

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
в г. Нижневартовске

Кафедра «Информатика»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав.кафедрой «Информатика»

к.т.н., доцент

С.Г. Пономарева /

«30» мар 2016 г.

## Моделирование динамической системы управления программными связями

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ- 200100.2016.174.ПЗ ВКР

Консультанты

Экономическая часть

к.э.н., доцент

А.В. Прокопьев /

«18» апреля 2016 г.

Безопасность жизнедеятельности

к.т.н., доцент

А.Б. Тряпицын /

«18» апреля 2016 г.

Руководитель проекта

д.ф.-м.н., профессор

Р.Г. Мухарлямов /

«24» мая 2016 г.

Автор проекта

студент группы НаФд – 431

Е.О. Чурбанов /

«30» мая 2016 г.

Нормоконтролер

старший преподаватель

Л.Н. Буйлушкина /

«30» мая 2016 г.

Нижневартовск 2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФИЛИАЛ ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
В Г. НИЖНЕВАРТОВСКЕ  
КАФЕДРА «ИНФОРМАТИКА»

НАПРАВЛЕНИЕ

200100.62 «Приборостроение»  
(шифр и полное наименование направления)

УТВЕРЖДАЮ

И. о. зав. кафедрой «Информатика»  
к.т.н., доцент

С.Г. Пономарева /С.Г. Пономарева/  
/личная подпись/  
« 05 » февраля 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Чурбанова Евгения Олеговича

1. Тема работы Моделирование динамической системы управления  
программными связями

Утверждена приказом ректора университета от « 15 » апреля 2016 г. № 661

2. Срок сдачи студентом законченной работы « 30 » мая 2016 г.

3. Исходные данные к работе

$$l = 1 \text{ м}; m_1 = 10 \text{ кг}; m_2 = 1 \text{ кг}; g = 9,83 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$$

#### 4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

- 1 Аналитический обзор
- 2 Выявление управляющих воздействий
- 3 Определение закона движения системы
- 4 Построение визуальной модели
- 5 Расчет затрат
6. Определение себестоимости, договорной цены и прибыли
7. Анализ опасностей и вредных факторов, которыми характеризуется исследователь



7. Дата выдачи задания « 15 » декабря 2015г.

Задание выдал руководитель Мухарлямов Р. Г.

Задание принял к исполнению студент-дипломник Чурбанов Е. О.

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов дипломной работы	Срок выполнения этапа	Отметки о выполнении этапа
Введение	04.04.2016– 24.05.2016	выполнено
Теоретический раздел	01.09.2015 – 07.04.2016	выполнено
Практический раздел	10.09.2015 – 24.05.2016	выполнено
Экономический раздел	02.04.2016 – 05.04.2016	выполнено
Безопасность жизнедеятельности	28.03.2016 – 30.03.2016	выполнено
Заключение	24.05.2016	выполнено
Библиографический список	24.05.2016	выполнено
Приложения	24.05.2016	выполнено
Презентация доклада защиты работы	16.05.2016	выполнено
Оформление ПЗ	24.05.2016	выполнено
Защита работы	10.06.2016	

И. о. зав. кафедрой  / С.Г. Пономарева

*/личная подпись/*

Руководитель работы  / Р. Г. Мухарлямов /

*/личная подпись/*

Студент-дипломник  / Е. О. Чурбанов /

*/личная подпись/*



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	11
1.1 Теория динамических систем .....	11
1.2 Синтез управления современными динамическими объектами .....	20
1.3 Исследования в области моделирования динамических систем .....	25
1.4 Общие принципы и подходы к построению математических моделей.....	27
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	33
2.1 Постановка задачи .....	33
2.2 Вычисление управляющих воздействий .....	34
2.3 Определение закона движения системы.....	36
2.4 Построение визуальной модели .....	38
3. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ .....	41
3.1 Введение.....	41
3.2 Определение затрат.....	41
3.3 Определение себестоимости, договорной цены и прибыли.....	43
4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	45
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	45
4.2 Мероприятия по производственной санитарии .....	46
4.3 Эргономика и производственная эстетика .....	53
4.4 Электробезопасность рабочих мест .....	55
4.5 Пожарная безопасность .....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	60
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	61

					<b>200100.2016.174ПЗ</b>	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Да-		7

## ВВЕДЕНИЕ

Многие задачи теоретического и прикладного характера, связанные, в частности, с задачами управления, состоят в построении математических моделей. Математическое моделирование является быстро развивающейся областью науки и техники. Для ее успешного развития важны отвечающие современным требованиям методы решения инженерных и математических задач с использованием компьютеров. Развитие и совершенствование такой быстро развивающейся области знания связано с разработкой систем автоматизированного моделирования. Эти системы реализуют множество стандартных и специальных математических операций, снабжены мощными графическими средствами и обладают собственными языками программирования. Все это предоставляет широкие возможности для решения задач моделирования и управления сложными системами.

Управление движением системы предполагает решение трех задач: планирование траектории движения, стабилизацию движения, управление динамикой системы. К решению задачи планирования траектории движения в рабочей среде с препятствиями можно выделить два подхода. Первый позволяет получить точное решение этой задачи, либо доказать, что решения не существует. Согласно второму подходу поиск решения задачи осуществляется с помощью численных методов, применение которых предполагает существенные ограничения. Стоит также отметить, что алгоритмы таких методов могут не найти решения даже тогда, когда оно существует.

Для решения задач моделирования динамики используются известные классические методы, основанные на предположении о том, что уравнения связей, наложенные на систему, выполняются как в начальный момент движения, так и при всем последующем движении. Такие методы не позволяют учитывать возможные отклонения от уравнений связей. Поэтому существенной проблемой в решении систем дифференциально-алгебраических уравнений, составленных из

уравнений динамики и уравнений связей, является стабилизация связей [1,16]. Уравнения связей, наложенных на систему, задаются функциями, принимающими нулевые значения на ее решениях, совместимых со связями. Если считать значения этих функций за параметры, оценивающие отклонения от связей, то задача стабилизации связей ставится как проблема ограничения этих параметров за счет дополнительных сил или соответствующей модификации реакций связей.

Значения параметров, отличные от нуля, можно рассматривать как возмущения связей, и изменение их во времени происходит в соответствии с решением системы дифференциальных уравнений возмущений связей, правые части которых определяются дополнительными силами. Если уравнения динамики исходной системы и уравнения возмущений связей рассматривать как систему дифференциальных уравнений расширенной системы, то необходимым условием стабилизации связей является асимптотическая устойчивость решения расширенной системы по отношению к части переменных, соответствующей возмущениям связей.

Таким образом, моделирование процессов управления сложными динамическими системами с учетом стабилизации связей одновременно с построением уравнений динамики сложных систем требует также определения реакций связей, обеспечивающих устойчивость решений по отношению к уравнениям связей, стабилизацию при численном решении и инвариантность по отношению к возмущениям.

Решение системы дифференциально-алгебраических уравнений, полученной преобразованием уравнений динамики исследуемой системы и уравнений связей, определяет движение изображающей точки по многообразию, заданному уравнениями связей в пространстве переменных. Это движение должно быть устойчиво по отношению к многообразию и обеспечивать стабилизацию связей при численном решении системы дифференциально-алгебраических уравнений. Построение системы дифференциальных уравнений, решения которых обладали бы заданными свойствами, начинается с решения системы линейных

алгебраических уравнений с прямоугольной матрицей коэффициентов. В целом исследование задач моделирования и обратных задач динамики включает следующие основные этапы:

- решение систем линейных алгебраических уравнений с прямоугольной матрицей коэффициентов;
- построение систем дифференциальных уравнений, имеющих заданные частные интегралы;
- определение условий устойчивости интегрального многообразия, соответствующего уравнениям связям;
- построение уравнений динамики системы, обеспечивающих стабилизацию связей;
- разработка численных методов решения систем дифференциально-алгебраических уравнений.

# 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## 1.1 Теория динамических систем

Динамической системой называется математический объект, соответствующий реальным системам (физическим, химическим, биологическим и др.), эволюция которых однозначно определяется начальным состоянием[2]. Динамические системы с конечным числом переменных описываются системой дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_i}{dt} = F_i(\vec{x}, \vec{\lambda}), \quad (1.1)$$

где  $\vec{\lambda}$  – вектор управляющих параметров.

Функции  $F_i(\vec{x}, \vec{\lambda})$  не зависят явно ни от пространственной координаты, ни от времени. Пространство координат  $x_i$  называется фазовым пространством. Изменению состояния системы во времени отвечает движение точки в фазовом пространстве вдоль некоторой линии, называемой фазовой траекторией.

Первый и простейший тип траектории в фазовом пространстве определяется условием  $dx_i/dt = 0$ . Эта траектория является вырожденной, т.е. она представляет собой точку, которая именуется неподвижной. Неподвижная точка является особой точкой, т.к. в ней не определена касательная к траектории. Все иные точки фазового пространства, где  $\sum F_i^2 \neq 0$  называются регулярными фазового пространства. На рисунке 1.1 показаны варианты поведения фазовых траекторий вблизи особых точек. В зависимости от того, как ведут себя траектории, особые точки подразделяются на (а) устойчивые и (б) неустойчивые узлы, (в) устойчивые и (г) неустойчивые фокусы, (д) седловые точки (устойчивые

по одному и неустойчивые по другому направлению) и (е) центры (траектории представляют собой замкнутые линии).

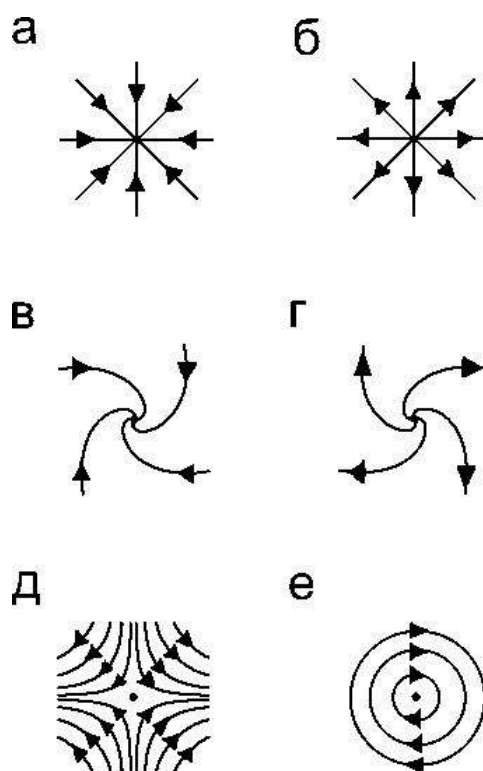


Рисунок 1.1 – Поведение фазовых траекторий вблизи особых точек

Объекты фазового пространства, которые, будучи ограничены, отображаются сами на себя в ходе эволюции системы, называются инвариантными множествами. Кроме неподвижных точек к инвариантным множествам относятся замкнутые кривые, называемые предельными циклами. Как и неподвижные точки, предельные циклы подразделяются на устойчивые и неустойчивые. Пример хода фазовых траекторий вблизи предельных циклов показан на рисунке 1.2. Асимптотически устойчивый предельный цикл представляет собой периодический аттрактор (от англ. attract– притягивать). Если предельный цикл неустойчив, то траектории «выталкиваются» с него и идут либо к другому циклу, либо к неподвижной точке. Совокупность фазовых траекторий образует фазовый портрет динамической системы.

В соответствии с теоремой единственности решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений (теоремой Коши), система (1.1) имеет единственное решение при условии, что в начальный момент времени система не находится в неподвижной точке. Из теоремы Коши вытекает важное следствие, согласно которому фазовые траектории в регулярных точках не пересекаются. Невозможность самопересечения траекторий и существование инвариантных множеств в значительной мере определяют структуру фазового портрета.

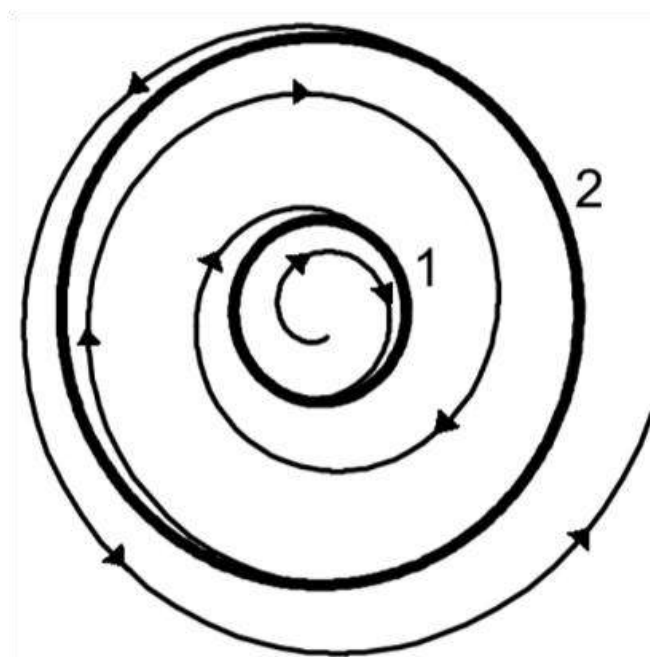


Рисунок 1.2 – Устойчивый и не устойчивый предельные циклы

В одномерном фазовом пространстве разнообразие движений невелико. Ведь следствие из теоремы Коши не позволяет системе двинуться по уже пройденному пути вспять. Поэтому возможны лишь процессы релаксационного типа, когда траектория стремиться к устойчивой неподвижной точке, исходя либо из некоторой регулярной точки, либо из неустойчивой неподвижной точки. При отсутствии неподвижных точек, в принципе, возможно и бесконечное движение вдоль оси. Но для любой реально существующей системы, фазовая траектория не может удаляться на бесконечность, поскольку это означало бы, что

система может поглотить или произвести бесконечное количество вещества или энергии.

Двумерному фазовому пространству свойственно большее разнообразие траекторий и, следовательно, двумерная динамическая система может вести себя более сложно. Для многомерных систем ( $N \geq 3$ ) траектории имеют еще большую свободу избегать друг друга, проскальзывая в зазорах. Благодаря этой “свободе” становятся возможными новые типы динамического поведения, в том числе хаотический или турбулентный.

В качестве примера рассмотрим фазовый портрет математического маятника.

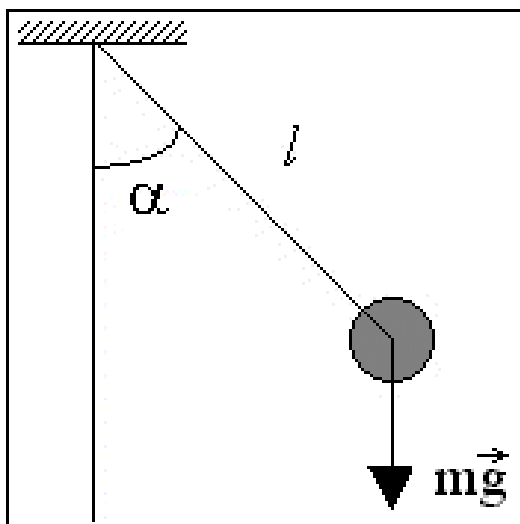


Рисунок 1.3 – Математический маятник

Пусть  $l$  – длина подвеса,  $\alpha$  – угол отклонения от вертикали. Полная энергия маятника дается формулой (1.2):

$$E = \frac{mv^2}{2} + mgl(1 - \cos \alpha) = ml^2 \left( \frac{\dot{\alpha}^2}{2} + \frac{g}{l}(1 - \cos \alpha) \right) \quad (1.2)$$

В отсутствие трения маятник сохраняет энергию, т.е.  $\frac{dE}{dt} = 0$ .

Дифференцируя выражение (1.2) по времени, приходим к известному уравнению колебаний (1.3)

$$\ddot{\alpha} + \frac{g}{l} \sin \alpha = 0 \quad (1.3)$$

Состояние маятника в любой момент времени полностью задается двумя величинами: отклонением  $\alpha$  и угловой скоростью  $\dot{\alpha}$ . Если мы введем систему координат, осями которой служат  $\alpha$  и  $\dot{\alpha}$ , то точка на плоскости будет полностью характеризовать состояние системы, а эволюция системы во времени будет представляться линиями – траекториями (Рисунок 1.3). Уравнение второго порядка (1.3) заменим системой двух уравнений первого порядка

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}(\dot{\alpha}) = -\frac{g}{l} \sin \alpha \\ \frac{d}{dt}(\alpha) = \dot{\alpha} \end{cases}$$

Легко находятся неподвижные точки  $\dot{\alpha} = 0, \alpha = \pm \pi n, n = 0, 1, 2, 3 \dots$ . Если энергия колебаний превышает величину  $2mgl$ , т.е.  $\dot{\alpha} > 2\sqrt{g/l}$ , то колебания переходят во вращение. Линии, разделяющие область колебаний и область вращения (сепаратрисы), описываются уравнением

$$\frac{l\dot{\alpha}^2}{4g} + (1 - \cos \alpha)/2 = 1$$

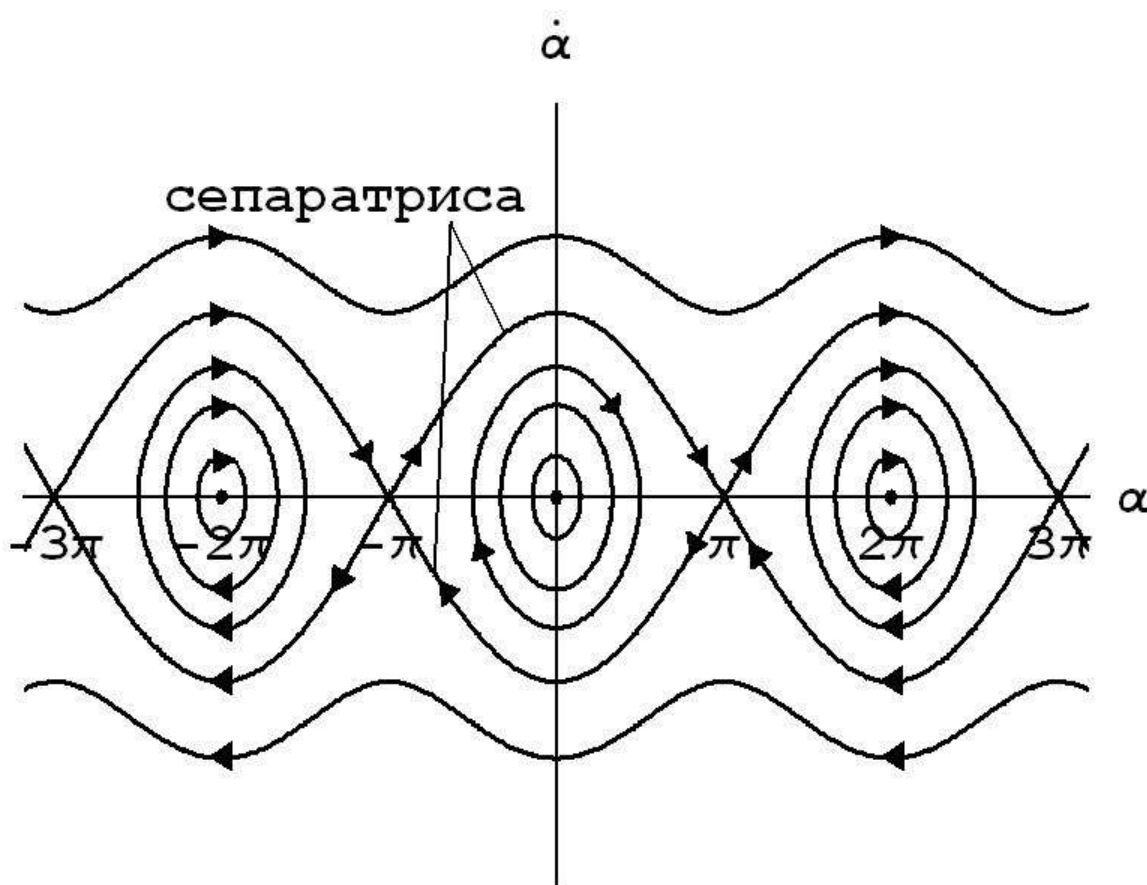


Рисунок 1.4 – Фазовый портрет математического маятника

Маятник без трения относится к консервативным системам. Динамическая система называется консервативной, когда в отсутствии внешнего влияния остаются неизменными ее полная энергия, количество движения, момент количества движения (и другие характеристики). Процессы в консервативных системах обратимы во времени.

Из консервативности системы следует очень важное свойство – сохранение объемов (в двумерном случае площадей) в фазовом пространстве (теорема Лиувилля). Элемент объема можно рассматривать как множество начальных условий. В процессе эволюции это множество преобразуется в другой элемент фазового пространства, объем которого остается постоянным. При этом каждая точка объема следует своей траекторией.

Маятник с трением, жидкие среды с молекулярной теплопроводностью и диффузией служат простейшими примерами диссипативных систем. Несложно

догадаться, что в случае затухающих колебаний маятника фазовые траектории будут стремиться к простейшему аттрактору – неподвижной точке, представляющей собой фокус или узел, в зависимости от величины трения. Заметим, что в диссипативных системах процессы необратимы во времени.

Также рассмотрим примеры фазовых портретов других динамических систем:

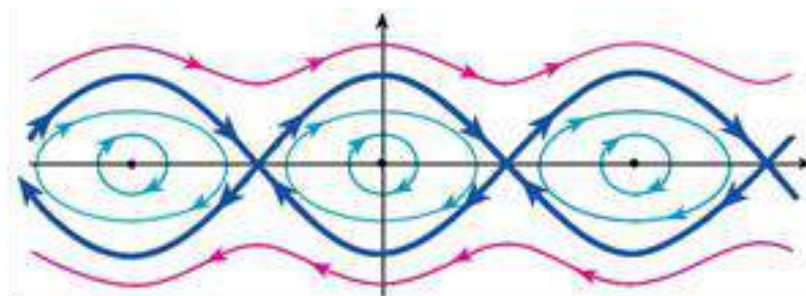


Рисунок 1.5 – Фазовый портрет осциллятора

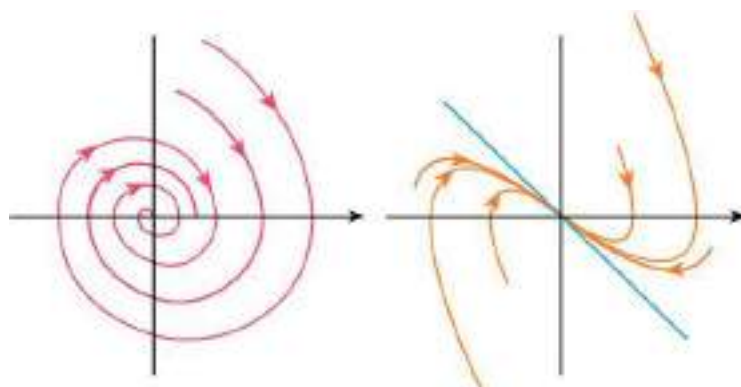


Рисунок 1.6 – Фазовый портрет диссипативного осциллятора

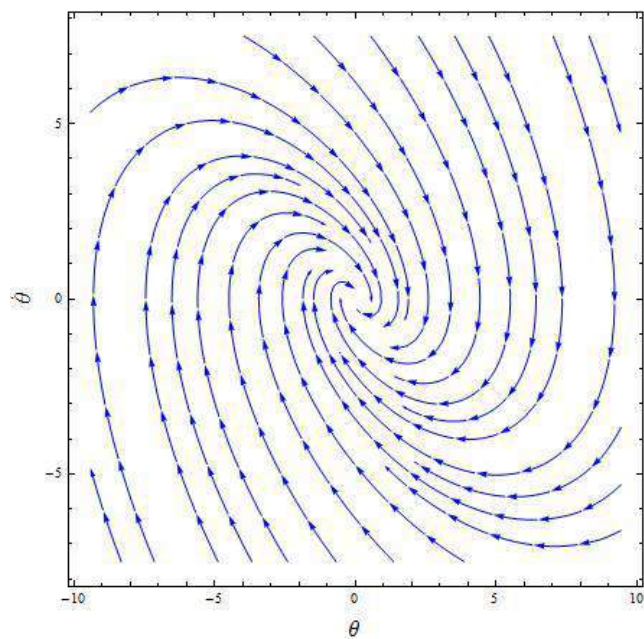


Рисунок 1.7 – Фазовый портрет линейного осциллятора  $\delta=0.5$

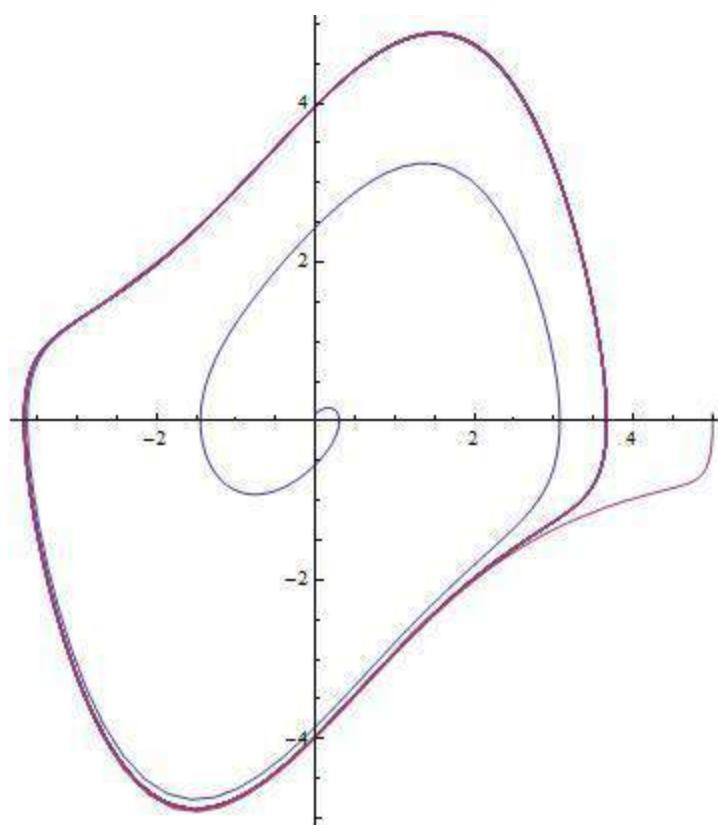


Рисунок 1.8 – Фазовый портрет осциллятора Ван дер Поля

Рассмотрим пример диссипативной системы, в которую обеспечен приток энергии. Пусть это будет маятник с трением и с накачкой (как, например, в механических часах). В результате некоторого переходного процесса в такой системе установятся периодические колебания. Иными словами, на больших временах система выходит на аттрактор – предельный цикл, представляющий собой замкнутую линию.

Важнейшим свойством диссипативных систем является сжатие объемов (в двумерном случае площадей) в фазовом пространстве. Изменения фазового объема могут происходить как равномерно по всем измерениям, так и неравномерно, т.е. когда по одному измерению идет уменьшение, а по-другому растягивание, впрочем, на больших временах объем всегда стремится к нулю. В двух рассмотренных выше примерах (маятник с трением) все траектории стремятся к аттрактору (точке или замкнутой кривой), имеющему нулевую площадь (объем). Существование аттрактора (следствие сжатия объемов в фазовом пространстве) – важнейшее свойство диссипативных систем.

Структурой динамической системы являются законы, управляющие её поведением, которые выражаются в метаязыке её поведения.

Задание стационарной динамической системы эквивалентно разбиению фазового пространства на фазовые траектории. Задание динамической системы в общем случае эквивалентно разбиению расширенного фазового пространства на интегральные траектории. Для его выполнения необходимо описать фазовое пространство  $X$  данной системы, множество моментов времени  $T$  и некоторое правило, описывающее движение точек фазового пространства со временем. Множество моментов времени  $T$  может быть не только интервалом вещественной прямой (время непрерывно), но и множеством целых или натуральных чисел (время дискретно). В случае дискретности времени движение точки фазового пространства больше похоже на мгновенные скачки из одной точки в другую: траектория такой системы гладкой кривой не является, а наоборот представляет множество точек, и называется орбитой. Несмотря на внешнее различие, между

системами с непрерывным и дискретным временем имеется тесная связь: для этих классов систем многие свойства являются общими или легко переносятся с одного на другой.

Пример 1. Система дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v \\ \frac{dv}{dt} = -kx \end{cases}$$

задаёт динамическую систему с непрерывным временем, которая называется «гармоническим осциллятором». Фазовым пространством системы является плоскость  $(x, v)$ , где  $v$  — скорость точки  $x$ . Гармонический осциллятор моделирует разнообразные колебательные процессы — например, поведение груза на пружине. Его фазовыми кривыми являются эллипсы с центром в нуле.

Пример 2.

Пусть  $\varphi$  — угол, задающий положение точки на единичной окружности. Отображение удвоения  $f(\varphi) = 2\varphi \pmod{2\pi}$ , задаёт динамическую систему с дискретным временем, фазовым пространством которой является окружность.

## 1.2 Синтез управления современными динамическими объектами

Синтез управления современными динамическими объектами связан с исследованием многомерных нелинейных нестационарных систем, которые могут содержать элементы различной физической природы: механические, электрические, электронные, гидравлические, пневматические и другие устройства. Для моделирования динамики таких систем вводится унифицированный набор переменных, через которые определяются динамические показатели системы и уравнения классической механики [17,18]. Требуемые свойства системы и цели управления выражаются уравнениями связей, реакции которых могут быть рассмотрены как управляющие силы, действующие на

рассматриваемую систему. Задача управления динамикой сводится к определению управляющих воздействий посредством решения системы дифференциально-алгебраических уравнений (далее – ДАУ), составленных из уравнений динамики и уравнений связей:

$$\frac{dq^i}{dt} = v^i \quad \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial v^i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q^i} = \frac{\partial L}{\partial q^i} = Q_i - \frac{\partial D}{\partial v^i} + f_i + \sum_{k=1}^M b_{ik} u^k, \quad (1.4)$$

$$f^l(q^i, t) = 0, \quad \varphi^s(q^i, v, t) = 0, \quad (1.5)$$

где  $q^i$  – обобщенные координаты;

$v^i$  – скорости;

$Q_i$  – силы;

$f_i$  – внешние возмущения;

$u^k$  – управляющие воздействия;

$L$  – лагранжиан;

$D$  – диссипативная функция.

Выражение целей управления уравнениями связей оказывается предпочтительным, так как обычно цель управления накладывает ограничения на фазовые координаты объекта, но не на координаты управляющих устройств. Если число  $M$  управлений равно числу  $m$  уравнений связей и  $b_{ik} = \partial \varphi^k / \partial v^i, \partial \varphi^l / \partial v^i = \partial f^l / \partial q^i$ , то управления  $u^k$  соответствуют реакциям связей, и приложенные силы обеспечивают движение по многообразию, соответствующему уравнениям связей или по траектории. В случае  $M > m$  остается возможность управления движением по многообразию или вдоль траектории. Известный способ определения реакций связей в случае  $M = m$  или управляющих воздействий в общем случае приводит к неустойчивости решения

уравнений динамики по отношению к уравнениям связей, так как множители Лагранжа определяются из условий

$$\frac{df^l}{dt} = \varphi^l, \quad \frac{d\varphi^k}{dt} = 0 \quad (1.6)$$

с вычислением производных  $d\varphi^k/dt$  в силу уравнений динамики (1.4).

Система уравнений (1.6) имеет решение

$$f^l = c_1^l t + c_0^l, \quad \varphi^k = c^k,$$

что неизбежно приводит к неустойчивости численного решения уравнений динамики по отношению к уравнениям связей, вызванных погрешностями задания начальных условий и метода решения. Поэтому основной проблемой численного решения ДАУ, является стабилизация связей [1,16,19].

В результате исследований было установлено, что стабилизация связей может быть обеспечена заменой уравнений связей (1.7) уравнениями программных связей

$$f^l(q^i, t) = f^l, \quad \varphi^s(q^i, v^j, t) = \varphi^s, \quad (1.7)$$

При этом множители Лагранжа  $\lambda_k$  определяются из уравнений (1.8 – 1.10)

$$\frac{df^l}{dt} = \varphi^l, \quad \sum_{i=1}^n \frac{\partial \varphi^k}{\partial q^i} v^i + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \varphi^k}{\partial v^i} \frac{v^i}{dt} + \frac{\partial \varphi^k}{\partial t} = F^k(f^l, \varphi^p, q^i, v^j, t), \quad (1.8)$$

$$\sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 L}{\partial q^i \partial v^j} v^j + \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 L}{\partial v^j \partial v^i} \frac{dv^j}{dt} + \frac{\partial^2 L}{\partial v^i \partial t} = \frac{\partial L}{\partial q^i} + Q_i - \frac{\partial D}{\partial v^i} + f_i + \sum_{k=1}^m \frac{\partial \varphi^k}{\partial v^i} \lambda_k, \quad (1.9)$$

где  $p=1,...,m$ ,

$$F^k(0,0,q^i,v^j,t)=0, \quad (1.10)$$

правые части  $F^k$  которых должны быть выбраны соответствующим образом. При выполнении условий (1.7) уравнения связей (1.2) соответствуют инвариантным множествам[3,4] или частным интегралам системы дифференциальных уравнений динамики (1.1) [5,6]. Надлежащий выбор правых частей  $F$  к уравнений (1.5) позволяет обеспечить устойчивость и стабилизацию численного решения, оптимальность по заданному критерию качества[7], инвариантность по отношению к внешним возмущениям[8], устойчивость при случайных воздействиях[9] и другие свойства решений уравнений динамики.

Управляющие воздействия  $u^k$  определяются из уравнений (1.8) с заменой выражений  $\frac{dv^i}{dt}$  из уравнений (1.9). Для осуществления движения в соответствии с уравнениями связей (1.5) необходимо обеспечить устойчивость решений уравнений системы (1.4) по отношению к уравнениям (1.5), что соответствует устойчивости тривиального решения  $f^l=0, \varphi^p=0$  системы уравнений (1.8).

Полагая возмущения  $f^l, \varphi^p$  малыми и разлагая функции  $F^k$  в ряд по степеням этих переменных, систему уравнений (1.8) можно представить в виде

$$\frac{dx^k}{dt} = \sum_{\mu=1}^{r+m} a_{\mu}^k x^{\mu} + X^k, \quad \mu=1,...,r+m, \quad x^l = f^l, \quad x^p = \varphi^p, \quad (1.10)$$

где  $x^k$  —обозначены члены, содержащие  $x^k$  в степени выше первой.

И суждение об устойчивости делать по уравнениям первого приближения

$$\frac{dx^k}{dt} = \sum_{\mu=1}^{r+m} a_{\mu}^k x^{\mu}, \quad \mu = 1, \dots, r+m, \quad x^l = f^l, \quad x^p = \varphi^p. \quad (1.11)$$

Если коэффициенты уравнений системы (1.11) постоянны и корни характеристического уравнения имеют отрицательные действительные части, то тривиальное решение  $x^k = 0$  асимптотически устойчиво. В случае, когда матрица коэффициентов  $A = (a_{\mu}^k)$  является плохо обусловленной, для решения задачи управления программным движением системы могут быть использованы методы решения некорректных задач.

Исследованию колебаний и устойчивости линейных систем с постоянными и периодическими коэффициентами, нелинейных систем, содержащих малый параметр, устойчивости движения спутника относительно центра масс посвящены монографии А.П. Маркеева и О.В. Холостовой. В резонансном случае построены границы областей устойчивости, рассмотрены случаи кратного резонанса. Определены условия устойчивости плоских колебаний и вращений спутника на круговой орбите, условия равновесия и колебаний на эллиптической орбите, исследованы прецессионные движения спутника на орбите малого эксцентриситета и на орбите произвольного эксцентриситета. Исследованы некоторые задачи управления угловыми движениями спутника с помощью инерционных масс.

Разработаны алгоритмы построения уравнений управляемых систем с вектором управления минимальной размерности, обеспечивающих инвариантность по отношению к случайным возмущениям уравнений связей и квазиинвариантность применительно к динамическим свойствам переходного процесса. Построен универсальный алгоритм приведения фазового состояния механической системы и твердого тела в заданное многообразие состояний за конечный промежуток времени при случайных возмущающих силах и случайных изменениях параметров системы.

Для успешного численного моделирования динамики управляемых систем оказывается недостаточно асимптотической устойчивости движения по отношению к функциям, задающим уравнения связей, траекторию движения или закон движения. Решение задачи стабилизации будет удовлетворительным только в том случае, когда результаты численного решения уравнений динамики будут соответствовать требуемому движению с необходимой точностью.

Пусть, например, для решения уравнений динамики (1.4) используется простейшая разностная схема

$$\begin{aligned} q^{k+1} &= q^k + v^k \tau, & v^{k+1} &= v^k + \omega^k \tau \\ q^k &= q(t_k), & \tau &= t_{k+1} - t_k \quad k=0,1,2\dots \end{aligned}$$

где  $q, v, \omega = \omega(q, v, t)$  – векторы фазовых координат и правых частей уравнений динамики, разрешенных относительно обобщенных ускорений.

### 1.3 Исследования в области моделирования динамических систем

Исследования по фундаментальным проблемам теории управления были начаты в 60-е годы под руководством А.С. Галиуллина. Им была дана классификация задач управления программным движением, основано направление исследований по построению уравнений динамики систем с заданными целями управления и кинематическими свойствами решений, предложены методы решения задачи управления динамикой твердого тела переменной массы и задач ракетодинамики. Также были разработаны методы построения уравнений динамики систем с программными связями в форме уравнений Лагранжа и Гамильтона и разработаны общие методы решения задачи стабилизации связей, используемые в проекте. Определены условия устойчивости решений уравнений динамики по отношению к уравнениям связей и разработан метод обеспечения асимптотической устойчивости посредством модификации множителей Лагранжа.

Известные динамические аналогии Г. Ольсона, R.A. Layton, P. Maisser, O. Enge, H. Freudenberg, G. Kielau, P. Rentrop, K. Strehmel, Weiner, и современная

теория управления позволяют использовать унифицированные переменные для моделирования технических систем. Т.К. Сиразетдиновым была установлена аналогия между динамикой простого производственного объекта и движением точки переменной массы, на основе которой были созданы методы и алгоритмы решения задач планирования и управления производственными предприятиями.

По определению V.G. Shebehely проблема моделирования динамических систем является одной из важнейших задач нового тысячелетия. Существенной составляющей проблемы моделирования динамики и управления является учет возможных отклонений от уравнений связей в процессе решения системы дифференциально-алгебраических уравнений, описывающих динамические процессы и связи.

Постановка задачи о стабилизации связей и простейшие алгоритмы были предложены в работах J. Baumgart, U.M. Ascher, P. Rentrop, K. Strehmel, R. Weiner, W. Blajer. В этих работах компенсация отклонений от уравнений связей осуществляется за счет дополнительных сил, определяемых с учетом линейной комбинации уравнений связей и их производных. Последующими исследованиями Н.П. Еругина и А.С. Галиуллина задачи управления целевым движением и стабилизации связей были сведены к построению систем дифференциальных уравнений динамики по требуемым свойствам решений и получены методы решения задачи стабилизации связей в общем случае.

Исследованию колебаний и устойчивости линейных систем с постоянными и периодическими коэффициентами, нелинейных систем, содержащих малый параметр, устойчивости движения спутника относительно центра масс посвящены монографии А.П. Маркеева и О.В. Холостовой. В резонансном случае построены границы областей устойчивости, рассмотрены случаи кратного резонанса. Определены условия устойчивости плоских колебаний и вращений спутника на круговой орбите, условия равновесия и колебаний на эллиптической орбите, исследованы прецессионные движения спутника на орбите малого эксцентриситета и на орбите произвольного эксцентриситета. Исследованы

некоторые задачи управления угловыми движениями спутника с помощью инерционных масс. Разработаны алгоритмы построения уравнений управляемых систем с вектором управления минимальной размерности, обеспечивающих инвариантность по отношению к случайным возмущениям уравнений связей и квазиинвариантность применительно к динамическим свойствам переходного процесса. Построен универсальный алгоритм приведения фазового состояния механической системы и твердого тела в заданное многообразие состояний за конечный промежуток времени при случайных возмущающих силах и случайных изменениях параметров системы. Для успешного численного моделирования динамики управляемых систем оказывается недостаточно асимптотической устойчивости движения по отношению к функциям, задающим уравнения связей, траекторию движения или закон движения. Решение задачи стабилизации будет удовлетворительным только в том случае, когда результаты численного решения уравнений динамики будут соответствовать требуемому движению с необходимой точностью.

#### 1.4 Общие принципы и подходы к построению математических моделей

В настоящее время никакое определение не может в полном объеме охватить реальносуществующую деятельность по математическому моделированию. Это связано с большими успехами в применении и признании метода математического моделирования во всех отраслях современной науки и техники. В работе Б. Я. Советова и С. А. Яковлева под математическим моделированием понимается процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики рассматриваемого реального объекта. А. А. Самарский отмечает незаменимость математического моделирования для решения важнейших проблем научно-технического и социально-экономического прогресса,

подчеркивает значение математического моделирования как методологии разработки наукоемких технологий и изделий.

Математическое моделирование многие считают скорее искусством, чем стройной и законченной теорией. Здесь очень велика роль опыта, интуиции и других интеллектуальных качеств человека. Поэтому невозможно написать достаточно формализованную инструкцию, определяющую, как должна строиться модель той или иной системы. Тем не менее отсутствие точных правил не мешает опытным специалистам строить удачные модели. К настоящему времени уже накоплен значительный опыт, дающий основание сформулировать некоторые принципы и подходы к построению моделей. При рассмотрении порознь каждый из них может показаться довольно очевидным. Но совокупность взятых вместе принципов и подходов далеко не тривиальна. Многие ошибки и неудачи в практике моделирования являются прямым следствием нарушения этой методологии.

Принципы определяют те общие требования, которым должна удовлетворять правильно построенная модель. Рассмотрим эти принципы.

1. Адекватность. Предусматривает соответствие модели целям исследования по уровню сложности и организации, а также соответствие реальной системе относительно выбранного множества свойств. До тех пор, пока не решен вопрос, правильно ли отображает модель исследуемую систему, ценность модели незначительна.

2. Соответствие модели решаемой задаче. Модель должна строиться для решения определенного класса задач или конкретной задачи исследования системы. Попытки создания универсальной модели, нацеленной на решение большого числа разнообразных задач, приводят к такому усложнению, что она оказывается практически непригодной. Опыт показывает, что при решении каждой конкретной задачи нужно иметь свою модель, отражающую те аспекты системы, которые являются наиболее важными в данной задаче. Этот принцип связан с принципом адекватности.

3. Упрощение при сохранении существенных свойств системы. Модель должна быть в некоторых отношениях проще прототипа – в этом смысл моделирования. Чем сложнее рассматриваемая система, тем по возможности более упрощенным должно быть ее описание, умышленно утрирующее типичные и игнорирующее менее существенные свойства. Этот принцип может быть назван принципом абстрагирования от второстепенных деталей.

4. Соответствие между требуемой точностью результатов моделирования и сложностью модели. Модели по своей природе всегда носят приближенный характер. Возникает вопрос, каким должно быть это приближение. С одной стороны, чтобы отразить все сколько-нибудь существенные свойства, модель необходимо детализировать. С другой стороны, строить модель, приближающуюся по сложности к реальной системе, очевидно, не имеет смысла. Она не должна быть настолько сложной, чтобы нахождение решения оказалось слишком затруднительным. Компромисс между этими двумя требованиями достигается нередко путем проб и ошибок. Практическими рекомендациями по уменьшению сложности моделей являются:

- изменение числа переменных, достигаемое либо исключением несущественных переменных, либо их объединением. Процесс преобразования модели в модель с меньшим числом переменных и ограничений называют агрегированием. Например, все типы электронных вычислительных машин в модели гетерогенных сетей можно объединить в четыре типа – персональные электронные вычислительные машины, рабочие станции, большие электронные вычислительные машины, кластерные электронные вычислительные машины;

- изменение природы переменных параметров. Переменные параметры рассматриваются в качестве постоянных, дискретные – в качестве непрерывных и т. д. Так, условия распространения радиоволн в модели радиоканала для простоты можно принять постоянными;

– изменение функциональной зависимости между переменными. Нелинейная зависимость заменяется обычно линейной, дискретная функция распределения вероятностей – непрерывной;

– изменение ограничений (добавление, исключение или модификация). При снятии ограничений получается оптимистичное решение, при введении – пессимистичное. Варьируя ограничениями, можно найти возможные граничные значения эффективности. Такой прием часто используется для нахождения предварительных оценок эффективности решений на этапе постановки задач;

– ограничение точности модели. Точность результатов модели не может быть выше точности исходных данных.

5. Баланс погрешностей различных видов. В соответствии с принципом баланса необходимо добиваться, например, баланса систематической погрешности моделирования за счет отклонения модели от оригинала и погрешности исходных данных, точности отдельных элементов модели, систематической погрешности моделирования и случайной погрешности при интерпретации и осреднении результатов.

6. Многовариантность реализаций элементов модели. Разнообразие реализаций одного и того же элемента, отличающихся по точности (а, следовательно, и по сложности), обеспечивает регулирование соотношения «точность/сложность».

7. Блочное строение. При соблюдении принципа блочного строения облегчается разработка сложных моделей и появляется возможность использования накопленного опыта и готовых блоков с минимальными связями между ними. Выделение блоков производится с учетом разделения модели по этапам и режимам функционирования системы. К примеру, при построении модели для системы радиоразведки можно выделить модель работы излучателей, модель обнаружения излучателей, модель пеленгования и т.д.

В зависимости от конкретной ситуации возможны следующие подходы к построению моделей;

- непосредственный анализ функционирования системы;
- проведение ограниченного эксперимента на самой системе;
- использование аналога;
- анализ исходных данных.

Имеется целый ряд систем, которые допускают проведение непосредственных исследований по выявлению существенных параметров и отношений между ними. Затем либо применяются известные математические модели, либо они модифицируются, либо предлагается новая модель. Таким образом, например, можно вести разработку модели для направления связи в условиях мирного времени.

При проведении эксперимента выявляется значительная часть существенных параметров и их влияние на эффективность системы. Такую цель преследуют, например, все командно-штабные игры и большинство учений.

Если метод построения модели системы не ясен, но очевидна ее структура, то можно воспользоваться сходством с более простой системой, модель для которой существует.

К построению модели можно приступить на основе анализа исходных данных, которые уже известны или могут быть получены. Анализ позволяет сформулировать гипотезу о структуре системы, которая затем апробируется. Таким способом появляются первые модели нового образца иностранной техники при наличии предварительных данных об их технических параметрах.

Разработчики моделей находятся под действием двух взаимно противоречивых тенденций: стремления к полноте описания и стремления к получению требуемых результатов возможно более простыми средствами. Достижение компромисса ведется обычно по пути построения серии моделей, начинающихся с предельно простых и восходящих до высокой сложности (существует известное правило: начинай с простых моделей, а далее усложняй). Простые модели помогают глубже понять исследуемую проблему. Усложненные

модели используются для анализа влияния различных факторов на результаты моделирования. Такой анализ позволяет исключать некоторые факторы из рассмотрения.

Сложные системы требуют разработки целой иерархии моделей, различающихся уровнем отображаемых операций. Выделяют такие уровни, как вся система, подсистемы, управляющие объекты и др.

Выводы по главе один:

В данном разделе был проведён обзор литературы, рассмотрены исследования в области моделирования динамических систем, а также современные методы моделирования динамических систем. В ходе анализа выявлено, что используемый метод моделирования удовлетворяет современным требованиям и подходит для использования в наших целях.

## 2 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Так как синтез современных методов моделирования динамических систем управления необходимо рассмотреть пример, на котором можно реализовать все выбранные методы, а также показать их практическое применение на решении конкретной задачи.

В качестве такой задачи было выбрано управление движением стержня, закреплённого на тележке с возможностью её перемещения. Модель системы будет описывать те управляющие воздействия, которые необходимо приложить к тележке для получения необходимой траектории движения конца стержня. Выбранный вид траектории движения – синусоида.

### 2.1 Постановка задачи

Задачей является управление движением стержня, закреплённого посредством цилиндрического шарнира к тележке массы  $m_1$ , совершающей прямолинейное движение вдоль горизонтальной оси  $Ox$  в вертикальной плоскости (рисунок 1.1). Ось шарнира проходит через точку  $O_1$  тележки. Стержень  $O_1A$  однородный, длиной  $2l$  и массы  $m_2$ , вращается вокруг оси шарнира под действием момента  $M$ .

Необходимо определить величину силы  $F$  и значений момента  $M$  (управляющие воздействия), под действием которых конец  $A$  стержня движется в плоскости  $Oxy$  по закону

$$x = a \cdot t, \quad y = \sin(kx)$$

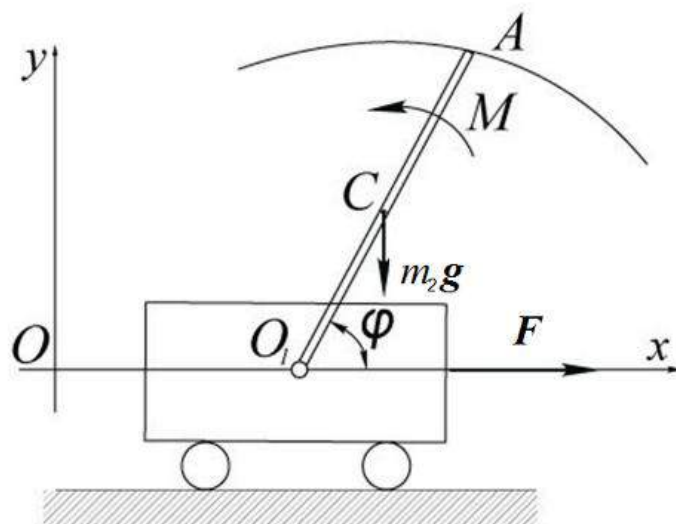


Рисунок 2.1 – Схема движения управляемого стержня

Исходные данные:

$$l = 1 \text{ м};$$

$$m_1 = 10 \text{ кг};$$

$$m_2 = 1 \text{ кг};$$

$$g = 9,83 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$$

## 2.2 Вычисление управляющих воздействий

Динамика системы описывается уравнениями (2.1) – (2.4) относительно обобщённых координат  $x$ ,  $\varphi$ , определяющих перемещение тележки  $x = OO_1$  и отклонение стержня от оси  $Ox$

$$\frac{dx}{dt} = v, \quad (2.1)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega, \quad (2.2)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{m_1 l \cos \varphi (4l\omega^2 - 3g \sin \varphi) + 4lF + 3 \sin \varphi M}{l(4m_1 + m_2(1 + 3\cos^2 \varphi))}, \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} = & \frac{3m_2\omega^2 \cos \varphi \sin \varphi}{(4m_1 + m_2(1 + 3\cos^2 \varphi))} - \frac{3 \cos \varphi (m_1 + m_2) g}{l(4m_1 + m_2(1 + 3\cos^2 \varphi))} + \\ & + \frac{3 \sin \varphi}{l(4m_1 + m_2(1 + 3\cos^2 \varphi))} F + \frac{3(m_1 + m_2)}{l(4m_1 + m_2(1 + 3\cos^2 \varphi))m_2 l^2} M. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Обозначим

$$\begin{aligned} X &= m_2 \cos \varphi (4l\omega^2 - 3g \sin \varphi) Z, \\ Y &= \frac{3Z}{l} \cos \varphi (m_2 l \omega^2 \sin \varphi - (m_1 + m_2) g), \\ Z &= \frac{1}{(4m_1 + m_2(1 + 3\cos^2 \varphi))}, \\ a_{11} &= 4Z, \quad a_{12} = \frac{3Z}{l} \sin \varphi, \\ a_{21} &= \frac{3Z}{l} \sin \varphi, \quad a_{22} = 3Z \frac{(m_1 + m_2)}{m_2 l^2}. \end{aligned}$$

Величины  $F$  и  $M$  в правых частях уравнений (2.1) – (2.4) являются управляющими воздействиями, которые должны обеспечить выполнение уравнений связей

$$g_1(x, \varphi, t) = 0, \quad g_2(x, \varphi, t) = 0.$$

Учитывая выражения координат  $x_A$ ,  $y_A$  конца  $A$  стержня через обобщённые координаты  $x$ ,  $\varphi$  системы, определим функции  $g_1$ ,  $g_2$

$$g_1 = x + 2l \cos \varphi - t, \quad g_2 = 2l \sin \varphi - \sin t$$

Перепишем уравнения (2.1) – (2.4) для получения системы (2.5)

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= v, & \frac{dv}{dt} &= X + a_{11}F(x, \varphi, v, \omega, t) + a_{12}M(x, \varphi, v, \omega, t), \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \omega, & \frac{d\omega}{dt} &= Y + a_{21}F(x, \varphi, v, \omega, t) + a_{22}M(x, \varphi, v, \omega, t).\end{aligned}\quad (2.5)$$

Принимая за уравнения возмущений связей системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (2.6)

$$\begin{aligned}\frac{dg_1}{dt} &= v_1, & \frac{dv_1}{dt} &= -k_{11}v_1 - k_{12}g_1, \\ \frac{dg_2}{dt} &= v_2, & \frac{dv_2}{dt} &= -k_{21}v_1 - k_{22}g_2, & k_{ij} > 0, & i, j = 1, 2,\end{aligned}\quad (2.6)$$

получим выражения управляющих воздействий  $F$ ,  $M$  (2.7) и (2.8)

$$F = \frac{B_1 \cdot m_1 + B_1 \cdot m_2 - B_2 \cdot m_2 \cdot \sin \varphi}{Z \cdot (4m_1 - 3m_2 \cdot \sin^2 \varphi + 4m_2)}, \quad (2.7)$$

$$M = \frac{l \cdot m_2 \cdot (4B_2 \cdot l - 3 \cdot B_1 \cdot \sin \varphi)}{3Z \cdot (4m_1 - 3m_2 \cdot \sin^2 \varphi + 4m_2)}. \quad (2.8)$$

где

$$B_1 = 2l\omega^2 \cos \varphi - X - k_{11}(v - 2l\omega \sin \varphi - l) - k_{12}(x + 2l \cos \varphi - t) + \frac{\sin \varphi}{\omega \cos \varphi} (2l\omega^2 \sin \varphi - \sin t - k_{21}(2l\omega \cos \varphi - \cos t) - k_{22}(2l \sin \varphi - \sin t)),$$

$$B_2 = \frac{l}{2l\omega \cos \varphi} (2l\omega^2 \sin \varphi - \sin t - k_{21}(2l\omega \cos \varphi - \cos t) - k_{22}(2l \sin \varphi - \sin t)) - Y.$$

### 2.3 Определение закона движения системы

Представим:

$$F = F(x, \varphi, v, \omega, t), \quad M = M(x, \varphi, v, \omega, t).$$

Для решения системы (2.5) при определенных значениях положительных коэффициентов  $k_{11}, k_{12}, k_{21}, k_{22}$  необходимо определить начальные условия.

Начальные условия определяются из равенств (2.9) – (2.12)

$$g_1(0) = x(0) + 2l \cos \varphi(0) - 0 = 0, \quad (2.9)$$

$$g_2(0) = 2l \sin \varphi(0) - \sin 0 = 0, \quad (2.10)$$

$$v_1(0) = v(0) - 2l\omega(0)\sin \varphi(0) - 1 = 0, \quad (2.11)$$

$$v_2(0) = 2l\omega(0)\cos \varphi(0) - \cos 0 = 0. \quad (2.12)$$

и равны соответственно:

$$\varphi(0) = 0, x(0) = -2l, \quad \omega(0) = \frac{1}{2l}, v(0) = 1.$$

Подставим в систему (2.5) положительные коэффициенты

$$k_{11} = 0, \quad k_{12} = 1, \quad k_{21} = 0,1, \quad k_{22} = 0,05$$

и исходные данные

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} = & 2\omega^2 \cos \varphi - 0,3v + 0,6\omega \sin \varphi + 0,3 - x - 2 \cos \varphi + t + \\ & + \frac{\sin \varphi}{\omega \cos \varphi} (2\omega^2 \sin \varphi - \sin t - 0,2\omega \cos \varphi + 0,1 \cos t - 0,1 \sin \varphi + 0,05 \sin t), \quad (2.13) \\ \frac{d\omega}{dt} = & \frac{2\omega^2 \sin \varphi - \sin t - 0,2\omega \cos \varphi + 0,1 \cos t - 0,1 \sin \varphi + \sin t}{2\omega \cos \varphi}. \end{aligned}$$

Далее необходимо решить полученную систему (2.13) численно при начальных условиях:

$$\varphi(0) = 0, \quad x(0) = -2l, \quad \omega(0) = \frac{1}{2l}, \quad v(0) = 0.$$

$$\begin{aligned} x &= t - 2 \cos \left( \arcsin \left( \frac{\sin t}{2} \right) \right), \\ \varphi &= \arcsin \left( \frac{\sin t}{2} \right). \end{aligned} \quad (2.14)$$

## 2.4 Построение визуальной модели

Решение задачи стабилизации связи зависит от выбора коэффициентов уравнений возмущений связей (2.6). При значениях выбранных коэффициентов  $k_{11}=0, k_{12}=1, k_{21}=0,1, k_{22}=0,05$  характеристическое уравнение системы (2.6) имеет корни  $\lambda_{1,2} = -0,15 \pm 0,9887i$ ,  $\lambda_{3,4} = -0,05 \pm 0,2179i$ , и тривиальное решение  $g_1 = g_2 = v_1 = v_2 = 0$  устойчиво асимптотически. На рисунках 2.2–2.4 представлены графики изменения переменных  $x = x(t)$ ,  $\varphi = \varphi(t)$  и фазовый портрет системы в осях  $(x, y)$ .

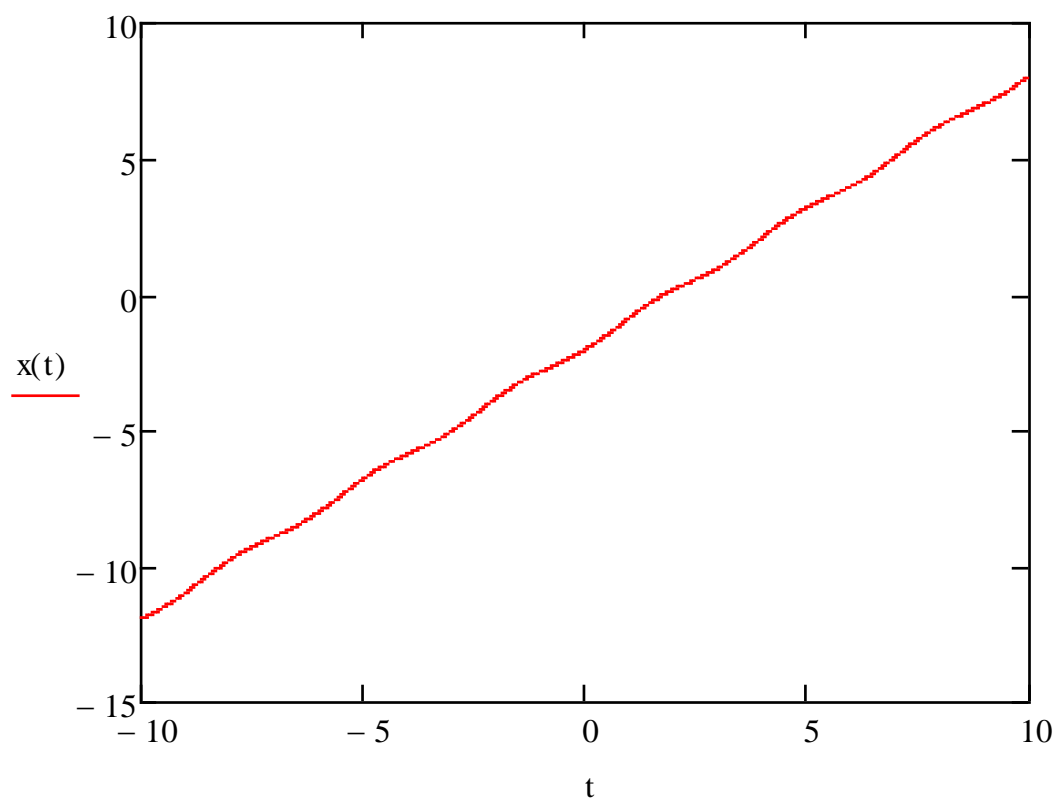


Рисунок 2.2 – График изменения переменной  $x = x(t)$

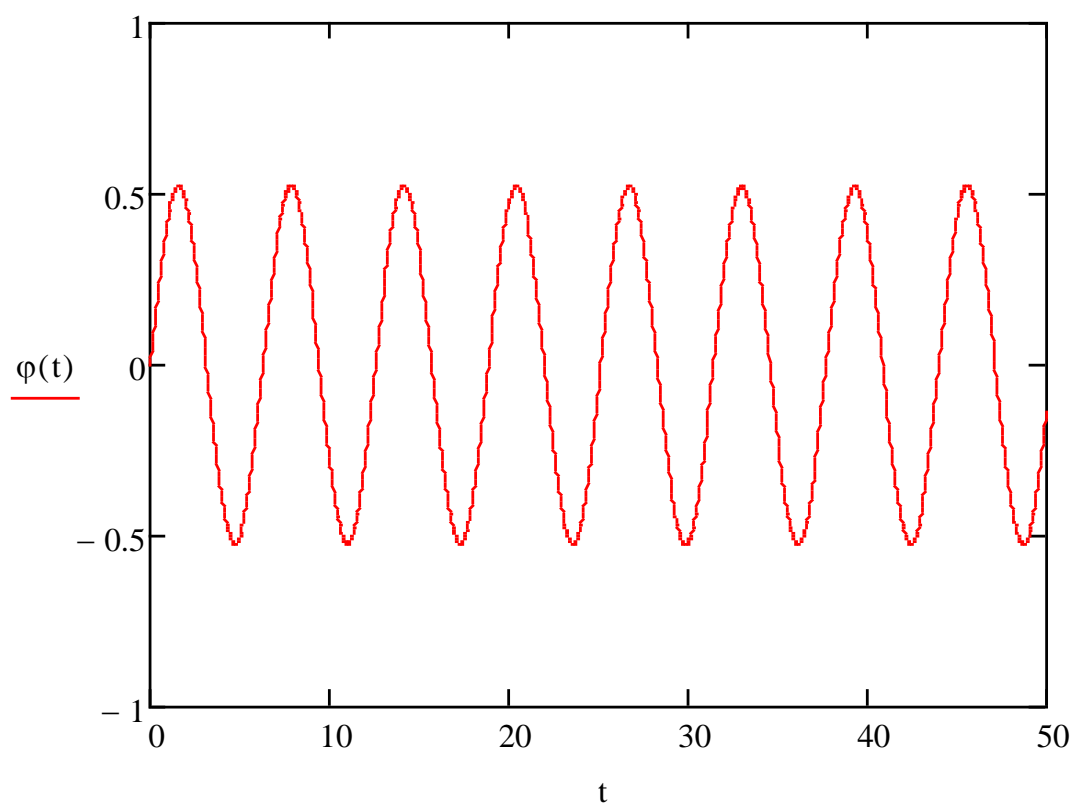


Рисунок 2.3 – График изменения переменной  $\varphi = \varphi(t)$

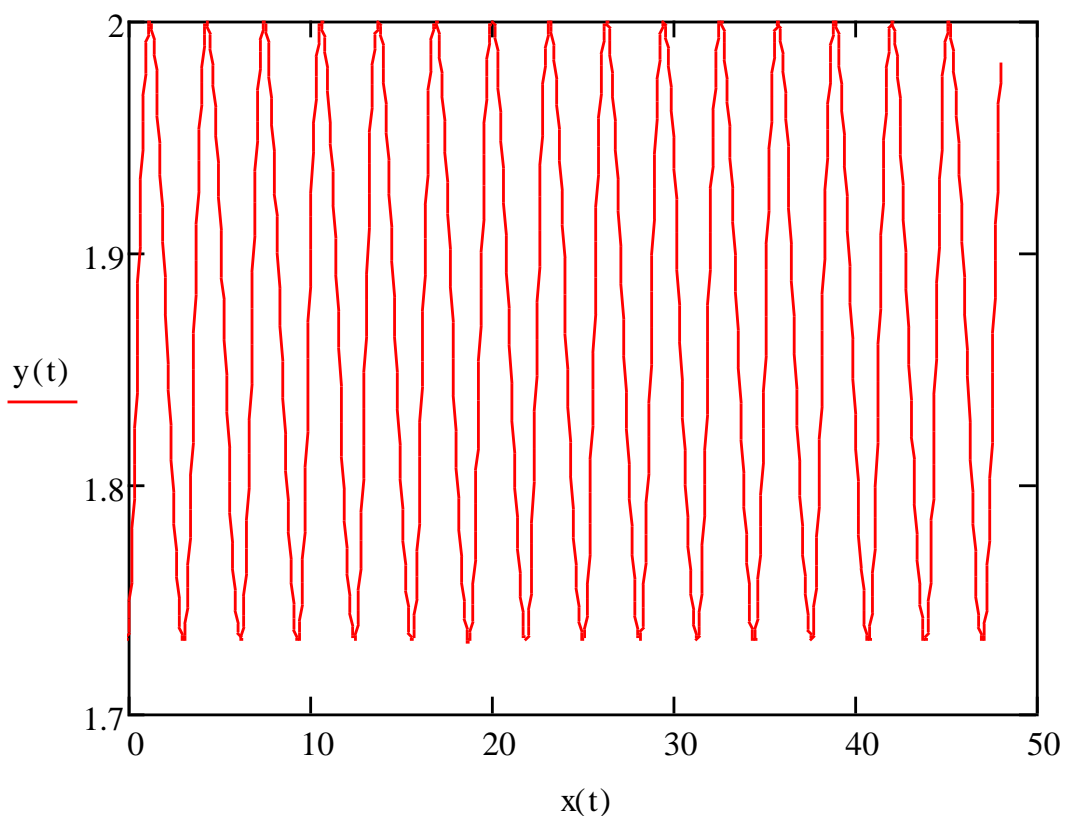


Рисунок 2.4 – Фазовый портрет системы в осях  $(x, y)$

Выводы по главе два:

Данная глава выпускной квалификационной работы посвящена процессу моделирования динамической системы управления. В ходе моделирования были определены управляющие воздействия, получен закон движения системы, а также выполнены задачи стабилизации связей моделируемой системы, также был получен фазовый портрет системы, показывающий, что управление системой осуществляется верно и в соответствии с поставленной целью описывания концом стержня синусоиды.

### 3 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

#### 3.1 Введение

В данном разделе описаны все затраты, которые были осуществлены при проведении моделирования динамической системы управления программными связями.

Целью данного раздела является определение всех затрат на проведение научно-исследовательской работы (далее – НИР), себестоимости, а также оценка её результативности. Для этого необходимо:

- провести расчёт материальных затрат;
- провести расчёт затрат на заработную плату;
- провести расчёт себестоимости дипломной работы;
- определить прибыль и договорную цену НИР;
- провести оценку научной результативности работы.

#### 3.2 Определение затрат, плановой себестоимости и цены

Затраты на материалы включают в себя затраты на электроэнергию и затраты на составление отчётной документации.

Затраты на материалы представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Затраты на материалы

Наименование	Единица измерения	Цена за единицу, руб.	Кол-во	Стоимость, руб.
Бумага для принтера, А4	упаковка	250,00	1	250,00
Краска для принтера	картридж	1000,00	0,5	500,00
Электроненергия	кВт·ч	2,50	312	780,00
Скоросшиватель	шт.	250,00	1	250,00
Итого:				1780,00

Затраты по статье «Накладные расходы» включают в себя 10% от суммы затрат статьи «Материалы» и составляют 178,00 руб.

При разработке программного продукта был использован стационарный компьютер стоимостью 30000 рублей с сроком службы 5 лет.

$$\frac{30000 \text{ руб.}}{5 \text{ лет}} \approx 16,43 \text{ руб. в день}$$

Амортизация компьютера за период разработки составит:

$$16,43 \text{ руб.} \cdot 39 \text{ день} = 640,77 \text{ руб.}$$

При расчёте основной заработной платы за разработку динамической системы была установлена средняя ставка 150 рублей в час, при средней зарплате младшего научного сотрудника – 25000 рублей в месяц.

Расчёт затрат на заработную плату на каждом этапе разработки программного продукта приведён в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Затраты на заработную плату

Этап	Трудоемкость	Сумма
1) Анализ задачи исследования	5 дней (40 часов)	6000,00 руб.
2) Постановка задачи	5 дней (40 часов)	6000,00 руб.
3) Расчёт параметров модели	15 дней (120 часов)	18000,00 руб.
4) Построение визуальной модели	10 дней (80 часов)	12000,00 руб.
5) Оформление ПЗ	4 дней (32 часов)	4800,00 руб.
Итого	39 день (312 часов)	46800,00 руб.

Учитывая налоговые отчисления 30,2% (22% + 2,9% + 5,1% + 0,2%) сумма заработной платы составит 60840,00 руб.

К дополнительной заработной плате (ДЗП) относятся выплаты за нетрудовое время: дежурные и дополнительные отпуска, исполнение государственных обязанностей, выплаты за выслугу лет и т. п. ДЗП для работников научных учреждений составляет 10 % от ОЗП и равно:

$$ДЗП = 46800 \cdot 0.1 = 4680 \text{ руб.}$$

Отчисления на фонд оплаты труда (далее – ФОТ) определяются по формуле 3.1:

$$\text{ФОТ} = \text{ОЗП} + \text{ДЗП} \quad (3.1)$$

и равен:

$$\text{ФОТ} = 60840 + 4680 = 65520 \text{руб.}$$

### 3.3 Определение себестоимости, договорной цены и прибыли

Расходы по всем статьям обобщим в таблице 3.3

Таблица 3.3 – Калькуляция плановой себестоимости

Статья затрат	Сумма, руб.
Материалы	1780,00
Накладные расходы	178,00
Амортизация оборудования	640,77
Заработная плата	65520,00
Итого:	68118,77

Договорная цена работы определяется по формуле 3.2

$$Ц = C + \frac{N_k \cdot \text{ФОТ} \cdot k_{\text{доп}}}{100}, \quad (3.2)$$

где  $C$  – плановая себестоимость НИР, руб.;

$N_k$  – нормативная рентабельность, %;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент, учитывающий зарплату обслуживающих и управленческих подразделений, который вычисляется как отношение ФОТ общего по организации ( $\text{ФОТ}_{\text{общ}}$ ) и ФОТ подразделений ( $\text{ФОТ}_{\text{нир}}$ ), участвующих в НИР ( $k_{\text{доп}}=1,1$ );

$N_k$  составляет 10 % от ФОТ.

$$\text{Тогда } Ц = 68118,77 + \frac{10 \cdot 65520 \cdot 1,1}{100} = 75325,97 \text{ руб.}$$

Запланированная прибыль вычисляется по формуле 3.3:

$$ЗП = Ц - С, \quad (3.3)$$

где  $Ц$  – договорная цена НИР, руб.;

$С$  – плановая себестоимость НИР, руб.

$$ЗП = 75325,97 - 68118,77 = 7207,2 \text{ руб.}$$

Налог на прибыль составляет 20 %,  $НП = 0,2 \times 7207,2 = 1441,44$  руб.

Тогда чистая прибыль с учетом налога будет равна:

$$ЧЗП - НП \quad (3.4)$$

$$ЧП = 7207,2 - 1441,44 = 5765,76 \text{ руб.}$$

Таким образом, запланировано получение прибыли в размере 5765,76 руб.

Выводы по главе три:

В выпускной квалификационной работе представлено экономическое обоснование НИР, которая посвящена моделированию динамической системы управления, в результате проведения расчетов установлена договорная цена НИР, которая составляет 75325,97 руб. Ожидается получение прибыли в размере 5765,8 руб.

## 4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В выпускной квалификационной работе осуществляется моделирование динамической системы управления программными связями и поэтому работа носит исключительно научно-исследовательский характер, в данной главе будет выполнен анализ опасных и вредных производственных факторов, воздействию которых может подвергаться исследователь, и описаны мероприятия, снижающие их воздействие на человека и окружающую среду.

### 4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

При работе с персональной электронной вычислительной машине (далее – ЭВМ) на человека оказывают воздействие следующие опасные и вредные производственные факторы (далее – ОВПФ) [9]:

1. ОВПФ физической группы:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышена или пониженная температура окружающей среды;
- статическое электричество;
- электромагнитное излучение;
- недостаточная освещенность рабочей зоны.

2. ОВПФ психофизиологической группы:

- физические перегрузки (статические);
- нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение; перенапряжение анализаторов; монотонность труда; эмоциональные перегрузки).

Источником шума в офисных помещениях часто являются механические устройства ЭВМ. Человек, работая при шуме, привыкает к нему, но продолжительное действие сильного шума вызывает общее утомление, может привести к ухудшению слуха, а иногда и к глухоте. Эти вредные последствия проявляются тем больше, чем сильнее шум и продолжительнее его воздействие.

Повышенная температура окружающего воздуха обусловлена нагревом вычислительной техники, другими долго работающими устройствами, что создает дискомфортную среду, вызывает нервное раздражение человека.

Основной причиной плохой освещенности рабочего места является недостаточное количество осветительных приборов, неправильная их ориентация и расположение.

Устройства визуального отображения информации (экраны дисплеев персональная ЭВМ, видео дисплейные терминалы (далее – ВДТ) выделяют рентгеновское, радиочастотное, видимое, ультрафиолетовое излучения, величина которых ниже безопасного уровня, но они являются вредными и опасными видами излучения для профессиональных программистов, операторов персональная ЭВМ.

Нервные перегрузки и быстрое утомление возникают из-за монотонного труда оператора, длительного сохранения статического напряжения мышц спины, рук, ног.

#### 4.2 Мероприятия по производственной санитарии

Мероприятия по производственной санитарии направлены на предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье человека вредных факторов производственной среды и трудового процесса при работе с персональным ЭВМ.

Требования к персональным ЭВМ.

Персональные ЭВМ должны соответствовать требованиям, содержащихся в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. В соответствии с этим нормативным документом:

- допустимые уровни звукового давления и уровней звука, создаваемых персональными ЭВМ, не должны превышать значений, представленных в таблице 4.1;

– временные допустимые уровни электромагнитных полей (далее – ЭМП), создаваемых персональным ЭВМ, не должны превышать значений, представленных в таблице 4.2;

– допустимые визуальные параметры устройств отображения информации представлены в таблице 4.3. Для дисплеев на электронно-лучевых трубках (далее – ЭЛТ) частота обновления изображения должна быть не менее 75 Гц при всех режимах разрешения экрана, гарантируемых нормативной документацией на конкретный тип дисплея, и не менее 60 Гц для дисплеев на плоских дискретных экранах (жидкокристаллических, плазменных и т.п.);

– концентрации вредных веществ, выделяемых персональных ЭВМ в воздух помещений, не должны превышать предельно допустимых концентраций (далее – ПДК), установленных для атмосферного воздуха;

– мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса ВДТ (на ЭЛТ) при любых положениях регулировочных устройств не должна превышать  $1 \text{ мкЗв} \cdot \text{час}^{-1}$  ( $100 \text{ мкР} \cdot \text{час}^{-1}$ );

– конструкция персональных ЭВМ должна обеспечивать возможность поворота корпуса в горизонтальной и вертикальной плоскости с фиксацией в заданном положении для обеспечения фронтального наблюдения экрана ВДТ; дизайн персональных ЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света; корпус персональных ЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства персональных ЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4–0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики;

– конструкция ВДТ должна предусматривать регулирование яркости и контрастности;

– документация на проектирование, изготовление и эксплуатацию персональных ЭВМ не должна противоречить требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 4.1 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого персональным ЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	25 Гц	50 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	50
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	

Таблица 4.2 – Временные допустимые уровни (далее – ВДУ) ЭМП, создаваемых персональным ЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц	25 В·м <sup>-1</sup>
	в диапазоне частот 2 кГц–400 кГц	2,5 В·м <sup>-1</sup>
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		15кВ·м <sup>-1</sup>

Таблица 4.3 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

N	Параметры	Допустимые значения
1	Яркость белого поля	Не менее 35 кд·м <sup>-2</sup>
2	Неравномерность яркости рабочего поля	Не более ± 20%
3	Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
4	Временная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение во времени яркости изображения на экране дисплея)	Не должна фиксироваться
5	Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренные изменения положения фрагментов изображения на экране)	Не более $2 \cdot 10^{-4}L$ , где L – проектное расстояние наблюдения, мм

Требования к помещениям для работы с персональным ЭВМ.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 помещения для работы с персональными ЭВМ должны удовлетворять ряду требований, перечисленных ниже.

Помещения для эксплуатации персональных ЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение. Эксплуатация персональных ЭВМ в помещениях без естественного освещения допускается только при соответствующем обосновании и наличии положительного санитарно-эпидемиологического заключения, выданного в установленном порядке.

Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Площадь на одно рабочее место пользователей персональных ЭВМ с ВДТ на базе ЭЛТ должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>, в помещениях культурно-развлекательных учреждений и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) – 4,5 м<sup>2</sup>.

При использовании персональных ЭВМ с ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств – принтер, сканер и др.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4 часов в день допускается минимальная площадь 4,5 м<sup>2</sup> на одно рабочее место пользователя.

Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены персональные ЭВМ, должны использоваться диффузно отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка – 0,7–0,8; для стен – 0,5–0,6; для пола – 0,3–0,5.

Полимерные материалы используются для внутренней отделки интерьера помещений с персональными ЭВМ при наличии санитарно-эпидемиологического заключения.

Помещения, где размещаются рабочие места с персональными ЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

Не следует размещать рабочие места с персональными ЭВМ вблизи силовых кабелей и вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе персональными ЭВМ.

Микроклимат на рабочих местах, оборудованных персональными ЭВМ.

В производственных помещениях, в которых работа с использованием персональных ЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б, представленные в таблице 4.4. К категории 1а относятся работы, производимые сидя и не требующие физического напряжения, при котором расход энергии составляет до 120 ккал·ч<sup>-1</sup>; к категории 1б относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением, при которых расход энергии составляет от 120 до 150 ккал·ч<sup>-1</sup>.

Таблица 4.4 – Оптимальные нормы микроклимата для помещений с персональными ЭВМ

Сезон года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м·с <sup>-1</sup>
Холодный и переходный	1а	22–24	40–60	0,1
	1б	21–23	40–60	0,1
Теплый	1а	23–25	40–60	0,1
	1б	22–24	40–60	0,1

Шум на рабочих местах, оборудованных персональными ЭВМ.

Уровень шума в помещении по ГОСТ 12.1003-91 в рабочей зоне не должен превышать 50 дБ.

Шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы и т.п.), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с персональными ЭВМ.

#### Освещение.

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

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации персональными ЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300–500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать прямую блёсткость 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>.

Следует ограничивать отраженную блёсткость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране персональными ЭВМ не должна превышать 40 кд·м<sup>-2</sup> и яркость потолка не должна превышать 200 кд·м<sup>-2</sup>.

Показатель ослеплённости для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд·м<sup>-2</sup>, защитный угол светильников должен быть не менее 40°.

Светильники местного освещения должны иметь непросвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40°.

Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя персональных ЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1–5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (далее – КЛЛ). При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенных.

Для освещения помещений с персональными ЭВМ следует применять светильники с зеркальными параболическими решетками, укомплектованными электронными пускорегулирующими аппаратами (далее – ЭПРА). Допускается использование многоламповых светильников с ЭПРА, состоящими из равного числа опережающих и отстающих ветвей.

Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

При отсутствии светильников с ЭПРА лампы многоламповых светильников или рядом расположенные светильники общего освещения следует включать на разные фазы трехфазной сети.

Общее освещение при использовании люминесцентных светильников следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении ВДТ. При периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.

Коэффициент запаса (далее – КЗ) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4.

Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования персональных ЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Уровень электромагнитных излучений.

Нормирование ЭМП радиочастот осуществляется по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Предельно допустимая напряженность на рабочем месте не должна превышать нормированных значений (см. таблицу 4.2).

Для предотвращения облучения оператор должен находиться на расстоянии не менее 30 см от экрана монитора.

#### 4.3 Эргономика и производственная эстетика

Эргономические требования, предъявляемые не только к конструкции, изделию, но и к организации рабочего места с точки зрения соответствия его антропологическим и физиологическим свойствам человека. Рабочее место спроектировано так, чтобы выполнение трудовых действий осуществлялось в рациональных рабочих положениях, учитывающих величину физической нагрузки при работе, необходимость ведения записей в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Необходимо выполнение следующих требований, предъявляемых к рабочему месту:

1. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680–800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

2. Модульными размерами рабочей поверхности стола для персональных ЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

3. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

4. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сидения не менее 400 мм;
- поверхность сидения с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сидения в пределах 400–550 мм и углам 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  $\pm 30^\circ$ ;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сидения в пределах 260–400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной – 50–70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сидением в пределах  $230 \pm 30$  мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350–500 мм.

5. Рабочее место пользователя персональными ЭВМ следует оборудовать 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.

6. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100–300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

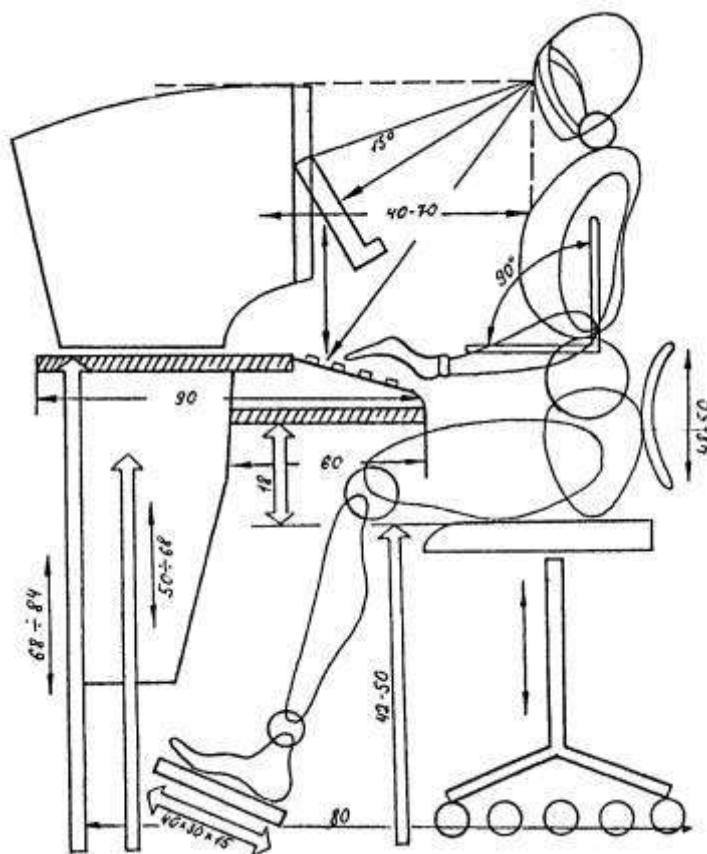


Рисунок 4.1 – Рекомендуемая схема организации рабочих мест с ЭВМ

#### 4.4 Электробезопасность рабочих мест

Для предотвращения образования статического электричества в помещениях необходимо использовать нейтрализаторы и увлажнители воздуха; полы должны иметь антистатическое покрытие. Допустимый уровень напряженности электростатического поля в помещениях не должен превышать  $15 \text{ кВ} \cdot \text{м}^{-1}$ .

По типу защиты от поражения электрическим током оргтехника подразделяются на два класса:

- монитор относится ко второму классу, как имеющий изоляцию и не имеющий элемента для присоединения нулевого защитного проводника;
- вся остальная техника относится к первому классу, как имеющая рабочую изоляцию и элемент для присоединения нулевого защитного проводника.

Вычислительную технику обязательно необходимо «занулять», чтобы предупредить поражение электрическим током от замыкания на корпус.

Корпус компьютера должен быть закрыт, чтобы предотвратить случайный доступ оператора к токоведущим частям.

#### 4.5 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность, согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность», предусматривает такое состояние объекта, при котором исключается возможность возникновения пожара, а в случае его возникновения предотвращается защита материальных ценностей. Основными направлениями пожарной охраны являются профилактические мероприятия, направленные на предупреждение пожаров и ограничение их размеров [10].

Требуемый уровень обеспечения пожарной безопасности людей с помощью указанных систем должен быть не менее 0,999999 предотвращения воздействия опасных факторов в год в расчете на каждого человека, а допустимый уровень пожарной опасности для людей должен быть не более  $10^{-6}$  воздействия опасных факторов пожара, превышающих предельно допустимые значения, в год в расчете на каждого человека.

Причинами возникновения пожара могут быть небрежности в обращении с огнем, неисправность электрических цепей и приборов, нарушение правил пожарной безопасности. Для предотвращения пожара необходимо соблюдать следующие правила на рабочем месте:

- не оставлять без присмотра включенные электроприборы;
- не допускать неисправностей в электропроводке;
- не допускать нагрузки электропроводки выше нормы;
- курить строго в отведенных для этого местах;
- не загромождать проходы, не захламлять помещение легковоспламеняющимися материалами;

- не загроаживать вентиляционные отверстия мониторов, держать и подалыше от источников тепла.

В случае возникновения пожара необходимо:

- немедленно сообщить о случившемся в пожарную часть;
- принять меры для эвакуации людей и ценного имущества;
- пользуясь имеющими средствами пожаротушения приступить к локализации очага возгорания и его тушению, в случае возгорания изоляции электропроводки необходимо до начала тушения отключить питающее напряжение.

Каждое производственное помещение оснащено первичными средствами пожаротушения, в качестве которых могут выступать: вода, песок, химические пенные огнетушители ОХП-10, ОХВП-10, углекислотные огнетушители ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 (углекислотными огнетушителями отдается предпочтение в помещениях вычислительных центров). Могут быть установлены системы автоматической пожарной сигнализации и автоматического пожаротушения. Регулярно должны проводиться ознакомительные беседы и занятия по пожарной безопасности.

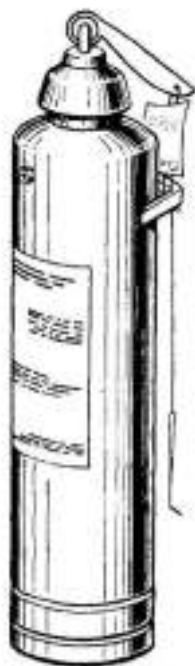


Рисунок 4.2 – Огнетушитель ОХП-10

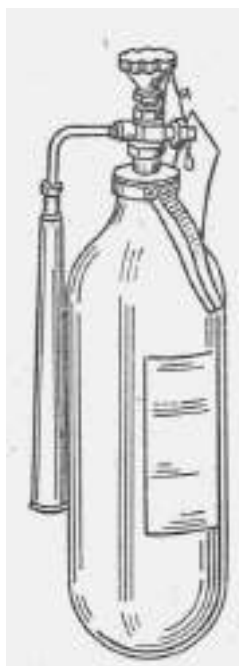


Рисунок 4.3 – Огнетушитель ОУ-2

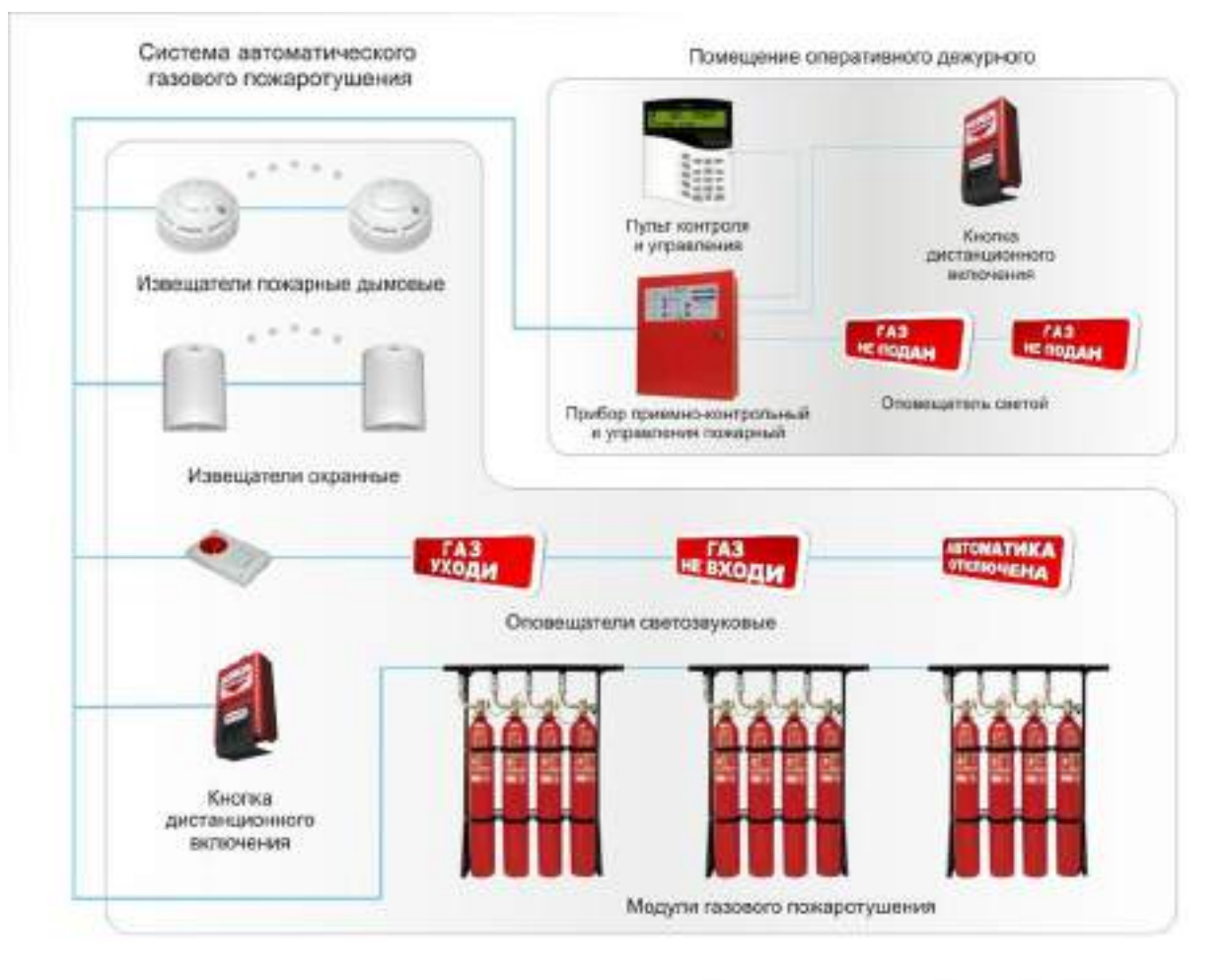


Рисунок 4.4 – Схема системы автоматического пожаротушения

Выводы по главе четыре:

Проведя анализ ОВПФ, воздействию которых может подвергаться исследователь, можно сделать вывод о том, что во время исследования необходимо учитывать довольно большое количество параметров, влияющих на здоровье и проявляющихся как при краткосрочном, так и в долгосрочном воздействии.

При проведении исследования были учтены все ОВПФ, а также был проведён ряд мероприятий для минимизации их влияния на организм исследователя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были рассмотрены теоретические сведения о моделировании динамических систем, было проанализировано состояние исследований, а также методы по моделированию динамических систем как классические, так и современные. На основе анализа состояния исследований были выбраны методы, отвечающие современным требованиям моделирования динамических систем.

Был произведён расчёт управляющих воздействий, определены уравнения движения системы, а также учтена и решена задача стабилизации связей.

В результате была смоделирована динамическая система управления роботом с закреплённым стержнем, позволяющая получить заданную траекторию движения конца стержня – синусоиду.

Работа носит исследовательский характер, полученные результаты могут использоваться при разработке управления движением мобильных платформ. Предложенные в работе теоретико-механические численные модели представляют самостоятельную ценность. Также результаты работы могут быть использованы:

- при решении задач управления движением на этапах проектирования систем управления;
- в высших учебных заведениях в составе курсов математического моделирования, теории управления, численных методах и теоретической механике.

Подобные исследования находят применение во многих направлениях таких как робототехника, транспорт, ракетно-авиационное производство.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Виттенбург, Й. Динамика систем твердых тел /Й. Виттенбург. – М.: Мир, 1980. – 292 с.
- 2 Носов, М. А. Лекции по теории турбулентности / М. А. Носов. М.: Янус-К, 2013. – 161 с.
- 3 Леви-Чивита, Т. Курс теоретической механики / Т. Леви-Чивита, У. М.Амальди. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1951. Т. 2. Ч. 1. 555 с.
- 4 Харламов П.В. Об инвариантных соотношениях системы дифференциальных уравнений // Механика твердого тела. 1974. Вып. 6. С. 15–24.
- 5 Еругин Н.П. Построение всего множества систем дифференциальных уравнений, имеющих заданную интегральную кривую // ПММ. 1952. Т. 21. № 6. С. 659–670.
- 6 Мухарлямов, Р.Г. Стабилизация движений механических систем на заданных многообразиях фазового пространства / Р. Г. Мухарлямов // ПММ – 2006. – Т. 70, № 2. – С. 236–249.
- 7 Мухарлямов, Р.Г. Моделирование динамических процессов различной природы / Р.Г Мухарлямов// Проблемы аналитической механики и теории устойчивости: сборник трудов, посвященный памяти академика В.В. Румянцева. М.: Наука – 2009. – С. 310–324.
- 8 Мухаметзянов, И.А. Построение множества уравнений регуляторов для квазиинвариантной стабилизации преследующего движения манипулятора / И. А. Мухаметзянов// Изв. РАН. Сер.: Механика твердого тела. – 2009. – № 2. – С. 41–46.
- 9 Тлеубергенов, М.И. О решении стохастической задачи замыкания методом проектирования / М. И. Тлеубергенов// Вестник РУДН. Сер.: Математика. Информатика. Физика. 2009. № 2. С. 78–89.
- 10 ГОСТ 12.0.003–74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М. Изд-во стандартов, 2004. – 4 с.
- 11 ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2006. – 68 с.

12 Филиппов, А. Ф. Введение в теорию дифференциальных уравнений / А. Ф. Филиппов. — М.: Эдиториал УРСС, 2007. — Изд. 2-е. — 240 с.

13 Лисицкий, Д. Л. Выбор структуры системы автоматического управления траекторным движением мобильного робота / Д. Л. Лисицкий // Вестник СГТУ — 2009. — №4. — С. 108–110

14 СТО ЮУрГУ 04-2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. — 56 с.

15 Чистяков, В. Ф. Избранные главы теории алгебро-дифференциальных систем / В. Ф. Чистяков, А. А. Щеглова. Новосибирск: Наука, 2003. — 234 с.

16 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. — М.: Изд-во стандартов, 2003. — 42 с.

17 Зацепин, М. Ф. Уравнения Лагранжа, Воронца, Чаплыгина в задачах динамики мобильных роботов: методическое пособие / М. Ф. Зацепин, Ю. Г. Мартыненко, Д. В. Тинько. М.: Издательство МЭИ, 2005. — 32 с.

18 Соколов, А. В. Исследование условий асимптотической устойчивости движения управляемого электромеханического манипулятора / А. В. Соколов // Проблемы механики и процессов управления. Межвуз. сборник. Пермь, 2004, — №.36. — С. 212.

19 Baumgarte, J. Stabilization of constraints and integrals of motion in dynamical systems // Comp. Meth. Appl. Mech. Eng. — 1972. — V. 1, №1. — P. 1–16.

20 Layton, R.A. Principles of Analytical System Dynamics / R.A. Layton. — New-York: Springer, 1998. — 158 p.

21 Meiser, P. Electromechanical Interactions in Multibody Systems Containing Electromechanical Drives / P. Meiser, O. Enge, H. Freudenberg, G. Kielau // Multibody System Dynamics — 1997. — №1. — P. 281–302.

22Ascher, U.M. Stabilization of constrained Mechanical systems with DAEs and invariant manifolds /U.M.Ascher, Hongsheng Chin, L.R. Petzold, S.Reich et al. // J. Mechanics of Structures and Machines – 1995. –V. 23, №1 – P. 135–158.

23 Layton, R.A. Differential-Algebraic Equations of Dynamical Systems / R.A. Layton. – Springer. – 2001. – 159 p.