защиты разработаны только для некоторых видов трансформаторов и не могут использоваться на трехфазных трехобмоточных.

В связи с тем, что разработка устройств релейной защиты невозможна без экспериментальных исследований на кафедре «Электроэнергетика» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова при выполнении научных исследований по теме «Совершенствование защит трехфазных трансформаторов от замыканий в обмотках на магнитных трансформаторах тока» была разработана и изготовлена экспериментальная установка, которая позволяет осуществлять все необходимые исследования. Принципиальная схема этой установки приведена на рисунке 1.

В качестве экспериментального трансформатора TV для установки использовался трансформатор типа ТТ-6 мощностью 6,0 кВА. Некоторые из его электрических параметров приведены в таблице 1.

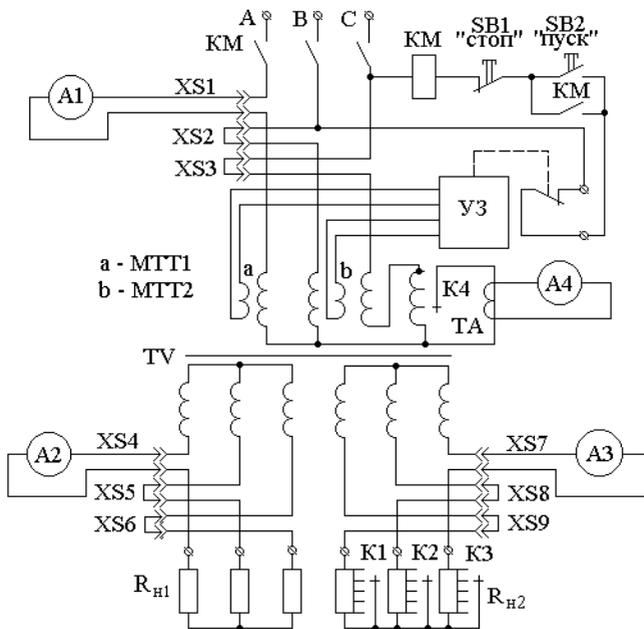


Рисунок 1. Электрическая схема соединений экспериментальной установки

Таблица 1.

Электрические параметры трансформатора ТТ-6

Наименование параметра	Обозначение	Величина
Напряжение питания, В	U_H	380
Число витков в обмотках высокого, среднего и низкого напряжения, вит.	w_1, w_2, w_3	252, 134, 31
Активное сопротивление обмоток высокого, среднего и низкого напряжения, Ом	R_A, R_{a1}, R_{a2}	0,9, 0,2, 0,1

К трехфазной сети переменного тока напряжением 380В этот трансформатор подключается с помощью магнитного пускателя КМ типа ПМЕ-200. Управление магнитным пускателем осуществляется кнопками управления SB1 «пуск» и SB2 «стоп».

Обмотки среднего и низкого напряжения трансформатора подключены к нагрузке в виде активных сопротивлений $R_{н1}$ и $R_{н2}$. В качестве сопротивлений $R_{н1}$ использовались спирали нагрева заводского изготовления сопротивлением 46 Ом закрепленные на цилиндрических корпусах из асбеста. Сопротивления $R_{н2}$ выполнены из нихромовой проволоки Х20Н80 диаметром 2,1 мм с удельным сопротивлением 0,318 Ом/м намотанной виток к витку на аналогичные корпуса. Эти сопротивления имеют выводы, обеспечивающие нагрузку величиной 0; 2,5; 5; 7,5; 10 Ом. Изменение нагрузки трансформатора осуществляется по фазам переключателями К1-К3 типа ПМОФ-45.

Короткозамкнутые витки выполнены в виде дополнительной обмотки в 1-5 витков, намотанной поверх существующей заводской обмотки. Эта обмотка подключалась последовательно с витками той заводской обмотки, в которой должно произойти витковое замыкание. Количество замкнутых витков устанавливается положением переключателя К4 типа ПМОФ-45. Замыкание витков во время экспериментов осуществляется контактором К4. При этом ток в короткозамкнутых витках измеряется с помощью измерительного трансформатора тока УТТ-5М и амперметра А4 типа Э355-1 классом точности 1.5.

Ток в фазах обмоток высокого, среднего и низкого напряжения трансформатора измеряется амперметрами А1, А2 и А3 подключаемыми в разрыв цепи фаз с помощью штепсельных розеток XS1-XS3, XS4-XS6 и XS7-XS9 с вилками с перемычками. В качестве амперметров используются приборы типа Э51, Э59 и Д566 с классами точности 1.0, 0.5, 0.2 соответственно. Такое подключение амперметров А1, А2 и А3 позволяет использовать один и тот же пробор для измерения токов в трех фазах и повысить точность измерений.

Измерение распределения магнитных потоков рассеяния в различных режимах работы осуществлялось с помощью МТТ. В качестве МТТ при проведении экспериментов предполагается использовать катушки от промежуточных реле [4-6] или изготавливаемые по расчетным данным вручную. Параметры используемых катушек от промежуточных реле приведены в таблице 2.

Для закрепления МТТ на трансформаторе в экспериментах предполагается использовать рейки из текстолита и уголки из алюминия, а обмотки МТТ подключать к устройству защиты УЗ. При этом нормально-замкнутые контакты устройства защиты должны подключаться к цепи управления магнитным пускателем КМ.

Таблица 2.

Параметры измерительного преобразователя

Параметры МТТ	№1	№2
Катушка от реле типа	РП-11	РП-25
Средняя величина размеров a_x , a_y и a_z , мм	26, 34 и 21	13, 26 и 19
Число витков w_n , вит	12500	6700
Сопротивление, Ом	5600	712

Таблица 3.

**Геометрические размеры элементов
экспериментального трансформатора ТТ-6**

Геометрические размеры трансформатора ТТ-6	Величина
Расстояние между стержнями, мм	112
Размер окна по вертикали, мм	130
Диаметр стержня, мм	86
Диаметр обмотки высокого, среднего и низкого напряжения, мм	87,4, 122 и 156,6
Число витков в ряду обмотки высокого, среднего и низкого напряжения, вит	252, 31 и 131
Число рядов обмотки высокого, среднего и низкого напряжения	4, 2 и 3

Для регистрации результатов экспериментов в виде токов в обмотках трансформаторов и напряжения на выходе МТТ используется двухлучевой осциллограф на базе персонального компьютера с программным обеспечением «Елена-2014», разработанного на кафедре «Автоматизация и управление» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова докторантом Крюковой Е.В. под руководством профессора Новожилова А.Н.

В связи с тем, что пространственное распределение магнитных потоков привязано к геометрическим размерам элементов трансформатора, величины этих элементов приведены в таблице 3.

Данная экспериментальная установка позволяет моделировать:

- режим холостого хода;
- режим короткого замыкания на выводах обмоток;

- режим включения трансформатора в сеть с произвольной нагрузкой;
- режим работы с переменной симметричной и несимметричной нагрузками;
- витковое замыкание.

В свою очередь моделирование этих режимов дает возможность:

- получить практически все данные необходимые для разработки математической модели трансформатора и оценить ее адекватность;
- выбирать место расположения МТТ при построении того или иного вида защит;
- проверить адекватность расчета параметров не только МТТ, но и элементов устройств релейной защиты.

Внешний вид экспериментальной установки приведен на рисунке 2.



Рисунок 2. Экспериментальная установка

Список литературы:

1. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов [Текст] / Засыпкин А.С. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита. – 4-е издание [Текст] / Чернобровов Н.В. – М.: Энергия, 1974. – 680 с.

3. Новожилов Т.А., Новожилов А.Н., Волгина Е.М. «Измерение переменного тока в проводнике для нужд релейной защиты», Омский научный вестник, № 3(147) 2016 г. – С. 67.
4. Какуевский Л.И., Смирнова Т.В. Справочник реле защиты и автоматики. – М.: Энергия, 1972. – 344 с.
5. Басс Э.И., Жданов Л.С. Катюшки реле защиты и автоматики. - М.: Энергия, 1974. – 78 с.
6. Алексеев В.С., Варганов Б.И., Панфилов Б.И., Розенблюм Р.З. Реле защиты. – Л.: Энергия, 1976. – 464 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 2.

МАТЕМАТИКА

2.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

ПРОБЛЕМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ ТОКОВ

Сманцер Дмитрий Сергеевич

магистрант,

Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники,

Республика Беларусь, г. Минск

THE PROBLEM OF MATHEMATICAL MODELING OF TRANSIENTS IN ELECTRICAL CIRCUITS UNDER THE EFFECT OF PERIODIC NON-SINUSOIDAL CURRENT

Smantser Dmitry

master student,

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics –

RB, Minsk

Аннотация. В статье рассмотрена проблема математического моделирования переходных процессов в электрических цепях при действии периодического несинусоидального тока. Для решения проблемы предложен метод переменных состояния в сочетании с языком

программирования Python. Разработанная методика моделирования учитывает все особенности действующих в цепи электрических величин и в тоже время является наиболее просто программно реализуемой.

Abstract. The article discusses the problem of mathematical modeling of transients in electrical circuits under the effect of periodic non-sinusoidal current. To solve the problem, a method of state variables in combination with the Python programming language is proposed. The developed modeling technique takes into account all the features of the electrical quantities acting in the circuit and at the same time is the most simply software implemented.

Ключевые слова: моделирование; коммутация; переходный процесс; ряд Фурье; переменные состояния; нормальная форма Коши; Python.

Keywords: modeling; switching; transition process; Fourier series; state variables; normal form of Cauchy; Python.

Математическое моделирование является наиболее удобным аппаратом для исследования физических процессов в электрических цепях и энергетических системах, так как значительно сокращается время и расходы на проведение экспериментальных исследований и при этом исследователи имеют возможность получать достаточно полный объем достоверной информации.

В настоящее время при математическом моделировании переходных процессов в электротехнике учёными ведутся исследования в двух направлениях: моделирование переходных процессов при решении конкретных прикладных или исследовательских задач, а также разработка или усовершенствование методов математического моделирования для упрощения сложных вычислений.

Однако широко применяемые методики расчета переходных процессов в электрических цепях при коммутации решают узкие практические задачи и их применение невозможно для математического моделирования переходных процессов в сложных электрических цепях при действии периодических несинусоидальных токов.

Периодическими несинусоидальными токами и напряжениями называются токи и напряжения, которые изменяются во времени периодически, но не описываются синусоидальной функцией.

Для описания периодических несинусоидальных величин применяется разложение в ряд Фурье. Встречающиеся в электротехнике кривые, которые можно в общем случае описать разложением в ряд Фурье:

1) постоянный ток – постоянная составляющая ряда при отсутствии гармоник (частный случай);

2) синусоидальный ток (переменный ток промышленного назначения) – основная гармоника (гармоника первого порядка) при отсутствии постоянной составляющей и гармоник высших порядков (частный случай);

3) кривые геометрически правильной формы, например, трапецеидальной, треугольной, прямоугольной и т. п. (разложение их в ряд Фурье получено и описано в соответствующей литературе);

4) кривые произвольной (геометрически неправильной) формы. Чаще всего они заданы в виде графика и их разложение в ряд Фурье производится графически (графо-аналитически).

Для точности расчетов электрических цепей, как в переходном режиме, так и в установившемся, важно, чтобы разложение в ряд Фурье включало как можно больше слагаемых, т.е. гармоник. Однако из-за того, что расчёты таких цепей производятся методом наложения (суперпозиции), для большого числа гармоник аналитический расчёт произвести затруднительно.

Расчёт установившихся режимов электрических цепей при действии периодических несинусоидальных токов и напряжений чаще всего производится методом наложения (суперпозиции). Согласно принципу суперпозиции, мгновенное значение тока любой ветви схемы равно сумме мгновенных значений токов отдельных гармоник; мгновенное значение напряжения на любом участке схемы электрической цепи равно сумме мгновенных значений напряжений отдельных гармоник на этом участке. Таким образом, расчёт производят для каждой гармоники в отдельности и полученные результаты суммируют.

Методы анализа и расчёта переходных процессов в электрических цепях, которые в настоящее время применяются специалистами, – это классический метод, операторный метод, метод расчёта с помощью интеграла Дюамеля, спектральный метод, метод переменных состояния.

Классический и операторный применяются для решения задач любой сложности, но классический более физически прозрачен, чем операторный, в то время как операторный значительно упрощает расчёты. Применение обоих методов зависит от квалификации пользователя и оба метода тяжело поддаются использованию при высоких порядках уравнений. Метод на основе интеграла Дюамеля применяется при сложной функции напряжения во времени, но метод громоздок при вычислении для уравнений высоких степеней. В этом случае целесообразно использовать спектральный метод, но он имеет ряд ограничений в виде требований к точности анализа и моделирования переходных процессов.

Переходя к рассмотрению проблемы математического моделирования переходных процессов при действии периодических несинусоидальных токов, можно сделать вывод, что при использовании, например, классического метода, когда необходимо найти начальные условия или рассчитать докоммутиционный режим сложной цепи, расчеты становятся значительно громоздкими при наличии большого числа гармоник.

Существует приём замены несинусоидальных токов и напряжений без постоянных составляющих эквивалентными синусоидальными с таким же действующим значением. Приём эквивалентной замены позволяет обойтись без громоздких расчётов. Однако такой приём хоть и облегчает расчёты, но является упрощённым и в итоге приводит к погрешностям, которые могут быть значительными. В то же время при использовании метода переменных состояния эти недостатки отсутствуют. Кроме этого, разрабатываемая методика применения метода переменных состояния позволяет моделировать переходные процессы для любой формы периодической кривой как для несинусоидального тока, т. к. разложение в ряд Фурье можно рассматривать как обобщённую формулу такой величины.

Кроме основных методов существует также ряд современных разработок методов для анализа и моделирования переходных процессов, которые являются вариациями существующих методов в сочетании с численными методами расчёта. Практически все применяемые методы нуждаются в адаптации и усовершенствовании в целях упрощения или оптимизации вычислительных процессов для математического моделирования переходных процессов в сложных электрических цепях при действии периодических несинусоидальных токов.

При построении математических моделей переходных процессов электрических цепей в основном применяются методы численного анализа. Методы численного интегрирования можно разделить на две группы: одношаговые и многошаговые. Из одношаговых наибольшее распространение получили такие методы, как метод Эйлера, метод Эйлера-Коши, метод Рунге-Кутты, метод Рунге-Кутты-Гила, из многошаговых - метод Адамса-Штермера, метод Милна, метод Хэмминга, метод Релстона. Необходимость и возможность применения любого из методов численного интегрирования определяется особенностями решаемой задачи и требуемой точностью вычислений в соответствии с поставленной задачей.

Исходя из вышеизложенного можно предложить для моделирования переходных процессов в сложных электрических цепях при

действию несинусоидальных периодических токов для использования метод переменных состояния для расчёта и установившегося режима до коммутации, и переходного режима после коммутации, и установившегося режима после завершения переходного процесса. Кроме этого, на основании сравнительного анализа существующих методов моделирования переходных процессов в электрических цепях целесообразно использовать для моделирования переходных процессов в сложных электрических цепях метод переменных состояния как наиболее просто поддающийся формализации и программной реализации и являющийся не менее точным, чем другие методы.

Метод переменных состояния - это способ определения динамического состояния цепи на основе решения системы дифференциальных уравнений первого порядка, записанных в нормальной форме Коши. Метод переменных состояния (пространства состояний) представляет собой упорядоченный способ нахождения состояния системы в функции времени, использующий матричный метод решения системы дифференциальных уравнений первого порядка, записанных в форме Коши (нормальной формы).

Уравнениями состояния электрической цепи называют любую систему уравнений, которая описывает состояние (режим) данной цепи. Например, система уравнений Кирхгофа является уравнениями состояния цепи, для которой она составлена. Применительно к электрическим цепям под переменными состояниями понимают обычно величины, определяющие энергетическое состояние цепи, т. е. токи через индуктивности и напряжения на ёмкостях (независимые начальные условия). Значения этих величин предполагаем известными к началу процесса, т. е. они находятся из схемы электрической цепи в докоммутационном установившемся режиме.

Уравнения состояния формы Коши для схемы электрической цепи могут быть получены из системы уравнений Кирхгофа путем их преобразования. Для этой цели: а) из системы уравнений Кирхгофа методом подстановки исключаются "лишние" переменные, имеющие зависимые начальные условия, и оставляются переменные $i_L(t)$ и $u_C(t)$, которые не изменяются скачком и имеют независимые начальные условия $i_L(0)$ и $u_C(0)$; б) оставшиеся уравнения решаются относительно производных и приводятся к форме Коши.

При математическом моделировании переходных процессов в сложных электрических цепях при действии несинусоидальных величины можно выделить две основные проблемы: нахождение начальных условий до коммутации и формирование и решение уравнений состояния.

Если рассматривать установившийся режим как продолжение переходного, то установившийся режим целесообразно рассчитывать численными методами путём расчёта переходного процесса до полного его завершения. Начальные условия для расчёта переходного процесса в послекоммутационной схеме можно брать в любой момент времени после завершения переходного процесса в докоммутационной схеме. Такие начальные условия будут адекватными (хоть и разными для различных моментов времени) и справедливыми, т. к. в реальной ситуации мы не знаем в какой момент времени замкнётся ключ и не можем это предугадать.

Рассматривается схема после замыкания цепи и формируются уравнения состояния. В настоящее время разработаны эффективные алгоритмы формирования уравнений состояния цепей любой сложности. Однако в современных программах компьютерного моделирования электрических цепей такие алгоритмы не используются.

Наиболее целесообразным является алгоритм составления уравнений состояния, основанный на сведении послекоммутационной схемы к резистивной с источниками ЭДС и тока. С этой целью индуктивности L в послекоммутационной схеме заменяются на источники тока, которые доставляют ток в том же направлении, что и в исходной схеме, а ёмкости C заменяются на источники ЭДС, причём в соответствии с теоремой компенсации ЭДС этих источников должны быть направлены встречно токам в ветвях с ёмкостью, т. е. встречно напряжениям на ёмкости. В результате схема электрической цепи окажется без индуктивностей и ёмкостей (чисто резистивной), но с дополнительными источниками тока и ЭДС.

К достоинствам метода переменных состояния можно отнести:

- получение математической модели электрической цепи в нормальной форме Коши, т.е. разрешённой относительно производных. В результате расчетов получаются дифференциальные уравнения первого порядка, которые всегда легко решаются стандартными методами;
- метод является универсальным методом решения систем дифференциальных уравнений. Поэтому область его применения не ограничивается только лишь электрическими цепями, что дает возможность применять метод в различных областях техники.

Относительным недостатком метода является сравнительно сложная реализация алгоритмов формирования математической модели цепи. Данный недостаток перестаёт быть недостатком при использовании необходимых программных средств для моделирования переходных процессов и достаточной квалификации программиста, создающего программный продукт.

Применяя метод переменных состояния, можно предложить разработанную методику математического моделирования переходных процессов при действии периодических несинусоидальных электрических величин, которая включает следующую последовательность действий:

1. Рассматривается схема до коммутации.

- выделяются в схеме электрической цепи индуктивные и ёмкостные элементы.

- заменяются ёмкостные элементы источниками напряжения и индуктивные источниками тока.

- для полученной резистивной схемы составляется система дифференциальных уравнений по законам Кирхгофа.

- система уравнений Кирхгофа преобразуется в систему уравнений Коши методом исключения переменных, далее составляются матрицы коэффициентов.

- начальные условия выбираются нулевые, т.к. нет необходимости в получении корректного переходного режима.

- выбирается метод интегрирования, применимый для программной реализации.

- моделируется установившийся режим путём расчёта переходного процесса до полного его завершения.

2. Принимаются независимые начальные условия $i_L(0)$ и $u_C(0)$ в любой момент времени после завершения переходного процесса по пункту 1.

3. Рассматривается схему после коммутации:

- выполняются все те же шаги, что и в п.1, начальные условия выбираются из пункта 2 для момента полного завершения переходного процесса.

4. Выходная функцию получается в виде графика $x=f(t)$ или в виде таблицы координат функций для заданных моментов времени.

Для программной реализации моделирования переходных процессов можно предложить объектно-ориентированный язык программирования Python, т. к. он упрощает анализ переходных процессов в электрических цепях, делает его наглядным.

Язык Python рекомендуется пользователям, которые используют вычислительную технику и программирование в своей работе, так как является простым и гибким инструментом.

С помощью хорошо развитых в библиотеке SciPy численных методов выполнялось моделирование переходных процессов при коммутации в электрических цепях. Библиотека SciPy содержит высококачественные научные инструменты для языка программирования Python,

содержит модули для оптимизации, интегрирования, специальных функций, обработки сигналов, обработки изображений, генетических алгоритмов, решения обыкновенных дифференциальных уравнений и других задач, решаемых в науке и при инженерной разработке.

Разработанная методика была применена на конкретном примере электрической цепи. Электрическая цепь сложная, разветвлённая, содержащая шесть ветвей, резистивные элементы, индуктивные и ёмкостные элементы, источники ЭДС и тока, которые генерировали периодические несинусоидальные кривые правильной геометрической формы.

Результаты эксперимента показали, что абсолютная и относительная погрешности являются допустимыми при любом количестве гармоник.

Относительная погрешность параметров электрической цепи во всех экспериментах была менее допустимого значения и с увеличением гармоник стремилась к нулю.

В результате проведенной работы можно утверждать, что предложенная методика моделирования переходных процессов методом переменных состояния учитывает все особенности действующих в сложной электрической цепи периодических несинусоидальных величин и одновременно является наиболее просто программно реализуемой, а для программной реализации наиболее эффективным является применение инструментов SciPy языка программирования Python.

Список литературы:

1. Абидов К.Г., Кодирова Д.Р. К расчёту переходных процессов в линейных электрических цепях с помощью графов переменных состояния. – Молодой ученый, 2016. № 13.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1978.
3. Стенин В.А. Пространство состояний в задачах автоматизации СЭУ. – Северодвинск, 2008.
4. Сузи Р.А. Python. - СПб: БВХ-Петербург, 2002.

РАЗДЕЛ 3.

МЕХАНИКА

3.1. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

КОЛЕБАНИЯ КОРОБЧАТОЙ КОНСТРУКЦИИ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Усаров Махаматали Корабоевич

*д-р. физ.-мат. наук,
Институт Механики и сейсмостойкости сооружений
им. М.Т. Уразбаева Академия наук Республики Узбекистан,
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

Маматисаев Гиёсиддин Илхомидинович

*ст. преподаватель,
Ферганский политехнический институт,
Республика Узбекистан, г. Фергана*

VIBRATIONS BOX CONSTRUCTION, LARGE-PANEL BUILDINGS UNDER DYNAMIC IMPACTS

Mahamatali Usarov

*Doctor of science.
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Institute of Mechanics and seismic stability of structures
named after M.T. Urazbaev
Uzbekistan, Tashkent*

Giyosiddin Mamatisaev

*Senior teacher
Ferghana Polytechnic Institute
Uzbekistan, Ferghana*

Аннотация. Статья посвящается усовершенствованию модели коробчатой конструкции зданий, учитывающей силы и моменты в зонах контактного взаимодействия балочных и пластинчатых элементов. Приведены уравнения движения элементов коробки, граничные условия на основании коробки и контактные условия между элементами коробки, а также, построена графиков перемещения панелей и балок.

Abstract. The paper is devoted to improvement of the model of box-like structure of the building, which accounts the forces and moments in the zones of contact interaction of beam and plate elements. An equation of motion of the elements of the box, boundary conditions in the base of the box and contact conditions between the elements of the box are given as well as drew graphs displacement of plates and beams.

Ключевые слова: Здания; коробчатая конструкция; динамический расчет; перемещение; напряжение; деформация; уравнение движения; граничные условия; контактные условия.

Keywords: buildings; box-like structure; dynamic design; displacement; stress; strain; equation of motion; boundary conditions; contact conditions.

В научных трудах М.М. Мирсаидова [1-4] рассмотрены разные динамические задачи в плоской и пространственной постановке, посвященные оценки и прогнозирования динамического поведения грунтовых плотин различной высоты с учетом больших деформаций (геометрической нелинейности) и неоднородных особенностей конструкций при многокомпонентных кинематических воздействиях.

В работе [5] рассматриваются колебания элементов конструкции из изотропной вязкоупругой пластинки переменной толщины, находящиеся под действием равномерно распределённой вибрационной нагрузки, приложенной по одной из параллельных сторон, приводящей (при определённых сочетаниях частот собственных колебаний и возмущающей силы) к параметрическому резонансу.

В статьи [6,7] посвящены разработке методов динамического пространственного расчета конструкции на основе метода конечных разностей в рамках бимоментной теории, учитывающей пространственное напряженно-деформированное состояние. Были даны решения задачи о поперечных и продольных колебаниях зданий и сооружений с использованием пластинчатой модели, разработанной в рамках бимоментной теории пластин [8].

В теории колебаний тонкостенных элементов конструкций особое место занимают поперечные колебания консольных пластин и балок. Такие процессы описываются дифференциальными уравнениями высокого порядка. Поэтому удовлетворение граничным условиям, выбор

координатных функций при применении вариационных методов или при аппроксимации конечно разностными формулами производных третьего и четвертого порядка является очень трудной задачей. Изучены свободные и вынужденные колебания коробок крупнопанельного здания и ячеек каркасных зданий, а также в качестве расчетной схемы рассматривается пространственная коробка с защемленным нижним концом [11].

Целью работы является определение максимальных перемещений в панелях и стыковых соединениях элементов коробки с учетом оконных проемов.

Рассматривается динамическая задача колебания коробки здания, основание которых совершает колебания по закону:

$$U_0 = A_0 \sin \omega_0 t, \quad (1)$$

где: A_0 и ω_0 – амплитуда, и частота вынужденных колебаний.

Предлагается аналитико-численный метод решения задачи колебания коробки здания с учетом пространственных деформаций с полными контактными условиями в зонах стыковых соединений панелей и балочных элементов коробки здания.

Прогиб изгибаемых панелей представим в виде:

$$W = W(x, y) \sin(\omega_0 t), \quad (2)$$

а перемещения панелей, работающих на сдвиг, запишем в виде:

$$u = u(x, z) \sin(\omega_0 t), \quad v = v(x, z) \sin(\omega_0 t). \quad (3)$$

где ω_0 – основная частота вынужденных колебаний.

Прогиб и угол закручивания балок представим в виде:

$$W^{(i)} = W^{(i)}(x, y) \sin(\omega_0 t), \quad \alpha^{(i)} = \alpha^{(i)}(x, y) \sin(\omega_0 t) \quad (4)$$

где ω_0 – основная частота внешнего воздействия, i - номер балок.

Рассмотрим теоретический расчет коробки крупнопанельного здания при динамическом воздействии с учетом пространственной работы поперечных и продольных стен.

На основе представления (1) перепишем кинематические законы перемещения точек панелей. Нормальные перемещения точек изгибаемых панелей

$$u_3 = A_0 \sin \omega_0 t + W(x, y, t), \quad (5, a)$$

где: $W(x, y, t)$ - прогиб изгибаемых панелей, A_0 и ω_0 – амплитуда и частота вынужденного колебания.

Поле перемещения панелей, работающих на сдвиг, описывается функциями

$$u_1 = A_0 \sin \omega_0 t + u(x, y, t), \quad (5, б)$$

$$u_2 = v(x, y, t). \quad (5, в)$$

Здесь u, v - перемещения панелей, работающих на сдвиг.

В качестве уравнение движения изгибаемой панели принимаем [9, 10] с учетом (1) запишется в виде

$$D \left(\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} \right) + \rho h_b \ddot{W} = \rho h_b A_0 \omega_0^2 \sin \omega_0 t \quad (6)$$

где: D – цилиндрическая жесткость панелей при поперечном изгибе.

$$D = \frac{E h_b^3}{12(1-\nu^2)} \quad h_b \text{ - толщина балки, } W \text{ - прогиб панели}$$

(работающих на изгиб).

Двумерные уравнения движения панели, работающей на сдвиг принимаем [9,10] и запишутся в виде

$$B \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial z} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) = \rho h_c \ddot{u} - \rho h_c A_0 \omega_0^2 \sin \omega_0 t, \quad (6, a)$$

$$B \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = \rho h_c \ddot{v}, \quad (6, б)$$

где: B - цилиндрическая жесткость панелей при растяжении и сжатии.

$$B = \frac{E h_c}{1-\nu^2}, u, v \text{ - перемещения по осям } OX \text{ и } OY.$$

Граничные условия на основании здания ($x = 0$) запишем как для жесткого защемления. Нижняя часть здания перемещается вместе с основанием

$$u_1 = u_3 = U_0(t), \quad u_2 = 0; \quad (7)$$

При этом поворот отсутствует

$$\frac{\partial W}{\partial x} = 0. \quad (8)$$

Граничные условия (7) и (8) при $x=0$ с учетом (5) переписуются в виде:

$$W = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial x} = 0, \quad (9, a)$$

$$u = 0, \quad v = 0. \quad (9, б)$$

Граничные условия на верхнем конце $x = H$ имеют вид:

Контактные условия на стыках перекрытия и стены, работающей на изгиб, запишутся в виде

$$-R_x^b + \eta_0 \rho_n h_b h_n \ddot{W}_{n,k} = h_b h_n \frac{\partial \tau_{zx}^b}{\partial y} - \eta_0 \rho_n h_b h_n \ddot{U}_0 \quad (10, a)$$

Контактные условия на стыках перекрытия и стены, работающей на сдвиг, относительно контактного касательного напряжения, запишутся в виде

$$-ch_c \tau_{zx}^c + m_{nc} \ddot{u}_{n,k} = ch_c h_n \frac{\partial \sigma_{zx}^n}{\partial z} - m_{nc} \ddot{U}_0. \quad (10, б)$$

Контактные условия на стыках перекрытия и стены, работающей на сдвиг, относительно контактного нормального напряжения, запишутся в виде

$$-ch_c \sigma_{xx} + m_{nc} \ddot{u}_{n,k} = ch_c h_n \frac{\partial \sigma_{zx}^n}{\partial z}. \quad (10, в)$$

В качестве исходных данных задаются следующие параметры:

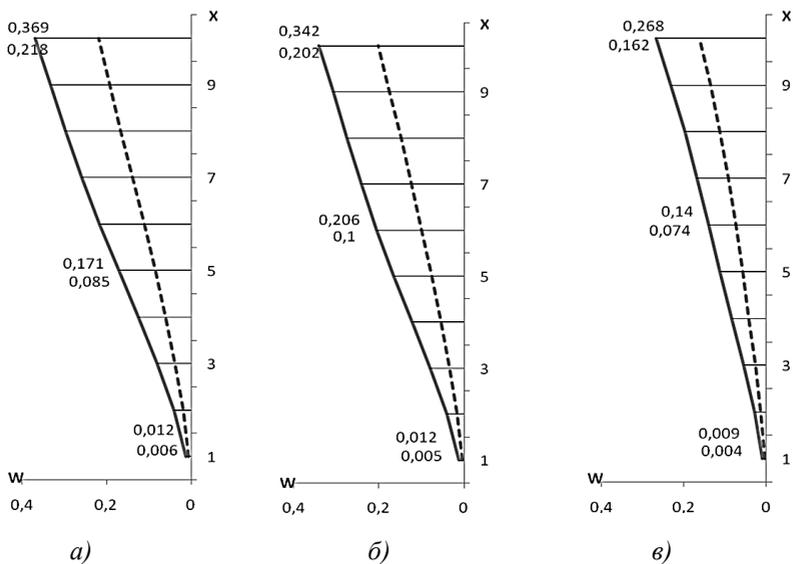
отношение высоты к ширине изгибаемой панели $\frac{H}{b} = \frac{3,25}{6}$,

отношение высоты к ширине панели, работающей на сдвиг $\frac{H}{c} = \frac{3,25}{6}$.

Отношение толщины к ширине изгибаемой панели $\frac{h_b}{b} = \frac{0,5}{6}$, а отно-

шение толщины изгибаемой панели к толщину панели, работающей на сдвиг $\frac{h_c}{h_b} = \frac{0,25}{0,5}$.

Отношение модулей упругости, изгибаемой панелей и панели, работающей на сдвиг $\frac{E_1}{E_2} = \frac{3}{8}$. Коэффициент Пуассона материалов панелей равен $\nu = 0,3$.



Примечание: а) середины б) края проема в) края панели

Рисунок 1. Изменения прогибов панелей, работающих на изгиб

На рис. 1. приведены графики, характеризующие изменения по вертикали безразмерного максимального прогиба $\frac{W}{A_0}$, на трех характерных сечениях панелей, работающих на изгиб, от середины панели к одному из ее краев. Как видно, прогибы панелей увеличиваются с приближением к середине панелей.

Максимальное значения прогиба (рис. 1.а), которое достигается на верхней точке вертикального сечения, расположенного в середине, изгибаемой панелей равно

$$W = 0.369A_0 = 0.369 \cdot 2 \text{ см} = 0.738 \text{ см}$$

Максимальное значение полного горизонтального смещения верхней точки изгибаемой панели определяется по формуле (5, а) и равно

$$u_3 = A_0 + 0.369A_0 = 2 \text{ см} + 0.369 \cdot 2 \text{ см} = 2.738 \text{ см}$$

Как и следовало ожидать, максимальные значения перемещения обнаружены на верхних точках панелей и балок.

На рис.2. показаны графики изменения по вертикали безразмерного максимального прогиба $\frac{W}{A_0}$ балок.

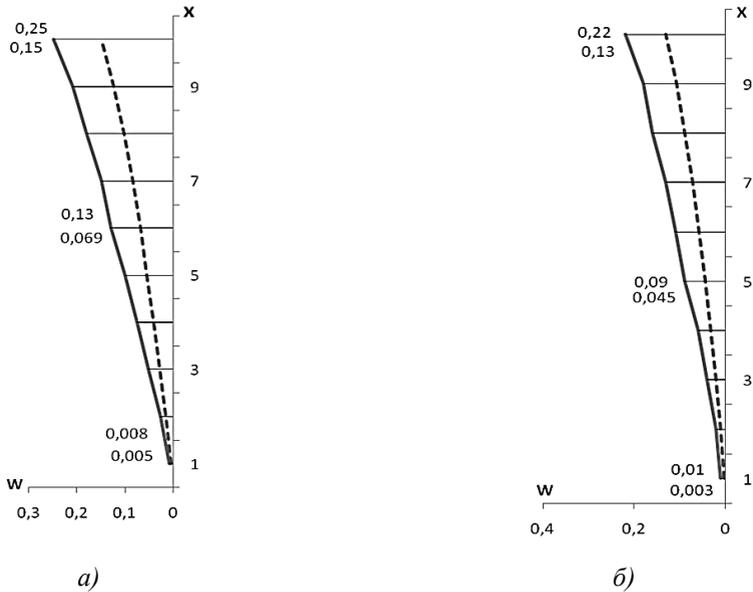
Расчеты показывают, что (рис. 2.) балок, которые расположены на стороне действия нагрузки, изгибаются больше чем балок, которые расположены против о стороне действия нагрузки.

Максимальное значения прогиба (рис 2. а), которое достигается на верхней, точке, изгибаемой балок:

$$W^{(l)} = 0.22A_0 = 0.22 \cdot 2 \text{ см} = 0.44 \text{ см}$$

Тогда максимальное значение полного горизонтального смещения верхней точки изгибаемой панели определяется по формуле (5, а) и равно

$$u_3 = A_0 + 0.22A_0 = 2 \text{ см} + 0.22 \cdot 2 \text{ см} = 2.44 \text{ см}$$



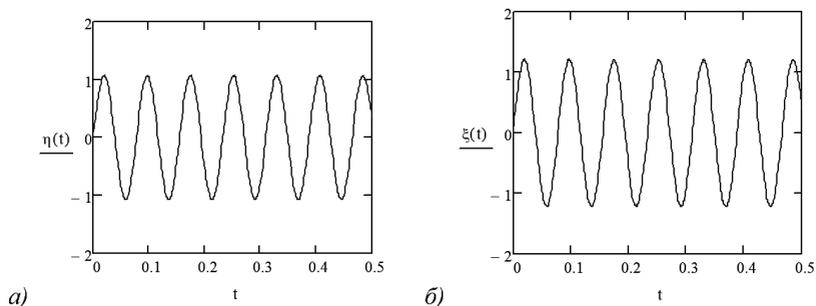
Примечание: а) балка, на стороне действия нагрузки б) балка, против о стороне действия нагрузки

Рисунок. 2. Изменения прогиба по высоте балки

Из рис. 2. видно, что прогиб вертикального края изгибаемой панели в несколько раз меньше прогиба средней части, так как края панели удерживаются поперечными панелями, которые работают на сдвиг, поэтому, формы изгиба балочных элементов и панелей не идентичные.

Как и следовало ожидать, максимальные значения перемещения обнаружены на верхних точках панелей и балок.

На рис 3. показаны графики изменения безразмерного перемещения $\eta(t) = \frac{u_1(t)}{A_0}$ и прогиба $\xi(t) = \frac{u_3(t)}{A_0}$ на панелях зависимости во времени.



Примечание: а) в панелей, работающие на сдвиг; б) в панелей, работающие на изгиб

Рисунок. 3. График изменения безразмерного перемещения и прогиба

Остальные численные результаты, характеризующие изменения во времени перемещения полученными с учетом начальных условий.

Заключения

1. Приведены уравнения движения точек панелей и балок коробки зданий, граничные, контактные и начальные условия задачи вынужденных колебания.

2. В рамках метода конечных разностей разработана методика динамического расчета перемещения в балочных и панельных элементах коробчатых конструкций зданий;

3. Графически представлены законы изменения максимальных значений прогибов и напряжений в характерных точках панелей и балочных элементов в зависимости от времени.

Список литературы:

1. Mirsaidov M., Sultanov T., Yarashov J., Toshmatov E. Assessment of dynamic behaviour of earth dams taking into account large strains. 2019 E3S Web of Conferences.
2. Mirsaidov M. An account of the foundation in assessment of earth structure dynamics. 2019 E3S Web of Conferences
3. Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Assessment of stress-strain state of earth dams with allowance for non-linear strain of material and large strains. 2014 Magazine of Civil Engineering.
4. Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Use of linear heredity theory of viscoelasticity for dynamic analysis of earthen structures. 2013 Soil Mechanics and Foundation Engineering

5. Mirsaidov M.M., Abdikarimov R.A., Vatin N.I., (...), Khodzhaev D.A., Normuminov B.A. Nonlinear parametric oscillations of viscoelastic plate of variable thickness. 2018 Magazine of Civil Engineering.
6. Yarashov J., Usarov M., Ayubov G. Study of longitudinal oscillations of a five-storey building on the basis of plate continuum model. 3S Web of Conferences 2019.
7. Toshmatov E., Usarov M., Ayubov G., Usarov D. Dynamic methods of spatial calculation of structures based on a plate model. 3S Web of Conferences 2019.
8. Usarov M.K. Buckling of orthotropic plates with bimoments. Magazine of Civil Engineering 2015.
9. Усаров М.К. Маматисаев Г.И. Свободные колебания коробчатой конструкции здания. // Проблемы механики. 2009. № 5-6. С. 31-34.
10. Усаров М.К. Маматисаев Г.И. Вынужденные колебания коробчатой конструкции панельных зданий при динамических воздействиях. // Проблемы механики. 2010г. № 4. С. 19-22.
11. Рашидов Т.Р., Шамсиев У.Ш., Мушеев Р.Н., Бовшовер А.З. Сейсмодинамика пространственных систем. Ташкент: Фан. 1992 – 152 с.

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАСТИНЧАТОЙ КОНТИНУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Усаров Махаматали Коробоевич

д-р. физ. -мат. наук,

Институт Механики и сейсмостойкости сооружений

им. М.Т. Уразбаева. Академия Наук Республики Узбекистан,

Республика Узбекистан, г. Ташкент

Аюбов Гайратжон Тухтасинович

мл. науч. сотр.,

Институт Механики и сейсмостойкости сооружений

им. М.Т. Уразбаева. Академия Наук Республики Узбекистан,

Республика Узбекистан, г. Ташкент

CALCULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF TWO-STORY BUILDING BASED ON THE CONTINUOUS PLATE MODEL OF BUILDINGS UNDER SEISMIC EFFECTS

Makhamatali Usarov

*Doctor of physical and Mathematical Sciences,
Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Uzbekistan, Tashkent*

Gayratjon Ayubov

*Junior researcher,
Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Uzbekistan, Tashkent*

Аннотация. В статье смоделировано движение двухэтажного здания в виде толстой анизотропной консольной пластины на основе бимоментной теории при сейсмических воздействиях. В качестве сейсмического воздействия заданы ускорение, действующее в виде кинематического воздействия на уровне основания здания. Приведены численные результаты задачи колебания двухэтажного здания и их анализ.

Abstract. The article simulates the movement of a two-story building in the form of a thick anisotropic cantilever plate based on the bimoment theory during seismic effects. Acceleration acting as a kinematic action at the base level of the building is specified as a seismic action. The numerical results of the oscillation problem of a two-story building and their analysis are presented.

Ключевые слова: сейсмические воздействия; континуальная пластинчатая модель здания; консольная пластина; момент; бимомент.

Keywords: seismic effects; continuum plate model of a building; cantilever plate; moment; bimoment.

Основная территория многих стран мира находится в высоко сейсмоактивных регионах, поэтому учет сейсмических воздействий при проектировании и строительстве зданий и сооружений остается актуальным вопросом. Расчетные модели зданий, сооружений и элементов конструкций должны разрабатываться с учетом реальных факторов, которые существенно влияют на их динамическое поведение и напряженно-деформированное состояние [1, 2].

В расчетах многих элементов конструкций в виде пространственных систем ячеистой структуры для описания их динамического поведения широко используется континуальное моделирование. К таким исследованиям относятся работы [3, 4], в которых выполнены расчеты в области ракетной техники.

Ряд задач о колебаниях пластинчатых и оболочечных конструкций, взаимодействующих с грунтом, как показано в [5, 6], целесообразно решать в рамках бимоментной теории. Здание, по своей геометрической структуре, является пространственным телом в форме параллелепипеда с ячеистой структурой. В качестве первого приближения расчета колебания здания можно сопоставить с колебаниями некоторого трехмерного континуального тела в виде параллелепипеда. В работах [7, 8] предложена континуальная пластинчатая модель здания в виде толстой консольной ортотропной пластины, теория которой разработана в [5, 6] без упрощающих гипотез с учетом бимоментов в рамках трехмерной динамической теории упругости. Сущность континуальной модели заключается в том, что рассматриваемое тело в форме параллелепипеда может быть заменено некоторой эквивалентной сплошной толстой пластиной с приведенными жесткостными характеристиками.

Данная статья посвящена разработке методики расчета напряженно-деформированного состояния здания с использованием пластинчатой континуальной модели здания, описывающей его сейсмические колебания. Сформулирована постановка задачи о поперечных колебаниях здания на основе пластинчатой модели, разработанной в рамках бимоментной теории. В качестве уравнения движения здания и граничных условий принимаются уравнения и граничные условия толстой консольной пластины [5,6], которые адекватно отражают пространственную форму колебаний с учетом поперечного сдвига и изгибно-продольных деформаций.

Для описания движения здания пластины введем декартовую систему координат с переменными x_1 , x_2 и z . Начало координат расположено в нижнем левом углу срединной поверхности континуальной пластины. Направим оси Ox_1 и Ox_2 по длине и высоте, а ось Oz – вдоль толщины (ширины здания) пластинчатой модели.

Предположим, что сейсмическое движение грунта происходит в направлении оси Oz (ширины здания). Исходя из этого, в качестве внешнего воздействия на нижнем защемленном крае задаём ускорение основания $\ddot{y}_0(t)$ в виде:

$$\ddot{y}_0(t) = a_0 \cos(p_0 t), \quad (1)$$

где: $a_0 = k_c g$ и $p_0 = 2\pi\omega_0$ – соответственно максимальное ускорение и частота грунтового основания.

В основании здания граничные условия для изгибно-сдвиговых колебаний имеют вид:

$$\tilde{\psi}_1 = 0, \tilde{\psi}_2 = 0, \tilde{\beta}_1 = 0, \tilde{\beta}_2 = 0, \tilde{u}_1 = 0, \tilde{u}_2 = 0, \tilde{r} = 0, \tilde{\gamma} = 0, \tilde{W} = 0. \quad (2)$$

На свободных боковых гранях здания имеем условия равенства нулю сил, моментов и бимоментов и силовых факторов:

$$\begin{aligned} M_{11} = 0, M_{12} = 0, P_{11} = 0, P_{12} = 0, Q_{13} = 0, \\ \tilde{p}_{13} = 0, \tilde{\sigma}_{11} = 0, \tilde{\sigma}_{12} = 0, \sigma_{11}^* = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

На свободной верхней грани здания имеем условия:

$$\begin{aligned} M_{12} = 0, M_{22} = 0, P_{12} = 0, P_{22} = 0, Q_{23} = 0, \\ \tilde{p}_{23} = 0, \tilde{\sigma}_{11} = 0, \tilde{\sigma}_{12} = 0, \sigma_{22}^* = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Задача решена методом конечных разностей. Конечно-разностные уравнения движения поперечных колебаний зданий [7, 8] имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} & \frac{(M_{11})_{i+\frac{1}{2},j}^k - (M_{11})_{i-\frac{1}{2},j}^k}{\Delta x_1} + \frac{(M_{12})_{i,j+\frac{1}{2}}^k - (M_{12})_{i,j-\frac{1}{2}}^k}{\Delta x_2} - (Q_{13})_{i,j} = \\ & = \rho \frac{H^2}{2} \frac{(\tilde{\psi}_1)_{i,j}^{k+1} - 2(\tilde{\psi}_1)_{i,j}^k + (\tilde{\psi}_1)_{i,j}^{k-1}}{\Delta t^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{(M_{12})_{i+\frac{1}{2},j}^k - (M_{12})_{i-\frac{1}{2},j}^k}{\Delta x_1} + \frac{(M_{22})_{i,j+\frac{1}{2}}^k - (M_{22})_{i,j-\frac{1}{2}}^k}{\Delta x_2} - (Q_{23})_{i,j} = \\ & = \rho \frac{H^2}{2} \frac{(\tilde{\psi}_2)_{i,j}^{k+1} - 2(\tilde{\psi}_2)_{i,j}^k + (\tilde{\psi}_2)_{i,j}^{k-1}}{\Delta t^2}, \\ & \frac{(Q_{13})_{i+\frac{1}{2},j}^k - (Q_{13})_{i-\frac{1}{2},j}^k}{\Delta x_1} + \frac{(Q_{23})_{i,j+\frac{1}{2}}^k - (Q_{23})_{i,j-\frac{1}{2}}^k}{\Delta x_2} = \\ & = \rho \frac{(\tilde{r})_{i,j}^{k+1} - 2(\tilde{r})_{i,j}^k + (\tilde{r})_{i,j}^{k-1}}{\Delta t^2} + \rho \ddot{u}_0(t), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{(P_{11})_{i+\frac{1}{2},j}^k - (P_{11})_{i-\frac{1}{2},j}^k}{\Delta x_1} + \frac{(P_{12})_{i,j+\frac{1}{2}}^k - (P_{12})_{i,j-\frac{1}{2}}^k}{\Delta x_2} - 3(\tilde{p}_{13})_{i,j} = \\
& = \rho \frac{H^2}{2} \frac{(\tilde{\beta}_1)_{i,j}^{k+1} - 2(\tilde{\beta}_1)_{i,j}^k + (\tilde{\beta}_1)_{i,j}^{k-1}}{\Delta t^2}, \tag{7} \\
& \frac{(P_{22})_{i+\frac{1}{2},j}^k - (P_{22})_{i-\frac{1}{2},j}^k}{\Delta x_1} + \frac{(P_{22})_{i,j+\frac{1}{2}}^k - (P_{22})_{i,j-\frac{1}{2}}^k}{\Delta x_2} - 3(\tilde{p}_{23})_{i,j} = \\
& = \rho \frac{H^2}{2} \frac{(\tilde{\beta}_2)_{i,j}^{k+1} - 2(\tilde{\beta}_2)_{i,j}^k + (\tilde{\beta}_2)_{i,j}^{k-1}}{\Delta t^2}, \\
& \frac{(\tilde{P}_{13})_{i+\frac{1}{2},j}^k - (\tilde{P}_{13})_{i-\frac{1}{2},j}^k}{\Delta x_1} + \frac{(\tilde{P}_{23})_{i,j+\frac{1}{2}}^k - (\tilde{P}_{23})_{i,j-\frac{1}{2}}^k}{\Delta x_2} - \frac{4(\tilde{p}_{33})_{i,j}}{H} = \\
& = \rho \frac{(\tilde{\gamma})_{i,j}^{k+1} - 2(\tilde{\gamma})_{i,j}^k + (\tilde{\gamma})_{i,j}^{k-1}}{\Delta t^2} + \frac{1}{3} \rho \ddot{u}_0(t), \tag{8}
\end{aligned}$$

где: M_{ij} , Q_{i3} ($i, j = 1, 2$) – изгибающие моменты и перерезывающие силы; P_{ij} , ($i, j = 1, 2$) – продольные бимоменты, p_{i3} ($i, j = 1, 2$); p_{33} – интенсивности поперечных бимоментов.

Система уравнений движения относительно трех обобщенных функций \tilde{u}_1 , \tilde{u}_2 , \tilde{W} аппроксимируется в виде

$$\begin{aligned}
(\tilde{u}_1)_{i,j} &= \frac{1}{2} \left(21(\tilde{\beta}_1)_{i,j} - 7(\tilde{\psi}_1)_{i,j} \right) - \frac{1}{30} H \left(\frac{\partial \tilde{W}}{\partial x_1} \right)_{i,j}, \tag{9} \\
(\tilde{u}_2)_{i,j} &= \frac{1}{2} \left(21(\tilde{\beta}_2)_{i,j} - 7(\tilde{\psi}_2)_{i,j} \right) - \frac{1}{30} H \left(\frac{\partial \tilde{W}}{\partial x_2} \right)_{i,j},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(\tilde{W})_{i,j} &= \frac{21}{4} (\tilde{\gamma})_{i,j} - \frac{3}{4} (\tilde{r})_{i,j} - \\
& - \frac{H}{20} \left(\frac{E_{31}}{E_{33}} \left(\frac{21}{2} \frac{\partial \tilde{\beta}_1}{\partial x_1} - \frac{7}{2} \frac{\partial \tilde{\psi}_1}{\partial x_1} \right) + \frac{E_{32}}{E_{33}} \left(\frac{21}{2} \frac{\partial \tilde{\beta}_2}{\partial x_2} - \frac{7}{2} \frac{\partial \tilde{\psi}_2}{\partial x_2} \right) \right)_{i,j}. \tag{10}
\end{aligned}$$

Условно считаем, что механические и геометрические характеристики материалов панелей комнат одинаковые: модуль упругости $E=20000$ МПа, плотность $\rho=2700$ кг/м³ и коэффициент Пуассона $\nu=0.3$.

Приведем результаты расчетов вынужденных колебаний здания в рамках толстой пластинчатой модели при следующих размерах плит и здания: длина и ширина здания $a=30$ м, $H=11$ м, высота одного этажа здания $b_1=3$ м, толщины несущих внешних и внутренних стен $h_1=0.25$ м и $h_2=0.2$ м, толщина перекрытия $h_{пер}=0.2$ м.

На основе вышеуказанных исходных данных по выражениям для определения плотности и модуля упругости пластинчатой модели здания, приведенных в [7], находим следующие характеристики материалов здания:

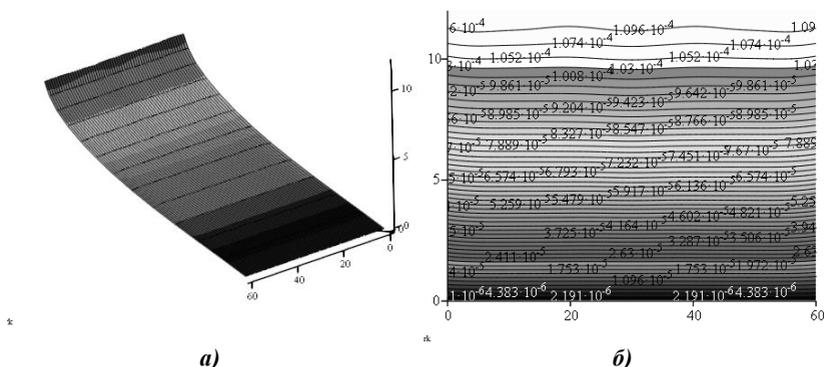
$$E_1^{np} = 2600 \text{ МПа}, \quad E_2^{np} = E_3^{np} = 2000 \text{ МПа}, \quad G_{12}^{np} = 480 \text{ МПа},$$

$$G_{13}^{np} = 520 \text{ МПа}, \quad G_{23}^{np} = 200 \text{ МПа},$$

$$\rho_{np} = 451 \text{ кг/м}^3, \quad \nu_{21} = 0.3, \quad \nu_{31} = \nu_{23} = 0.4.$$

В расчетах коэффициент сейсмичности и частота ускорения основания заданы: $k_c=0.1$ и $\omega_0=9.5$ Гц. Введены безразмерные переменные $x=x_1/a$, $y=x_2/b$, $\tau=ct/H$, где $c = \sqrt{E/\rho}$.

Шаг вычисления по безразмерным координатам принят $\Delta x=1/60$, $\Delta y=1/30$. Устойчивость расчета по безразмерному времени обеспечена по явной схеме при шаге $\Delta=0.01$.



**Рисунок 1. Форма колебания (а)
и изолинии обобщенного перемещения r двухэтажного здания
в безразмерном времени $\tau=52.37$ (б)**

При расчете получены максимальные перемещения в крайних точках на верхнем уровне второго этажа здания. На рисунке 1 показаны форма колебания (а) и изолинии обобщенного перемещения r двухэтажного здания в безразмерном времени $\tau=52,37$ (б).

На рисунках 2-4 показаны изолинии напряжений в безразмерных значениях времени. Используя изолинии, обнаружены точки здания, где напряжения достигали максимальных значений.

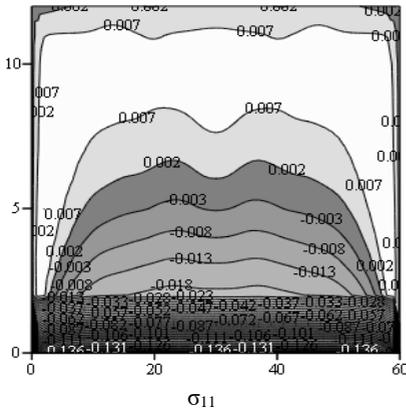


Рисунок 2. Изолинии напряжения σ_{11} в безразмерном времени $\tau=52.35$

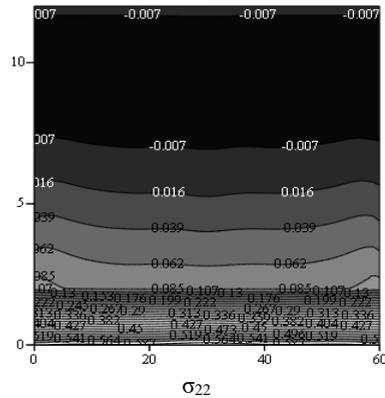


Рисунок 3. Изолинии напряжения σ_{22} в безразмерном времени $\tau=38.30$

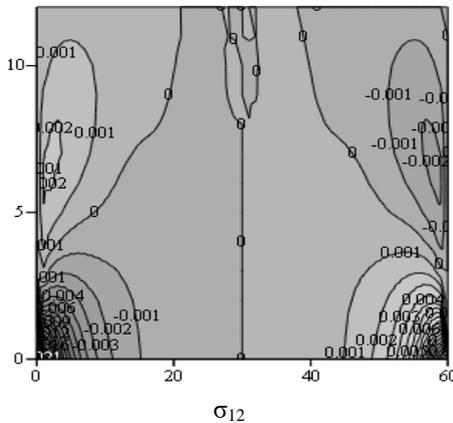
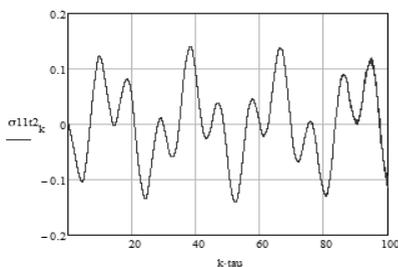


Рисунок 4. Изолинии напряжения σ_{12} в безразмерном времени $\tau=52.58$

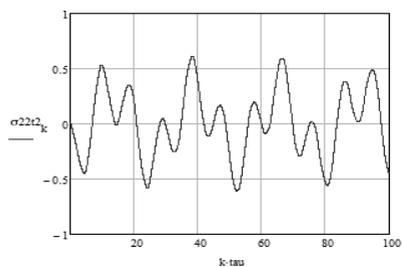
Расчеты показали, что при поперечных колебаниях двухэтажных зданий максимальные значения нормальных напряжений σ_{11} и σ_{22} достигаются в центральной точке нижней части внешней несущей стены здания с координатами $x_1 = a/2, y_1 = 0$. Максимальные значения касательного напряжения σ_{12} обнаружены в крайних точках нижней части внешней несущей стены с координатами $x_1 = a, y_1 = 0$.

На рис. 5–7 приведены графики изменения по безразмерному времени τ нормального и касательного напряжений σ_{11} , σ_{22} и σ_{12} во внешней несущей стене двухэтажного здания. На рис. 5 приведен график изменения напряжения σ_{11} по безразмерному времени τ . Установлено максимальное значение напряжения, равное $\sigma_{11} = -0.142$ МПа (см. рис.5).

На рис.6 приведен график изменения по безразмерному времени τ напряжения σ_{22} . Максимальное значение нормального напряжения σ_{22} в центральной точке нижней части внешней несущей стены здания получилось равным $\sigma_{22} = 0.616$ МПа.



**Рисунок 5. График
напряжения σ_{11} по времени
двухэтажного здания при
поперечных колебаниях**



**Рисунок 6. График
напряжения σ_{22} по времени
двухэтажного здания при
поперечных колебаниях**

На рис. 7 приведен график изменения напряжения σ_{12} от безразмерного времени τ . Как видно, максимальное значение касательного напряжения равно $\sigma_{12} = 0.0218$ МПа (см. рис. 7).

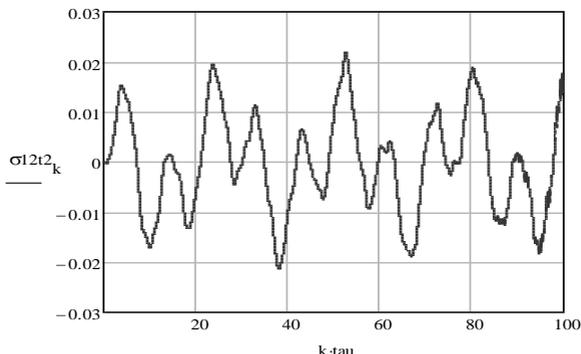


Рисунок 7. График напряжения σ_{12} по времени двухэтажного здания при поперечных колебаниях

На основе анализа численных результатов можно отметить, что максимальные значения перемещений достигаются на верхнем уровне, а максимальные значения напряжений – на нижнем уровне зданий. Преимуществом предлагаемой методики динамического расчета зданий на основе пластинчатой континуальной модели является приведение трехмерной задачи к двумерной, а также получение возможности вычисления высокой точности численных результатов для пластинчатого сооружения в виде пространственной модели многоэтажных зданий.

Список литературы:

1. Алехин В.Н., Ушаков О.Ю., Колесников А.В. Метод расчета зданий и сооружений при многокомпонентном сейсмическом воздействии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. № 5. С. 31–36.
2. Игнатьев В.А, Пшеничкина В.А., Рынцев С.Н. Вероятностный расчет зданий как пространственных систем на сейсмическую нагрузку // Международная научно-техническая конференция ВолгГАСА. Волгоград: Изд-во ВолгГАСА, 2003.
3. Мейснер К. Алгоритм многосвязного объединения для метода жесткостей структурного анализа // Ракетная техника и космонавтика. 1968. № 11. С. 123-135.
4. Найфе А.Х., Хефзи М.С. Континуальное моделирование механических и тепловых свойств больших структурных конструкций // Ракетная техника и космонавтика. 1981. № 8. С. 109-118.
5. Усаров М.К. Изгиб ортотропных пластин с учетом бимоментов. // Инженерно-строительный журнал. Спб. 2015. № 1(53). С.80–90.

6. Usarov M.K. Dynamic Design of Thick Orthotropic Cantilever Plates with Consideration of Bimoments// World Journal of Mechanics. 2016. № 6. P. 341–356.
7. Усаров М.К., Аюбов Г.Т. Динамический расчет здания на основе континуальной пластинчатой модели // Узбекский журнал «Проблемы механики». Ташкент, 2018. № 1. С. 108–111.
8. Yarashov Javlon, Usarov Makhamatali, Ayubov Gayratjon. Study of longitudinal oscillations of a five-storey building on the basis of plate continuum model//E3S Web of Conferences 97. Form-2019, 04065. France-2019, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704065>.

РАЗДЕЛ 4.

ФИЗИКА

4.1. ФИЗИКА ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

ДИНАМИКА РЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ И ВОЗБУЖДАЕМОГО ИМ ПОЛЯ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ ВАКУУМНОЙ СВЧ ЭЛЕКТРОНИКИ

Кузнецов Анатолий Михайлович

канд. физ.-мат. наук, доцент

Тульский государственный университет,

РФ, г. Тула

DYNAMICS OF A RELATIVISTIC ELECTRON BEAM AND A FIELD EXCITED BY IT AT INITIAL STAGE OF THE PROCESS IN PROBLEMS OF VACUUM MICROWAVE ELECTRONICS

Anatoly Kuznetsov

Cand. Phys.-Math. sciences, associate professor

Tula state university,

Russia, Tula

Аннотация. Рассматривается принципиальная возможность и необходимость постановки задачи о динамике релятивистского пучка электронов и возбуждаемого им поля в присутствии однородного внешнего магнитного поля конечной величины. Формулируются основные задачи, метод и последовательность разработки линейной теории динамики релятивистского пучка и поля на начальной стадии

процесса в задачах вакуумной СВЧ электроники. В общем виде, получена замкнутая система линейных интегро-дифференциальных уравнений, составляющих основу линейной теории электродинамики релятивистского пучка электронов с учётом его самовоздействия в присутствии конечного однородного внешнего магнитного поля стабилизирующего пучок.

Abstract. The fundamental possibility and necessity of formulating the problem of the dynamics of a relativistic electron beam and a field excited by it in the presence of a uniform external magnetic field of finite magnitude is considered. The main tasks, the method and the sequence of development of the linear theory of the dynamics of the relativistic beam and field at the initial stage of the process in problems of vacuum microwave electronics are formulated. In general, a closed system of linear integro-differential equations is obtained that form the basis of the linear theory of electrodynamic of a relativistic electron beam, taking into account its self-action in the presence of a finite uniform external magnetic field of the stabilizing beam.

Создание, совершенствование и оптимизация работы генераторов и усилителей электромагнитного излучения большой мощности, основанных на преобразовании кинетической энергии сильноточных релятивистских электронных пучков в энергию излучения [1, 2, 3, 4], невозможно без строгой теории взаимодействия пучка с порождаемым им электромагнитным полем. Это означает, что электродинамика систем, в которых необходимым элементом является сильноточный релятивистский электронный пучок, должна строиться с учётом самовоздействия, поскольку генерируемое им поле сравнимо с полем, порождаемым внешними источниками, и может даже существенно превышать его [5].

В настоящее время успешно используются программы для численного моделирования электромагнитных процессов в системах различной геометрии, основанные на непосредственном интегрировании уравнений Максвелла и уравнений движения заряженных частиц [6, 7, 8]. Однако обилие параметров, от которых зависит динамика пучка и возбуждаемого им поля, требует сочетания численного эксперимента с аналитической теорией, позволяющей выяснить роль каждого из них и определить оптимальные условия, обеспечивающие как транспортировку пучка, так и генерацию излучения.

Примером плодотворного сочетания численного эксперимента [9] и аналитической теории [10] является факт полного подавления неустойчивости ленточного пучка в плоском резонаторе. Линейная теория, развитая в работе [10], установила, что для этого достаточно изменения

лишь одного геометрического параметра резонатора. На ранней стадии количественно, а на поздней – качественно, эта теория объяснила все особенности динамики пучка и поля, выявленные в численном эксперименте [9]. В [5] так же делается вывод о том, что неустойчивости пучка препятствующие его транспортировке через резонатор, вряд ли могут быть подавлены только подбором геометрических параметров. По-видимому, для стабилизации пучка придется использовать внешнее магнитное поле, что и делается в большинстве технических устройств, обеспечивающих генерацию и усиление электромагнитного излучения. Между тем, в теоретической динамике пучка и поля, имеется, существенный пробел – рассмотрены, два предельных случая: бесконечно сильного внешнего магнитного поля, полностью подавляющего поперечное движение электронов пучка [11], и нулевого магнитного поля [10]. В связи с этим, существует обоснованный интерес к промежуточному случаю – динамике пучка и поля в присутствии однородного внешнего магнитного поля конечной величины, стабилизирующего пучок.

Приступая к анализу динамики пучка и возбуждаемого им поля в присутствии однородного внешнего магнитного поля конечной величины в рамках линейной теории, вначале сформулируем её основные задачи [5]. Эта теория должна установить спектр собственных частот резонатора с пучком, выяснить, какие условия нужны для реализации как нулевых, так и максимальных инкрементов неустойчивости. Помимо того, в её задачу входит определение пространственной структуры волнового поля, в котором движется пучок. Необходимо отметить, что термин неустойчивость в данном изложении употребляется не в классическом смысле неустойчивости какого-либо стационарного состояния, а обозначает факт превращения кинетической энергии электронного пучка в энергию электромагнитного поля, в результате которого энергия поля возрастает во времени.

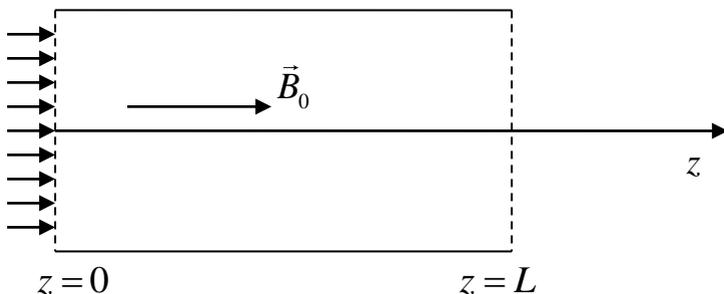
Решение вопроса об устойчивости пучка должно проводиться в следующей последовательности [5]. Вначале анализируется характеристическое уравнение, связывающее временную и пространственные характеристики возбуждаемого пучком электромагнитного поля. Затем с помощью соответствующих данной частоте волновых чисел поля конструируется его пространственная структура и подставляются в граничные условия, которые в свою очередь определяются геометрией пучка и рассматриваемой электродинамической системы. В результате получаются дисперсионные уравнения, из которых можно определить спектр собственных частот ограниченной системы. Граничные условия приводят так же к соотношениям между комплексными амплитудами

волн, имеющих одну и ту же частоту, но различные волновые числа. С помощью этих соотношений, после решения дисперсионных уравнений можно окончательно установить пространственную структуру волнового поля, в котором движется пучок.

Для построения линейной теории, используются уравнения Максвелла и бесстолкновительное кинетическое уравнение с самосогласованным полем для функции распределения электронов релятивистского пучка (уравнение Власова) [12, 13, 14], учитывающее лишь коллективный эффект взаимодействия электронов пучка:

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \vec{j} \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0 \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \operatorname{div} \vec{E} = 4\pi\rho \\ \frac{\partial f}{\partial t} + \vec{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{r}} + \frac{e}{c} [\vec{v}, \vec{B}_0] \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{p}} = -e(\vec{E} + [\frac{\vec{v}}{c}, \vec{B}]) \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{p}} \\ \rho = e \int f d\vec{p}, \quad \vec{j} = e \int \vec{v} f d\vec{p} \end{array} \right.$$

Такой способ описания считается на сегодняшний день наиболее строгим. Предполагается, что имеется однородное внешнее магнитное поле \vec{B}_0 конечной величины. Электронный пучок инжектируется в резонатор произвольной геометрии с идеально проводящей поверхностью



Линейная электродинамика имеет право не учитывать факт отражения электронов тормозящим их полем. Поэтому на входе пучка в резонатор, в плоскости инжекции электронов, можно считать заданной их функцию распределения по импульсам, аргументы которой учитывают продольное и поперечное движение пучка: $f|_{z=0} = f_0(\vec{p}, \vec{r}_\perp, z, t)$.

Ее пространственно-временная эволюция автоматически учитывает все дрейфовые движения электронов помимо тех, которые обусловлены неоднородностью внешнего магнитного поля. Одним из часто используемых допущений является предположение о том, что электроны пучка на входе в систему являются моноэнергетическими, что соответствует условию $f_0|_{z=0} = n_0(t)\delta(p_z - m\gamma u)$

Сущность используемого в работе метода [5] заключается в следующем: вначале производится переход от переменных $t, z, \vec{r}_\perp, \vec{p}$, от которых зависит функция распределения электронов по импульсам, к новым переменным, совпадающим с интегралами движения электрона в однородном внешнем магнитном поле. В результате этого перехода левая часть уравнения Власова

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{r}} + \frac{e}{c} [\vec{v}, \vec{B}_0] \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{p}} = -e(\vec{E} + [\frac{\vec{v}}{c}, \vec{B}]) \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{p}}$$

преобразуется к виду $v_z \frac{\partial f}{\partial \eta}$, что позволяет произвести интегрирование

по переменной η вначале в пределах $0 \leq \eta \leq z$, а затем в пределах $0 \leq \eta \leq \varepsilon$. После возвращения к исходным переменным получаются две формулы, имеющие рекуррентный характер. Они позволяют осуществить стандартную процедуру разложения искомой функции распределения релятивистских электронов по степеням амплитуды электрического и магнитного полей, индуцированных пучком в электродинамической системе.

В конечном итоге, в наиболее общем виде, удаётся получить выражения для функции распределения электронов пучка, которые определяют её первые моменты, входящие в уравнения Максвелла, и для самих моментов:

$$\begin{aligned} ef &= ef_0 - \text{div} \vec{\Pi} - \text{div}_p \vec{\Phi}, \\ e\vec{v}f &= e\vec{v}f_0 + \frac{\partial \vec{\Pi}}{\partial t} + \text{rot}[\vec{\Pi}, \vec{v}] + \text{rot}_p[\vec{\Phi}, \vec{v}] - \\ &- \vec{\Phi} \text{div}_p \vec{v} - \left(\vec{v}, \frac{\partial}{\partial \vec{p}} \right) \vec{\Phi} - m\Omega \left([\vec{v}, \vec{h}], \frac{\partial}{\partial p_\perp} \right) \vec{\Pi}, \end{aligned}$$

где: f_0 - функция распределения электронов по импульсам на входе пучка в резонатор, аргументы которой учитывают продольное и

поперечное движение пучка; $\Omega = \frac{eB_0}{mc}$; \vec{h} - единичный вектор, задающий направление внешнего магнитного поля \vec{B}_0 .

Плотности заряда и тока пучка выражаются формулами:

$$\rho = \rho_0 - \text{div} \vec{P}, \quad \vec{j} = \vec{j}_0 + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} + c \cdot \text{rot} \vec{M}, \quad \text{где } \vec{P} = \int \vec{\Pi} d\vec{p}, \quad \vec{M} = \int \left[\vec{\Pi}, \frac{\vec{v}}{c} \right] d\vec{p}.$$

Уравнения Максвелла, содержащие плотности заряда и тока пучка, приобретают вид:

$$\text{div}(\vec{E} + 4\pi\vec{P}) = 4\pi\rho_0, \quad \text{rot}(\vec{B} - 4\pi\vec{M}) = \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t}(\vec{E} + 4\pi\vec{P}) + \frac{4\pi}{c} \vec{j}_0.$$

Вместе с оставшимися уравнениями Максвелла и соответствующими начальными и граничными условиями возникает замкнутая система линейных интегро-дифференциальных уравнений, которая позволяет исследовать на начальной стадии динамику релятивистского пучка и возбуждаемого им поля.

Полученные результаты могут иметь как общетеоретическую значимость для электродинамики сильноточных релятивистских электронных пучков с учетом их самовоздействия, так и практическую, поскольку существует возможность формулировки большого числа конкретных начально-граничных задач, связанных с различной геометрией технических устройств, назначение которых – генерация и усиление электромагнитного излучения высокой мощности. Они позволят теоретически исследовать динамику преобразования в электромагнитную энергию не только кинетической энергии продольного движения электронов пучка, но и энергии их поперечного движения относительно направления стабилизирующего магнитного поля.

Несмотря на то, что исследования имеют непосредственное отношение к вакуумной СВЧ электронике, они в полной мере применимы и в плазменной электронике [14, 15, 16], которая, естественно, имеет дополнительные проблемы, обусловленные более широким спектром генерируемых частот и нейтрализацией пространственного заряда и тока пучка ионами плазмы. В силу линейности теории ее результаты должны быть автоматически применимы при описании пучково-плазменного взаимодействия.

Список литературы:

1. Ковалёв Н.Ф., Петелин М.И., Райзер М.Д., Сморгонский А.В. Приборы типа «О», основанные на индуцированном черенковском и переходном излучениях релятивистских электронов. Релятивистская высокочастотная электроника. – Горький, ИПФ АН СССР, 1979, С. 76-113.
2. Бугаев С.П., Канавец В.И., Кошелев В.И., Черепенин В.А. Релятивистские многоволновые СВЧ генераторы. – Новосибирск: Наука, 1991. – 293 с.
3. Александров А.Ф., Галузо С.Ю., Канавец В.И., Кузнецов А.М., Михеев В.В. К теории двухсекционного СВЧ-умножителя частоты черенковского типа с релятивистским электронным пучком. // Радиотехника и электроника, 1995, т. 40, № 8, С. 1285-1291.
4. Александров А.Ф., Галузо С.Ю., Канавец В.И., Кузнецов А.М. Экспериментальное исследование секционированного релятивистского СВЧ-умножителя частоты черенковского типа. // Вестник МГУ, сер. 3, Физика, астрономия, 1993, т. 34, №3, С. 79-81.
5. Северьянов В.В. Динамика частиц и электромагнитного поля в неравновесной ограниченной плазме. – Диссертация на соискание учёной степени доктора физико-математических наук в форме научного доклада. – Москва, 1993.
6. Рошаль А.С. Моделирование заряженных пучков. – М.: Атомиздат, 1979. – 224 с.
7. Слепков А.И., Галямова О.В. Численное моделирование взаимодействия потока и поля в релятивистском дифракционном генераторе. // Сб. научн. тр. XI Всерос. шк.-сем. «Волновые явления в неоднородных средах». – Звенигород, 2008, - С.71 - 73
8. Галямова О.В. Взаимодействие релятивистских электронных потоков с полями осесимметричных структур генераторов дифракционного излучения. – Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. – Москва, 2011.
9. Котетешвили П.В., Рухадзе А.А., Рыбак П.В., Тараканов В.П. // Физика плазмы. 1991, №11. С. 1383 - 1389; 1992, №7. С. 850-856.
10. Рухадзе А.А., Рыбак П.В., Северьянов В.В., Тараканов В.П. // Прикладная физика. 1995, №3 – 4, С. 107-132.
11. Рухадзе А.А., Северьянов В.В. Физическая природа неустойчивости монотронного типа. // ЖТФ. 1992, т.62, №12, С. 99-113.
12. Александров А.Ф., Бабаев К.В., Кузнецов А.М., Северьянов В.В., Яшин А.А. Система интегро-дифференциальных уравнений линейной электродинамики релятивистского пучка электронов с учётом его самовоздействия (тезисы докладов и сообщений VI Международной конференции 13 сентября – 19 сентября 1999 года, Самара 1999). // Электродинамика и техника СВЧ и КВЧ, 1999, т. VII, вып.2(23), С.36-39.
13. Чен Ф. Введение в физику плазмы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 398 с.

14. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы: Учеб. для физ. спец. университетов/ Под ред. Рухадзе А.А. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 424 с.
15. Кузелев М.В., Рухадзе А.А. Электродинамика плотных электронных пучков в плазме. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 336 с.
16. Кузелев М.В., Рухадзе А.А., Стрелков П.С. Плазменная релятивистская СВЧ электроника. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2002. – 544 с.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам XXVII международной
научно-практической конференции*

№ 8 (27)
Октябрь 2019 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 14.10.19. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 5. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru