

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)**

---

Кафедра «Управление и информатика в технических системах»

Е. В. Ерофеев

**Системы автоведения поездов**

Рекомендовано редакционно – издательским советом университета в  
качестве методических указаний к курсовому проекту

для студентов специальности  
«Управление и информатика в технических системах»

МОСКВА – 2007

УДК 681. 325. 5  
Е-76

Ерофеев Е. В. Системы автоведения поездов. Методические указания к курсовому проекту. - М.: МИИТ, 2007. - 16 с.

В методических указаниях излагается методика выбора структуры системы автоведения поездов, распределения функций между уровнями, анализа качества управления с помощью имитационного моделирования.

© Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), 2007

Учебно-методическое издание

Ерофеев Евгений Васильевич

## **Системы автоведения поездов**

- Методические указания к курсовому проекту  
для студентов специальности  
«Управление и информатика в технических системах»

---

Подписано в печать 25.10.07 Формат 60x84/16 Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. - 1,0. Заказ 570. Изд. № 74 - 07

127994, Москва, ул. Образцова, 15.

Типография МИИТа.

## 1. Цель проекта

Целью курсового проектирования является изучение принципов построения систем автоведения поездов, включая: выбор структурной схемы, распределение функций между уровнями, законы управления регуляторов времени хода, анализ качества управления с помощью имитационного моделирования.

## 2. Теоретическая часть проекта

Система автоведения поездов (САВП) [1] предназначена для автоматизации процесса управления движением поездов, включая:

- определения времен стоянок поездов на станциях  $T_c$ ;
- определения времен хода поездов по перегонам  $T_x$ ;
- выбор режимов ведения поездов с целью выполнения заданного времени хода по перегону  $T_x$  (регулятор времени хода);
- слежение за непревышением допустимых скоростей и подтормаживания в случае необходимости;
- прицельное торможение на станциях для остановки поезда;
- отправления поездов со станций;
- открытие и закрытие дверей поездов в метро;
- информирование машиниста о режимах работы системы;
- информирование пассажиров в метро.

Системы автоведения поездов бывают автономные и централизованные. Централизованные САВП, как правило, имеют три уровня иерархии: центральный пост управления (ЦПУ), станционные устройства (СУ), поездные устройства (ПУ). Распределение функций управления между уровнями системы может быть различным. Часть функций закрепляется за определенными уровнями, а некоторые функции могут выполняться разными уровнями. Например, хранение планового графика движения, регистрация исполненного графика, определение  $T_c$ ,  $T_x$  реализуется всегда центральным постом управления. Регулятор времени хода может быть на ЦПУ, или на СУ, или на ПУ. В зависимости от его расположения изменяется передаваемая информация между уровнями САВП.

На рисунке 1 для примера представлена функциональная схема централизованной системы автоведения поездов метрополитена с законом управления регулятора времени хода (РВХ) по времени

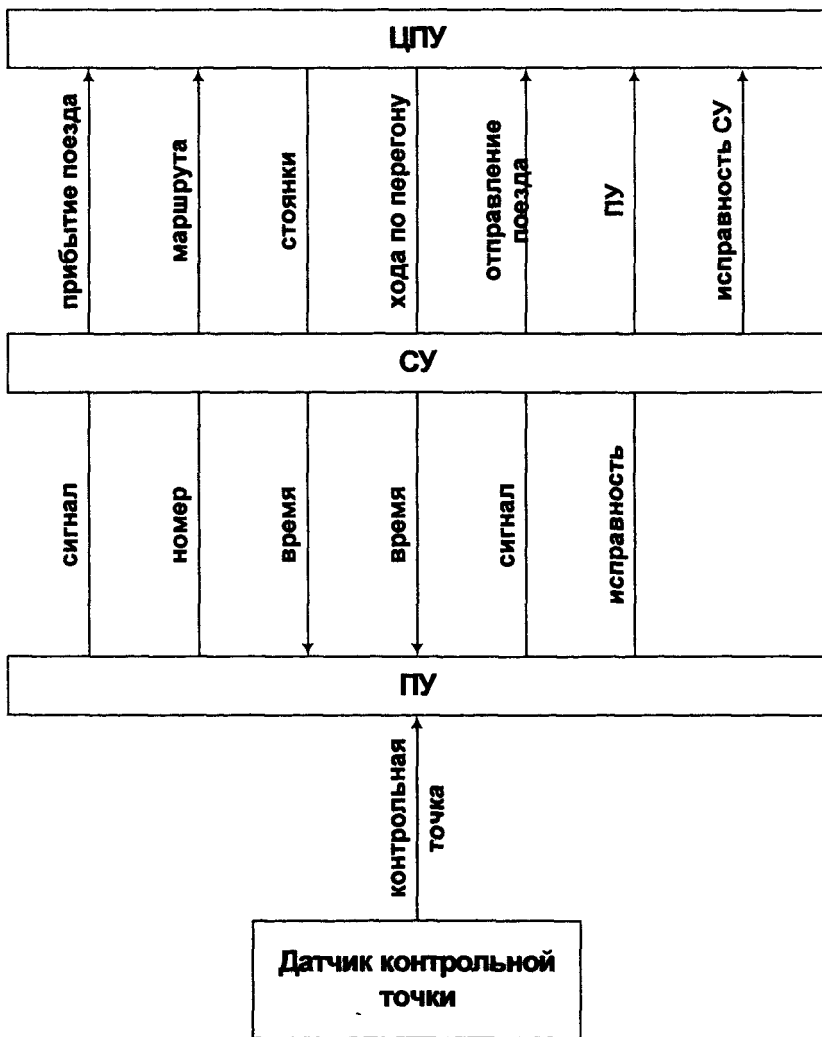


Рисунок 1. Функциональная схема САВПМ

дополнительного движения под тягой  $T_{dm}$  в зависимости от оставшегося времени хода по перегону  $T_{dm}(T_{oc})$  с размещением РВХ на поездном устройстве.

Центральный пост управления определяет плановое время стоянки  $T_c^П$  и время хода по перегону  $T_x^П$  по сигналу прибытия поезда на станцию и номера маршрута, поступающих с поездного устройства. Информация о времени хода и стоянки передается через станционное устройство на поездное устройство. Во время отправления поезда вычисляется заданное время хода по перегону

$$T_x^3 = T_x^П + (T_c^П - T_c^Ф) \quad (1)$$

где  $T_c^Ф$  - фактическое время стоянки поезда на станции.

Регулятор времени хода в рассматриваемом примере, расположенный на поездном устройстве, работает по закону  $T_{\text{от}}(T_{\text{ос}})$ . Для реализации данного закона управления необходим датчик контрольной точки. В момент прохождения контрольной точки регулятор времени хода вычисляет оставшееся время хода поезда до конца перегона

$$T_{\text{ос}} = T_x^3 - T_{\text{кт}}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{кт}}$  - время хода поезда до контрольной точки.

По зависимости  $T_{\text{от}}(T_{\text{ос}})$ , хранящейся в памяти РВХ, регулятор времени хода вычисляет время дополнительного движения в режиме тяги  $T_{\text{от}}$ . Через время, равное  $T_{\text{от}}$ , регулятор времени хода подает команду на выключение тяговых двигателей. Далее движение поезда осуществляется на выбеге до начала прицельного торможения. На рисунке 2 представлена временная диаграмма работы САВПМ по рассматриваемому закону управления.

### 3. Задание на курсовой проект

1. Выбрать длину и профиль перегона, на котором потребовалось бы сделать два включения тяговых двигателей.
2. Выбрать координаты первого выключения тяговых двигателей  $S_{\text{вык } 1}$ , второго включения тяговых двигателей и по программе «Исследование качества управления регуляторов времени хода системы автоведения поездов»

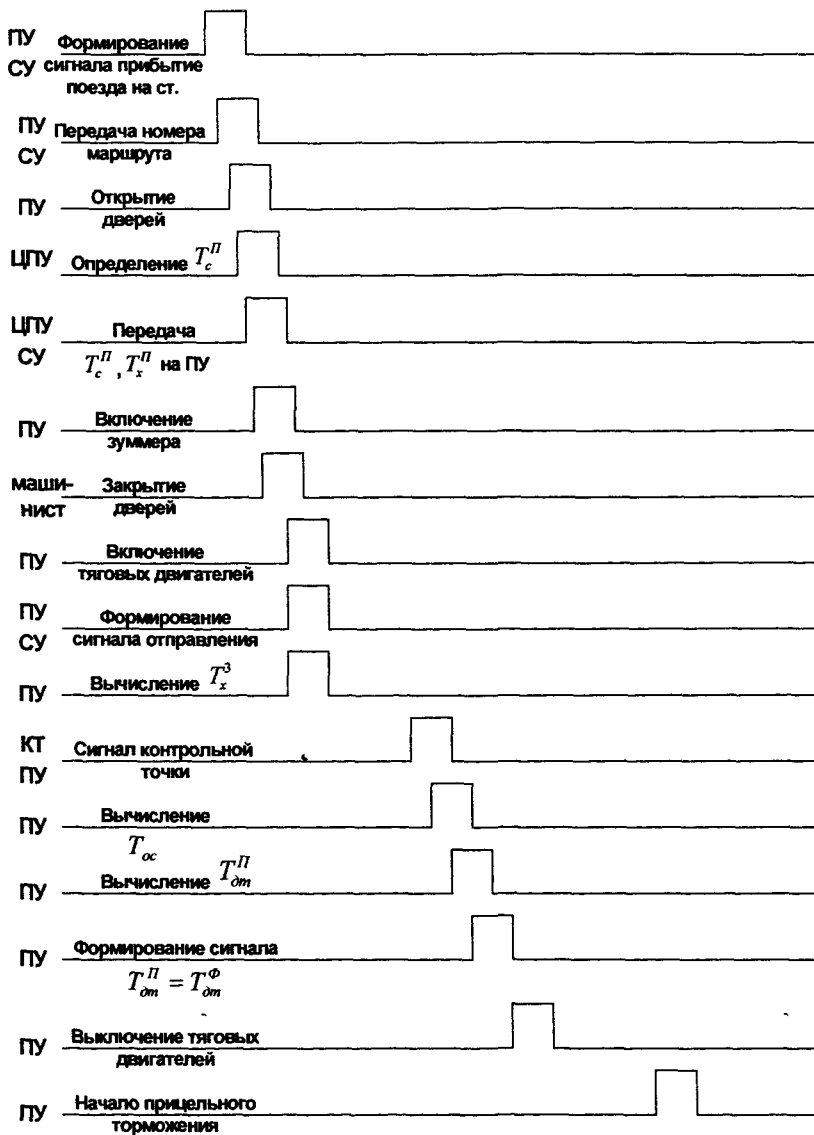


Рисунок 2. Временная диаграмма работы САВПМ.

- [2] провести расчеты для определения пяти времен хода по перегону при программной загрузке вагона, заданной в таблице 1,  $U = 800 \text{ В}$ ,  $K = 1$ . Распечатать параметры движения поезда по перегону.
3. По результатам расчета построить на одном рисунке пять траекторий движения поезда  $V(S)$ .
  4. Разработать функциональную схему централизованной системы автоведения поездов метрополитена на перегоне с двумя включениями тяговых двигателей для вариантов согласно таблицы 1. Составить описание работы системы.
  5. Представить временную диаграмму работы централизованной системы автоведения поездов метрополитена на перегоне с двумя включениями тяговых двигателей.
  6. Разработать блок-схему и описание модели для исследования качества управления регуляторов времени хода САВГМ на перегонах с двумя включениями тяговых двигателей.
  7. Внести изменения в программу «Исследование качества управления регуляторов времени хода систем автоведения поездов» для того чтобы можно было исследовать РВХ на перегонах с двумя включениями тяговых двигателей.
  8. Провести исследование качества управления регулятора времени хода САВГМ, заданного в таблице 1, на перегоне с двумя включениями тяговых двигателей при коэффициентах учета основного сопротивления движения поезда  $K = 1$ ,  $K = 0,8$ ,  $K = 1,2$ . Ошибки управления представить в виде таблицы.
  9. На одном рисунке построить зависимости одного из законов управления  $S_m(T_x)$ ,  $T_m(T_x)$ ,  $V_{om}(T_x)$ ,  $V_c(T_x)$ , согласно таблицы 1 при  $K = 0,8$ ,  $K = 1$ ,  $K = 1,2$ .
  10. По результатам исследования сделать выводы.

Таблица 1 – Варианты заданий на курсовой проект

№ варианта	Программная загрузка вагона, т	Закон управления регулятора времени хода	Место распределения регулятора времени хода
1	5	$S_m(T_x)$	ЦПУ
2	6	$S_m(T_x)$	СУ
3	7	$S_m(T_x)$	ПУ
4	8	$T_m(T_x)$	ЦПУ
5	9	$T_m(T_x)$	СУ
6	10	$T_m(T_x)$	ПУ
7	11	$V_{om}(T_x)$	ЦПУ
8	12	$V_{om}(T_x)$	СУ
9	13	$V_{om}(T_x)$	ПУ
10	14	$V_c(T_x)$	ЦПУ
11	15	$V_c(T_x)$	СУ
12	5	$V_c(T_x)$	ПУ
13	6	$S_m(T_x)$	ЦПУ
14	7	$S_m(T_x)$	СУ
15	8	$S_m(T_x)$	ПУ
16	9	$T_m(T_x)$	ЦПУ
17	10	$T_m(T_x)$	СУ
18	11	$T_m(T_x)$	ПУ
19	12	$V_{om}(T_x)$	ЦПУ
20	13	$V_{om}(T_x)$	СУ
21	14	$V_{om}(T_x)$	ПУ
22	15	$V_c(T_x)$	ЦПУ



23	5	$V_c(T_x)$	СУ
24	6	$V_c(T_x)$	ПУ
25	7	$S_m(T_x)$	ЦПУ
26	8	$S_m(T_x)$	СУ
27	9	$T_m(T_x)$	ЦПУ
28	10	$T_m(T_x)$	СУ
29	11	$V_{om}(T_x)$	ЦПУ
30	12	$V_{om}(T_x)$	СУ

Принятые в таблице 1 обозначения: ЦПУ – центральный пост управления, СУ – станционное устройство, ПУ – поездное устройство.

#### 4. Модель для исследования качества управления регуляторов времени хода

На рисунке 3 представлена модульная блок – схема модели для исследования качества управления регуляторов времени хода САВПМ.

В модуле 1 задаются параметры перегона, выбранные студентом.

В модуле 2 задаются программные параметры движения поезда:

- программная загрузка вагона пассажирами;
- программное напряжение на контактном рельсе, принятое 800 В;
- коэффициент учета основного сопротивления, принятый 1;
- выбранная студентом координата 1 – го выключения тяговых двигателей;
- координата 2 – ого включения тяговых двигателей;
- координата контрольной точки;
- шаг интегрирования в режиме тяги, принятый 1 м;
- шаг интегрирования в режиме выбега, принятый 10 м;
- автоматический вариант управления движением;
- количество включений тяги - два.

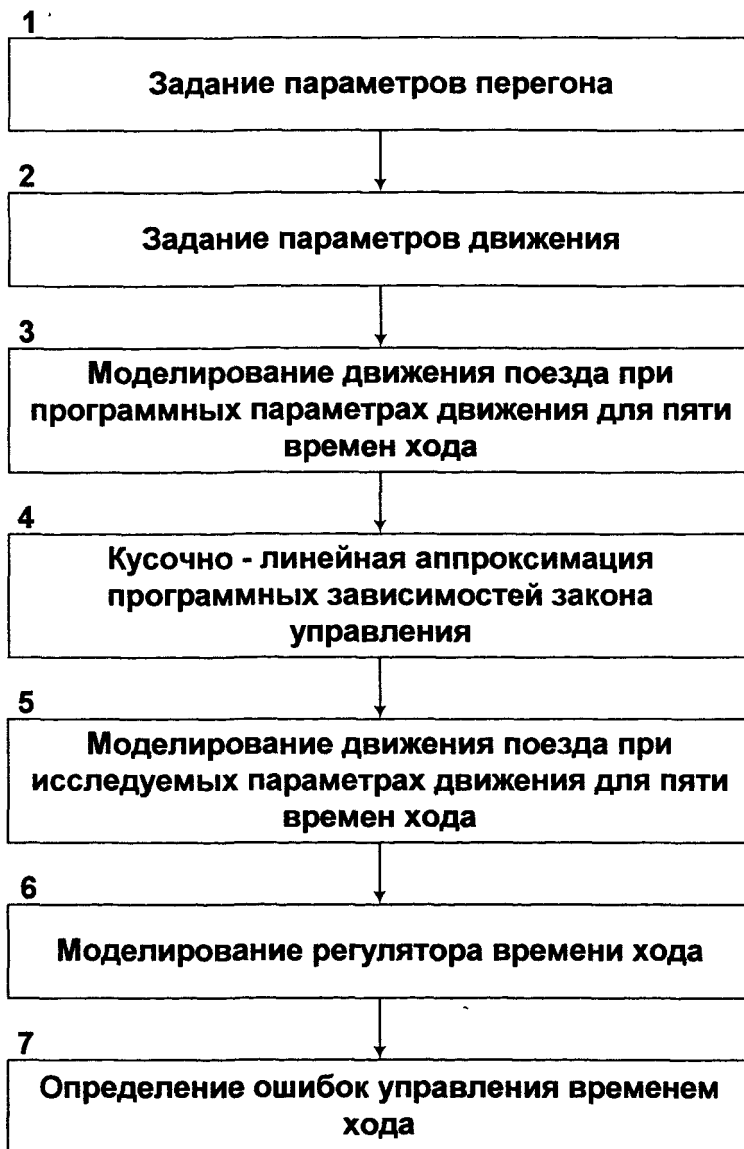


Рисунок 3. Модульная блок - схема модели.

В модуле 3 приводится моделирование движения поезда по перегону для программных параметров движения, заданных в модуле 2, для пяти времен хода.

В модуле 4 после завершения моделирования движения поезда для 5 времен хода производится кусочно – линейная аппроксимация следующих программных зависимостей законов управления регуляторов времени:  $S_m(T_x)$ ,  $T_m(T_x)$ ,  $V_{от}(T_x)$ ,  $V_c(T_x)$ .

Для перегона с двумя включениями тяговых двигателей эти зависимости определяются для движения при втором включении тяговых двигателей.

Далее, как в модуле 2, задаются исследуемые параметры движения поезда. В курсовом проекте исследуется влияние изменения основного сопротивления движению поезда на качество управления регулятора времени хода. Для этого вводится коэффициент  $K$ , который можно изменять

$$W_0 = KW_{op} \quad (3)$$

где  $W_0$  - основное сопротивление движению поезда, принятое при моделировании;

$W_{op}$  - расчетное значение основного сопротивления движению поезда, которое определяется по следующим формулам:

в режиме тяги

$$W_{op} = 1,1 + 0,0092 \frac{S_{эн} \cdot V^2}{2(m_g + m_n)n_g} \quad (4)$$

в режиме выбега

$$W_{op} = 1 + \frac{26}{2(m_g + m_n)} + 0,01 V + 0,0092 \frac{S_{эн} \cdot V^2}{2(m_g + m_n)n_g} \quad (5)$$

где  $m_g$  - масса тары вагона, которая принимается равной 33,5 т;

$m_n$  - масса загрузки вагона пассажирами;

$n_g$  - число вагонов в поезде, принимаем равное 7;

$S_{эн}$  - площадь эквивалентной поверхности состава, для 7 вагонов

$$S_{эн} = 47 \text{ м}^2.$$

В модуле 5 производится моделирование движения поезда при исследуемых параметрах движения для пяти времен хода согласно модели [2].

В модуле 6 производится моделирование регулятора времени хода по заданному закону управления.

В модуле 7 определяются ошибки управления временем хода в связи с изменением основного сопротивления движению поезда. Рассчитываются максимальная, средняя, средняя квадратичные ошибки управления временем хода [2].

На рисунке 4 представлена модульная блок – схема регулятора времени хода. Регулятор времени хода предназначен для выбора режимов ведения поезда с целью выполнения заданного времени хода. В зависимости от числа включений тяговых двигателей на перегоне алгоритм регулятора времени хода изменяется (модуль 1). На перегоне с двумя включениями тяговых двигателей регулятор времени хода определяет момент первого выключения двигателей (модуль 2) и момент второго включения двигателей (модуль 3), сравнивая текущий путь с программными значениями.

В модуле 4 рассчитывается программное значение параметра управления регулятора времени хода  $V_n(T_x)$  для заданного времени хода  $T_x$  по исследуемому закону управления.

В модуле 5 определяется текущее значение параметра управления регулятора  $V_m$  на данном шаге, это или путь  $S_{m2}$ , или скорость  $V_{am2}$ , или текущее время  $T_{m2}$  в режиме второй тяги. Для закона управления  $V_c(T_x)$  требуется рассчитать среднюю скорость

$$V_c = (S_{m1} + S_{m2}) / (T_{m1} + T_{m2}) \quad (6)$$

В модуле 6 сравнивается текущее значение параметра управления  $V_m$  с программным значением  $V_n$ . Если выполняется условие  $V_m \geq V_n$ , то производится выключение тяговых двигателей.

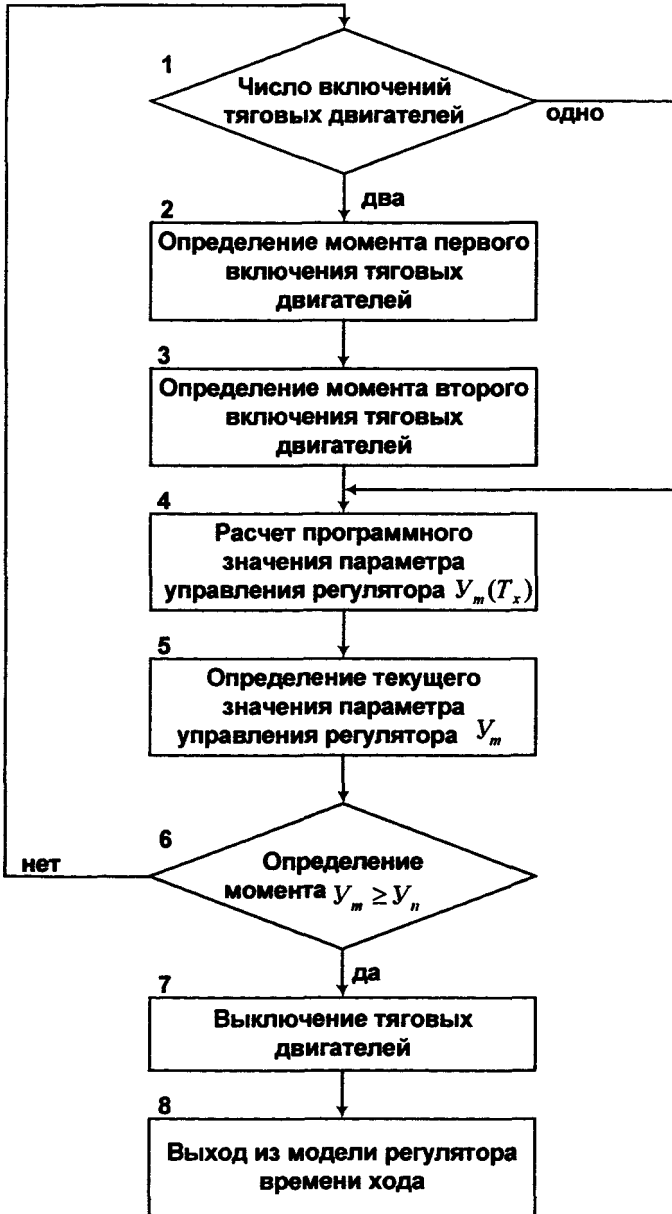


Рисунок 4. Модульная блок – схема регулятора времени хода.

## 5. Содержание документации по курсовому проекту

1. Введение.
2. Содержание.
3. Траектории движения поезда для пяти времен хода с указанием выбранного профиля пути (на одном рисунке).
4. Параметры движения поезда для пяти вариантов времени хода в виде таблицы.
5. Функциональная схема централизованной системы автоведения поездов метрополитена с описанием работы.
6. Временная диаграмма работы системы автоведения поездов на перегоне с двумя включениями тяговых двигателей.
7. Блок – схема модели для исследования качества управления регулятора времени хода САВПМ на перегонах с двумя включениями тяговых двигателей.
8. Фрагмент программы, где были внесены изменения.
9. Результаты исследования качества управления регулятора времени хода САВПМ при изменении основного сопротивления движению поезда в виде таблицы ошибок управления.
10. Зависимость закона управления согласно таблицы 1 при  $K = 0,8$ ,  $K = 1$ ,  $K = 1,2$ .
11. Заключение.

## 6. Инструкция по внесению изменений в программу исследования законов управления временем хода

Программа исследования законов управления временем хода состоит из нескольких блоков (модулей). Каждый из блоков написан на языке программирования TURBO PASCAL и хранится в отдельном файле с расширением PAS.

Модуль модели движения поезда находится в файле LABORANT.PAS.

В тексте программы этого модуля необходимо сделать следующие изменения:

- 1) В файле LABORANT.PAS в конце программы нужно добавить строчку с текстом:

FlagOneOn:=false.

Эта строчка нужна для того, чтобы после каждого расчета траекторий не приходилось менять количество включений тяги в пункте “задание параметров движения”.

Часть программы после изменения будет следующей:

```
end;  
FlagOneOn:=false;  
End;  
END.
```

2) Для заданного закона управления временем хода написать условие отключения второй тяги. Условие нужно вставить в ту часть программы, где происходит определение момента отключения тяги при моделировании PBX.

Для того чтобы все внесенные изменения вступили в силу, необходимо заново скомпилировать программу. Это можно сделать следующим образом: нужно открыть файл MSU.PAS с помощью программы

TURBO PASCAL и нажатием клавиш CTRL+F9 запустить программу на исполнение. Для того чтобы при запуске не возникали ошибки необходимо, чтобы вместе с файлом MSU.PAS в одном каталоге находились следующие файлы: GRAPH.TPU, EGAVGA.BGI, V\_MOUSE.TPU, MENU.TPU, UNISCR.EXE и все файлы с расширением PAS относящиеся к данной программе. Так же необходимо, чтобы текущим каталогом был тот каталог, в котором находятся все необходимые файлы. Если текущим каталогом установлен другой, то необходимо сменить его на нужный, выбрав в пункте меню File(файл) команду Change dir и выбрать тот каталог, в котором находятся файлы программы.

Если выдаётся сообщения о проблеме с русификатором, то можно попробовать запустить другую версию программы Turbo Pascal и проделать те же действия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава /Л. А. Баранов, Я. М. Головичер, Е. В. Ерофеев, В. М. Максимов. - М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
2. Ерофеев Е. В. Исследования качества управления регуляторов времени хода систем автоведения поездов. Методические указания к лабораторным работам. – М.:МИИТ.2005 – 37 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение.....	3
1.	Цель проекта.....	3
2.	Теоретическая часть проекта.....	5
3.	Модель для исследования качества управления регулятора времени хода.....	9
4.	Содержание документации по курсовому проекту.....	14
5.	Инструкция по внесению изменений в программу исследования законов управления временем хода.....	14
	Список литературы.....	16