

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт кибернетики  
Направление подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика  
Кафедра Программной инженерии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы  |
|--|
| Квазианалитическое решение дифференциального уравнения с кубической нелинейностью<br>УДК 517.957:517.548.3 |

Студент

| Группа | ФИО                             | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------------|---------|------|
| 8Б31   | Инхиреева Татьяна Александровна |         |      |

Руководитель

| Должность         | ФИО                           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ПИ ИК | Зимин Вячеслав<br>Прокопьевич | К.Т.Н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность               | ФИО                             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. МЕН<br>ИСГТ | Тухватулина Лилия<br>Равильевна | к.филос.н.                |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность           | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ЭБЖ ИНК | Извеков Владимир<br>Николаевич | К.Т.Н.                    |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой   | ФИО                          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------|------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Зав. каф. ПИ ИК | Иванов Максим<br>Анатольевич | К.Т.Н.                    |         |      |

## 1 Запланированные результаты обучения по программе

| Код результата                      | Результат обучения (выпускник должен быть готов)   |
|-------------------------------------|--|
| <i>Профессиональные компетенции</i> |  |
| P1                                  | Способность демонстрации общенаучных базовых знаний естественных наук, математики и информатики, понимание основных фактов, концепций, принципов теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой   |
| P2                                  | Способность приобретать новые научные и профессиональные знания, используя современные образовательные и информационные технологии   |
| P3                                  | Способность критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости вид и характер своей профессиональной деятельности   |
| P4                                  | Способность собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным, профессиональным, социальным и этическим проблемам   |
| P5                                  | Способность решать задачи производственной и технологической деятельности на профессиональном уровне, включая: разработку алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программирования  |
| P6                                  | Способность использовать основы защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и применения современных средств поражения, основных мер по ликвидации их последствий, способность к общей оценке условий безопасности жизнедеятельности |
| <i>Универсальные компетенции</i>    |  |
| P7                                  | Способность владеть культурой мышления, умение аргументированно и ясно строить устную и письменную речь  |
| P8                                  | Способность уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, толерантность в восприятии социальных и культурных различий  |
| P9                                  | Способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны                                   |
| P10                                 | Способность использовать в научной и познавательной деятельности, а также в социальной сфере профессиональные навыки работы с информационными и компьютерными технологиями   |
| P11                                 | Способность к интеллектуальному, культурному, нравственному, физическому и профессиональному саморазвитию, стремление к повышению своей квалификации и мастерства  |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт кибернетики  
Направление подготовки 01.02.03 Прикладная математика и информатика  
Кафедра Программной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Иванов М. А.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                     |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                              |
|--------|----------------------------------|
| 8Б31   | Инхиреевой Татьяне Александровне |

Тема работы:

|   |
|---|
| Квазианалитическое решение дифференциального уравнения с кубической нелинейностью |
|---|

|   |  |
|---|--|
| Утверждена приказом директора (дата, номер) |  |
|---|--|

|  |  |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|--|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |  |
|---|--|
| <b>Исходные данные к работе</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Квазианалитический метод решения нелинейных дифференциальных уравнений.</li><li>• Математическая модель динамики электрона в бетатроне.</li></ul>  |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• аналитический обзор литературных источников;</li><li>• постановка задачи исследования;</li><li>• разработка алгоритма;</li><li>• реализация алгоритма;</li><li>• выбор программного обеспечения;</li><li>• обсуждение результатов выполненной работы;</li><li>• финансовый менеджмент;</li><li>• социальная ответственность;</li><li>• заключение.</li></ul> |
| <b>Перечень графического материала</b>  |  |

| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> |                              |
|---|------------------------------|
| <b>Раздел</b>   | <b>Консультант</b>           |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение   | Тухватулина Лилия Равильевна |
| Социальная ответственность  | Извеков Владимир Николаевич  |

|   |  |
|---|--|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> |  |
|---|--|

**Задание выдал руководитель:**

| <b>Должность</b>  | <b>ФИО</b>                 | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|-------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Доцент каф. ПИ ИК | Зимин Вячеслав Прокопьевич | к.т.н.                        |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                      | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|---------------|---------------------------------|----------------|-------------|
| 8631          | Инхиреева Татьяна Александровна |                |             |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт кибернетики  
Направление подготовки 01.02.03 Прикладная математика и информатика  
Уровень образования бакалавриат  
Кафедра Программной инженерии  
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 07.02.2017    | Постановка целей и задач, получение исходных данных   | 7                                  |
| 10.02.2017    | Составление и утверждение ТЗ                          | 7                                  |
| 14.02.2017    | Подбор и изучение материалов по тематике              | 8                                  |
| 01.03.2017    | Разработка календарного плана                         | 7                                  |
| 07.03.2017    | Обсуждение литературы                                 | 8                                  |
| 14.03.2017    | Разработка алгоритма реализации метода                | 13                                 |
| 28.03.2017    | Реализация разработанного алгоритма                   | 13                                 |
| 11.04.2017    | Проведение исследования                               | 10                                 |
| 25.04.2017    | Оформление расчетно-пояснительной записки             | 10                                 |
| 10.05.2017    | Оформление графического материала                     | 8                                  |
| 16.05.2017    | Подведение итогов                                     | 9                                  |

Составил преподаватель:

| Должность         | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ПИ ИК | Зимин Вячеслав Прокопьевич | к.т.н., доцент         |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Зав. кафедрой   | ФИО                       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Зав. каф. ПИ ИК | Иванов Максим Анатольевич | к.т.н., доцент         |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 94 с., 21 рис., 16 табл., 20 источников, 3 прил.

Ключевые слова: численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений, нелинейные неоднородные дифференциальные уравнения, задача Коши, фазовые портреты, фундаментальная система решений, точки равновесия.

Объектом исследования в качестве тестовой задачи рассматривается математическая модель динамики электрона в бетатроне.

Цель работы – разработка и исследование алгоритма квазианалитического метода решения нелинейных дифференциальных уравнений.

В процессе исследования проводился анализ квазианалитического метода, сравнение его с другими численными методами решения дифференциальных уравнений.

В результате исследования показано, что метод позволяет получить решение дифференциального уравнения. Сделан вывод о применимости метода и точности получаемого решения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: разработанный алгоритм позволяет решать нелинейные дифференциальные уравнения.

Область применения: разработанный алгоритм может применяться при решении нелинейных дифференциальных уравнений.

В будущем планируется исследование алгоритма на уравнениях с переменными коэффициентами, совершенствование алгоритма.

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 9  |
| 1. Объект и методы исследования .....   | 11 |
| 1.1. Описание математической модели динамики электрона<br>в бетатроне .....   | 11 |
| 1.2. Математическая постановка задачи.....  | 15 |
| 1.3. Выбор и описание метода решения поставленной задачи .....  | 16 |
| 1.3.1 Метод Рунге-Кутты .....   | 17 |
| 1.3.2 Квазианалитический метод .....  | 18 |
| 1.4. Выбор и описание программной среды.....  | 23 |
| 2 Расчеты и аналитика .....   | 25 |
| 2.1 Разработка алгоритма решения задачи .....   | 25 |
| 2.2 Программная реализация алгоритма.....   | 25 |
| 3 Результаты проведенного исследования.....   | 27 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение<br>.....  | 39 |
| 4.1 Анализ конкурентных технических решений .....   | 39 |
| 4.2 Организация и планирование работ .....  | 41 |
| 4.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....   | 46 |
| 4.3.1 Расчет материальных затрат.....   | 46 |
| 4.3.2 Расчет заработной платы .....   | 48 |
| 4.3.3 Расчет отчислений во внебюджетные фонды.....  | 49 |
| 4.3.4 Расчет амортизационных расходов .....   | 49 |
| 4.3.5 Расчет прочих расходов .....  | 50 |
| 4.3.6 Расчет общей себестоимости разработки .....   | 50 |
| 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой,<br>бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..... | 51 |
| 4.5 Общий вывод по разделу.....   | 53 |
| 5 Социальная ответственность.....   | 56 |

|  |    |
|--|----|
| Аннотация.....   | 56 |
| Введение .....   | 56 |
| 5.1 Производственная безопасность .....  | 57 |
| 5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....                          | 57 |
| 5.1.2 Обоснование мероприятий по защите от действия опасных и вредных факторов .....                             | 59 |
| 5.2 Экологическая безопасность.....  | 68 |
| 5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....   | 69 |
| 5.3.1 Анализ вероятных ЧС .....  | 69 |
| 5.3.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС .....  | 70 |
| 5.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС ..... | 71 |
| 5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....  | 73 |
| 5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства ...  | 73 |
| 5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей .....   | 73 |
| Заключение .....   | 79 |
| Список использованных источников .....   | 80 |
| Приложение А .....   | 83 |
| Приложение Б.....  | 84 |
| Приложение В .....   | 88 |



## **Введение**

При решении различных прикладных задач и процессов управления во многих областях науки и техники появляются все новые и новые требования к математическим моделям систем. Возникают новые задачи для более сложных динамических систем. Появляется потребность в разработке и изучении новых методов анализа и решения задач для этих систем. Примерами таких систем являются составные динамические системы и системы с многоточечными промежуточными условиями, в которых ни многоэтапностью, ни промежуточными условиями пренебречь невозможно.

В последнее время специалисты по динамике систем активно изучают составные системы и динамические системы с многоточечными промежуточными условиями, что объясняется множеством приложений в экономике, механике, энергетике, машиностроении и других областях науки. Возможности современной измерительной и вычислительной техники, позволяя изучать самые адекватные модели, подогревают интерес к задачам управления составных систем и систем с многоточечными промежуточными условиями.

В составных системах присутствует непрерывная динамика и переключение в дискретные моменты времени от одной динамики к другой. Благодаря этому в промежуточные моменты времени обеспечивается преемственность между системами. Интересным является изучение математических свойств этих систем. Возможности таких систем проявляются шире, чем обычные [1].

**Актуальность** работы заключается в том, что теория составных систем и систем с многоточечными промежуточными условиями, несмотря на растущий в последнее время интерес к ней, значительно менее развита, чем теория непрерывных систем. Изучение многих задач управления движением, в частности задач баллистики, технологических процессов и т.д. приводит к решению задач управления, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями с многоточечными промежуточными условиями. Исследованию

таких задач посвящены работы [2], [3]. Квазианалитический метод решения обыкновенных дифференциальных уравнений применительно к линейным уравнениям рассмотрен в [1].

**Цель** данной работы – разработка и исследование алгоритма квазианалитического решения однородного и неоднородного дифференциального уравнения с кубической нелинейностью.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

- 1) подобрать и изучить литературу по данной теме;
- 2) разработать алгоритм решения нелинейного неоднородного дифференциального уравнения.
- 3) реализовать алгоритм;
- 4) проверить правильность работы программы;
- 5) произвести сравнительный анализ результатов работы программы с результатами, полученными с помощью других методов численного решения дифференциальных уравнений данного типа.

**Объектом** исследования в качестве тестовой задачи рассматривается математическая модель динамики электрона в бетатроне.

**Предметом** исследования является квазианалитический метод решения дифференциального уравнения с кубической нелинейностью.

**Практическая новизна** заключается в реализации алгоритма квазианалитического решения нелинейного дифференциального уравнения в математическом пакете MATLAB.

**Практическая значимость:** квазианалитический метод может использоваться для решения задач в различных областях науки, где возникает необходимость решения нелинейных дифференциальных уравнений.

По итогам исследования сделан доклад на конференции «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине», оцененный дипломом первой степени.

## 1. Объект и методы исследования

### 1.1. Описание математической модели динамики электрона в бетатроне

В индукционном ускорителе движение электронов в процессе ускорения определяется значениями параметрами магнитного поля ускорителя. В электромагнитном поле, которое характеризуется напряженностью электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей, на движущийся со скоростью  $v$  электрон действует сила  $F$

$$F = e(E + vH/c). \quad (1.1)$$

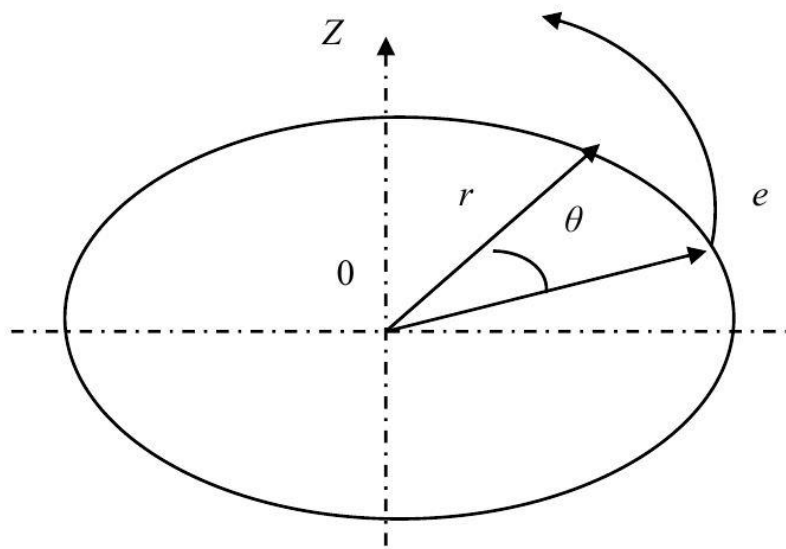


Рисунок 1.1 – Траектория движения электрона

Магнитное поле индукционного ускорителя симметрично относительно оси. Можно записать составляющие электромагнитного поля в цилиндрической системе координат, ось которой совпадает с осью симметрии ускорителя, полагая, что электрон движется в плоскости  $r\theta$ , проходящей через начало координат в отсутствие других зарядов (стационарных или нестационарных):

$$\left. \begin{aligned} H_\phi = 0, E_r = 0; \\ H_r = (-r/2)\partial H_z / \partial z_0, E_z = 0; \\ H_z = \overline{H_z} + (r/2)\partial H_z / \partial r, H_\theta = (-r/2c)\partial H_z / \partial t; \\ \partial H_z / \partial r = \partial H_z / \partial z, \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

где  $\overline{H_z}$  – средняя напряженность магнитного поля, соответствующая средней плотности  $\overline{B_z}$  магнитного потока  $\Phi$  в круге радиусом  $r$  [4].

Уравнение кругового движения электрона в направлении  $\theta$  может быть записано в следующем виде (с учетом (1.2)):

$$\frac{d}{dt}(mr^2\dot{\theta}) = \frac{e}{2c} \frac{d}{dt}(r^2\overline{H_z}). \quad (1.3)$$

Решение уравнения (1.3) имеет вид:

$$mr^2v_\theta - \frac{e}{2c} r^2\overline{H_z} = C_0, \quad (1.4)$$

где  $C_0$  – постоянная интегрирования, которая может быть найдена как разность импульса электрона, находящегося на орбите радиуса  $r$ , и момента импульса, сообщаемого электрону ускоряющим полем. Знак  $C_0$  определяет характер изменения радиуса орбиты. При  $C_0 < 0$  траектория электрона имеет вид развертывающейся спирали, при  $C_0 > 0$  – свертывающейся.

Траектория электрона имеет круговую орбиту с постоянным радиусом при  $C_0 = 0$ , если закон изменения количества движения электрона совпадает с законом изменения среднего значения напряженности магнитного поля.

Тангенциальная составляющая скорости электрона может быть определена из уравнения (1.4):

$$v_\theta = \frac{e}{mc} \left( \frac{\frac{r^2\overline{H_z}}{2} + C}{r} \right), \quad (1.5)$$

где  $C = C_0 \frac{e}{c}$  определяется через начальные условия движения электрона.

Предполагая, что электрон, ускоряемый в бетатроне, перемещается по круговой орбите, то тангенциальную составляющую скорости  $v_\theta$  можно считать численно равной модулю полной скорости электрона.

Во время начального периода цикла ускорения (В нерелятивистском случае) кинетическая энергия электрона с учетом выражения (1.5) может быть записана в виде:

$$W = \frac{mv^2}{2} = \frac{e^2}{2mc^2} \left( \frac{r^2 \overline{H_z} + C}{r} \right)^2. \quad (1.6)$$

Если начальная скорость электрона, равна нулю, уравнение (1.6) суть есть закон сохранения энергии, а правая часть уравнения является выражением для потенциальной энергии силового поля, в котором движется электрон. Для индукционного ускорителя это положение справедливо, поскольку в сравнении со скоростью изменения напряженности магнитного поля скорость электрона достаточно велика, и за один или нескольких оборотов электрона по орбите напряженность магнитного поля практически не меняется. По этой причине можно считать, что электрон движется в квазипотенциальном силовом поле, которое описывается уравнением

$$V_m = \frac{mv^2}{2e} = \frac{e}{2mc^2} \left( \frac{r^2 \overline{H_z} + C}{r} \right)^2. \quad (1.7)$$

В этом случае уравнения движения электрона в направлении осей  $r$  и  $z$  могут быть записаны в виде:

$$\frac{d}{dt}(m\dot{r}) = \frac{-\partial V_m}{\partial r} = -\frac{e}{2mc^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r^2 \overline{H_z} + C}{r} \right)^2; \quad (1.8)$$

$$\frac{d}{dt}(m\dot{z}) = \frac{-\partial V_m}{\partial z} = -\frac{e}{2mc^2} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{r^2 \overline{H_z} + C}{r} \right)^2. \quad (1.9)$$

С помощью (1.8) и (1.9) можно описать динамику электронов в поле индукционного ускорителя и определить условия, при которых электрон может совершать устойчивое движение в электромагнитном поле на протяжении всего цикла ускорения.

Электрон может совершать устойчивое движение в силовом поле на протяжении длительного времени только в той области, где потенциальная функция имеет минимум.

Минимум функции двух переменных в данной точке существует при следующих условиях:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_m}{\partial r} = 0; \frac{\partial^2 V_m}{\partial r^2} > 0; \\ \frac{\partial V_m}{\partial z} = 0; \frac{\partial^2 V_m}{\partial z^2} > 0; \\ \frac{\partial^2 V_m}{\partial r^2} \frac{\partial^2 V_m}{\partial z^2} - \left( \frac{\partial^2 V_m}{\partial z \partial r} \right)^2 > 0. \end{aligned} \quad (1.10)$$

В индукционных ускорителях эти условия выполняются для медианной плоскости  $z = 0$  и радиуса, определяемого выражением

$$H_r - \frac{\overline{H_z}}{2} - \frac{C}{r^2} = 0. \quad (1.11)$$

При этом должно выполняться условие

$$0 < -\frac{r}{H_z} \frac{\partial H_z}{\partial r} < 1. \quad (1.12)$$

Решив (1.12) получаем выражение

$$H_z = \frac{1}{r^n}, \quad (1.13)$$

из которого следует, что напряженность магнитного поля убывает по радиусу несколько медленнее, чем в случае обратной пропорциональности.

При  $C = 0$ , т. е. для электронов, изменение количества движения которых соответствует изменению напряженности магнитного поля, уравнение (1.11) запишется в виде

$$H_z = \frac{H_z}{2}. \quad (1.14)$$

Движение электрона в направлении оси  $z$  описывается уравнением

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{e^2}{m^2 c^2} H_{0z}^2 n z = 0,$$

где  $H_{0z}$  – величина средней напряженности магнитного поля в круге равновесной орбиты.

В соответствии с этим уравнением движение электрона в направлении оси  $z$  представляет собой гармоническое колебание, совершающееся около медианной плоскости с частотой [5]

$$\omega_r = \frac{e}{mc} H_z n^{\frac{1}{2}}. \quad (1.15)$$

Линеаризованные уравнения аксиальных и радиальных колебаний электрона в предположении их независимости друг от друга имеют вид [6]

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 (1-n)x &= 0; \\ \frac{d^2 z}{dt^2} + \omega_0^2 (n)z &= 0, \end{aligned} \quad (1.16)$$

где  $\omega_0$  – частота обращения частицы.

Однородное уравнение (1.16) описывает движение электрона в отсутствие возмущений в магнитном поле.

Движение частицы в медианной плоскости ускорителя в возмущенном поле описывается непрерывной функцией, являющейся решением нелинейного неоднородного дифференциального уравнения второго порядка.

## 1.2. Математическая постановка задачи

Требуется решить нелинейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка

$$\frac{d^2 x}{d\Theta^2} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma x \sin(\Omega\Theta). \quad (1.17)$$

Даны начальные условия:

$x_0$  – значения координаты, см;

$x'_0$  – значения производной, см·рад<sup>-1</sup>;

$\Theta_0$  – значения независимой координаты, рад.

$n(x) = \alpha + \beta x^2$  функция спада поля, рад<sup>-2</sup>.

Коэффициенты, полученные экспериментально для одного из ускорителей и используемые далее, имеют значения:  $\alpha=0.298$ , рад<sup>-2</sup> и  $\beta= - 0.0023$ , рад<sup>-2</sup>см<sup>-2</sup>.  $\gamma=0.01$  рад<sup>-2</sup>,  $\Omega=1$ , рад<sup>-1</sup> – амплитуда и частота вынуждающей силы.

### 1.3. Выбор и описание метода решения поставленной задачи

Исходное уравнение (3.1) представлено в виде

$$\frac{d^2x}{d\Theta^2} + \omega^2(x) \cdot x = \gamma x \sin(\Omega\Theta), \quad (1.18)$$

где 
$$\omega^2(x) = (\alpha + \beta x^2). \quad (1.19)$$

Даны начальные условия:

$x_0$  – значения координаты, см;

$x'_0$  – значения производной, см·рад<sup>-1</sup>;

$\Theta_0$  – значения независимой координаты, рад.

$n(x) = \alpha + \beta x^2$  функция спада поля, рад<sup>-2</sup>.

Коэффициенты, полученные экспериментально для одного из ускорителей и используемые далее, имеют значения:  $\alpha=0.298$ , рад<sup>-2</sup> и  $\beta= - 0.0023$ , рад<sup>-2</sup>см<sup>-2</sup>.  $\gamma=0.01$  рад<sup>-2</sup>,  $\Omega=1$ , рад<sup>-1</sup> – амплитуда и частота вынуждающей силы.

Требуется найти решение задачи Коши дифференциального уравнения (1.18).

Возможно найти аналитическое и численное решение. Аналитическое решение данного уравнения на данный момент не получено из-за трудоемкости вычислений [7].

Уравнение (1.18) относится к типу «негрубых» (по принятой в нелинейной динамике классификации, уравнений особенно чувствительных к погрешности вычислений и малому изменению параметров). Наиболее распространенными методами численного решения дифференциальных уравнений такого типа являются методы Рунге-Кутты и Адамса-Башворта-Мултона. Среди семейства методов Рунге-Кутты наиболее широко распространенный – явный метод



четвертого порядка точности, реализованный во многих математических пакетах. Для выполнения расчетов с большей точностью используются методы пятого и высших порядков. При использовании этих методов необходимо производить слишком много расчетов для достижения нужной точности. Преимущество неявных методов Рунге-Кутты в сравнении с явными – большая устойчивость. Методы Адамса-Башворта-Мултона требуют больше вычислений, чем методы Рунге-Кутты для достижения одинаковой точности, поэтому применяются реже [8].

### 1.3.1 Метод Рунге-Кутты

Рассмотрим решение задачи Коши для дифференциального уравнения первого порядка

$$\frac{dx}{d\Theta} = f(\Theta, x), \quad \Theta > 0, \quad x(0) = x_0. \quad (1.20)$$

Классический метод четвертого порядка состоит в следующем:

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{6}(k_0 + 2k_1 + 2k_2 + k_3), \quad (1.21)$$

где

$$\begin{aligned} k_0 &= hf(x_n, \Theta_n), \\ k_1 &= hf\left(x_n + \frac{1}{2}k_0, \Theta_n + \frac{h}{2}\right), \\ k_2 &= hf\left(x_n + \frac{1}{2}k_1, \Theta_n + \frac{h}{2}\right), \\ k_3 &= hf(x_n + k_2, \Theta_n + h). \end{aligned}$$

На каждом шаге требуется 4 вычисления функции. Преимущество метода Рунге-Кутты в том, что он прост в реализации и устойчив для многих типов задач. В функции ode45 реализован метод Рунге-Кутты с автоматическим выбором шага. Такой алгоритм использует тем большее количество шагов, чем медленнее изменяется функция [9]. Данный метод имеет четвертый порядок

точности, это значит, что ошибка на шаге пропорциональна  $h^5$ , а ошибка на конце интервала интегрирования пропорциональна  $h^4$  [10].

### 1.3.2 Квазианалитический метод

Основная идея построения квазианалитического решения заключается в следующем: представив (1.17) в виде (1.18), и считая для малого шага  $\Delta\Theta$  частоту на этом шаге  $\omega^2(x_i(\Theta_i))$  постоянной ( $\Theta_i$  левая граница интервала  $\Theta_i + \Delta\Theta$ ) получено линейное неоднородное уравнение с постоянными коэффициентами. Решение этого уравнения находится в виде суммы общего решения соответствующего однородного уравнения и частного решения неоднородного уравнения. Полученное решение характеризуется наличием непрерывной динамики на интервале  $\Delta\Theta$  и переключением на границе интервала от одной динамики к другой. Начальные условия на новом интервале равны значению фазовых координат в конце предыдущего интервала.

#### 1.3.2.1 Однородное уравнение

Рассмотрим решение соответствующего однородного уравнения (1.22)

$$\frac{d^2x}{d\theta^2} + \omega^2(x) \cdot x = 0. \quad (1.22)$$

Оно записывается в виде

$$x(\Theta) = a \cos(\omega\Theta) + b \sin(\omega\Theta).$$

Продифференцировав общее решение, можно найти неизвестные коэффициенты, затем записать решение задачи Коши на шаге  $\Delta\Theta$  в матричной форме.

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega_0\Theta_0) & -\frac{\sin(\omega_0\Theta_0)}{\omega_0} \\ \sin(\omega_0\Theta_0) & \frac{\cos(\omega_0\Theta_0)}{\omega_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \end{pmatrix}, \quad (1.23)$$

$$\begin{pmatrix} x(\Theta_0 + \Delta\Theta) \\ x'(\Theta_0 + \Delta\Theta) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega_0(\Theta_0 + \Delta\Theta)) & \sin(\omega_0(\Theta_0 + \Delta\Theta)) \\ -\omega_0 \sin(\omega_0(\Theta_0 + \Delta\Theta)) & \omega_0 \cos(\omega_0(\Theta_0 + \Delta\Theta)) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix}. \quad (1.24)$$

Полученные в (1.24) значения координаты и ее производной являются начальными условиями для решения на следующем шаге  $\Delta\Theta$ , при этом частота будет, согласно (1.19),

$$\omega^2(x(\Theta_0 + \Delta\Theta)) = (\alpha + \beta x^2(\Theta_0 + \Delta\Theta)).$$

Вычисляя последовательно в цикле по выражениям (1.23) и (1.24) значения фазовых координат с учетом изменения  $\omega^2(x_i(\Theta_i))$ , получим решение исходного уравнения на дискретной сетке с шагом  $\Delta\Theta$ .

Если задать начальные условия такие, что отображающая точка на фазовой плоскости будет лежать вне сепаратрис (например,  $(x_0=12, x_0'=0)$ ), то, согласно (1.19),  $\omega(x)^2 < 0$ . Уравнение (1.18) примет вид

$$\frac{d^2x}{d\theta^2} - \omega^2(x) \cdot x = 0. \quad (1.25)$$

В этом случае функции образующие фундаментальную систему решений будут

$$\exp(-\omega\theta); \exp(\omega\theta),$$

а общее решение и его производная запишутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} x(\theta) &= a \exp(-\omega\theta) + b \exp(\omega\theta), \\ \frac{dx}{d\theta} &= -\omega a \exp(-\omega\theta) + \omega b \exp(\omega\theta). \end{aligned} \quad (1.26)$$

Методика решения уравнения (1.25) такая же, как и (1.18). Только вместо тригонометрических функций будут записаны экспоненты.

Получить точное решение уравнения (1.17), используя предложенный алгоритм, можно при компенсации потерь полной энергии общего решения однородного уравнения на каждом шаге. При вычислении полной энергии системы кинетическая, как функция скорости, вычисляется по известной формуле, потенциальная как интеграл возвращающей силы из уравнения (1.17).

$$\Pi = \int (\alpha x + \beta x^3) dx = \frac{\alpha}{2} x^2 + \frac{\beta}{4} x^4.$$

Подставив в сумму кинетической и потенциальной энергий начальные условия  $(x_0, x_0')$ , найдём полную энергию системы  $W_0$

$$W_0 = \frac{x_0'^2}{2} + \frac{\alpha}{2} x_0^2 + \frac{\beta}{4} x_0^4. \quad (1.27)$$

Уменьшение амплитуды происходит по закону, близкому к экспоненте. Тогда связь между текущим значением полной энергии  $W_i$  и  $W_0$  запишется в следующем виде

$$W_i = e^{k \cdot \Delta \theta} W_0. \quad (1.28)$$

Из (1.28) найдём поправочный коэффициент и, с учётом квадратов координат и производных в (1.27), выражения для точных значений фазовых координат будут

$$x_{ii} = \sqrt{e^{-\ln(W_i/W_0)}} x_i \quad (1.29)$$

$$x_{ii}' = \sqrt{e^{-\ln(W_i/W_0)}} x_i'$$

### 1.3.2.2 Неоднородное уравнение

Частное решение неоднородного уравнения (1.18) в отсутствие резонанса ( $\omega(x) \neq \Omega$ )

$$\tilde{x}(\Theta) = -\frac{\gamma \sin(\Omega\Theta)}{\Omega^2 - \omega^2}$$

Частное решение неоднородного уравнения (1.18) в случае резонанса ( $\omega(x) = \Omega$ )

$$\tilde{x}(\Theta) = -\frac{\gamma(\Omega\Theta \cos(\Omega\Theta) - \sin(\Omega\Theta))}{2\Omega^2}$$

Общее решение неоднородного уравнения (1.18) находится в виде суммы общего решения соответствующего однородного уравнения (1.22) и частного решения неоднородного уравнения (1.18).

Тогда общее решение исходного уравнения (1.18) в отсутствие резонанса имеет вид

$$x(\Theta) = a \cos(\omega\Theta) + b \sin(\omega\Theta) - \frac{\gamma \sin(\Omega\Theta)}{\Omega^2 - \omega^2}, \quad (1.30)$$

в случае резонанса

$$x(\Theta) = a \cos(\omega\Theta) + b \sin(\omega\Theta) - \frac{\gamma(\Omega\Theta \cos(\Omega\Theta) - \sin(\Omega\Theta))}{2\Omega^2}. \quad (1.31)$$

Рассмотрим подробно решение задачи Коши на первом шаге.

Даны начальные условия:  $x_0, x'_0, \Theta_0$  значения координаты, ее производной и независимой координаты. Продифференцировав общее решение, можно найти неизвестные коэффициенты, затем записать решение задачи Коши на шаге  $\Delta\Theta$  в матричной форме для случаев (1.30) и (1.31).

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega_0\Theta_0) & -\frac{\sin(\omega_0\Theta_0)}{\omega_0} \\ \sin(\omega_0\Theta_0) & \frac{\cos(\omega_0\Theta_0)}{\omega_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \end{pmatrix} + \frac{\gamma}{\Omega^2\omega_0 - \omega_0^3} \begin{pmatrix} -\Omega \sin(\omega_0\Theta_0) \cos(\Omega\Theta_0) + \omega_0 \cos(\omega_0\Theta_0) \sin(\Omega\Theta_0) \\ \Omega \cos(\Omega\Theta_0) \cos(\omega_0\Theta_0) + \omega_0 \sin(\omega_0\Theta_0) \sin(\Omega\Theta_0) \end{pmatrix} \quad (1.32)$$

$$\begin{pmatrix} x(\Theta_1) \\ x'(\Theta_1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega_0\Theta_1) & \sin(\omega_0\Theta_1) \\ -\omega \sin(\omega_0\Theta_1) & \omega \cos(\omega_0\Theta_1) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix} - \frac{\gamma}{\Omega^2 - \omega_0^2} \begin{pmatrix} \sin(\Omega\Delta\Theta) \\ \Omega \cos(\Omega\Delta\Theta) \end{pmatrix} \quad (1.33)$$

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega_0\Theta_0) & -\frac{\sin(\omega_0\Theta_0)}{\omega_0} \\ \sin(\omega_0\Theta_0) & \frac{\cos(\omega_0\Theta_0)}{\omega_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \end{pmatrix} + \frac{\gamma}{2\omega_0^2} \begin{pmatrix} \cos^2(\omega_0\Theta_0) - 1 \\ -\cos(\omega_0\Theta_0) \sin(\omega_0\Theta_0) + \omega_0\Theta_0 \end{pmatrix} \quad (1.34)$$

$$\begin{pmatrix} x(\Theta_1) \\ x'(\Theta_1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\omega_0\Theta_1) & \sin(\omega_0\Theta_1) \\ -\omega \sin(\omega_0\Theta_1) & \omega \cos(\omega_0\Theta_1) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix} - \frac{\gamma}{2\Omega^2} \begin{pmatrix} \Omega\Delta\Theta \cos(\Omega\Delta\Theta) - \sin(\Omega\Delta\Theta) \\ \Omega^2\Delta\Theta \sin(\Omega\Delta\Theta) \end{pmatrix} \quad (1.35)$$

Полученные в (1.33) и (1.35) значения координаты и ее производной являются начальными условиями для решения на следующем шаге  $\Delta\Theta$ , при этом частота, согласно (1.19),

$$\omega^2(x(\Theta_0 + \Delta\Theta)) = (\alpha + \beta x^2(\Theta_0 + \Delta\Theta)).$$

Вычисляя последовательно в цикле по выражениям (1.33) и (1.35) значения фазовых координат с учетом изменения  $\omega^2(x_i(\Theta_i))$ , получим решение исходного уравнения на дискретной сетке с шагом  $\Delta\Theta$ .

Если задать начальные условия такие, что отображающая точка на фазовой плоскости будет лежать вне сепаратрис (например,  $(x_0=12, x'_0=0)$ ), то, согласно (1.19),  $\omega^2(x) < 0$ . Уравнение (1.18) примет вид:

$$\frac{d^2x}{d\Theta^2} - \omega^2(x) \cdot x = \gamma x \sin(\Omega\Theta), \quad (1.36)$$

В этом случае функции образующие фундаментальную систему решений будут

$$\exp(-\omega\theta); \exp(\omega\theta),$$

а общее решение и его производная при отсутствии резонанса запишутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} x(\theta) &= a \exp(-\omega\theta) + b \exp(\omega\theta) - \frac{\gamma \sin(\omega\theta)}{\Omega^2 + \omega^2}, \\ \frac{dx}{d\theta} &= -\omega a \exp(-\omega\theta) + \omega b \exp(\omega\theta) - \frac{\gamma \Omega \cos(\omega\theta)}{\Omega^2 + \omega^2}. \end{aligned} \quad (1.37)$$

В случае резонанса:

$$\begin{aligned} x(\theta) &= a \exp(-\omega\theta) + b \exp(\omega\theta) - \frac{\gamma \sin(\omega\theta)}{2\omega^2}, \\ \frac{dx}{d\theta} &= -\omega a \exp(-\omega\theta) + \omega b \exp(\omega\theta) - \frac{\gamma \cos(\omega\theta)}{2\omega}. \end{aligned} \quad (1.38)$$

Выражения для неизвестных коэффициентов  $a$  и  $b$  имеют вид:

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{\omega_0\Theta_0} & -\frac{e^{\omega_0\Theta_0}}{\omega_0} \\ e^{-\omega_0\Theta_0} & \frac{e^{-\omega_0\Theta_0}}{\omega_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \end{pmatrix} + \frac{\gamma}{2\omega_0(\Omega^2 + \omega_0^2)} \begin{pmatrix} e^{\omega_0\Theta_0} (\omega_0 \sin(\Omega\Theta_0) - \Omega \cos(\Omega\Theta_0)) \\ e^{-\omega_0\Theta_0} (\omega_0 \sin(\Omega\Theta_0) + \Omega \cos(\Omega\Theta_0)) \end{pmatrix} \quad (1.39)$$

в отсутствие резонанса.

И в случае резонанса:

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{\omega_0 \Theta_0} & -\frac{e^{\omega_0 \Theta_0}}{\omega_0} \\ e^{-\omega_0 \Theta_0} & \frac{e^{-\omega_0 \Theta_0}}{\omega_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x'_0 \end{pmatrix} + \frac{\gamma}{4\omega_0^2} \begin{pmatrix} e^{\omega_0 \Theta_0} (\sin(\Omega \Theta_0) - \cos(\Omega \Theta_0)) \\ e^{-\omega_0 \Theta_0} (\sin(\Omega \Theta_0) + \cos(\Omega \Theta_0)) \end{pmatrix}. \quad (1.40)$$

Методика решения уравнения (1.36) такая же, как и (1.18). Только вместо тригонометрических функций будут записаны экспоненты.

Для получения точного решения необходимо на каждом шаге выполнять умножение фазовых координат общего решения однородного уравнения (1.22) на поправочный коэффициент (1.29).

#### 1.4. Выбор и описание программной среды

Для исследования и реализации алгоритма метода использована программная среда MATLAB.

MATLAB – высокоуровневый язык, основным объектом в котором является массив, для которого не требуется явно указывать размерность, что позволяет решать множество векторно-матричных вычислительных задач, существенно экономя время, которое понадобилось бы для программирования на скалярных языках, таких как C++ или Java.

MATLAB обладает свойствами традиционных языков программирования, такими как обработка ошибок, управление потоками данных и объектно-ориентированное программирование (ООП). Можно использовать основные типы данных, сложные структуры данных или определять пользовательские типы.

Пакет MATLAB является одновременно и операционной средой, и языком программирования. В нем содержится множество встроенных математических функций: функции линейной алгебры, быстрого преобразования Фурье, функции для работы с полиномами, функции базовой статистики и численного решения дифференциальных уравнений. MATLAB можно использовать для решения различных типов уравнений, построения графиков, анализа данных.

Можно получать результаты немедленно, выполняя команды по одной за раз. Таким образом возможно быстро исследовать различные варианты для

нахождения лучшего решения. Объединяя интерактивные команды в программу или функцию можно автоматизировать их выполнение [11].

Для программной реализации алгоритма использованы как встроенные функции математического пакета MATLAB, так и созданные



## **2 Расчеты и аналитика**

### **2.1 Разработка алгоритма решения задачи**

Алгоритм квазианалитического метода решения представлен в виде блок-схемы в приложении А.

Исходные данные алгоритма:  $T$  – интервал интегрирования,  $nh$  – число шагов на периоде,  $t_0$ ,  $x(1)$ ,  $dx/dt(1)$  – начальные условия (значения координаты и ее производной в начальный момент времени) являются скалярными величинами.

1. Задание исходных данных:
  - 1.1.  $T$  – интервал интегрирования;
  - 1.2.  $nh$  – число шагов на периоде;
  - 1.3.  $t_0$ ,  $x(1)$ ,  $dx/dt(1)$  – начальные условия (значения координаты и ее производной при начальном значении независимой координаты).
2. Вычисление параметров:
  - 2.1.  $dt$  – шаг по времени;
  - 2.2.  $N$  – количество шагов.
3.  $k=1$ . Вычисление значений частоты  $w(k)$  и квадрата частоты  $w^2(k)$ .
4. Цикл по  $k$  от 2 до  $N$ :
  - 4.1. вычисление текущего значения независимой координаты  $t(k)$ ;
  - 4.2. если квадрат частоты положителен, вычисление координаты и ее производной на шаге по формуле (4.7), если отрицателен – по формуле (4.13);
  - 4.3. вычисление частоты и квадрата частоты на шаге;
  - 4.4. если значение координаты по модулю больше 15, конец цикла.

### **2.2 Программная реализация алгоритма**

При разработке программной реализации создано четыре файла:

- Основная программа.
- Функция, содержащая систему уравнений (входной аргумент стандартных функций решения ОДУ MATLAB).
- Функция, содержащая условия остановки при вычислении решения (входной аргумент стандартных функций решения ОДУ MATLAB).
- Функция, вычисляющая погрешность решения исходного дифференциального уравнения.

Основная программа состоит из нескольких частей:

- Ввод исходных данных.
- Получение решения квазианалитическим методом и методом Рунге-Кутты.
- Построение графиков решений и фазовых траекторий.
- Вычисление погрешности.
- Построение фазового портрета.

### 3 Результаты проведенного исследования

При реализации любого алгоритма для решения уравнения (1.18) возникает вопрос о точности получаемого решения. Это уравнение относится к типу негрубых (по принятой в нелинейной динамике классификации уравнений особенно чувствительных к погрешности вычислений и малому изменению параметров).

Для более полного представления свойств решений уравнения найдены координаты особых точек, определен их тип и построен фазовый портрет системы на плоскости  $(x_0, x'_0)$ .

Фазовый портрет системы представлен на рисунке.3.1.

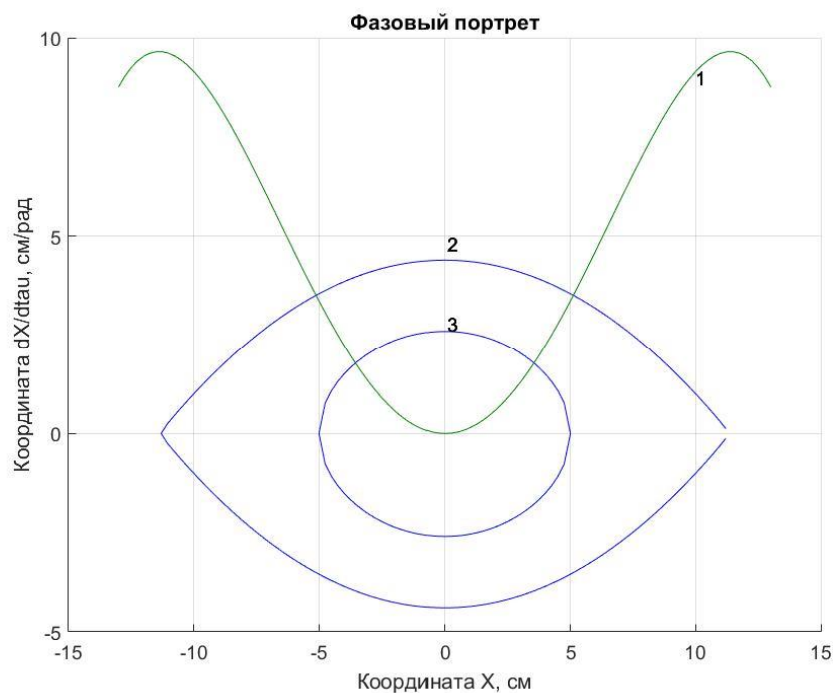


Рисунок 3.1 – Фазовый портрет системы.

1 – потенциальная функция системы, наложенная на фазовый портрет.

2 – сепаратриса,

3 – траектория в области устойчивого движения.

Точки имеют координаты: а –  $(0,0)$ , b –  $(-11.4, 0)$ , с –  $(11.4, 0)$ . Их типы: 1 – центр; 2,3 – седла.

В случае точного решения однородного уравнения фазовая траектория через оборот отображается сама на себя и на фазовой плоскости получается замкнутая параметрическая кривая. На рисунке 3.2 видно, что это условие не выполняется ни для квазианалитического метода, ни для метода Рунге-Кутты.

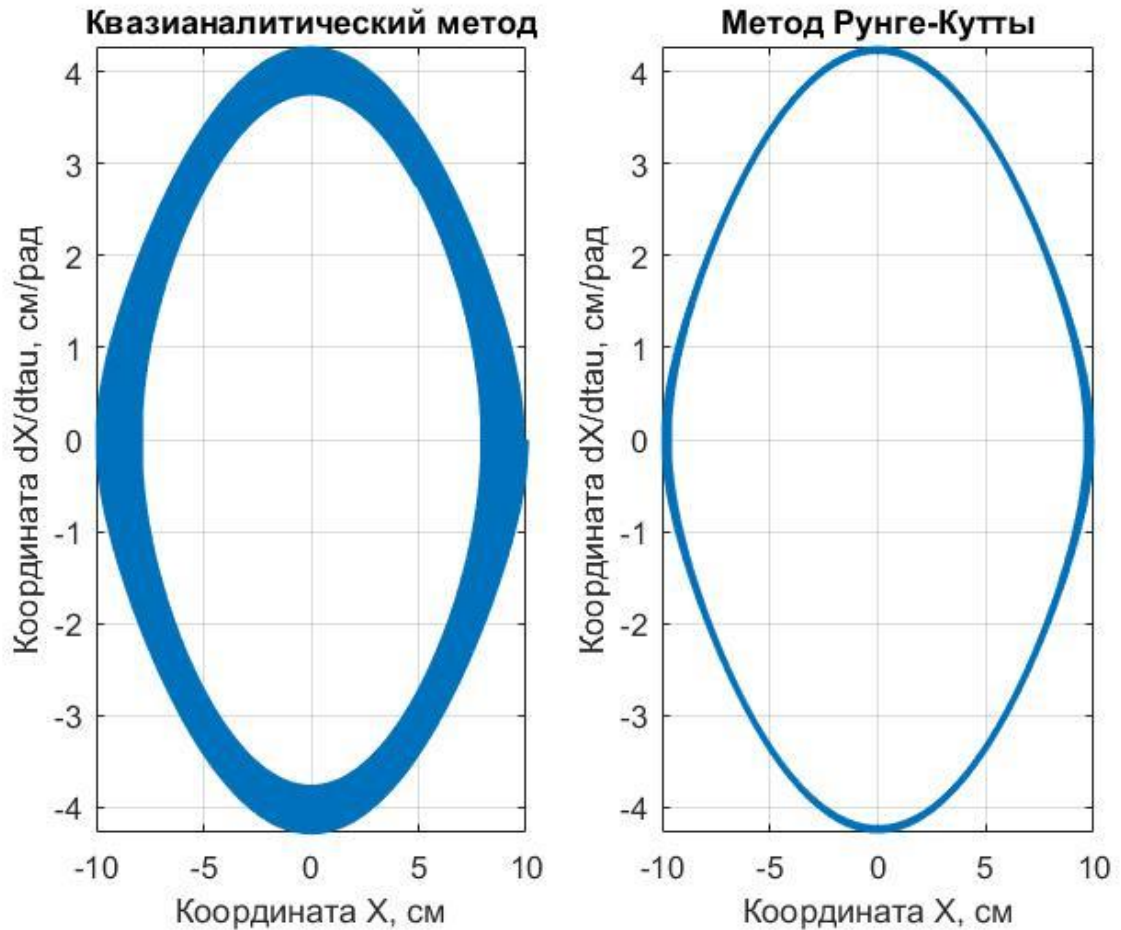


Рисунок 3.2 – Фазовые траектории

При этом погрешность предлагаемого метода нарастает быстрее.

Особенно хорошо это заметно на рисунке 3.3, где приводятся графики зависимости фазовых координат от независимой переменной  $\theta$ .

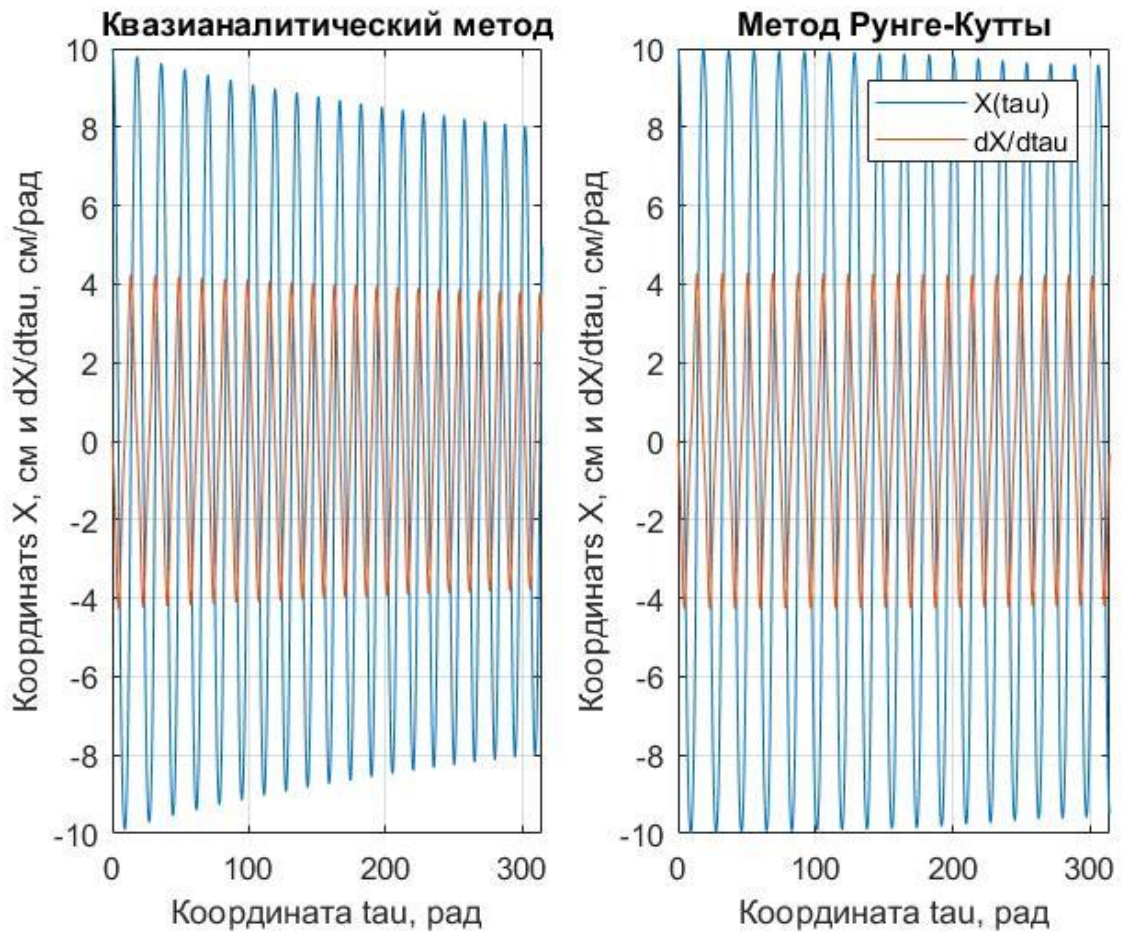


Рисунок 3.3 – Графики решений

Результаты решения (1.17) с учётом поправок (1.40) приводятся на рисунке 3.4. Начальные условия и интервал интегрирования те же самые, что использовались при построении фазовых траекторий на рисунке 3.2.

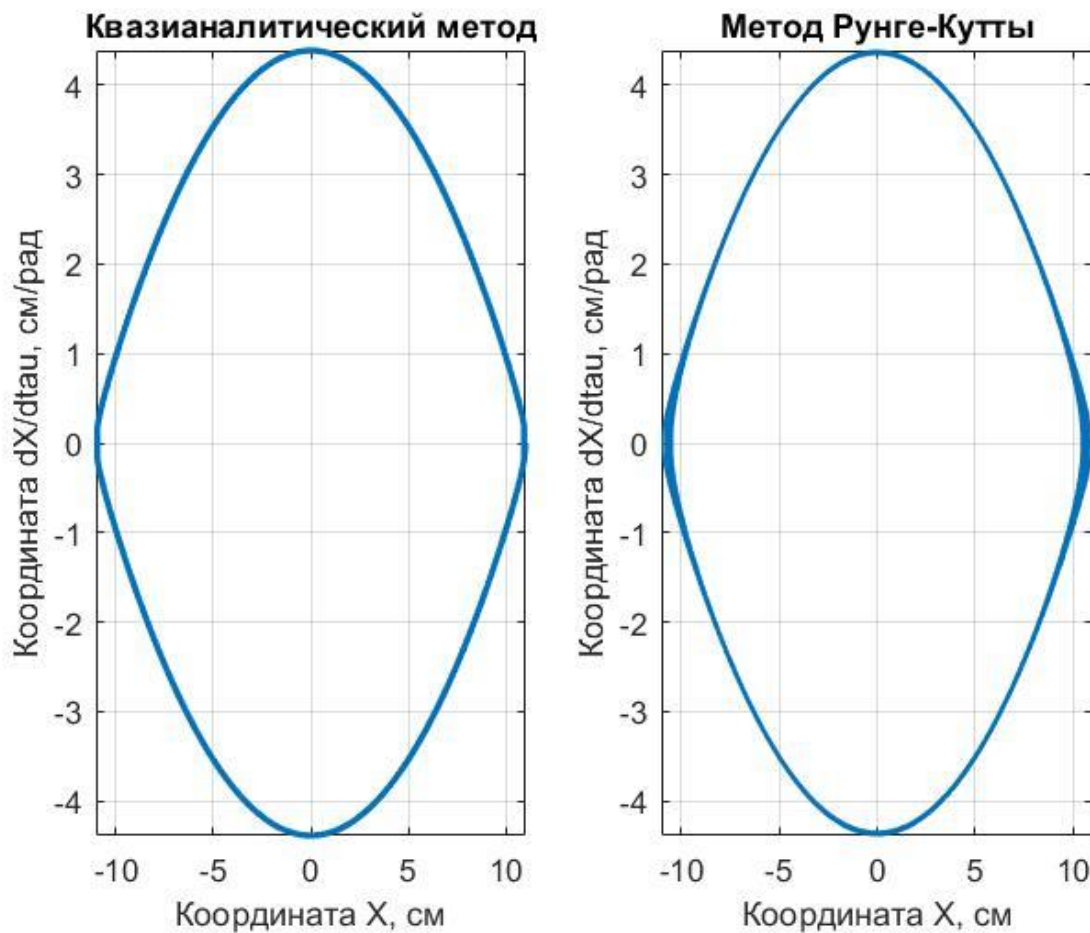


Рисунок 3.4 – Фазовые траектории с учетом поправок

На приведенном рисунке видно, что отображающие точки на фазовой траектории аналитического решения отображаются сами на себя, то есть полная энергия системы сохраняется.

Это же подтверждается рисунком 3.5, на котором амплитуда колебаний остаётся постоянной.

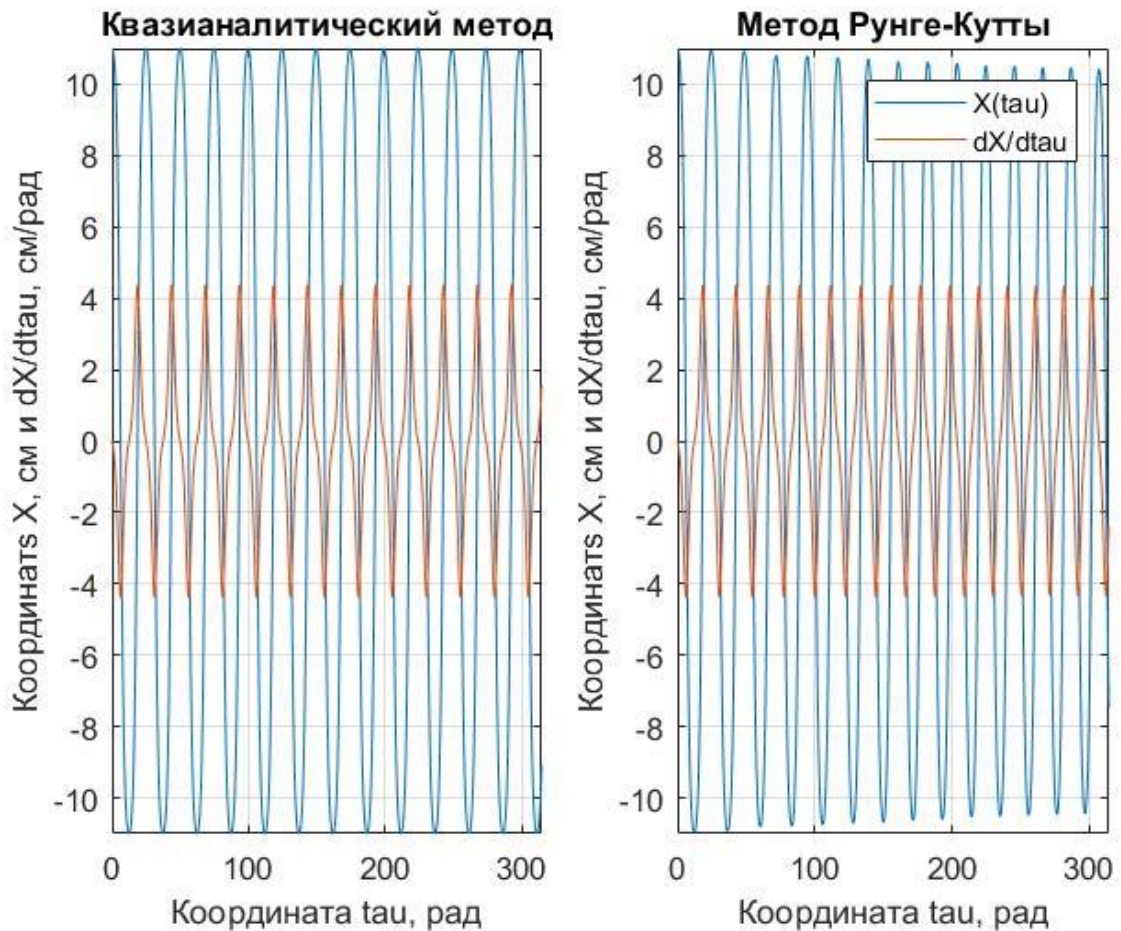


Рисунок 3.5 – Графики решений с учетом поправок

Проведено качественное сравнение фазовых траекторий неоднородного уравнения (1.18), вычисленных по предлагаемой методике и по методу Рунге-Кутты четвертого порядка точности (с использованием функции ode45) для одинаковых начальных условий на интервале независимой переменной  $\Theta=100*\pi$  и начальных значений фазовых координат (10,0).

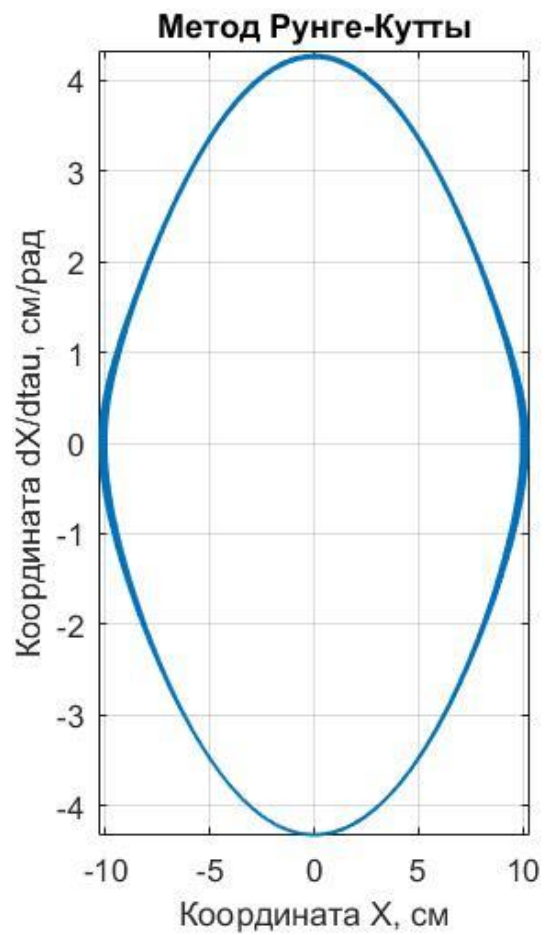
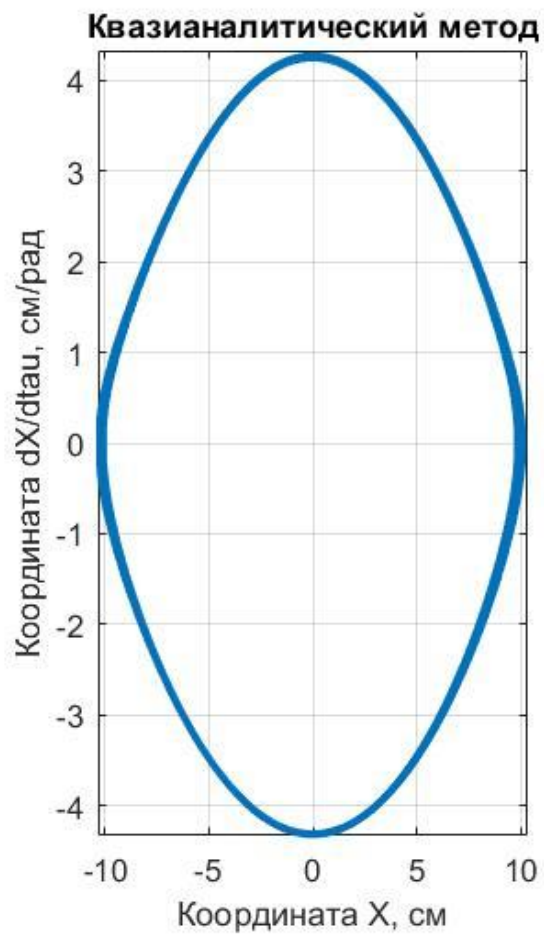


Рисунок 3.6 – Фазовые траектории неоднородного уравнения



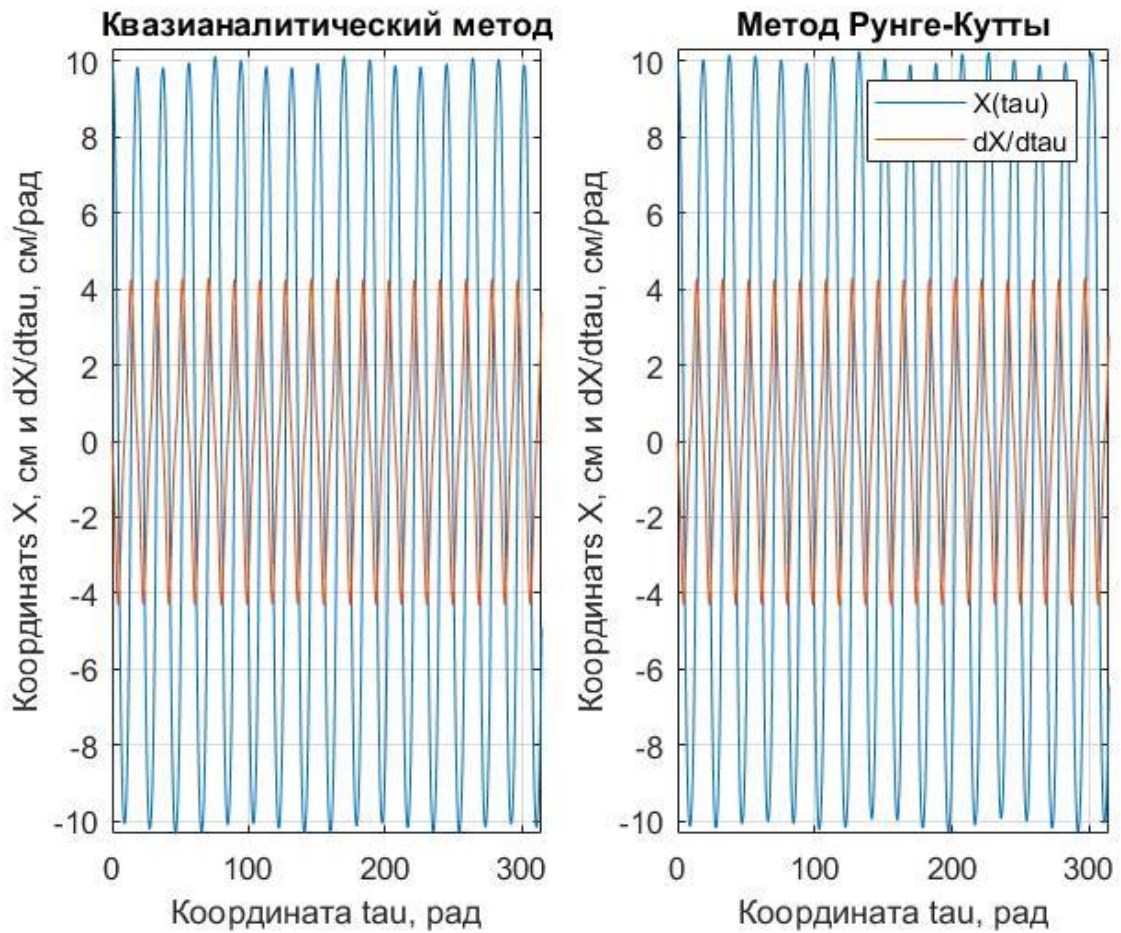


Рисунок 3.7 – Графики решения неоднородного уравнения

По рисунку 3.6, 3.7 можно видеть, что решения, полученные обоими методами, похожи.

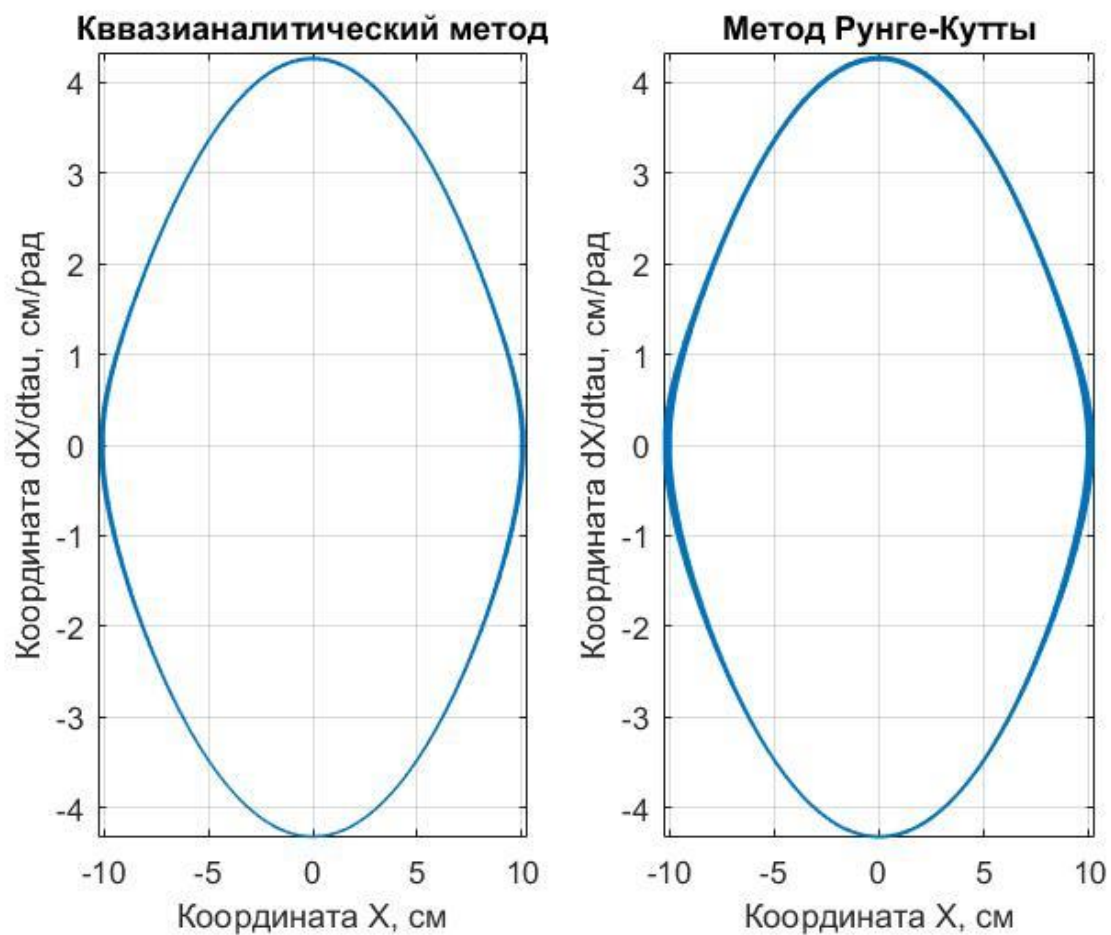


Рисунок 3.8 – Фазовые траектории неоднородного уравнения с поправкой

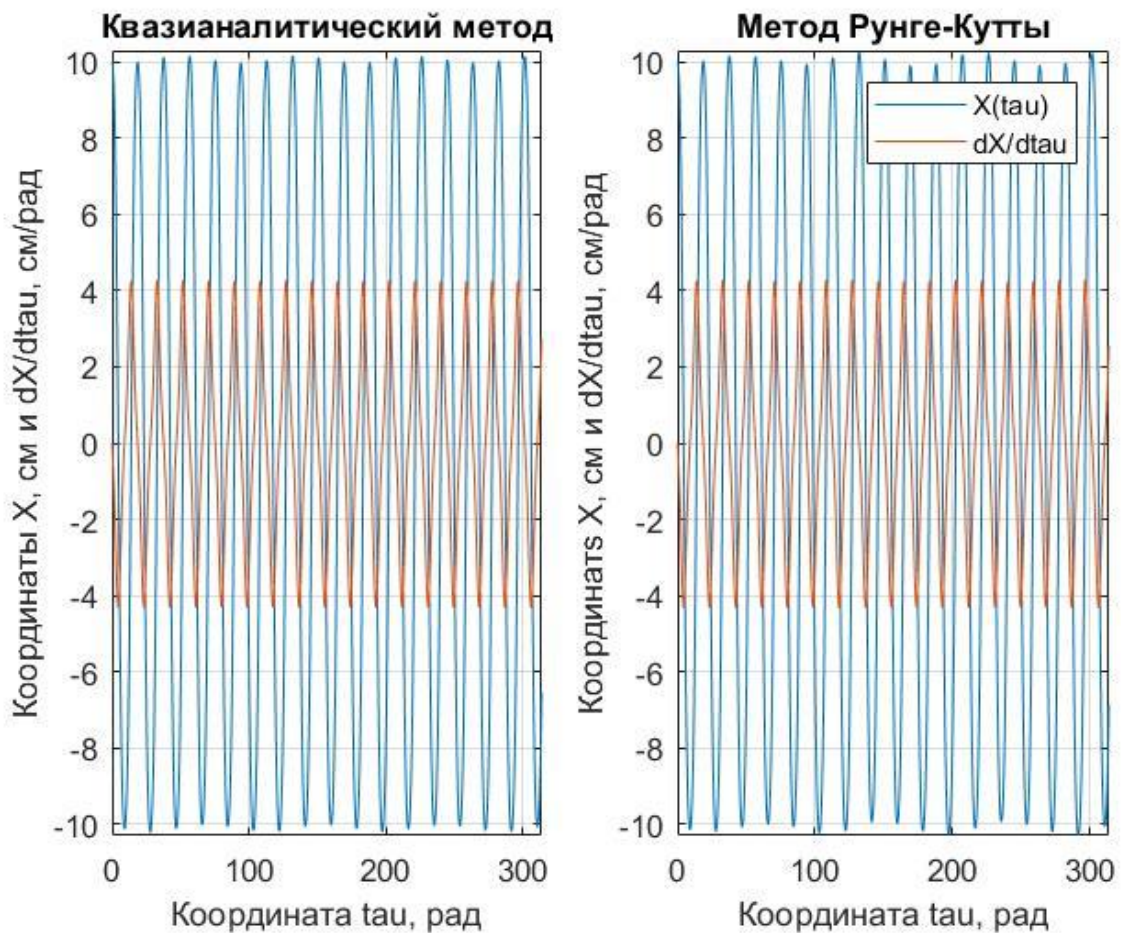


Рисунок 3.9 – Графики решения неоднородного уравнения с поправкой

Для проведения более объективного анализа точности решений предложенными методами, использовано одно из свойств функций, являющихся решением дифференциального уравнения, а именно: при подстановке таких функций в исходное уравнение они обращают его в тождество.

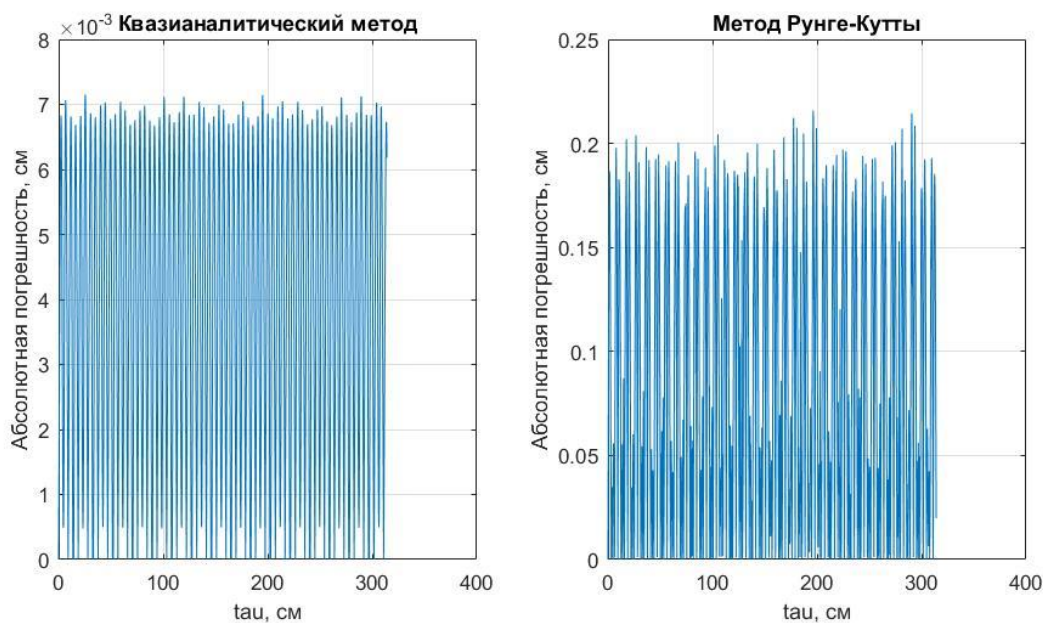


Рисунок 3.10 – Погрешность решений неоднородного уравнения

Из данных на рисунке 3.8 видно, что погрешность квазианалитического метода меньше, что указывает на то, что это решение ближе к точному чем решение, полученное методом Рунге-Кутты.

Произведены расчеты при различных значениях параметров, указанных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Контрольные расчеты

| <b><math>T</math>,<br/>интервал<br/>интегрирования</b> | <b><math>nh</math>,<br/>количество<br/>шагов на<br/>периоде</b> | <b><math>x(0)</math>,<br/>начальное<br/>значение<br/>координаты</b> | <b><math>x'(0)</math>,<br/>начальное<br/>значение<br/>производной</b> |
|--|---|---|---|
| $1000 \cdot \pi$                                       | 1000  | 10  | 0   |
| $10 \cdot \pi$   | 1000  | 10  | 0   |
| $100 \cdot \pi$  | 100   | 10  | 0   |
| $100 \cdot \pi$  | 1500  | 10  | 0   |
| $100 \cdot \pi$  | 1000  | 5   | 0   |
| $100 \cdot \pi$  | 1000  | 12  | 0   |
| $100 \cdot \pi$  | 1000  | 5   | 3   |
| $100 \cdot \pi$  | 1000  | 5   | -2  |

Графики решений, полученных в результате проведения контрольных расчетов приведены в приложении В.

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что применение квазианалитического метода, который учитывает особенности математических моделей конкретных систем (выполнение закона полной энергии, движение из начальной точки интервала интегрирования к следующей происходит по траектории, соответствующей функциям фундаментальной системы решений) позволяет получить решение с меньшей погрешностью, чем применение универсального метода, не берущего эти особенности в расчет.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                      |
| 8Б31          | Инхиреева Татьяна Александровна |

|                     |                    |                           |                                     |
|---------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| <b>Институт</b>     | <b>Кибернетики</b> | <b>Кафедра</b>            | <b>ПИ</b>                           |
| Уровень образования | Бакалавриат        | Направление/специальность | Прикладная математика и информатика |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

|   |   |
|---|---|
| <i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Стоимость НИИ – 84679,71 руб.<br>Заработная плата – 58351,96 руб.<br>Затраты на электроэнергию – 990 руб. |
| <i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | Отчисления во внебюджетные фонды – 17505,59 руб.  |
| <i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | Амортизационные расходы – 134 руб.<br>Прочие расходы – 7698,16  |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|   |  |
|---|--|
| <i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | Оценка конкурентоспособности, рассмотрение альтернатив проведения НИ.<br>Планирование этапов разработки программы, определение трудоемкости, построение диаграммы Ганта<br>Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности, формирование бюджета НИИ |
| <i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>  |  |
| <i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>        |  |

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

- 1. Оценка конкурентоспособности технических решений*
- 2. График проведения и бюджет НИ*
- 3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

|   |  |
|---|--|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> |  |
|---|--|

**Задание выдал консультант:**

|                  |                   |                               |                |             |
|------------------|-------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>        | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| доцент           | Тухватулина Л. Р. | к.филос.н.                    |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                                 |                |             |
|---------------|---------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                      | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 8Б31          | Инхиреева Татьяна Александровна |                |             |

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

### **4.1 Анализ конкурентных технических решений**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;

- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в табл. 4.1. Для этого были отобраны конкурентных разработки:

- функция ode45 математического пакета MATLAB, предназначенная для численного решения дифференциальных уравнений;
- функция dsolve математического пакета Maple.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки                                    | Вес критерия | Баллы      |                |                | Конкурентоспособность |                |                |
|--|--------------|------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|
|  |              | $B_{\phi}$ | $B_{\kappa 1}$ | $B_{\kappa 2}$ | $K_{\phi}$            | $K_{\kappa 1}$ | $K_{\kappa 2}$ |
| 1  | 2            | 3          | 4              | 5              | 6                     | 7              | 8              |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности   |              |            |                |                |                       |                |                |
| 1. Трудоемкость                                    | 0,1          | 3          | 5              | 3              | 0,3                   | 0,5            | 0,3            |
| 2. Скорость вычислений                             | 0,15         | 4          | 4              | 2              | 0,6                   | 0,6            | 0,3            |
| 3. Точность вычислений                             | 0,25         | 5          | 4              | 4              | 1,25                  | 1              | 1              |
| 4. Потребность в ресурсах памяти                   | 0,05         | 5          | 5              | 4              | 0,25                  | 0,25           | 0,2            |
| 5. Надежность                                      | 0,15         | 5          | 5              | 5              | 0,75                  | 0,75           | 0,75           |
| Экономические критерии оценки ресурсоэффективности |              |            |                |                |                       |                |                |
| 1. Конкурентоспособность разработки                | 0,10         | 4          | 5              | 4              | 0,4                   | 0,5            | 0,4            |
| 2. Уровень востребованности среди потребителей     | 0,10         | 4          | 5              | 4              | 0,4                   | 0,5            | 0,4            |
| 3. Цена  | 0,01         | 5          | 2              | 3              | 0,05                  | 0,02           | 0,03           |
| 4. Финансовая эффективность научной разработки     | 0,09         | 4          | 5              | 4              | 0,36                  | 0,45           | 0,36           |
| <b>Итого</b>                                       | <b>1</b>     |            |                |                | 4,36                  | 4,57           | 3,74           |



Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 4.1, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Конкурентоспособности научной разработки

$$K = 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,05 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,01 \cdot 5 + 0,09 \cdot 4 = 4,36.$$

Конкурентоспособность конкурентов занесена в таблицу 4.1.

Конкурентные технические решения имеют преимущество по трудоемкости и недостаток в цене. Нельзя не отметить их значительную на данный момент востребованность среди потребителей.

Данная разработка может заинтересовать потребителей, заинтересованных в точности получаемого решения и невысокой цене продукта.

## **4.2 Организация и планирование работ**

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников (научный руководитель и исполнитель) и сроки проведения отдельных работ. Полный перечень проводимых работ, определение их исполнителей и рациональная продолжительность приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.3 – Перечень работ и загрузка исполнителей

| Этапы работы  | Исполнители | Загрузка исполнителей |
|---|-------------|-----------------------|
| Постановка целей и задач,<br>получение<br>исходных данных | НР          | НР – 100%             |
| Составление и утверждение ТЗ                              | НР, И       | НР – 80%<br>И – 20%   |
| Подбор и изучение материалов по<br>тематике               | НР, И       | НР – 30%<br>И – 100%  |
| Разработка календарного плана                             | НР, И       | НР – 100%<br>И – 20%  |
| Обсуждение литературы                                     | НР, И       | НР – 30%<br>И – 100%  |
| Разработка алгоритма реализации<br>метода                 | И           | И – 100%              |
| Реализация разработанного<br>алгоритма                    | И           | И – 100%              |
| Проведение исследования                                   | И           | И – 100%              |
| Оформление расчетно-<br>пояснительной<br>записки          | И           | И – 100%              |
| Оформление графического<br>материала                      | И           | И – 100%              |
| Подведение итогов   | И           | НР – 60%<br>И – 100%  |

Расчет продолжительности этапов работ при выполнении выпускной квалификационной работы является важным этапом, так как мы можем

определить трудоемкость проводимых работ, а трудовые затраты составляют основную часть стоимости научно-исследовательской работы (НИР).

Трудоемкость – это максимально допустимые затраты труда в человеко-днях на выполнение НИР с учетом организационно технических мероприятий, обеспечивающих наиболее рациональное использование выделенных ресурсов.

Существуют разные методы расчета продолжительности этапов работы, в рамках данной НИР используется экспертный способ. Он предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию.

Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ  $t_{ож}$  применяется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (4.2)$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;  $t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.

Ожидаемая трудоемкость выполнения первого этапа работы

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8.$$

Аналогичным образом посчитана ожидаемая трудоёмкость выполнения для всех остальных работ. Расчеты  $t_{ож i}$  занесены в таблицу 4.3.

Для выполнения перечисленных в таблице 4.2 работ требуются специалисты:

- математик-программист – исполнитель НИР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} K_{Д}, \quad (4.3)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;  $K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;  $K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_{Д} = 1,2$ ).

Продолжительность выполнения первого этапа в рабочих днях составляет

$$T_{РД1} = \frac{2,8}{1} \cdot 1,2 = 3,36.$$

Аналогичным образом посчитана продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях. Расчеты  $T_{РД}$  занесены в таблицу 4.3.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} k_{КАЛ}, \quad (4.4)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;  $T_{К}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$k_{КАЛ} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (4.5)$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарные дни ( $T_{КАЛ} = 365$ ),  $T_{ВД}$  – выходные дни ( $T_{ВД} = 52$ ),  $T_{ПД}$  – праздничные дни ( $T_{ПД} = 10$ ). По формуле (4.5) рассчитаем:

$$k_{КАЛ} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,2.$$

Проведем расчет продолжительности первого этапа в календарных днях

$$T_{КД} = 3,36 \cdot 1,2 = 4,03.$$

В таблице 4.3 приведен расчет определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. По показанию полученных величин трудоёмкости этапов по исполнителям построен календарный график работ (рисунок 4.1).

Таблица 4.4 – Трудозатраты на выполнение проекта

| Этап  | Исполнители | Продолжительность работ, дни |           |          | Трудоемкость работ по исполнителям чел. –дн. |        |          |        |
|---|-------------|------------------------------|-----------|----------|--|--------|----------|--------|
|   |             |                              |           |          | $T_{РД}$                                     |        | $T_{КД}$ |        |
|   |             | $t_{min}$                    | $t_{max}$ | $t_{ож}$ | НР   | И      | НР       | И      |
| Постановка целей и задач, получение исходных данных | НР          | 2,00                         | 4,00      | 2,8      | 3,36   | 0      | 4,03     | 0      |
| Составление и утверждение ТЗ                        | НР, И       | 3,00                         | 5,00      | 2,8      | 3,65   | 0,91   | 4,38     | 1,09   |
| Подбор и изучение материалов по тематике            | НР, И       | 12,00                        | 18,00     | 10,4     | 5,18   | 17,28  | 6,22     | 20,74  |
| Разработка календарного плана                       | НР, И       | 5,00                         | 7,00      | 2,8      | 6,96   | 1,39   | 8,35     | 1,67   |
| Обсуждение литературы                               | НР, И       | 6,00                         | 8,00      | 3,8      | 2,45   | 8,16   | 2,94     | 9,79   |
| Разработка алгоритма реализации метода              | И           | 11,00                        | 17,00     | 10,2     | 0  | 16,08  | 0        | 19,30  |
| Реализация разработанного алгоритма                 | И           | 11,00                        | 17,00     | 3,8      | 0  | 16,08  | 0        | 19,30  |
| Проведение исследования                             | И           | 11,00                        | 17,00     | 12,4     | 0  | 16,08  | 0        | 19,30  |
| Оформление расчетно-пояснительной записки           | И           | 12,00                        | 18,00     | 5,8      | 0  | 17,28  | 0        | 20,74  |
| Оформление графического материала                   | И           | 5,00                         | 7,00      | 4,8      | 0  | 6,96   | 0        | 8,35   |
| Подведение итогов                                   | И           | 6,00                         | 8,00      | 3,8      | 4,90   | 8,16   | 5,88     | 9,79   |
| Итого:  |             |                              |           | 100,8    | 26,50  | 108,38 | 31,80    | 130,06 |

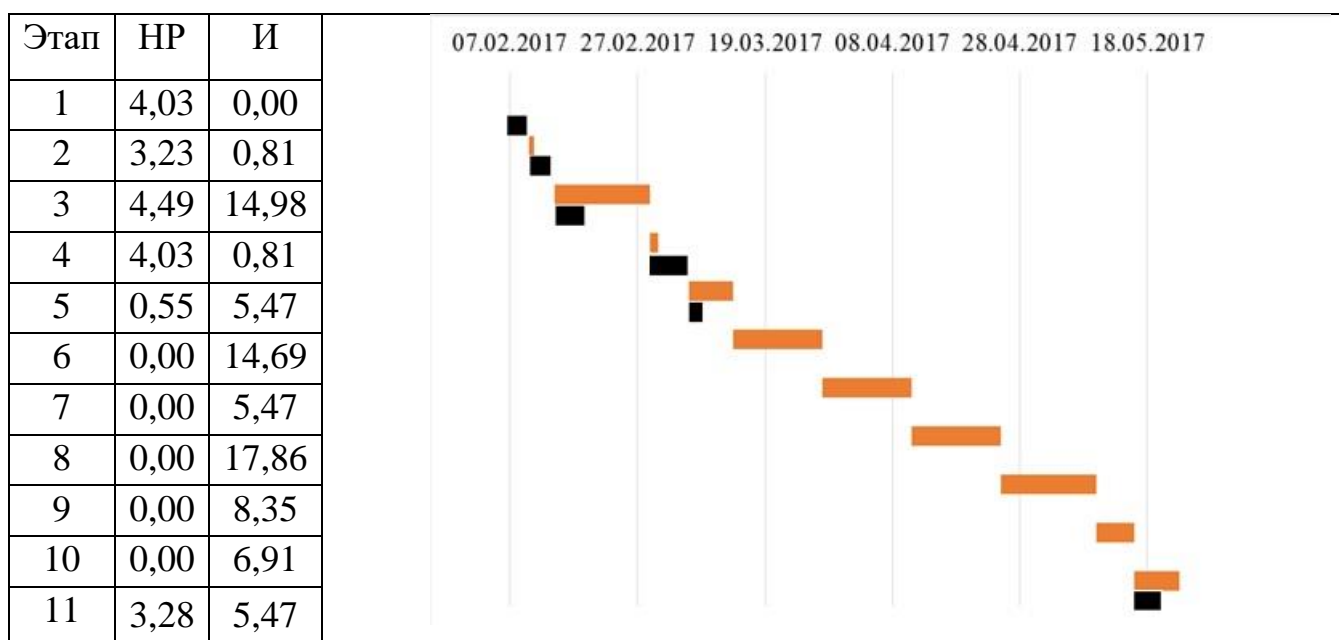


Рисунок 4.1. – Календарный график работ

■ – И, ■ – НР.

### 4.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- заработная плата;
- отчисления во внебюджетные фонды
- амортизационные отчисления;
- оплата услуг связи;
- прочие (накладные расходы) расходы.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат

Данный вид расходов включает в себя стоимость материалов, покупных изделий полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования, а

также затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования,

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot ЦЭ, \quad (4.6)$$

где  $P_{об}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;  $ЦЭ$  – тариф на 1 кВт·час;  $t_{об}$  – время работы оборудования, час.

В Томском политехническом университете  $ЦЭ = 5,257$  руб./кВт·час с учетом налога на добавленную стоимость.

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ( $T_{РД}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{РД} \cdot K_t, \quad (4.7)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{РД}$ , определяется исполнителем самостоятельно.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} \cdot K_C, \quad (4.8)$$

где  $P_{ном.}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;  $K_C \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности  $K_C = 1$ .

Расчет затраты на электроэнергию для технологических целей представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.5 – Затраты на электроэнергию технологическую

| Наименование оборудования | Время работы оборудования<br>$t_{об}$ , час | Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт | Затраты $\mathcal{E}_{об}$ , руб. |
|---------------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Персональный компьютер    | 72*8*0,8                                    | 0,4                                  | 968,97                            |
| Струйный принтер          | 20  | 0,2                                  | 21,028                            |
| Итого:                    |   |                                      | 990                               |

### 4.3.2 Расчет заработной платы

Смета затрат на оплату труда в большинстве случаев составляет наибольшую часть себестоимости ВКР. Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{дн-м}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-м} = \frac{МО}{21,83}, \quad (4.9)$$

учитывающей, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 21,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.5. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 4.3. Для учета в ее составе районной надбавки используется коэффициент:  $K_p = 1,3$ .

Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на районный коэффициент.



Таблица 4.6 – Расчет затрат на полную заработную плату

| Исполнитель | Оклад,<br>руб./мес. | Среднедневная<br>ставка,<br>руб./раб. день | Затраты<br>времени,<br>раб. дни | Коэффициент | Фонд<br>з/платы,<br>руб. |
|-------------|---------------------|--|---------------------------------|-------------|--------------------------|
| НР          | 23264,00            | 1065,689                                   | 20                              | 1,3         | 27707,92                 |
| И           | 7147,00             | 327,3935                                   | 72                              | 1,3         | 30644,03                 |
| Итого:      |                     |  |                                 |             | 58351,96                 |

### 4.3.3 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб}(C_{осн} + C_{доп}) \quad (4.10)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Итак, в нашем случае:

$$C_{внеб.} = 58351,96 * 0,3 = 17505,59 \text{ руб.}$$

### 4.3.4 Расчет амортизационных расходов

В данном разделе рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D} \quad (4.11)$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования ( $H_A = 0,4$ );  $Ц_{ОБ}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;  $F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку  $C_{AM}$  ( $F_D = 298 * 8 = 2384$  часа);  $n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Рассчитаем амортизацию используемого компьютера по формуле (4.11):

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 50000 \cdot 20 \cdot 0,8 \cdot 1}{2384} = 134 \text{ руб.}$$

#### 4.3.5 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, к ним относятся содержание оргтехники, услуги связи, представительные расходы и другие. Их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{проч.} = (C_{мат} + C_{зн} + C_{внеб.} + C_{ам}) \cdot 0,1 \quad (4.12)$$

Найдем прочие расходы по формуле (4.10), учитывая данные полученные выше:

$$C_{проч.} = (990 + 58351,96 + 17505,59 + 134) \cdot 0,1 = 7698,16 \text{ руб.}$$

#### 4.3.6 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость. Смета затрат на представлена в таблице 4.6.

Таблица 4.7 – Смета затрат на разработку

| Статья затрат | Условное обозначение | Сумма, руб. |
|---------------|----------------------|-------------|
|---------------|----------------------|-------------|

|                               |             |          |
|-------------------------------|-------------|----------|
| Материалы и покупные изделия  | $C_{mat}$   | 990      |
| Основная заработная плата     | $C_{зн}$    | 58351,96 |
| Отчисления в социальные фонды | $C_{соц}$   | 17505,59 |
| Амортизационные отчисления    | $C_{ам}$    | 134      |
| Прочие расходы                | $C_{проч.}$ | 7698,16  |
| Итого:                        |             | 107315   |

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 84679,71$  руб.

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}}, \quad (4.13)$$

где  $I_{финр}$  – интегральный финансовый показатель разработки,  $\Phi_p$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения,  $\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Максимальная стоимость составляет 160000 рублей, следовательно:

$$I_{\text{финр}} = \frac{84679,71}{160000} = 0,53$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки составила 0,53, что отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_p = \sum a \cdot b \quad (4.14)$$

где  $I_p$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки,  $a$  – весовой коэффициент,  $b$  – балльная оценка, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания,  $n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.8 – Оценка характеристик исполнения проекта

| Критерии                         | Весовой коэффициент параметра | Оценка выполнения |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 1. Трудоемкость                  | 0,20                          | 3                 |
| 2. Скорость вычислений           | 0,15                          | 4                 |
| 3. Точность вычислений           | 0,35                          | 5                 |
| 4. Потребность в ресурсах памяти | 0,10                          | 5                 |
| 5. Надежность                    | 0,20                          | 5                 |
| ИТОГО                            | 1                             |                   |

$$I_p = 3*0,20+4*0,15+5*0,35+5*0,10+5*0,20 = 4,45;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{исп}}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп}} = \frac{I_p}{I_{\text{финр}}} \quad (4.15)$$

$$I_{\text{исп}} = \frac{4,45}{0,95} = 4,68$$

Полученное значение интегрального показателя эффективности исполнения разработки говорит о том, что результат работы можно считать положительным, так как оценка интегрального показателя ресурсоэффективности достаточно высока.

#### **4.5 Общий вывод по разделу**

Данные, полученные при оценке конкурентоспособности, позволяют сделать вывод, что разработка является перспективной и привлекательной для инвесторов и потребителей.

В ходе выполнения раздела распланирована структура работ проекта и определены ответственные должности для их выполнения. В соответствии с назначенными работами рассчитана их трудоемкость и составлен график работ (диаграмма Ганта). Общая длительность проектирования и разработки программного продукта составила 100 дней.

Общий бюджет НТИ составляет 84679,71 рублей. Он включает в себя затраты на основную и дополнительную заработную плату работников, материальные затраты, отчисления на внебюджетные фонды и прочие расходы.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|        |                                 |
|--------|---------------------------------|
| Группа | ФИО                             |
| 8Б31   | Инхиреева Татьяна Александровна |

|                     |             |                           |                                     |
|---------------------|-------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Институт            | Кибернетики | Кафедра                   | ПИ                                  |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | Прикладная математика и информатика |

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

|   |   |
|---|---|
| <p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>   | <p>Квазианалитический метод решения нелинейных дифференциальных уравнений. Применяется при решении нелинейных дифференциальных уравнений.</p>   |
| <p><b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b></p>  |   |
| <p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– метеопараметры;</li> <li>– напряженность зрения;</li> <li>– освещенность;</li> <li>– электромагнитные излучения;</li> <li>– шум.</li> </ul> <p style="text-align: center;">- электрический ток.</p> <p style="text-align: center;">Разработка организационных и технических мер по нормализации уровней факторов и защите от их действия</p> |
| <p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта ВКР и области его использования на ОС;</li> <li>- разработка решений по обеспечению экологической безопасности</li> </ul>   |

|  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>  |   |
| <p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> | <p>Выбор и описание возможных ЧС;<br/>типичная ЧС – пожар.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul> |
| <p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны оператора.</li> </ul>  |

|   |  |
|---|--|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> |  |
|---|--|

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| доцент    | Извеков В.Н. | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                             | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------------|---------|------|
| 8Б31   | Инхиреева Татьяна Александровна |         |      |

## **5 Социальная ответственность**

### **Аннотация**

Представление понятия «Социальная ответственность» сформулировано в международном стандарте (МС) ISO CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации».

В соответствии с МС - Социальная ответственность - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

### **Введение**

Объект исследования – квазианалитический метод решения дифференциального уравнения с нелинейностью.

Выпускная квалификационная работа представляет собой исследование квазианалитического метода решения нелинейных дифференциальных уравнений на примере уравнения с кубической нелинейностью. В ходе выполнения работы был разработан и реализован алгоритм квазианалитического решения нелинейных дифференциальных уравнений, произведено сравнение с другими методами, оценена точность алгоритма. Расчеты и алгоритмы реализованы в математическом пакете MATLAB.

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на производственную деятельность инженера-программиста.



Исследовано рабочее место программиста и помещение, в котором он находится. Предполагаемое место работы – компьютерный класс Кибернетического центра ТПУ. Основные средства работы – персональный компьютер и локальная вычислительная сеть с выходом в Интернет. Рассмотрены воздействия объекта исследования на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

## 5.1 Производственная безопасность

### 5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-74 делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень опасных и вредных факторов технологии производства

| Источник фактора, наименование видов работ  | Факторы  |  | Нормативные документы  |
|---|--|--|--|
|   | Вредные  | Опасные  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Работа с ПЭВМ;</li> <li>– система отопления;</li> <li>– система вентиляции.</li> <li>– источник освещения</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенный уровень шума.</li> <li>– Температура и влажность воздуха, скорость движения воздуха;</li> <li>– Повышенная напряженность зрения;</li> <li>– Отсутствие или недостаток освещения;</li> <li>– Электромагнитные излучения;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Электрический ток.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Допустимые уровни шумов в производственных помещениях. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ;</li> <li>– Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96;</li> <li>– Гигиенические требования к персональным электронно-</li> </ul> |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  | <p>вычислительным машинам и организации работы, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Нормы естественного и искусственного освещения предприятий, СНиП 23-05-95;</li> <li>– Защитное заземление, зануление, ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ.</li> </ul> |
|--|--|--|--|

Эти факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмоопасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

В условиях современного интенсивного использования ПЭВМ важное значение имеет изучение психофизиологических особенностей и возможностей человека с целью создания вычислительной техники, обеспечивающей максимальную производительность труда и сохранение здоровья людей. Игнорирование эргономики может привести к довольно серьезным последствиям.

При работе на ПЭВМ важную роль играет планировка рабочего места. Она должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени оператора.

Основным документом, определяющим условия труда на персональных ЭВМ, являются «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Санитарные нормы и правила СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, которые были введены 30 июня 2003 года.

В правилах указаны основные требования к помещениям, микроклимату, шуму и вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

Основным опасным фактором является опасность поражения электрическим током. В связи с тем, что для работы ПЭВМ и периферийных устройств используется электрическая энергия, их эксплуатация должна соответствовать «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

С этой точки зрения ПЭВМ являются потенциальными источниками опасности поражения человека электрическим током. Данная опасность может возникнуть, в первую очередь, при нарушении правил подключения ЭВМ к питающей сети.

## **5.1.2 Обоснование мероприятий по защите от действия опасных и вредных факторов**

### **5.1.2.1 Требования к помещениям для работы с ПЭВМ**

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) эти помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup> и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) 4,5 м<sup>2</sup>.

Для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ должны использоваться диффузионно-отражающие материалы с коэффициентом отражения от потолка – 0.7 - 0.8; для стен – 0.5 - 0.6; для пола – 0.3 - 0.5.

### **5.1.2.2 Микроклимат**

Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев.

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, производимых сидя и не требующих систематического физического напряжения (категория Ia), приведены в таблице 5.2, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СанПиН 2.2.4.548-96.

В кабинете, который является местом работы инженера-программиста, параметры микроклимата находятся в пределах нормы.

Таблица 5.2 – Нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

| <b>Период года</b> | <b>Категория работы</b> | <b>Температура, С</b> | <b>Относительная влаж. воздуха, %</b> | <b>Скорость движения воздуха, не более м/с</b> |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| Холодный           | Ia                      | 22-24                 | 40-60                                 | 0,1  |
| Теплый             | Ia                      | 23-25                 | 40-60                                 | 0,1  |

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Допустимые величины показателей микроклимата

| Период года | Категория работы | Температура воздуха, °С | Относительная влаж. воздуха, % | Скорость движения воздуха, не более м/с |
|-------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|---|
| Холодный    | Ia               | 20-25                   | 15-75                          | 0,1                                     |
| Теплый      | Ia               | 21-28                   | 15-75                          | 0,1-0,2                                 |

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления. При недостаточной эффективности центрального отопления должны быть использованы масляные электрические нагреватели.

Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. Применение таких решеток способствует также повышению электробезопасности в помещениях. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, чтобы исключить пригорание пыли.

### **5.1.2.3 Освещение**

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза.

Освещение делится на естественное, искусственное и совмещенное. Совмещенное сочетает оба вида освещения.

В компьютерных залах, где расположено рабочее место программиста, используется совмещенное освещение.

Рекомендуемые соотношения яркостей в поле зрения следующие (СНиП 23-05-95):

- между рабочими поверхностями не должно превышать 1:3 – 1:5;
- между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования – 10:1.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы, который определяется наименьшим размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона.

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк (СНиП 23-05-95, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03). Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Следует ограничивать прямую блесккость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м<sup>2</sup>. Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Приведем расчет искусственного освещения для прямоугольного помещения, размерами: длина  $A = 5$  м, ширина  $B = 6$  м, высота  $H = 4$  м, количество ламп  $N = 12$  шт.

Определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью ( $h$ ) по формуле:

$$h = H - h_p - h_c, \quad (5.1)$$

где  $H$  – высота потолка в помещении, м;  $h_p$  – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м;  $h_c$  – расстояние от потолка до светильника, м.

Вычислим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью по формуле 5.1 для компьютерной аудитории кафедры программной инженерии:

$$h = 4 - 0,8 - 0,01 = 3,19 \text{ м.}$$

Индекс помещения определяется по формуле (5.2):

$$i = \frac{S}{h(A+B)}, \quad (5.2)$$

где  $S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $A$  – длина комнаты, м;  $B$  – ширина комнаты, м;  $h$  – высота подвеса светильников, м.

Индекс помещения для компьютерной аудитории кафедры программной инженерии:

$$i = \frac{30}{3,19(5+6)} = 0,83.$$

Исходя из того, что потолок в помещении чистый бетонный, а также свежепобеленные стены без окон, согласно методическим указаниям, примем коэффициенты отражения от стен  $\rho_c = 70\%$  и потолка  $\rho_n = 50\%$ . По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений  $i$ ,  $\rho_c$ ,  $\rho_n$ , примем  $\eta = 0,29$ .

Освещенность помещения рассчитывается по формуле:

$$E_\phi = \frac{n \cdot \eta \cdot \Phi}{S \cdot k_3 \cdot z}; \quad (5.3)$$

где  $\Phi$  – световой поток светильника, лм;  $S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $k_3$  – коэффициент неравномерности освещения;  $n$  – число светильников;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент запаса  $k$  учитывает запыленность светильников и их износ. Для помещений с малым выделением пыли  $k = 1,5$ . Поправочный коэффициент  $z$  – это коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп  $z = 1,1$ . В помещении находятся светильники ЛВО  $4 \times 18$  CSVT, с люминесцентными лампами типа L 18W/640 с потоком  $F = 1200$  лм. Учитывая все параметры, рассмотренные выше, найдем освещенность (формула 5.3):

$$E_{\phi} = \frac{48 \cdot 0,29 \cdot 1200}{30 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 337 \text{ лк.}$$

В рассматриваемом помещении освещенность должна составлять 300 лк согласно СНиП 23-05-95. В данном помещении освещенность находится в пределах нормы, следовательно дополнительные источники света не нужны.

### 5.1.2.3 Шум

Шум – колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью спектральной и временной структуры. Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Шумовой фон провоцирует увеличение содержания в крови гормонов стресса, таких как, норадреналин и адреналин, кортизол. Шум способен замедлять реакцию человека и угнетать центральную нервную систему (ЦНС), вызывая изменения скорости пульса и дыхания, а также провоцирует возникновение сердечно - сосудистых заболеваний, гипертонических болезней и язвы желудка.

Человек, постоянно подвергающийся воздействию шума, быстро переутомляется, отличается повышенной раздражительностью, становится забывчивым, чаще страдает от слабости и головокружения. Уровень звука на рабочих местах, связанных с творческой деятельностью, научной деятельностью, программированием, преподаванием и обучением не должен превышать 50 дБА согласно СН 2.2.4/2.1.8.562–96.

Для исследуемого объекта (компьютерный зал) основными источниками шумов являются составляющие компьютера:

- Вентилятор блока питания
- Вентилятор кулера центрального процессора.
- Вентилятор на высокопроизводительной видеокарте.
- Дополнительный вентилятор в корпусе системного блока.
- Звуки нажатия клавиш пальцами пользователя, шуршания мыши по коврику.



Меры, которые необходимо принять, для того чтобы помещение было менее зашумленным – это обеспечить нормальную вентиляцию системного блока. Для охлаждения необходимо оборудовать со стороны вентиляционных отверстий хотя бы 20-30 см свободного пространства. Не загромождать оборудование посторонними предметами, которые снижают теплоотдачу, прочищать вентиляционные отверстия от пыли пылесосом.

Для оценки соблюдения ПДУ шума необходим контроль (измерения и оценка). В случае превышения уровней необходимы мероприятия по защите от действия шума (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

#### 5.1.2.4 Электромагнитные излучения

Когда все устройства персонального компьютера включены, в районе рабочего места программиста формируется сложное по структуре электромагнитное поле.

Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет серьезную опасность для человека, по сравнению с другими вредными производственными факторами (повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы).

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в таблице 5.6 и таблице 5.7, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 5.6 – Временные допустимые ЭМП, создаваемых ПЭВМ

| Наименование параметров           |                                    | ВДУ ЭМП |
|-----------------------------------|------------------------------------|---------|
| Напряженность электрического поля | В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц    | 25 В/м  |
|                                   | В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц | 2,5 В/м |
| Плотность магнитного потока       | В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц    | 250 нТл |
|                                   | В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц | 25 нТл  |

|   |       |
|---|-------|
| Электростатический потенциал экрана видеомонитора | 500 В |
|---|-------|

Таблица 5.7 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

| Наименование параметров                |                                    | ВДУ     |
|--|------------------------------------|---------|
| Напряженность электрического поля      | в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц    | 25 В/м  |
|  | в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц | 2,5 В/м |
| Плотность магнитного потока            | в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц    | 250 нТл |
|  | в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц | 25 нТл  |
| Напряженность электростатического поля |                                    | 15 кВ/м |

Для оценки соблюдения уровней необходим производственный контроль (измерения). В случае превышения уровней необходимы организационно-технические мероприятия (защита временем, расстоянием, экранирование источника, либо рабочей зоны, замена оборудования, использование СИЗ).

#### 5.1.2.5 Электрический ток

Поражение электрическим током организма человека носит название электротравмы. Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие.

Первое заключается в нагреве и ожогах различных частей и участков тела человека, второе — в изменении состава (разложение) и свойств крови и других органических жидкостей. Биологическое действие электрического тока выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма и в нарушении протекания в нем различных внутренних биоэлектрических процессов (прекращение процесса дыхания и остановка сердца).

Согласно ПУЭ компьютерный зал по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

Во время использования средства вычислительной техники или другими периферийными устройствами оператор должен осторожно обращаться с электропроводкой, аппаратами и приборами и всегда помнить, что, если не

придерживаться правил безопасности, то это может угрожать здоровью и жизни человека.

Согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009, для обеспечения защиты от поражения электрическим током, применяют следующие способы:

- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- контроль изоляции;
- средства индивидуальной защиты;
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Организационные мероприятия включают (ГОСТ Р 12.1.019-2009):

- проверку знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе с присвоением соответствующей квалификационной группы по электробезопасности;
- осуществление допуска к проведению работ;
- организацию надзора за проведением работ;
- установление рациональных режимов труда.

Чтобы избежать поражения электрическим током, необходимо выполнять следующие правила по ГОСТ Р 12.1.019-2009:

1. Необходимо постоянно следить на своем рабочем месте за исправным состоянием электропроводки, выключателей, штепсельных розеток, при помощи которых оборудование включается в сеть, и заземления. При обнаружении неисправности немедленно обесточить электрооборудование, оповестить администрацию. Продолжение работы возможно только после устранения неисправности.

2. Для исключения поражения электрическим током запрещается:

- часто включать и выключать компьютер без необходимости;

- прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера;
- работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками;
- работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе

- класть на средства вычислительной техники и периферийное оборудование посторонние предметы.

3. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.

4. Ремонт электроаппаратуры производится только специалистами-техниками с соблюдением необходимых технических требований.

Во всех случаях поражения человека электрическим током немедленно вызывают врача. До прибытия врача нужно, не теряя времени, приступить к оказанию первой помощи пострадавшему (ГОСТ Р 12.1.019-2009).

## **5.2 Экологическая безопасность**

Рассмотрим загрязнение литосферы в результате исследовательской деятельности отходами на примере люминесцентных ламп. Их эксплуатация требует осторожности и четкого выполнения инструкции по обращению с данным отходом (код отхода 35330100 13 01 1, класс опасности – 1[Федеральный классификационный каталог отходов]). В данной лампе содержится опасное вещество ртуть в газообразном состоянии. При неправильной утилизации лампа может разбиться и пары ртути могут попасть в окружающую среду. Вдыхание паров ртути может привести к тяжелому повреждению здоровья.

При перегорании ртутьсодержащей лампы (выходе из строя) её замену осуществляет лицо, ответственное за сбор и хранение ламп (обученное по электробезопасности и правилам обращения с отходом). Отработанные

люминесцентные лампы сдаются только на полигон токсичных отходов для захоронения. Запрещается сваливать отработанные люминесцентные лампы с мусором [Об утверждении правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде: Постановление Правительства Российской Федерации от 3 сентября 2010 года № 681.].

Бытовой мусор помещений организаций несортированный, образованный в результате деятельности работников предприятия (код отхода 91200400 01 00 4). Агрегатное состояние отхода твердое; основные компоненты: бумага и древесина, металлы, пластмассы и др. [Федеральный классификационный каталог отходов]. Для сбора мусора рабочее место оснащается урной. При заполнении урны, мусор выносится в контейнер бытовых отходов. Предприятие заключает договор с коммунальным хозяйством по вывозу и размещению мусора на организованных свалках.

### **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **5.3.1 Анализ вероятных ЧС**

В принципе, перечень возможных ЧС на объекте исследования может быть достаточно широк. Ограничиваясь местоположением объекта и условиями его эксплуатации, его можно представить следующим (ориентировочным) вариантом:

- наводнение;
- удар молнии;
- пожар на объекте;
- взрыв.

Наиболее вероятная ЧС в рассматриваемом помещении – пожар. Помещение, в котором велась работа, по степени пожаробезопасности относится к категории Д – негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Рабочее место программиста должно соответствовать требованиям ФЗ Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97.

### **5.3.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС**

Пожар в помещении оператора может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- большое переходное сопротивление;
- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Причины возникновения короткого замыкания:

- ошибки при проектировании.
- старение изоляции.
- увлажнение изоляции.
- механические перегрузки.

Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

Пожарная опасность переходных сопротивлений – возможность воспламенения изоляции или других близлежащих горючих материалов от

тепла, возникающего в месте аварийного сопротивления (в переходных клеммах, переключателях и др.).

### **5.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

К мерам по предупреждению пожара согласно относятся такие профилактические мероприятия, как (N 123-ФЗ):

- соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- обучение персонала правилам техники безопасности;
- издание противопожарных инструкций, планов эвакуации.

Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма;
- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Согласно Правилам пожарной безопасности, в Российской Федерации ППБ 01-2003 (п. 16) в зданиях и сооружениях (кроме жилых домов) при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы (схемы) эвакуации людей в случае пожара.

Помещение, в котором выполнялась работа, входит в общий план эвакуации этажа, который предусматривает выход из всех помещений этажа в основной или запасной эвакуационные выходы здания. Эвакуация проводится согласно плану эвакуации, который выставлен на всеобщее обозрение в нескольких местах на каждом этаже (рис. 5.1).

В каждом кабинете установлен углекислотный огнетушитель ОУ-2 и табличка с указанием лица, ответственного за пожарную безопасность.

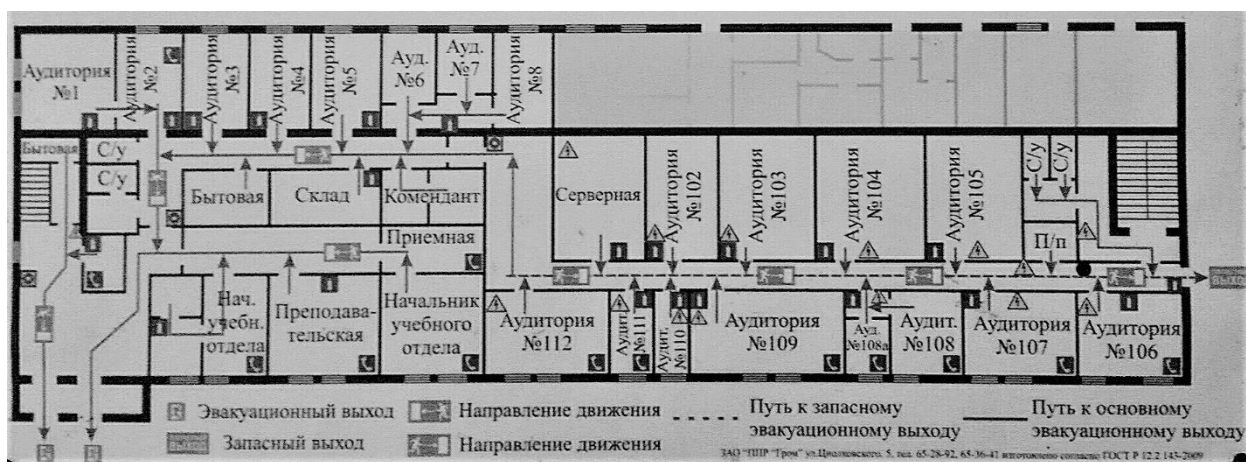


Рисунок 5.1 - План эвакуации при пожаре

Необходимыми действиями в результате возникшей ЧС и мерами по ликвидации её последствий являются (N 123-ФЗ):

1. Передать сигнал «Тревога» голосом, задействовать систему оповещения людей о пожаре.
2. Сообщить по телефону 01, с сотового 010 адрес объекта, место возникновения пожара, свою фамилию. Сообщить по телефону 03, с сотового 030 адрес объекта, что случилось, информацию о пострадавших, свою фамилию, оказать помощь пострадавшим.
3. Открыть все эвакуационные выходы, направить людей к эвакуационным выходам согласно знакам направления движения.
4. Отключить от электропитания оборудование, механизмы и т.п., обесточить помещение.
5. По возможности принять меры по тушению пожара используя средства противопожарной защиты.
6. По возможности предотвратить развитие аварии, обозначить место аварии.



## **5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Как уже было неоднократно отмечено, при работе с персональным компьютером очень важную роль играет соблюдение правильного режима труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках.

При восьмичасовой рабочей смене на ВДТ и ПЭВМ перерывы в работе должны составлять от 10 до 20 минут каждые два часа работы (ТОИ Р-45-084-01). В перерывах, рекомендуется проводить комплекс упражнений для глаз (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

### **5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

#### **5.4.2.1 Эргономические требования к рабочему месту оператора ПЭВМ**

Проектирование рабочих мест, снабженных видеотерминалами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Организация рабочего места программиста или оператора регламентируется следующими нормативными документами: ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и рядом других.

Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа,

клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Главными элементами рабочего места программиста или оператора являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Моторное поле - пространство рабочего места, в котором могут осуществляться двигательные действия человека.

Максимальная зона досягаемости рук - это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе.

Оптимальная зона - часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

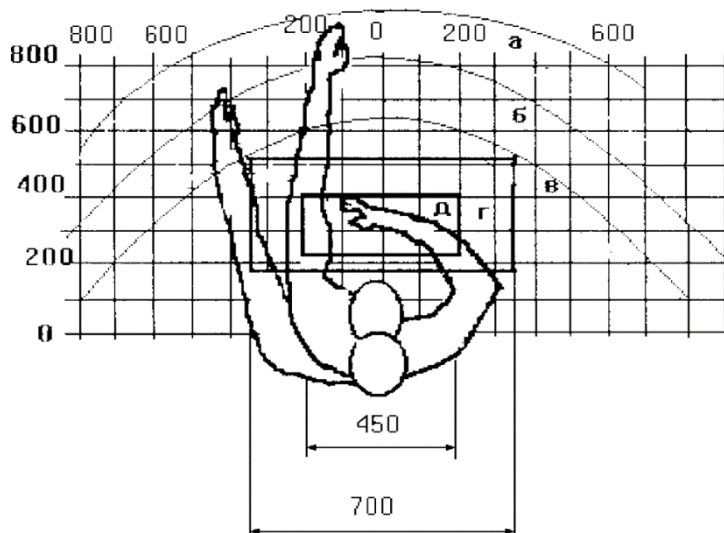


Рисунок 5.2 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- а - зона максимальной досягаемости;
- б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

- дисплей размещается в зоне "а" (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура - в зоне "г"/"д";
- манипулятор "мышь" - в зоне "в" справа;
- документация: необходимая при работе - в зоне легкой досягаемости ладони – "в", а в выдвижных ящиках стола - литература, неиспользуемая постоянно.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей).
- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680-760 мм. Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего стула (кресла).

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также регулируемым по расстоянию спинки от переднего края сиденья. Конструкция стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углов наклона вперед до 15° и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки  $300 \pm 20$  мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах  $0 \pm 30^\circ$ ;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах  $230 \pm 30$  мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой с нескользящим, неэлектризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнения.

Кресло следует устанавливать на такой высоте, чтобы не чувствовалось давления на копчик (это может быть при низком расположении кресла) или на бедра (при слишком высоком).

Работающий за ПЭВМ должен сидеть прямо, опираясь в области нижнего края лопаток на спинку кресла, не сутулясь, с небольшим наклоном головы вперед (до 5-7°). Предплечья должны опираться на поверхность стола, снимая тем самым статическое напряжение плечевого пояса и рук.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Необходимо предусматривать при проектировании возможность различного размещения документов: сбоку от видеотерминала, между монитором и клавиатурой и т.п. Кроме того, в случаях, когда видеотерминал имеет низкое качество изображения, например, заметны мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700 мм), чем расстояние от глаза до документа (300 - 450 мм). Вообще при высоком качестве изображения на видеотерминале расстояние от глаз пользователя до экрана, документа и клавиатуры может быть равным.

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6...0,7 м);
- углом считывания, направлением взгляда на  $20^\circ$  ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.

Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от  $-10^\circ$  до  $+20^\circ$  относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях.

Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на  $20^\circ$ ;
- плечи должны быть расслаблены;
- локти - под углом  $80^\circ \dots 100^\circ$ ;
- предплечья и кисти рук - в горизонтальном положении.

Причина неправильной позы пользователей обусловлена следующими факторами:

- нет хорошей подставки для документов;
- клавиатура находится слишком высоко, а документы – низко;
- некуда положить руки и кисти;

- недостаточно пространство для ног.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

Рабочее место в комнате № 104 КЦ ТПУ отвечает данным условиям.

## **Заключение**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы создан алгоритм квазианалитического решения дифференциального уравнения. Полученный алгоритм реализован в математическом пакете MATLAB. Исследование алгоритма проводилось на примере уравнения динамики электрона в бетатроне, содержащего кубическую нелинейность.

Проведено исследование реализации алгоритма с дополнением блоком компенсации погрешности вычислений с целью оценки точности вычисления и сравнение квазианалитического решения с решением, полученным с помощью метода Рунге-Кутты, реализованного в стандартных функциях математического пакета MATLAB.

Качественно оба решения совпадают, при этом погрешность решения, полученного квазианалитическим методом, меньше погрешности решения, полученного методом Рунге-Кутты. Полученные результаты свидетельствуют о применимости метода для решения нелинейных дифференциальных уравнений.

В будущем планируется исследование алгоритма на уравнениях с переменными коэффициентами, совершенствование алгоритма и исследование применимости этого метода к системам нелинейных дифференциальных уравнений.

## Список использованных источников

1. Барсегян В.Р. Управление составных динамических систем и систем с многоточечными промежуточными условиями: монография / В.Р. Барсегян – М. : Наука, 2016 – 230 с.
2. Джумабаев Д.С., Корректная разрешимость линейной многоточечной краевой задачи / А.Е. Иманчиев, Д.С. Джумабаев // Математический журнал – Алматы, 2005. Т.5, №1(15). С. 30-38.
3. Дыхта В.А. Принцип максимума для гладких задач оптимального импульсного управления с многоточечными фазоограничениями / В.А. Дыхта, О.Н. Самсонок // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2009. Т.49, №6. С.981-997.
4. Ананьев Л.М. Индукционный ускоритель электронов – бетатрон / Л.М. Ананьев, А.А. Воробьев, В.И. Горбунов – Москва: Госатомиздат, 1961. – 349 с.
5. Москалев В.А. Бетатроны: монография / В.А. Москалев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 267 с.
6. Бельтяев Ю.Н., Полупроводниковые генераторы напряжения инжекции. / Ю.Н. Бельтяев, Б.Ф. Истомин, В.А. Касьянов и др. // Труды НИИЯФЭА при ТПИ.М., Атомиздат, 1973. №3, С.12-14.
7. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям: пер. с нем. / Э. Камке – М.: Наука: Гл. ред. физ-мат. лит., 1971. — 576 с.
8. Калиткин Н. Н. Численные методы: учеб. пособие. / Н.Н. Калиткин – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 592 с.
9. Forsythe G. E. Computer Methods for Mathematical Computations. / G. E. Forsythe, M. A. Malcolm, C. V. Moler – Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1977. – 270 P.
10. Самарский А. А., Численные методы: учеб. пособие для вузов. / А.А. Самарский, А.В. Гулин – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1989.— 432 с.



11. Центр компетенций MathWorks [Электронный ресурс] / Официальный сайт. «Софтлайн», 2001. – Электрон. дан. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/matlab/default.php>, свободный – Загл. с экрана – Яз. рус. Дата обращения: 20.02.2017 г.

12. Амосов А.А. Вычислительные методы для инженеров: учеб. пособие. / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копченова – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.

13. Пантелеев А.В. Численные методы в примерах и задачах: учеб. пособие / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев – М.: Высш. шк., 2008. – 480 с.

14. Матвеев Н.М. Интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений. / Н.М. Матвеев – М.: Высшая школа, 1967. – 565 с.

15. Потемкин В.Г. MatLab 5 для студентов: Справ. пособие. / В.Г. Потемкин – М.: АО "Диалог-МИФИ", 1998. – 314 с.

16. Эдвардс Ч.Г. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB: пер. с англ. 3-е изд. / Ч.Г. Эдвардс, Д.Э. Пенни — М.: Вильямс, 2008. — 1104 с.

17. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

18. СанПиН 2.2.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003.

19. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003. Об утверждении правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде: Постановление Правительства Российской Федерации от 3 сентября 2010 года № 681.

20. Зинченко В.П. Основы эргономики. – М.: МГУ, 1979. – 179 с.

## Приложение А (обязательное)

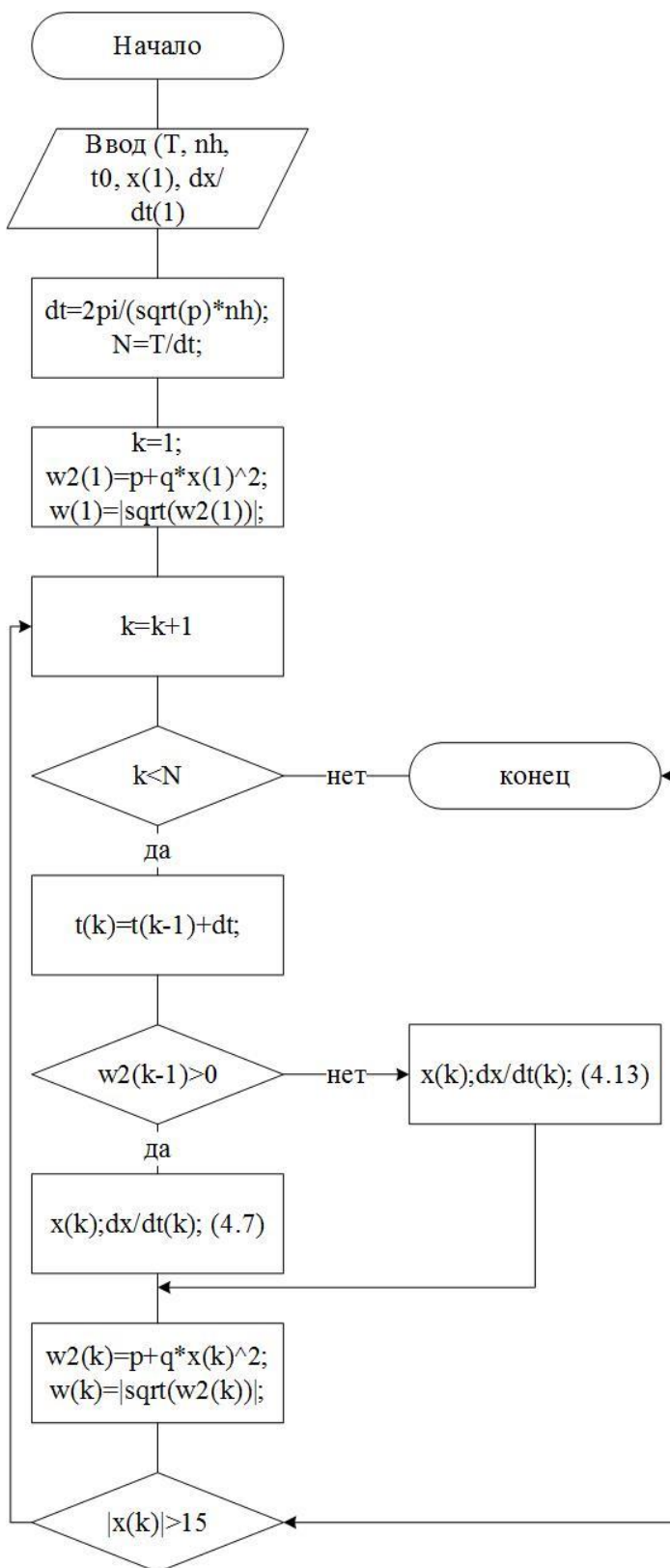


Рисунок А.1 – Блок-схема алгоритма

## Приложение Б (обязательное)

Листинг 1. Данная система дифференциальных уравнений.

```
function dx=sys(t,x)
    dx=zeros(2,1);
    dx(1)=x(2);
    dx(2)=0.0023*x(1)^3-0.298*x(1);
end
```

Листинг 2. Функция для проверки условия остановки.

```
function status=solproc(t,y,flag)
status=(length(flag)==0)&&(abs(y(1))>15);
```

Листинг 3. Функция для вычисления ошибки решения

```
function [ error ] = err( Y )
global a b
d2Y=diff(Y,2);
for i=1:size(Y,1)-2;
    error(i,1)=abs(d2Y(i)+a*Y(i)+b*(Y(i)).^3);
end
end
```

Листинг 4. Решение нелинейного дифференциального уравнения.

```
clear;clc;
t(1)=0; x(1)=10.5; px(1)=0; %Начальные условия
global a b;
a=0.298;b=-0.0023;
n=10;%Число оборотов
T0=2*pi*n; %интервал интегрирования
nh=100;% Число шагов на периоде для зад.1. ПРИ nh=1000,
dt=0.0115
dt=2*pi/(a^(1/2)*nh);%Шаг по времени
w(1)=(abs(a+b*x(1).^2))^(0.5); %Частота колебаний на
первом шаге
w2(1)=(a+b*x(1).^2);%Квадрат частоты колебаний на
первом шаге
k2=w2;
Ek(1)=0.5*(px(1))^2;
Ep(1)=a*0.5*(x(1))^2+b*0.25*(x(1))^4;
E(1)=Ek(1)+Ep(1);%Полная энергия системы
```

```

N=ceil(T0/dt); %Количество шагов
for k=2:N %Цикл по числу шагов
    t(k)=t(k-1)+dt; %Задаем приращение
    w2(k)=(a+b*x(k-1).^2);%Квадрат частоты колебаний
на первом шаге
    w(k)=(abs(w2(k)))^(0.5); %Частота колебаний в
данный момент времени
    if w2(k)>0 %Решение в области устойчивого движения
        x(k)=cos(w(k)*dt)*x(k-1)+ sin(w(k)*dt)*px(k-
1)/w(k-1);
        px(k)=-w(k)*sin(w(k)*dt)*x(k-1)+
cos(w(k)*dt)*px(k-1);
        Ek(k)=0.5*(px(k))^2;%Кинетическая энергия
СИСТЕМЫ
    Ер(k)=a*0.5*(x(k))^2+b*0.25*(x(k))^4;%Потенциальная
энергия СИСТЕМЫ
        E(k)=Ek(k)+Ер(k);%Полная энергия СИСТЕМЫ
        c=exp(-log(E(k)/E(1)));%коэффициент убывания
энергии
        x(k)=x(k)*c;
        px(k)=px(k)*c;
    else %Решение в области неустойчивого движения
        k2(k)=a+b*x(k-1)^2;
        kk(k)=abs(k2(k))^(0.5);
        x(k)=exp(-kk(k)*dt)*(kk(k)*x(k-1)+px(k-
1))/(2*kk(k))+exp(kk(k)*dt)*(kk(k)*x(k-1)-
px(k-1))/(2*kk(k))*exp(-kk(k)*dt);
        px(k)=-kk(k)*exp(-kk(k)*dt)*(kk(k)*x(k-
1)+px(k-
1))/(2*kk(k))+exp(kk(k)*dt)+kk(k)*exp(kk(k)*dt)*(kk(k)*x(
k-1)-px(k-1))/(2*kk(k))*exp(-kk(k)*dt);
    end
    if abs(x(k))>13
        break
    end
    k=k+1;
end
t=t';
x=x';
px=px';

% %Решение методом Рунге-Кутты 4 порядка
[T1,Y1]=ode45(@sys,[t(1):dt:T0],[x(1),px(1)]);

```

```

err_0=err(x);
err_1=err(Y1);

%Построение траектории частного решения
f1=figure;
sp1=subplot(3,2,1);
plot(x,px,'LineWidth',1)
title('Траектория на фазовой плоскости');
xlabel('x');
ylabel('px');
hold on
grid on
sp2=subplot(3,2,2);
plot(t,x,t,px)
title('x(tau),px(tau)');
xlabel('tau');
ylabel('x,px');
grid on
sp3=subplot(3,2,3);
plot(Y1(:,1),Y1(:,2));
title('Траектория решения, найденного с помощью
ode45');
xlabel('tau');
ylabel('x,px');
xlabel('x');
ylabel('px');
grid on
sp4=subplot(3,2,4);
plot(T1,Y1);
title('x(tau),px(tau) ode45');
xlabel('tau');
ylabel('x,px');
grid on
m1=max([max(abs(x)), max(abs(Y1(:,1))),
max(abs(Y2(:,1)))]);
m2=max([max(abs(px)), max(abs(Y1(:,2))),
max(abs(Y2(:,2)))]);
m3=max([m1,m2]);
axis([sp1 sp3 sp5],[-m1 m1 -m2 m2]);
axis([sp2 sp4 sp6],[0 T0 -m3 m3]);

%Построение графиков погрешности
figure;
subplot(3,1,1)
plot(err_0);

```

```

title('Погрешность квазианалитического решения');
xlabel('tau');
ylabel('error(tau)');
grid on
subplot(3,1,2)
plot(err_1);
title('Погрешность решения ode45');
xlabel('tau');
ylabel('error(tau)');
grid on

%Построение фазового портрета
f2=figure;
options=odeset('OutputFcn',@solproc);
a=18;
for i=-a:3:a
    for k=-a:1.5:a
        hold on,grid on
        [Ti,X]=ode45(@sys,[t(1):dt:T0],[i
k],options);
        plot(X(:,1),X(:,2))
        title('Фазовый портрет системы')
    end
end
xlabel('x');
ylabel('px');

```

## Приложение В (обязательное)

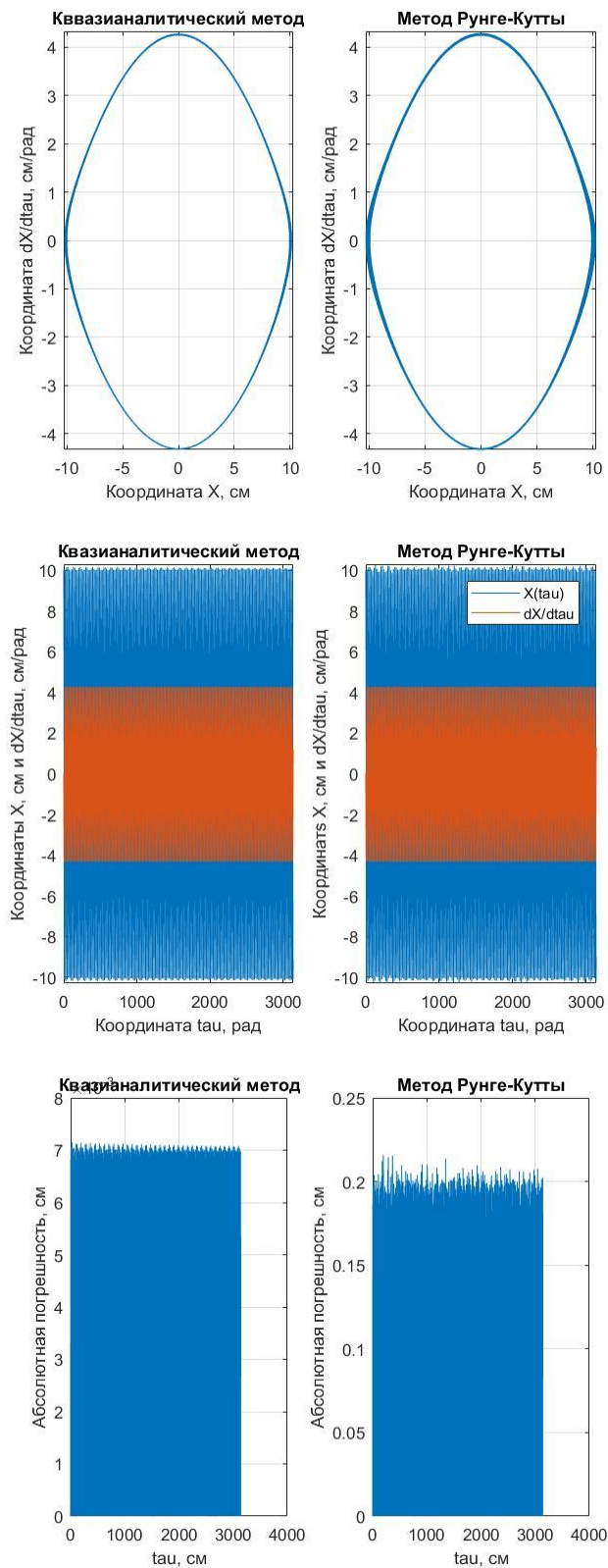


Рисунок В.1 – Результаты контрольных расчетов при  $T=1000\pi$ ,  $nh=1000$ ,  
 $x(0)=10$ ,  $x'(0)=0$



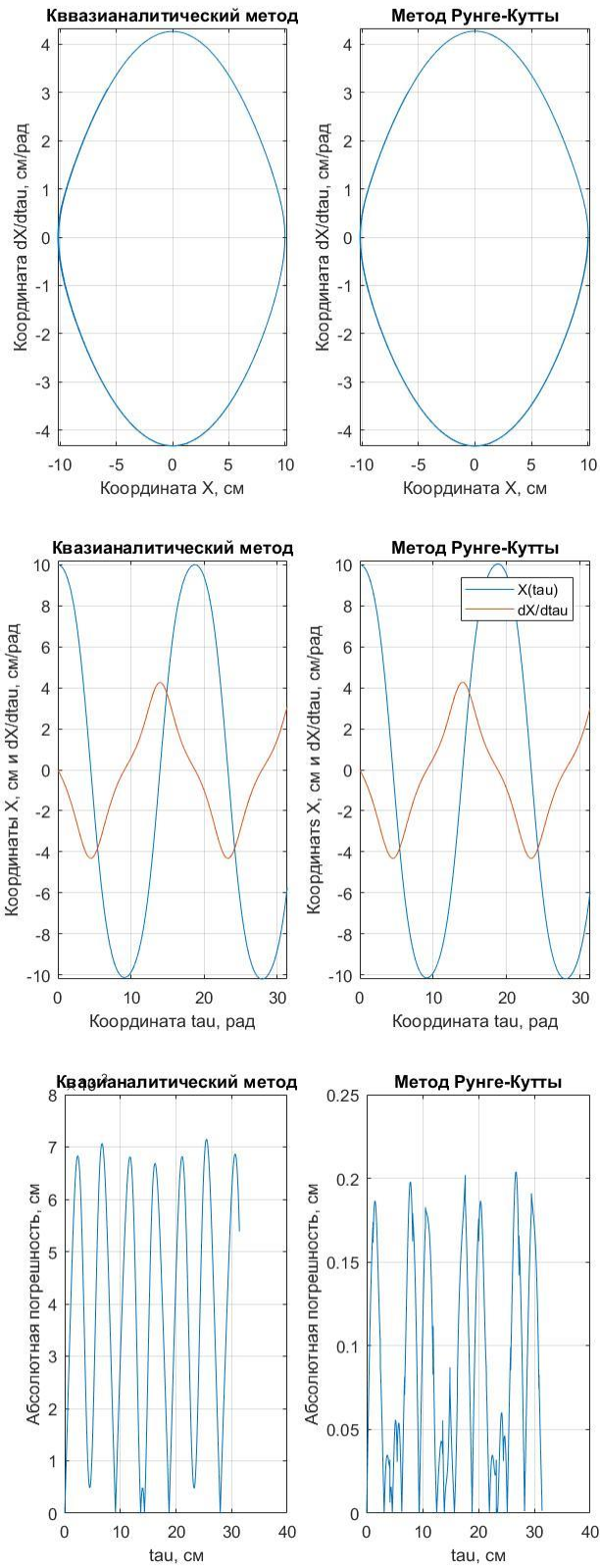


Рисунок В.2 – Результаты контрольных расчетов при  $T=10\pi$ ,  $nh=1000$ ,  
 $x(0)=10$ ,  $x'(0)=0$

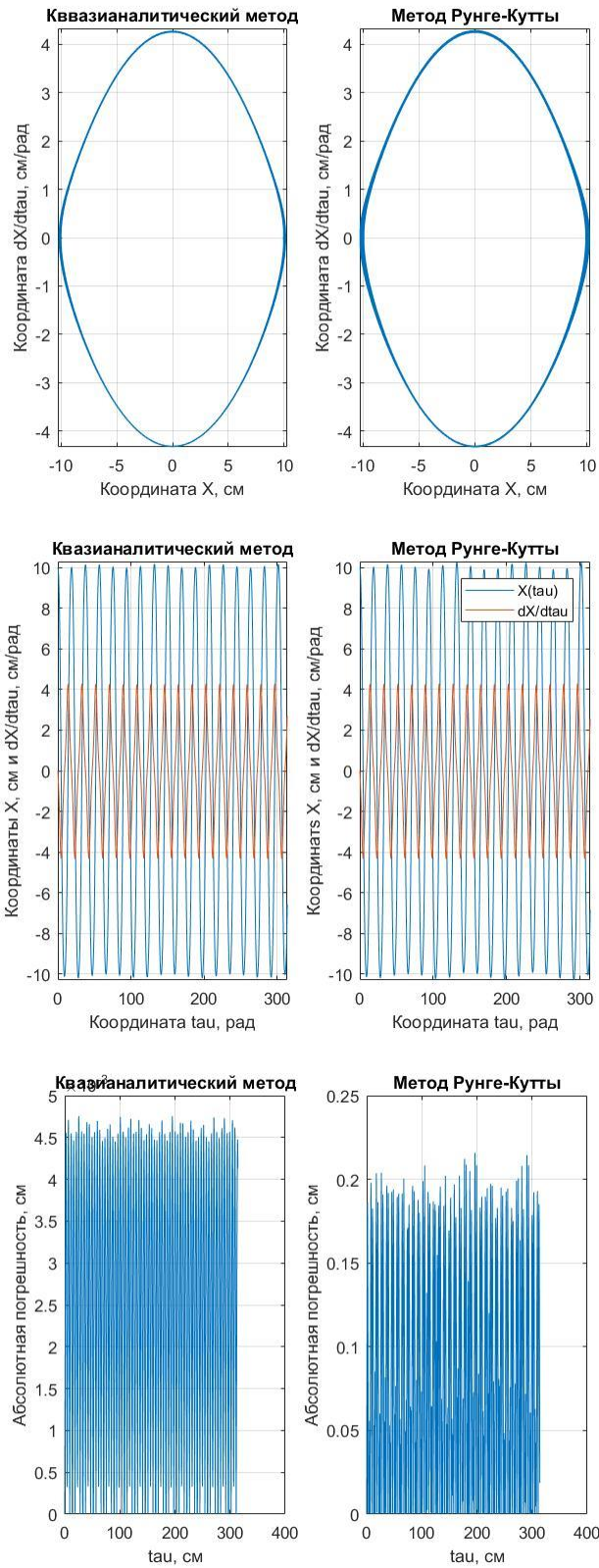


Рисунок В.3 – Результаты контрольных расчетов при  $T=100\pi$ ,  $nh=1500$ ,  
 $x(0)=10$ ,  $x'(0)=0$

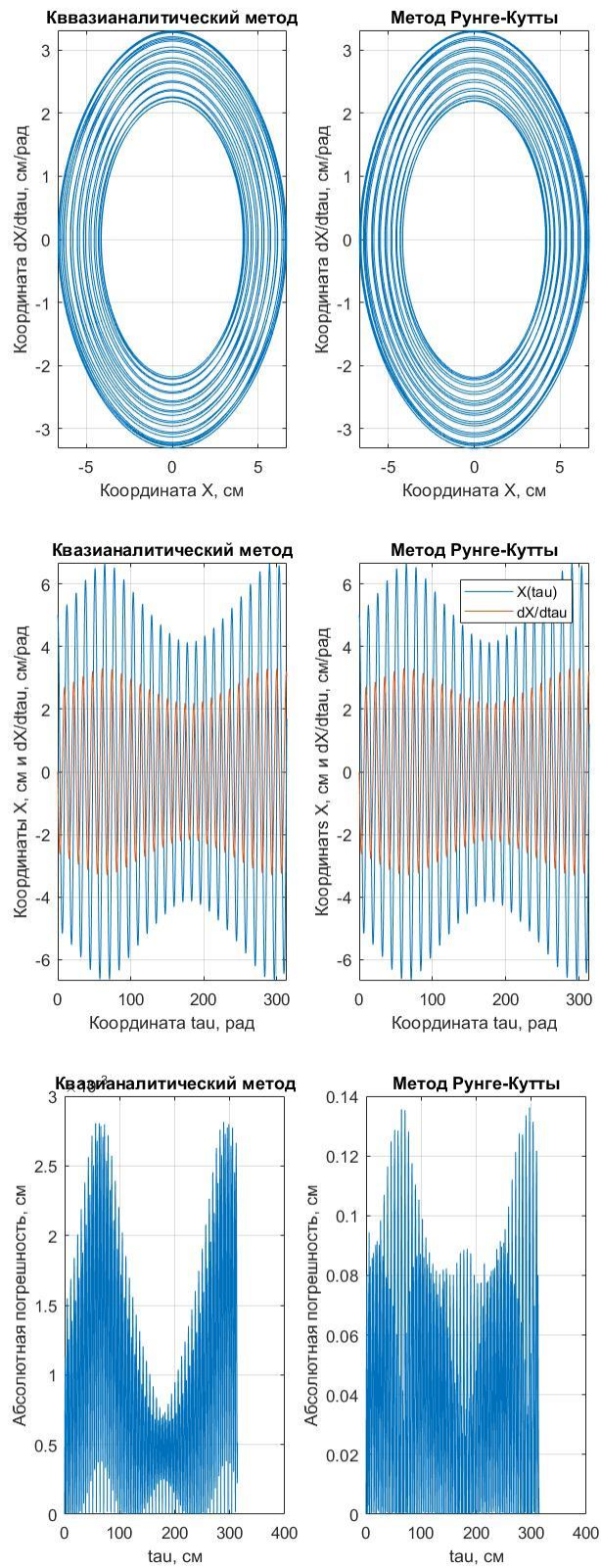


Рисунок В.4 – Результаты контрольных расчетов при  $T=100\pi$ ,  $nh=1000$ ,  
 $x(0)=5$ ,  $x'(0)=0$

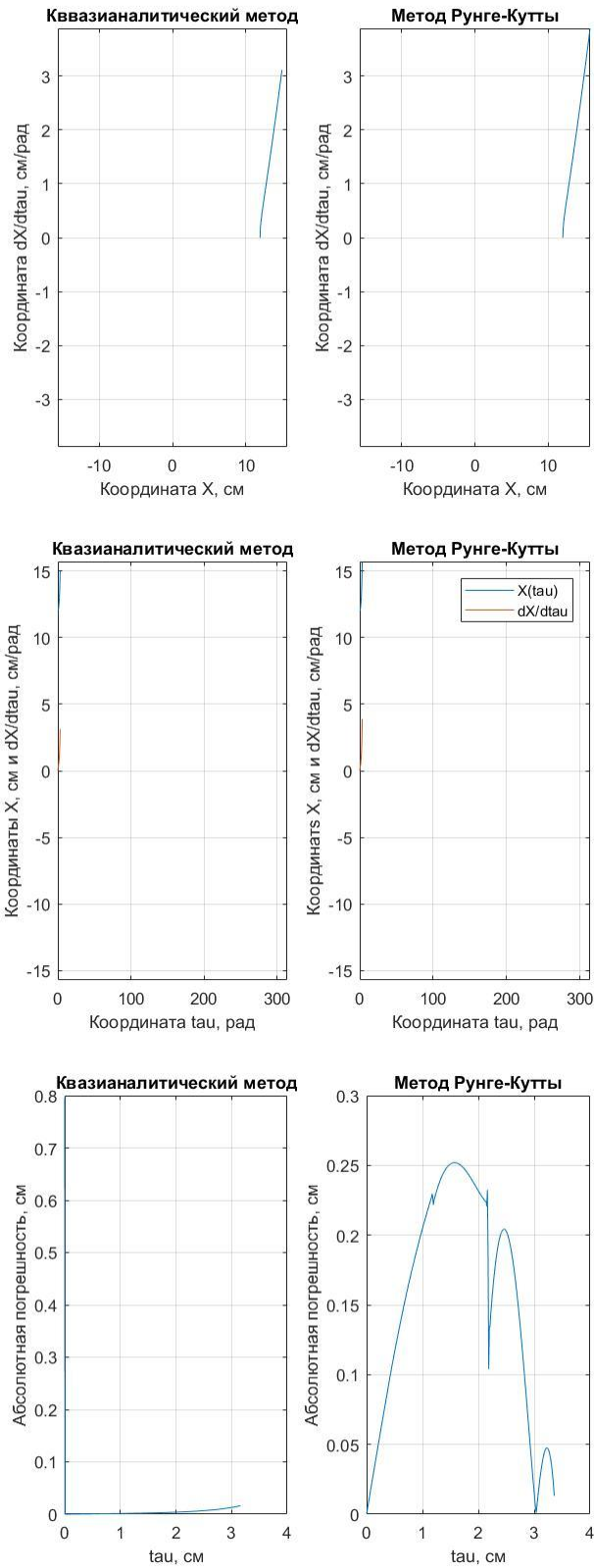


Рисунок В.5 – Результаты контрольных расчетов при  $T=100\pi$ ,  $nh=1000$ ,  
 $x(0)=12$ ,  $x'(0)=0$

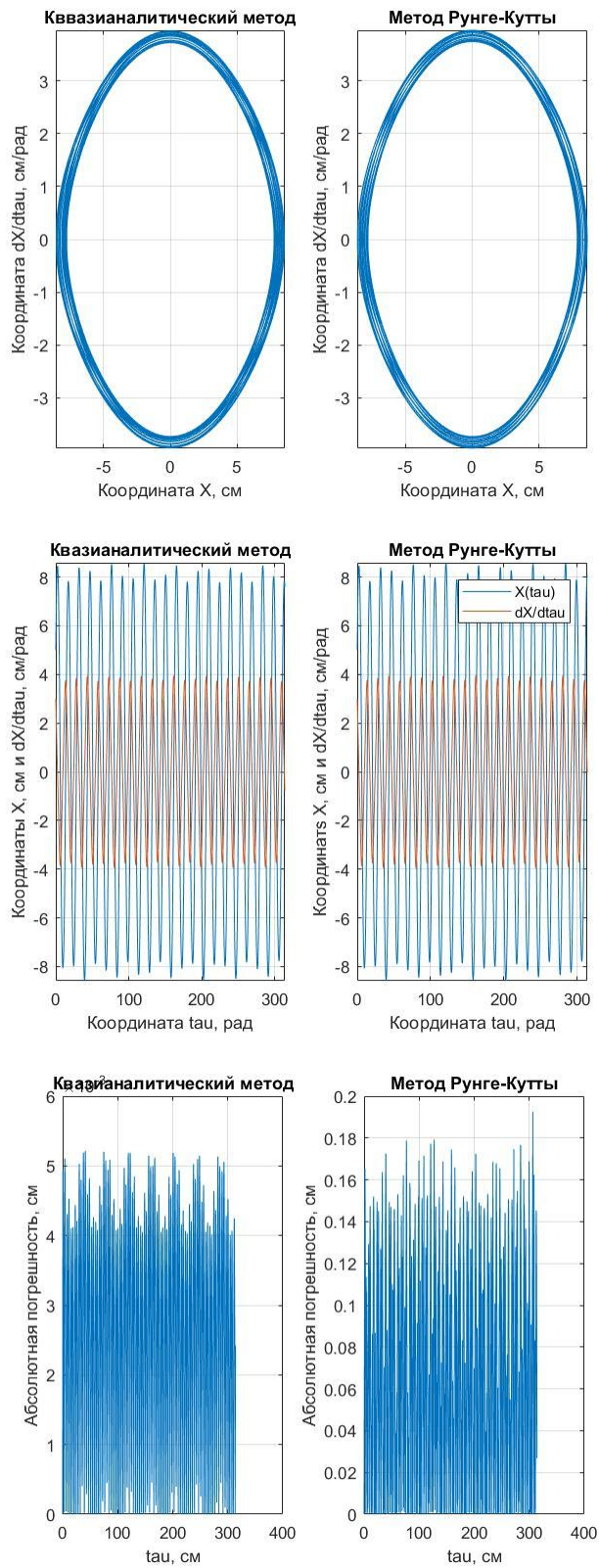


Рисунок В.6 – Результаты контрольных расчетов при  $T=100\pi$ ,  $nh=1000$ ,  
 $x(0)=5$ ,  $x'(0)=3$

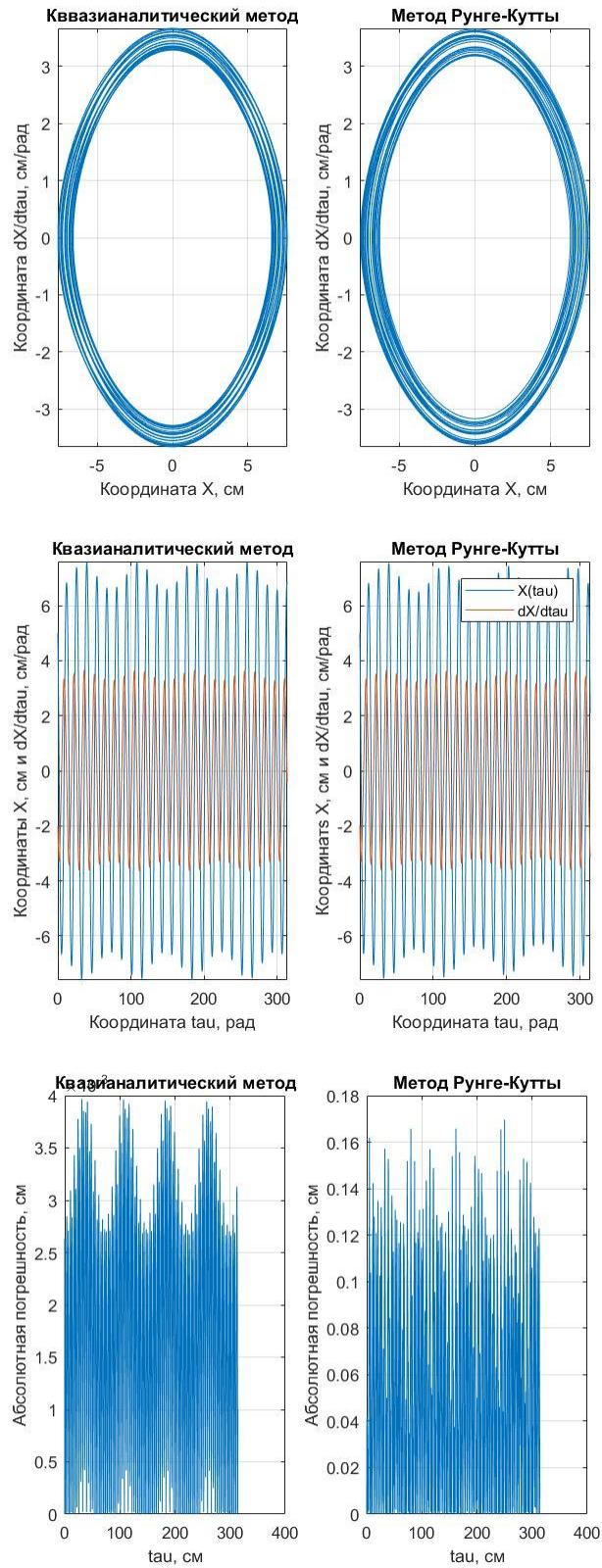


Рисунок В.7 – Результаты контрольных расчетов при  $T=100\pi$ ,  $nh=1000$ ,  
 $x(0)=5$ ,  $x'(0)=-2$