

656.2
Р24

РАСЧЕТЫ И ИСПЫТАНИЯ

ТАЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ



656.2
Р24

РАСЧЕТЫ
И ИСПЫТАНИЯ
**ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ
ПОЕЗДОВ**

Под редакцией
д-ра техн. наук проф. Е. П. БЛОХИНА

13409-86



МОСКВА "ТРАНСПОРТ" 1986

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА
МИИта

ББ.2
Р24

Расчеты и испытания тяжеловесных поездов/Е.П. Блохин,
Л.А. Манашкин, Е.Л. Стамблер и др.; Под ред. Е.П. Бло-
хина.—М.: Транспорт, 1986.—263 с.

Описаны пакет прикладных программ, схемы электронных
моделей, методика проведения экспериментов и обработки их
результатов, применяемая аппаратура, предназначенные для ре-
шения практических задач расчета и испытаний поездов, свя-
занных с определением продольных сил в автосцепках, ускоре-
ний вагонов и грузов при нестационарных режимах движения
(трагание, различные виды торможения, отпуск тормозов, дви-
жение по пути с переломами продольного профиля, соударения
вагонов и сцепов, в том числе и аварийные).

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических ра-
ботников, занимающихся разработкой рациональных приемов
вождения тяжеловесных поездов, созданием автоматических
тормозов и поглощающих аппаратов автосцепки вагонов, си-
стем управления локомотивами, а также проектированием
новых и реконструкцией действующих железнодорожных линий.

Ил. 84, табл. 77, библиогр. 57 назв.

Книгу написали: Блохин Е. П., Манашкин Л. А., Стам-
блер Е. Л., Маслеева Л. Г., Михайленко В. М., Гранов-
ская Н. И.

Издание книги одобрено Всесоюзным научно-исследователь-
ским институтом вагоностроения.

Рецензенты: д-р техн. наук проф. А. А. Львов, д-р техн. на-
ук С. В. Вершинский

Заведующий редакцией В. А. Дробинский

Редактор М. П. Сазонова

Р 3602030000-134 Свод. пл. подписных изд. 1986
049(01)-86
© Издательство «Транспорт», 1986

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение провозной способности железнодорожных магистра-
лей—важнейшая задача народного хозяйства СССР. Как показы-
вают расчеты, эффективный путь ее решения—повышение массы
грузовых поездов. Но с ростом массы и длины поезда необходимо
сохранить на уровне допустимых динамические нагрузки на под-
вижной состав и перевозимые грузы и тем самым обеспечить вы-
полнение важнейшего требования—безопасность движения.

Для определения динамических нагрузок в тяжеловесном поезде
авторы в данной книге предлагают пакет прикладных программ
«Поезд», созданный в Днепропетровском институте инженеров же-
лезнодорожного транспорта.

Пакет позволяет сформировать программы для вычисления
динамических нагрузок, действующих на подвижной состав и пере-
возимые грузы при трагании поезда, наборе силы тяги, движении
поезда по реальному участку пути, содержащему переломы про-
дольного профиля, сбросе силы тяги, включении и отпуске электри-
ческого тормоза локомотива и пневматических тормозов состава,
а также при различном сочетании перечисленных режимов движе-
ния. С его помощью может быть проведен расчет в случаях, когда
осуществляется автоматический выбор режима управления для под-
держания заданной скорости движения поезда по участку пути
большой протяженности с реальным очертанием продольного про-
филя. При этом рассматривается имеющая место на практике
многократная смена режимов управления—набор и сброс силы тя-
ги, включение и выключение электрического тормоза локомотивов,
приведение в действие и отпуск тормозов состава.

Программы позволяют вычислять динамические нагрузки в со-
единенных поездах, у которых локомотивы рассредоточены по дли-
не состава, и в поездах с локомотивом-толкачом. Можно изучать
неоднородные поезда, сформированные из неоднотипных и неоди-
наково загруженных вагонов разной длины и массы. Предусмо-
трены случаи, когда состав поезда включает в себя вагоны: с под-
вижными грузами (например, цистерны), с амортизованными
подвижными рамами и настилами, с подвижными хребтовыми бал-
ками. При этом допускается, что вагоны могут быть оборудованы
как однотипными, так и разнотипными поглощающими аппара-
тами (пружинно-фрикционными, гидрогазовыми и т. п.). Столь же ши-
роки предположения и о конструкции амортизаторов грузов в ваго-
нах. Не накладывается никаких ограничений на вид тяговой

и тормозной характеристик локомотивов и воздухораспределителей автотормозов вагонов поезда.

Пакет программ позволяет также исследовать эксплуатационные и аварийные соударения вагонов и сцепов. Причем в последнем случае принято во внимание образование остаточных деформаций кузовов вагонов.

Пакет прикладных программ «Поезд» представляет собой мощный инструмент для анализа динамических процессов в тяжеловесных поездах. Вместе с тем авторы сочли необходимым выделить важный для практики круг задач, при решении которых целесообразнее использовать не цифровую, а аналоговую вычислительную технику. К их числу, например, относятся стендовые испытания систем управления тягой и торможением поезда. Применение работающей в реальном масштабе времени электронной модели поезда в совокупности с системами управления им позволяет в лабораторных условиях имитировать динамические процессы в тяжеловесном поезде.

Уделив столь большое внимание методам и средствам теоретического решения задач расчета тяжеловесных поездов (см. главы 1–7), авторы отнюдь не стремились абсолютизировать их роль. Напротив, они придают исключительно большое значение и сами проводят обширные испытания тяжеловесных поездов, видя в оптимальном сочетании теоретических и экспериментальных методов наиболее эффективный путь решения задач динамики поезда.

Отметим, что экспериментальный метод исследования переходных режимов движения поездов до недавнего времени был основным методом, используемым для получения практически важных результатов [13]. Теоретические исследования в этот период позволяли оценить лишь качественную сторону исследуемых процессов и отработать методику проведения опытов в реальных условиях. Нынешний уровень теоретических методов исследования переходных режимов движения поездов [7], базирующийся на использовании современных ЭВМ и доведенный до излагаемых в настоящей книге алгоритмов и программ, качественно изменил положение дел. Путем расчетов теперь могут быть получены решения многих технических задач в области динамики поезда. Это дает возможность существенно снизить объем опытов, что чрезвычайно важно с экономической точки зрения. Следует заметить, однако, что экспериментальные исследования и в этом случае сохраняют свою ключевую роль. Во-первых, потому, что (пусть в малом объеме) они необходимы для контроля технических исследований в наиболее ответственных случаях, например, при решении вопроса о серийном производстве столь массовых изделий, как поглощающие аппараты автосцепки, воздухораспределители автотормозов и т. п. Во-вторых (и это наиболее важно), теоретические исследования, имеющие практическую ценность, опираются на результаты предварительных экспериментальных исследований, в ходе которых уточняются расчетные схемы и определяются параметры новых элементов – поглощающих аппаратов, воздухораспределителей ав-

тотормозов и т. п. Это не означает, однако, что во всех таких случаях требуются опыты с натурным поездом. Иногда можно ограничиться стендовыми испытаниями, например в случаях новых воздухораспределителей автотормозов, систем управления поездом, поглощающих аппаратов со стабильными характеристиками и т. п. Заметим, что свойства таких поглощающих аппаратов, например гидрогазовых, могут быть изучены также в опытах по соударению двух вагонов. Однако имеется обширный и наиболее распространенный на практике класс поглощающих аппаратов пружинно-фрикционного типа, свойства которых удается достаточно полно изучить лишь в опытах с натурным поездом [7]. Таким образом, экспериментами начинается и заканчивается решение любой технической задачи, поэтому методике их проведения и обработки опытных данных авторы посвятили гл. 8. В ней экспериментальный метод исследования описывается применительно к опытам с натурным тяжеловесным поездом. По сравнению с ними опыты на стенах и по соударению вагонов стоят и организуются проще, поэтому, как правило, не рассматриваются. Заметим, что некоторые черты экспериментального метода исследования натурного поезда, а также используемая измерительная, регистрирующая и обрабатывающая аппаратура могут быть использованы для проведения и ряда других опытов.

Авторы будут благодарны всем, кто выскажет свои замечания и пожелания. Их следует посыпать по адресу: 103064, Москва, Басманский туп., дом 6а, изд-во «Транспорт».

Глава 1. СТРУКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «ПОЕЗД»

1.1. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЛОК-СХЕМА ПРОГРАММ. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОДПРОГРАММ

Определение скоростей движения локомотивов и вагонов, сил в их автосцепках, пройденного поездом пути, ускорений вагонов и грузов осуществляется в результате интегрирования системы дифференциальных уравнений движения поезда. Функциональную блок-схему программ, предназначенных для решения этих дифференциальных уравнений и вычисления интересующих исследователя величин, можно представить в виде, показанном на рис. 1.1. На этом рисунке видно, что решение задачи расчленяется на следующие этапы:

1 – ввод и формирование исходных величин и начальных данных (начальных и некоторых дополнительных условий, определяющих начальное состояние поезда);

2 – подготовка системы к началу интегрирования (счетчик времени устанавливается на нуль, а начальные условия пересыпаются в массивы соответствующих переменных задачи);

3 – вычисление внутренних усилий (силы в автосцепках вагонов и силы взаимодействия груза с вагонами, если они подлежат изучению и должны рассматриваться в данных конкретных условиях);

4 – вычисление внешних сил, к которым относятся составляющие сил тяжести при движении экипажей по пути ломаного профиля или по уклону, силы тяги или торможения, силы сопротивления движению;

5 – вычисление правых частей дифференциальных уравнений, представляемых в виде

$$\dot{y}_i = f_i(y_1, y_2, \dots, y_n, t), i = \overline{1, n}, \quad (1.1)$$

где y_i – обобщенные координаты, являющиеся функциями времени; n – число дифференциальных уравнений. При этом внутренние и внешние силы являются функциями обобщенных координат, скоростей и времени;

6 – обработка результатов расчета; 7 – выдача на печать требуемых величин; 8 – проверка условий окончания решения, после которой завершается цикл интегрирования на данном шаге; 9 – изменение времени t на величину шага h интегрирования; 10 – численное интегрирование дифференциальных уравнений.

Организация работы программы в соответствии с рассматриваемой блок-схемой осуществляется головной программой путем последовательного обращения к ряду подпрограмм.

Каждая из подпрограмм имеет определенное функциональное назначение и состоит из одного или нескольких блоков, которые могут быть основными, реализующими алгоритм некоторой процедуры постоянно в процессе численного интегрирования, и вспомогательными, предназначенными в большинстве случаев только для ввода и формирования исходных данных, необходимых для функционирования соответствующего основного блока.

Начало основного блока, как правило, определяется оператором SUBROUTINE, а начало вспомогательного – оператором ENTRY, организующим дополнительный вход в подпрограмму.

В тех случаях, когда подпрограмма состоит из одного блока, он может быть как основным, так и вспомогательным.

Описанная структура подпрограмм позволяет свести к минимуму размеры их общих областей, определяемых операторами COMMON, что обеспечивает в свою очередь минимальную зависимость каждой подпрограммы от других частей программы и позволяет без затруднений составлять разновидности (модификации) подпрограмм в соответствии с их функциональными особенностями. Так, например, подпрограмма, реализующая вычисление сил в междувагонных соединениях поезда, может иметь разные модификации в зависимости от типов поглощающих аппаратов автосцепки (фрикционные, гидрогазовые). При этом замена подпрограммы одной модификации на другую не требует переделок других частей программы, так как параметры, используемые в данной подпрограмме, вводятся и формируются включенным в нее вспомогательным блоком. Таким образом, принятая структура подпрограмм позволяет организовать удобную в пользовании библиотеку подпрограмм, которая при необходимости может быть расширена путем пополнения ее новыми модификациями в тех случаях, когда имеющихся модификаций окажется недостаточно или они будут неудобны для решения рассматриваемых задач.

Формирование программ для выполнения в каждом конкретном случае расчетов сводится к объединению с головной программой подпрограмм определенных модификаций. Совокупность образо-

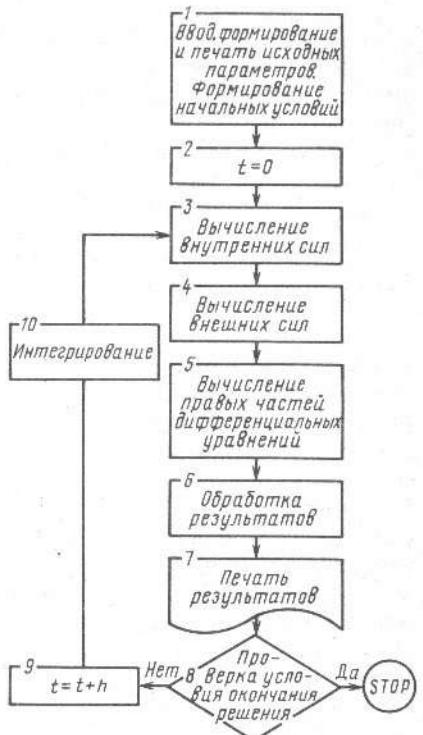


Рис. 1.1. Функциональная блок-схема программ

ванных таким способом программных единиц будем называть пакетом прикладных программ «Поезд». При необходимости программы пакета могут быть зафиксированы на машинных носителях информации.

1.2. СТРУКТУРНАЯ БЛОК-СХЕМА ПРОГРАММЫ. НАЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПОДПРОГРАММ

Структурная блок-схема программы, иллюстрирующая взаимосвязь между ее отдельными подпрограммами, изображена на рис. 1.2.

Головная программа MAIN управляет процессами подготовки и вывода на печать исходных данных (обращение к вспомогательным блокам PARVAG, PARS, PARG, PARVF, VVONU, PARINT, PARPRI, соответствующих подпрограмм), процессом численного интегрирования системы дифференциальных уравнений движения поезда (обращение к основным блокам подпрограмм SPRAV, RKUT2, INTEGR), процессом обработки (MAX) и вывода результатов решения на печать (PRINTR, VUMAX), процессом завершения выполнения расчета.

Подготовка (ввод и формирование) параметров вагонов (или их подвижных хребтовых балок) и подвижных грузов (или кузовов вагонов с подвижными хребтовыми балками) осуществляется подпрограммами PARVAG и PARG.

Ввод и формирование параметров междувагонных соединений осуществляется с помощью вспомогательного блока PARS подпрограммы SILA, а параметров соединения груза с вагоном (кузова с подвижной хребтовой балкой) – с помощью вспомогательного блока PARG подпрограммы SILA1.

Параметры продольного профиля пути и внешних сил, вызванных управляющими воздействиями, формируются путем обращения головной программы к вспомогательному блоку PARVF подпрограммы VNESH, который в свою очередь обращается к вспомогательным блокам PARTUG подпрограммы TUGA (ввод параметров силы тяги), PARREC подпрограммы RECUP (ввод параметров силы, создаваемой локомотивом при электрическом торможении), PARTOR подпрограммы TORM (ввод параметров тормозных сил вагонов), PARSP подпрограммы SOPR (ввод параметров сил сопротивления), PARPR подпрограммы PROF (ввод параметров профиля пути).

Таким образом, в зависимости от потребностей решаемой задачи вспомогательные блоки перечисленных подпрограмм в приведенной последовательности вводят параметры вагонов, грузов, междувагонных соединений, соединений грузов с вагонами, силы тяги, силы электрического торможения локомотива, пневматических тормозов состава, сил сопротивления движению экипажей, продольного профиля пути.

Подпрограмма VVONU организует подготовку начальных значений скоростей движения экипажей и грузов, начальных деформа-

ций соединений вагонов друг с другом и грузов с вагонами, т.е. формирует начальное состояние поезда (растянут, сжат, частично сжат, произвольное состояние, скорость движения).

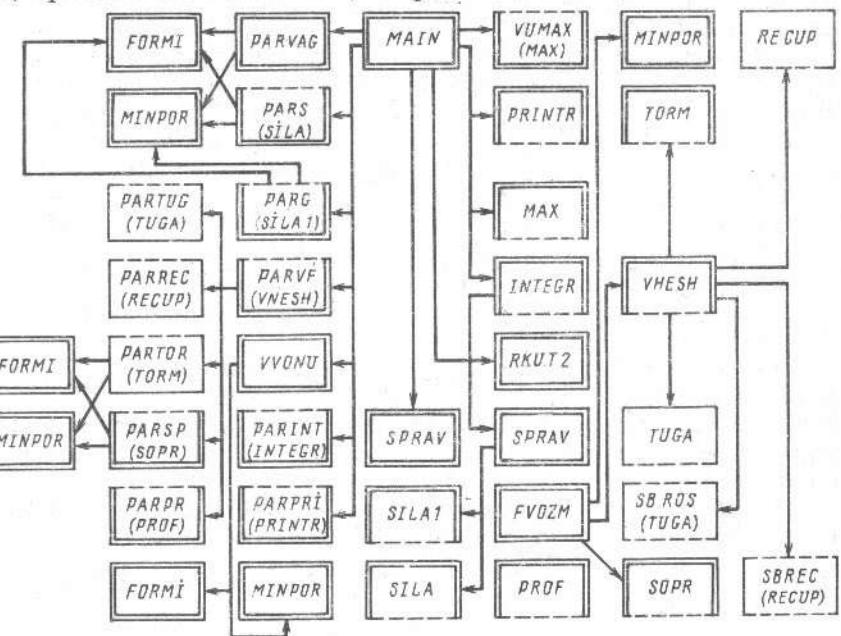
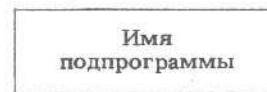
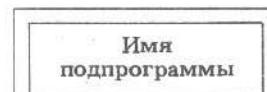
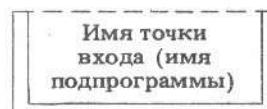


Рис. 1.2. Структурная блок-схема программы

На рис. 1.2 приняты следующие обозначения:



— основной блок подпрограммы; имя подпрограммы используется как имя основного блока

— вспомогательный блок подпрограммы; имя точки входа используется как имя вспомогательного блока; в скобках указывается имя подпрограммы, к которой относится вспомогательный блок

— обозначенная таким образом подпрограмма должна обязательно присутствовать в любом наборе подпрограмм, подготовленном для выполнения конкретного расчета

— обозначенная таким образом подпрограмма может присутствовать в наборе в одних случаях и отсутствовать в других (эти случаи будут оговорены в последующих главах).

Вспомогательным блоком PARINT подпрограммы INTEGR вводятся параметры, необходимые для выполнения процедуры численного интегрирования системы дифференциальных уравнений движения поезда.

Ввод признаков завершения счета осуществляется головной программой MAIN после обращения к вспомогательному блоку PARINT.

Последними вводятся параметры, необходимые для организации печати результатов (обращение к вспомогательному блоку PARPRI подпрограммы PRINTR).

Подпрограмма SPRAV формирует правые части интегрируемой системы дифференциальных уравнений. Подпрограмма RKUT2 реализует формулы интегрирования, соответствующие методу Рунге-Кутта второго порядка, для определения решений на начальных отрезках интегрирования [3].

Основной подпрограммой, обеспечивающей процедуру интегрирования системы дифференциальных уравнений движения поезда, является подпрограмма INTEGR, алгоритм которой основан на использовании двухшаговых формул численного интегрирования типа «прогноз – коррекция» [3].

Подпрограмма SILA осуществляет расчет сил, возникающих при переходных процессах в автосцепках вагонов, а SILA1 – в соединениях вагона с грузом или в соединении кузова вагона с подвижной хребтовой балкой.

Суммирование внешних сил, действующих на вагоны и грузы, организует подпрограмма FVOZM. Эти силы разделены на две категории: силы, зависящие от управления движением поезда и не зависящие от него. К последним относятся составляющие сил тяжести экипажей от уклона пути и силы сопротивления их поступательному движению, которые вычисляются в подпрограммах PROF и SOPR соответственно.

Вычисление внешних сил, зависящих от управляемых воздействий, организует подпрограмма VNESH путем обращения к основным блокам подпрограмм TUGA, RECUP, TORM, осуществляющим расчеты сил тяги и тормозных сил от электрического торможения в процессе их набора и сброса, а также тормозных сил при пневматическом торможении и отпуске.

Основной блок подпрограммы MAX предназначен для обработки результатов на каждом шаге интегрирования и определения наибольших в течение заданного промежутка времени значений продольных сил и ускорений. Вспомогательный блок VUMAX осуществляет печать распределений по длине поезда наибольших сил и ускорений и распределений относительных перемещений вагонов, скоростей, сил и некоторых других величин в заданные моменты времени.

Основной блок подпрограммы PRINTR организует в заданные моменты времени печать промежуточных результатов интегрирования.

Таблица 1.1

Имя подпрограммы	Имя модификации подпрограммы	Назначение подпрограммы	Примечание
PARVAG	PARVAG1	Формирование параметров экипажей	—
VVONU1	—	Подготовка начальных условий	Вагоны с жестко закрепленными грузами
VVONU	VVONU2		Вагоны с подвижными грузами и гидравлическими поглощающими аппаратами
SPRAV1	—	Формирование правых частей дифференциальных уравнений	Вагоны с жестко закрепленными грузами
SPRAV	SPRAV2		Вагоны с подвижными грузами и гидравлическими поглощающими аппаратами
RKUT1	—	Интегрирование системы дифференциальных уравнений на начальных отрезках	Реализация метода Рунге-Кutta второго порядка (одношаговый метод)
INTEGR1	PARINT	Интегрирование системы дифференциальных уравнений на начальных отрезках	Реализация двухшагового метода интегрирования на базе формул типа Адамса-Башфорта и Адамса-Мултона
FORM1	—	Формирование массивов исходных данных	—
MINPOR	MINPOR1	Формирование параметров «коротченной» системы дифференциальных уравнений	—
PRINTR	PRINTR1	Печать промежуточных результатов	Выдача на печать признаков управляемых режимов внешних и внутренних (в автосцепках) СИЛ

Имя подпрограммы	Имя модификации подпрограммы	Имена дополнительных точек входа в подпрограмму	Назначение подпрограммы	Примечание
PRINTR	PRINTR2	PARPRI	—	Выдача любой из рассматриваемых временных, но не более 22
MAX	MAX1	VUMAX	Выбор и печать наибольших сил и ускорений	
SILA	APPARAT1	PARS		Фрикционные аппараты с линейной характеристикой при нагрузке
	APPARAT2	PARS		Фрикционные аппараты с линейной характеристикой при нагрузке начальной затяжки аппарата
	APPARAT3	PARS	Формирование параметров междуагонных соединений и вычисление сил в автосцепках	Гидравлические типы IA-500 и фрикционные поглощающие аппараты и их комбинации
	APPARAT4	PARS		Упрощенные модели гидравлического и фрикционного поглощающих аппаратов
	APPARAT5	PARS		Модель соединения с фрикционным поглощающим аппаратом с учетом упруго-пластических деформаций конструкции вагона
	APPARAT6	PARS		Фрикционный аппарат с кусочно-линейной силовой характеристикой при нагружении. Моделируются срывы и проскальзывания клиньев
	APPARAT7	PARS		Фрикционный аппарат с кусочно-линейной силовой характеристикой. Учитывается влияние на силовую характеристику полупающего аппарата зависимости коэффициента трения от скорости скольжения
<hr/>				
<hr/>				
SILA1	AMORTOR1	PARG		Последовательное включение фрикционного и гидрогазового амортизаторов
	AMORTOR2	RARG	Вычисление внутренних сил в соединениях между вагонами и грузами. Формирование параметров этих соединений и характеристик грузов	Упруго-фрикционный амортизатор с начальной затяжкой, линейная силовая характеристика при нагружении
	AMORTOR3	PARG		Упруго-фрикционный амортизатор с кусочно-линейной характеристикой
	AMORTOR4	PARG	Силы в соединениях «вагон – груз» не вычисляются, параметры соединений и грузов не вводятся	Используется при жестком креплении грузов к вагонам
<hr/>				
FVOZM	FVOZM1	—		Сопротивления поступательному движению постоянны. Движение без остановок
	FVOZM2	—	Организация вычисления и суммирования внешних сил	Движение с остановками. Силы сопротивления постоянны либо зависят от скорости
	FVOZM3	—		Экипаж с подвижными хребтовыми балками, подвижными грузами
VNESH1	PARVF	—		Движение со сменой режимов управления (тяга, сброс, пневматическое торможение) и отпуск тормозов, электрическое торможение и т. д.)
VNESH	VNESH2	PARVF		Движение на «выбеге», соударение сцепов
	VNESH3	PARVF		
SOPR	SOPR1	PARSP	Формирование параметров сил сопротивления поступательному движению экипажей. Вычисление сил сопротивления	Силы сопротивления постоянны либо зависят от скорости
	VNESH4	PARVF		Торможение и отпуск тормозов

Имя подпрограммы	Имя модификации подпрограммы	Имена дополнительных точек входа в подпрограмму	Назначение подпрограммы	Примечание
	PROF1	PARPR		Вагоны с жестко закрепленными грузами
PROF	PROF2	PARPR	Формирование параметров профиля пути. Вычисление возмущений от профиля пути	Вагоны с подвижными грузами
	PROF3	PARPR		Движение поезда по горизонтальному участку пути
TUGA	TUGA1	SBROS, PARTUG	Формирование параметров силы тяги. Вычисление силы тяги на этапе ее набора и сброса	Сила тяги зависит от скорости движения в соответствии с тяговой характеристикой локомотива. Нарастание до наибольшего уровня соответствует экспоненциальному и сброс-линейному законам
	TUGA2	PARTUG	Формирование параметров силы тяги. Вычисление силы тяги на этапе ее набора	Нарастание до наибольшего уровня соответствует экспоненциальному закону
	TUGA3	PARTUG		Сила тяги вычисляется в соответствии с кусочно-линейной функцией времени
TORM	TORM1	PARTOR	Формирование параметров тормозных сил от пневматического торможения. Вычисление тормозных сил	Моделируется этап торможения и отпуска тормозов. Закон изменения силы наложения тормозного колодку во времени аппроксимируется кусочно-линейной функцией
	TORM2	PARTOR		При торможении сила нажатия на колодки аппроксимируется экспоненциальным законом, при отпуске -линейным
RECUP	RECUP1	SBREC, PARREC	Формирование параметров тормозной силы, действующей на локомотив при электрическом торможении. Вычисление тормозной силы на этапе ее набора и сброса	Тормозная сила зависит от скорости движения в соответствии с тормозной характеристикой локомотива. Нарастание до наибольшего уровня соответствует экспоненциальному и сброс-линейному законам

При работе программы на начальном этапе функционируют также подпрограммы FORMI и MINPOR. Подпрограмма FORMI предназначена для формирования массивов исходных данных, а подпрограмма MINPOR выполняет преобразование массивов исходных параметров в тех случаях, когда необходимо понижение порядка исходной системы дифференциальных уравнений движения поезда. При этом подпрограмма MINPOR используется также и в процессе счета для преобразования внешних сил.

В табл. 1.1 приведен список подпрограмм, входящих в специализированную библиотеку, на базе которых формируются те или иные прикладные программы пакета «Поезд». Здесь же указаны имена модификаций подпрограмм, имена дополнительных точек входа, описано назначение и отличительные особенности каждой из упомянутых модификаций.

Глава 2. АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА. ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ

2.1. ГОЛОВНАЯ ПРОГРАММА И НЕКОТОРЫЕ ПОДПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ

2.1.1. Головная программа MAIN

Программа MAIN является ведущей, организующей ввод и формирование исходных данных, процесс численного интегрирования системы дифференциальных уравнений движения поезда, обработку и вывод результатов счета на печать. Программа также обеспечивает завершение решения. С этой целью вводятся параметры, которые служат для проверки условия завершения решения. Счет прекращается при выполнении любого из следующих условий:

$$t \geq t_k; v_1 \leq v_k; x_1 \geq x_k, \quad (2.1)$$

где t – текущее время процесса в реальном масштабе времени; t_k – момент времени, при котором прекращается решение задачи; v_1 – скорость головного экипажа; v_k – скорость, при которой завершается решение; $x_1 = x(1)$ – координата головного экипажа (путь, пройденный головным экипажем); x_k – значение координаты x_1 , при котором прекращается решение.

Программа MAIN, последовательно обращаясь к блокам PARVAG, PARS, PARG, PARVF, VVONU, PARINT, PARPRI, вводит и формирует параметры соответственно экипажей поезда, необходимую информацию о подвижных грузах, междувагонных соединениях и соединениях грузов с вагонами, параметры внешних сил,

Таблица 2.1

Переменная	<i>t</i>	<i>t_k</i>	<i>v₁</i>	<i>v_k</i>	<i>X₁</i>	<i>X_k</i>	<i>K_{вар}</i>
Идентификатор	T	TK	V(1)	VK	X(1)	XX	KOLV

вводит начальные условия задачи и параметры управления процессом интегрирования и печатью результатов решения. Обращаясь к подпрограммам SPRAV и RKUT2, программа MAIN определяет переменные задачи на начальном отрезке $(0; h)$, где h – шаг интегрирования. Процесс интегрирования (обращение к подпрограмме INTEGR) и обработки результатов решения (обращение к подпрограммам MAX и PRINTR) длится до тех пор, пока не начнет выполняться одно из условий (2.1).

При подготовке исходных данных для конкретного расчета выбирается необходимое условие завершения решения и численное значение соответствующего параметра. Значения двух других параметров задаются произвольно, но так, чтобы соответствующие им условия завершения решения заведомо не выполнялись. Параметр $K_{\text{вар}}$ задает число вариантов исходных данных, которые подготовлены для выполнения расчетов по одной и той же программе.

Соответствие между переменными и их идентификаторами в программе следующее (табл. 2.1)

В подпрограмме организован ввод величин TK, VK, XX (формат 3F8.3); KOLV (формат I4), а также вывод их на печать.

Текст программы приведен ниже.

```

С   МОДИФИКАЦИЯ GLAVN1
С
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BLX/X(100)
1 FORMAT(//15X,'ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДН',
*'Ы X'1X,'Р Е Ж И М О В Д В И Ж Е Н И Я П О Е З Д О',
*'В/ЗОХ,'ИНТЕГРИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ НЕЛИНЕЙНЫХ',
*'ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ',2X,'УРАВНЕНИЙ'//)
2 FORMAT(10F8.3)
3 FORMAT(/2X,'КОНЕЦ РЕШЕНИЯ ПРИ TK=',F6.1,2X,
*'VK=',F5.1,2X,'XX=',F7.1/)
8 FORMAT(14)
10 FORMAT(/3X,'КОЛИЧЕСТВО ВАРИАНТОВ KOLV=',I2/)
```

С

```

PRINT 1
KOLVM=1
READ 8,KOLV
PRINT 10,KOLV
9 CALL PARVAG
CALL PARS
CALL PARG
CALL PARVF
CALL VVONU
CALL PARINT
READ 2,TK,VK,XX
PRINT 3,TK,VK,XX
CALL PARPRI
-----
CALL SPRAV
CALL RKUT2
CALL SPRAV
5 CALL INTEGR
CALL MAX
IF((T-TP).LT.0) GO TO 6
CALL PRINTR
6 IF((T.GE.TK).OR.(V(1).LE.VK).OR.(ABS(X(1)).GE.XK))
*GO TO 7
GO TO 5
7 CALL VUMAX
KOLVM=KOLVM+1
IF(KOLVM.GT.KOLV) STOP
GO TO 9
END
```

13409-86

С

С

2.1.2. Подпрограмма PARVAG

Подпрограмма PARVAG предназначена для формирования параметров экипажей поезда – масс m_{0i} (идентификатор M0(I)) и длин l_{bi}^0 (LB0(I)), а также параметров тел «укороченной» системы – их масс m_j (M(I)) и длин l_{bj} (LB(I)). Здесь $i = 1, n_0$, а $j = 1, n$, где n_0 (N0) и n (N) – число масс в полной и «укороченной» системах соответственно. При этом число экипажей, объединяемых в одну группу, $\tilde{n} = n_0/n$.

Подпрограммой вводятся значения величин n_0 и n и выводятся на печать значения n_0 , n , \tilde{n} .

Формирование массивов длин и масс экипажей осуществляется с помощью подпрограммы FORMI. Порядок ввода информации, необходимой для выполнения этой процедуры, указан в описании упомянутой подпрограммы.

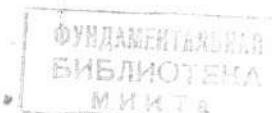


Таблица 2.2

Параметры	n_0	n	i	q_{0i}	v_{0i}	y_j
Идентификатор	N0	N	I	Q(I)	V(I)	A1(I)

программы MINPOR производится преобразование к соответствующим величинам начальных значений q_{0i} .

Подпрограмма VVONU1 присваивает начальные значения переменным задачи, а также переменным y_j нормальной системы дифференциальных уравнений первого порядка

$$\dot{y}_j = Y_j(\{y_j, j = 1, 2n + 1\}), \quad (2.2)$$

к которой преобразуются дифференциальные уравнения движения.

Идентификаторы параметров и переменных, используемых в подпрограмме, приведены в табл. 2.2

При формировании начальных условий сначала вводится информация, необходимая для образования массива Q, а затем массива V.

Для контроля печатаются элементы V(I) и Q(I) массивов начальных значений.

Текст подпрограммы приведен ниже.

```

С SUBROUTINE VVONU
С МОДИФИКАЦИЯ VVONU1
С
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
REAL LB,LB0
3 FORMAT(/3X,'НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ:/3X,'V')
4 FORMAT(4X,10F8.2)
5 FORMAT(3X,'Q')
1 FORMAT(/3X,'ФОРМИРОВАНИЕ: Q(I)')
2 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ: V(I)')

С ВВОД НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ (ДЛЯ ЭКИПАЖЕЙ)
PRINT 1
CALL FORMI(Q)
CALL MINPOR(Q)
PRINT 2
CALL FORMI(V)
10 I=2
DO 11 J=1,N
A1(I)=V(J)
A2(I)=0
11 I=I+1
I=N+2
Q(1)=Q(1)-(LB0(1)-LB(1))*0.5
DO 12 J=1,N
A1(I)=Q(J)

```

Формирование масс и длин тел «укороченной» системы происходит при обращении к подпрограмме MINPOR.
Текст подпрограммы PARVAG приведен ниже.

```

С SUBROUTINE PARVAG
С МОДИФИКАЦИЯ PARVAG1
С
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
REAL M,M0,LB,LB0
48 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ M0(I)')
49 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ LB0(I)')
30 FORMAT(20I)
31 FORMAT(2X,'ЧИСЛО ЭКИПАЖЕЙ В ПОЕЗДЕ N0=',I2,', ЧИСЛО',
*' МАСС "УКОРОЧЕННОЙ" СИСТЕМЫ N=',I2,', ЧИСЛО ЭКИПА',
*' ЖЕЙ В ГРУППЕ', NC1=,I2)

С READ 30,N0,N
NC1=N0/N
PRINT 31,N0,N,NC1
С ВВОД МАСС ЭКИПАЖЕЙ M0(I) (ПОЛНАЯ СИСТЕМА)
PRINT 48
CALL FORMI(M0)
DO 33 I=1,N0
33 M(I)=M0(I)
С ВВОД ДЛИН ЭКИПАЖЕЙ LB0(I) (ПОЛНАЯ СИСТЕМА)
PRINT 49
CALL FORMI(LB0)
DO 34 I=1,N0
34 LB(I)=LB0(I)
CALL MINPOR(M)
CALL MINPOR(LB)
RETURN
END

```

2.1.3. Модификация VVONU1 подпрограммы VVONU

Данная модификация подпрограммы VVONU предназначена для формирования начальных условий, используемых при решении системы уравнений движения поезда, который состоит из вагонов с жестко присоединенными к ним грузами, в предположении, что экипажи поезда оборудованы только фрикционными поглощающими аппаратами.

Начальными условиями являются значения в момент времени $t = 0$ деформаций междувагонных соединений q_{0i} ($i = 1, n_0$, где n_0 – число экипажей в поезде) и скорости движения экипажей v_{0i} ($i = 1, n_0$). Значение $q_{01} = -x_1$ определяет начальное положение головного экипажа поезда.

Ввод данных и формирование начальных условий осуществляется при обращении к подпрограмме FORMI.

Если интегрируется система дифференциальных уравнений движения «укороченной» механической системы, то с помощью под-

Таблица 2.3

Параметры	n	i	m_{1i}	q_i	v_i	q_{1i}
Идентификатор	N	I	$M1(I)$	$Q(I)$	$V(I)$	$Q1(I)$
Параметры	v_{1i}	q_{r1i}	q_{r2i}	q_{r11i}	q_{r21i}	y_j
Идентификатор	$V1(I)$	$QG1(I)$	$QG2(I)$	$QG11(I)$	$QG21(I)$	$A1(I)$

начальные условия преобразуются к начальным значениям соответствующих переменных, описывающих движение «укороченной» системы. В этих случаях признак наличия подвижных грузов $M21 = 0$.

В тех случаях, когда $M21 \neq 0$, с помощью подпрограммы FORMI вводятся и формируются начальные значения q_{10i} и v_{10i} .

Подпрограмма VVONU присваивает начальные значения переменным задачам, а также переменным y_j нормальной системы дифференциальных уравнений первого порядка вида (2.2), к которым преобразуются дифференциальные уравнения движения поезда и состояний соединений. Порядок системы дифференциальных уравнений в данном случае определяется как числом экипажей, так и количеством подвижных грузов, количеством соединений с гидравлическими поглощающими аппаратами и амортизаторами груза. Порядок системы дифференциальных уравнений в этом случае может быть от $2n_0 + 1$ до $8n_0 + 1$, где n_0 – число экипажей в поезде.

В табл. 2.3 приведены идентификаторы параметров и переменных, принятые в подпрограмме.

Необходимая информация вводится в следующем порядке: данные для формирования начальных значений элементов массивов Q , V , $Q1$, $V1$. Нуевые значения $QG1(I)$, $QG2(I)$, $QG11(I)$, $QG21(I)$ формируются самой подпрограммой в начале ее работы.

Для контроля печатаются массивы начальных значений Q , V , $Q1$, $V1$.

Текст подпрограммы приведен ниже.

```

SUBROUTINE VVONU
C МОДИФИКАЦИЯ "VVONU2"
C
COMMON/BL9/QG11(100),QG21(100),QA11(100),VQG11(100),VQ
*G21(100),VQA1(100),IA11(100)
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BLOG/QA1(100),QG1(100),QG2(100),IA1(100),VQG1
*(100),VQG2(100),VQA(100)
COMMON/BLN/N,NO,NC1
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
REAL IA1,IA11,M1
COMMON/BLE/E
COMMON/BL7/M2
DO 1000 I=1,N
QG1(I)=0.0
QG2(I)=0.0
1000

```

```

12 I=I+1
PRINT 3
PRINT 4,(V(I),I=1,N)
PRINT 5
PRINT 4,(Q(I),I=1,N)
RETURN
END

```

2.1.4. Модификация VVONU2 подпрограммы VVONU

Рассматриваемый вариант подпрограммы VVONU предназначен для формирования начальных условий в наиболее общем случае, допускающем исследование переходных режимов движения поездов, в состав которых входят вагоны с подвижными грузами, подвижными хребтовыми балками, а также оборудованные гидравлическими двух- или трехкамерными поглощающими аппаратами и амортизаторами груза.

В этих случаях начальными условиями задачи являются значения при $t = 0$ деформаций q_{oi} междувагонных соединений (или соединений тел, моделирующих движение центров масс групп вагонов) и скоростей v_{oi} движения центров масс экипажей (или их групп), деформаций q_{10i} соединений вагонов с подвижными грузами и скоростей v_{10i} движения грузов.

Предполагается, что начальные значения переменных дополнительных дифференциальных уравнений, описывающих состояния соединений, всегда нулевые. Таких переменных на каждое междувагонное соединение или соединение груза с вагоном может быть два. В первом случае они обозначены q_{r1i} и q_{r2i} , а во втором – q_{r11i} и q_{r21i} и соответствуют в случае гидрогазовых трехкамерных аппаратов типа ГА-500 перемещениям поршней в камерах низкого и высокого давлений, приведенным к перемещениям плунжера поглощающего аппарата.

В тех случаях, когда для определения состояния соединений используется только одна дополнительная переменная, полагается равным нулю программный признак $M2$. Если же $M2 = 1$, то при решении задачи используют на каждое соединение по две дополнительные переменные. Более подробно смысл дополнительных переменных описан в [7, 19], а также в пп. 2.1.6, 3.1.3 и 3.1.4.

Признаками наличия в междувагонных соединениях гидравлического аппарата являются условия $IA1(I) \neq 0$, где I – номер соединения, $IA1(I)$ – идентификатор числа гидравлических поглощающих аппаратов. Программными признаками наличия в данном соединении грузов с вагонами гидравлических амортизаторов является условие $IA11(I) = 1$, где I – номер вагона.

Ввод и формирование массивов начальных условий осуществляется с помощью подпрограммы FORMI. В тех случаях, когда решается задача, связанная с исследованием переходного режима движения поезда с жестко присоединенными грузами и фрикционными поглощающими аппаратами, с помощью подпрограммы MINPOR

```

OG11(I)=0.0
1000 OG21(I)=0.0
PRINT 100
100 FORMAT(15X,'НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ')
C ВВОД НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ (ДЛЯ ВАГОНОВ)
PRINT 989
989 FORMAT(10X,'НАЧАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВАГОНОВ')
CALL FORMI(Q)
IF(NC1.NE.1)CALL MINPOR(Q)
PRINT 246,(Q(I),I=1,N)
PRINT 898
898 FORMAT(10X,'НАЧАЛЬНЫЕ СКОРОСТИ ВАГОНОВ')
CALL FORMI(V)
PRINT 246,(V(I),I=1,N)
246 FORMAT(2X,13F9.3)
IF(M21.EQ.0) GO TO 10
C ВВОД НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ (ДЛЯ ГРУЗОВ)
PRINT 787
787 FORMAT(10X,'НАЧАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ')
CALL FORMI(Q1)
PRINT 246,(Q1(I),I=1,N)
PRINT 878
878 FORMAT(10X,'НАЧАЛЬНЫЕ СКОРОСТИ ГРУЗОВ')
CALL FORMI(V1)
PRINT 246,(V1(I),I=1,N)
10 I=2
DO 11 J=1,N
A1(I)=V(J)
11 I=I+1
I =N+2
DO 12 J=1,N
A1(I)=Q(J)
12 I=I+1
I=2*N+2
DO 13 J=2,N
IF(IA1(J).EQ.0.0) GO TO 13
A1(I)=QG1(J)
I=I+1
13 CONTINUE
IF(M2.EQ.0) GO TO 150
DO 14 J=2,N
IF(IA1(J).EQ.0.0) GO TO 14
A1(I)=QG2(J)
I=I+1
14 CONTINUE
150 IF(M21.EQ.0) RETURN
DO 25 J=1,N
IF((M1(J)-E).LE.0.0) GO TO 25
A1(I)=V1(J)
I=I+1
25 CONTINUE
DO 26 J=1,N
IF((M1(J)-E).LE.0.0) GO TO 26
A1(I)=Q1(J)
I=I+1

```

```

26 CONTINUE
DO 27 J=1,N
IF((M1(J)-E).LE.0.0) GO TO 27
IF(IA11(J).EQ.0.0) GO TO 27
A1(I)=QG11(J)
I=I+1
27 CONTINUE
DO 28 J =1,N
IF((M1(J)-E).LE.0.0) GO TO 28
IF(IA11(J).EQ.0.0) GO TO 28
A1(I)=QG2(J)
I=I+1
28 CONTINUE
RETURN
END

```

2.1.5. Модификация SPRAV1 подпрограммы SPRAV

Подпрограмма SPRAV организует вычисление правых частей дифференциальных уравнений, описывающих движение поезда с жестко закрепленными грузами, вагоны которого оборудованы фрикционными поглощающими аппаратами. Дифференциальные уравнения движения в указанном случае имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{v}_i &= (S_i - S_{i+1} + F_i)/m_i, \quad i = \overline{1, n}; \quad S_{n+1} = 0; \\ \dot{q}_i &= v_{i-1} - v_i, \quad i = \overline{2, n}; \\ \dot{x}_1 &= v_1 = -\dot{q}_1, \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

где n -число экипажей в поезде (или число тел «укороченной» механической системы); $q_i = x_{i-1} - \frac{l_{i-1} - l_i}{2}$ - деформация i -го межвагонного соединения (или соединения между группами экипажей); \dot{q}_i -скорость деформации; l_i -длина экипажа (группы экипажей); x_i -координата (вдоль тректории) положения центра масс i -го экипажа (группы экипажей); m_i -масса i -го экипажа (группы); v_i -скорость центра масс экипажа (группы); S_i -усиление в i -том межвагонном соединении (в соединении между группами); F_i -суммарная внешняя сила, действующая на i -й экипаж (группу).

Обращение к подпрограмме SPRAV производится подпрограммами, реализующими численные методы интегрирования, т. е. подпрограммами RKUT2, INTEGR, а также программой MAIN на начальном отрезке интегрирования.

Для подсчета внутренних S_i и внешних F_i сил, действующих на экипажи поезда, подпрограмма обращается к подпрограммам SILA и FVOZM.

Следует заметить, что подпрограммы интегрирования оперируют массивами $A1$ и $A2$, которые содержат значения искомых функций v_i и q_i , а также их производных \dot{v}_i и \dot{q}_i на данном шаге интегрирования. Первые элементы массивов предназначены для определения текущего значения времени t .

Структуру массивов $A1$ и $A2$ иллюстрирует табл. 2.4.

Таблица 2.4

№ элемента	1	2	3	...	$n + 1$	$n + 2$	$n + 3$...	$2n + 1$
Содержимое массива $A1$	t	v_1	v_2	...	v_n	q_1	q_2	...	q_n
Содержимое массива $A2$	1	\dot{v}_1	\dot{v}_2	...	\dot{v}_n	\dot{q}_1	\dot{q}_2	...	\dot{q}_n

Указанные массивы формируются в рассматриваемой подпрограмме. Соответствие параметров и переменных их идентификаторам в подпрограмме приведено в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Параметры	t	n	v_i	q_i	\dot{v}_i	\dot{q}_i	S_i	F_i	m_i
Идентификатор	T	N	V(I)	Q(I)	A2(I+1)	A2(N+I+1)	S(I)	FB(I)	M(I)

В данной подпрограмме происходит пересылка (в соответствии с табл. 2.4) информации из массива $A1$ в массивы Q и V , а также формирование [в соответствии с уравнениями (2.3)], массива $A2$ (см. табл. 2.4 и 2.5).

Текст подпрограммы приведен ниже.

```

SUBROUTINE SPRAV
МОДИФИКАЦИЯ SPRAV1
-----
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLTIM/T,TP
REAL M,LB
-----
C
T=A1(1)
DO 100 I=1,N
100 V(I)=A1(I+1)
DO 101 I=1,N
L=I+N+1
101 Q(I)=A1(L)
DO 103 I=2,N
L=I+N+1
103 A2(L)=V(I-1)-V(I)
A2(N+2)=0.0-V(1)
CALL SILA
CALL FVOZM
N1=N-1
DO 102 I=1,N1
102 A2(I+1)=(S(I)-S(I+1)+FB(I))/M(I)
A2(N+1)=(S(N)+FB(N))/M(N)
RETURN
END

```

2.1.6. Модификация SPRAV2 подпрограммы SPRAV

Данная модификация состоит из одного основного блока подпрограммы SPRAV и предназначена для вычисления правых частей дифференциальных уравнений движения поезда, подвижных грузов, а также правых частей дифференциальных уравнений состояния соединений вагонов друг с другом и груза с вагонами. Эта модификация может быть также использована для исследования переходных режимов движения поездов, в составы которых могут быть включены вагоны с подвижными хребтовыми балками и с гидравлическими поглощающими аппаратами.

Подпрограмма вычисляет правые части следующих дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{v} &= (S_i - S_{i+1} - S_{1i}\sigma_0(m_{1i} - \varepsilon) + F_i)/m_i, \\ i &= \overline{1, n}; \quad S_1 = S_{n+1} = 0; \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

$$\dot{q}_i = v_{i-1} - v_i, \quad i = \overline{2, n}; \quad (2.5)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{q}_{r1i} &= v_{r1i}, \text{ если } A_{1i} \neq 0, \\ \text{иначе} \\ \dot{q}_{r1i} &= 0, \quad q_{r1i} = 0, \quad i = \overline{2, n}; \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{q}_{r2i} &= v_{r2i}, \text{ если } A_{2i} \neq 0, \\ \text{иначе} \\ \dot{q}_{r2i} &= 0, \quad q_{r2i} = 0, \quad i = \overline{2, n}; \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{v}_{1i} &= (S_{1i} + F_{1i})/m_{1i}, \quad \dot{q}_{1i} = v_i - v_{1i}, \text{ если } m_{1i} \neq 0, \\ \text{иначе} \\ v_{1i} &= 0, \quad q_{1i} = 0, \quad i = \overline{1, n}; \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{q}_{r11i} &= v_{r11i}, \text{ если } A_{1i}m_{1i} \neq 0, \\ \text{иначе} \\ \dot{q}_{r11i} &= 0, \quad q_{r11i} = 0, \quad i = \overline{1, n}; \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{q}_{r21i} &= v_{r21i}, \text{ если } A_{2i}m_{2i} \neq 0, \\ \text{иначе} \\ \dot{q}_{r21i} &= 0, \quad q_{r21i} = 0, \quad i = \overline{1, n}; \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

$$\dot{t} = 1; \quad (2.11)$$

$$\dot{x}_1 = -\dot{q}_1 = v_1. \quad (2.12)$$

В уравнениях (2.4)–(2.12) v_i и m_i – скорость движения и масса i -го вагона, v_{1i} и m_{1i} – скорость движения и масса подвижного груза в i -том вагоне; S_i и S_{i+1} силы в автосцепках i -го вагона, а S_{1i} – сила взаимодействия с ним подвижного груза; q_i – абсолютная деформация (удлинение) соединения ($i-1$)-го и i -го вагонов, а q_{1i} – соединения подвижного груза с i -м вагоном; $q_{r1i}(v_{r1i})$ и

Таблица 2.6

№ элемента	1	2	$n + 1$	$n + 2$	$2n + 1$	$2n +$ $+ \kappa_r +$ $+ 1$	L	$L + p$	$L + 2p$	$L +$ $+ 2p +$ $+ 1$	$L +$ $+ 2p +$ $+ 2r$
Содержимое массива A1	T	v_1	v_n	q_1	q_n	q_{r1k}	q_{r2k}	v_{1p}	q_{1p}	q_{r11r}	q_{r21r}
Содержимое массива A2	1	\dot{v}_1	\dot{v}_n	\dot{q}_1	\dot{q}_n	\dot{q}_{r1k}	\dot{q}_{r2k}	\dot{v}_{1p}	\dot{q}_{1p}	\dot{q}_{r11r}	\dot{q}_{r21r}

$q_{r2i}(v_{r2i})$ – перемещения (скорости) плавающих поршней в камерах 1 и 2 гидравлического поглощающего аппарата, A_i – количество гидравлических поглощающих аппаратов в соединении вагонов, $M2 = 1$ – программный признак наличия поршня 2 в гидравлическом поглощающем аппарате (при $M2 = 0$ второго поршня нет); $q_{r11i}(v_{r11i})$ и $q_{r21i}(v_{r21i})$ – перемещения (скорости) плавающих поршней в камерах 1 и 2 гидравлического амортизатора груза, A_{1i} – число гидравлических амортизаторов груза в его соединении с вагоном или в соединении вагона с подвижной хребтовой балкой; F_i и F_{1i} – суммарные внешние силы, действующие на вагон и груз; $\sigma_0(m_{1i} - \varepsilon)$ – единичная функция, ε – малое положительное число; t – время, n – число экипажей, x_1 – пройденный путь.

Для удобства организации интегрирования все переменные, определяющие решение уравнений (2.4)–(2.12), объединены в один массив A1, а правые части этих уравнений – в массив A2. Структуру этих массивов иллюстрирует табл. 2.6.

В этой таблице в основном приведены последние номера переменных и элементов массивов, соответствующих им. При построении таблицы предполагалось, что в поезде, состоящем из n экипажей, содержится κ_r соединений с гидравлическими поглощающими аппаратами, p вагонов с подвижными грузами и r вагонов, в которых подвижные грузы амортизированы гидравлическими устройствами. Для упрощения записей номеров элементов массивов обозначено

$$L = 2n + 1 + \kappa_r(1 + M2). \quad (2.13)$$

Величины κ_r , p и r могут изменяться от 0 до n . В связи с этим наименьший порядок интегрируемой системы дифференциальных

Таблица 2.7

Параметры	v_i	q_i	A_i	\dot{q}_{rii}
Идентификатор	V(I)	Q(I)	IA1(I)	VQG1(I)
Параметры	\dot{q}_{r11i}	q_{r11i}	\dot{q}_{r21i}	q_{r21i}
Идентификатор	VQG11(I)	QG11(I)	VQG21(I)	QG21(I)

Окончание табл. 2.7

Параметры	q_{r1i}	\dot{q}_{r2i}	q_{r21}	v_{1i}	q_{1i}	A_{1i}
Идентификатор	QG1(I)	VQG2(I)	QG2(I)	V1(I)	Q1(I)	IA11(I)
Параметры	m_i	m_{1i}	S_i	S_{1i}	F_i	F_{1i}
Идентификатор	M(I)	M1(I)	S(I)	S1(I)	FB(I)	FB1(I)

уравнений составляет $2n + 1$, а наибольший – $8n + 1$, где n – число экипажей в поезде ($n \leq 100$).

Подпрограмма построена так, что вначале из массива A1 выбираются соответствующие переменные. Затем в результате обращения к подпрограммам SILA и SILA1 (если программный признак наличия подвижных грузов $M21 = 1$) и подпрограмме FVOZM вычисляются внутренние силы S_i , S_{1i} и внешние силы F_i , F_{1i} . Далее формируется массив A2 правых частей дифференциальных уравнений (2.4)–(2.12).

В табл. 2.7 приведены идентификаторы параметров и переменных, с которыми оперирует программа. Времени t соответствует идентификатор T.

Обращение к подпрограмме осуществляется головной программой MAIN и программами интегрирования RKUT2, INTTEGR.

Текст подпрограммы приведен ниже.

```

SUBROUTINE SPRAV
МОДИФИКАЦИЯ "SPRAV2"
C
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BLQG/QA1(100),QG1(100),QG2(100),IA1(100),
*VQG1(100),VQG2(100),VQA(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BL7/M2
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
COMMON/BLN/N,NO,NC1
COMMON/BLE/E
COMMON/BL9/QG11(100),QG21(100),QA11(100),VGQ11(100),
*VQG21(100),VQA1(100),IA11(100)
REAL IA1,IA11
REAL LB0,M0,LB,M
REAL M1
INTEGER B
INTEGER P,A
INTEGER C
C
T=A1(1)
DO 100 I=1,N
V(I)=A1(I+1)
DO 101 I=1,N
L=I+N+1
101 Q(I)=A1(L)
L=2*N+1
L1=1
J1=1
IB=1
IC=1
IP=1
IA=1
DO 120 I=2,N

```

```

IF(IA1(I),EQ,0,0) GO TO 120
L=2*N+1+L1
QG1(I)=A1(L)
L1=L1+1
120 CONTINUE
J=L
IF(M2,EQ,0) GO TO 124
224 DO 121 I=2,N
124 IF(IA1(I),EQ,0,0) GO TO 121
J=J1+L
QG2(I)=A1(J)
J1=J1+1
121 CONTINUE
IF(M21,EQ,0) GO TO 125
DO 110 I=1,N
IF((M1(I)-E),LT,0,0) GO TO 110
P=J+IP
V1(I)=A1(P)
IP=IP+1
110 CONTINUE
DO 123 I=1,N
IF((M1(I)-E),LT,0,0) GO TO 123
A=P+IA
Q1(I)=A1(A)
IA=IA+1
123 CONTINUE
DO 130 I=1,N
IF((M1(I)-E),LT,0,0) GO TO 130
B=A+IB
QG11(I)=A1(B)
B=IB+1
130 CONTINUE
DO 140 I=1,N
IF((M1(I)-E),LT,0,0) GO TO 140
IF(IA11(I),EQ,0,0) GO TO 140
C=B+IC
QG21(I)=A1(C)
IC=IC+1
140 CONTINUE
125 CALL SILA
IF(M21,EQ,0) GO TO 1
CALL SILA1
1 CALL FBOZM
N1=N-1
DO 102 I=1,N1
102 A2(I+1)=(S(I)-S(I+1)-S1(I)+FB(I))/M(I)
A2(N+1)=(S(N)-S1(N)+FB(N))/M(N)
DO 103 I=2,N
L=I+N+1
103 A2(L)=V(I-1)-V(I)
A2(N+2)=0.0-V(1)
L=2*N+1
L1=1
J1=1
IB=1
IC=1

```

```

IP=1
IA=1
DO 104 I=2,N
IF(IA1(I),EQ,0,0) GO TO 104
L=2*N+1+L1
A2(L)=VQG1(I)
L1=L1+1
104 CONTINUE
J=1
IF(M2,EQ,0) GO TO 107
207 DO 106 I=2,N
IF(IA1(I) EQ,0,0) GO TO 106
J=J1+L
A2(J)=VQG2(I)
J1=J1+1
106 CONTINUE
107 IF(M21,EQ,0) GO TO 115
DO 109 I=1,N
IF(M1(I)-E)109,109,108
108 P=J+IP
A2(P)=(S1(I)+FB1(I))/M1(I)
IP=IP+1
109 CONTINUE
DO 208 I=1,N
IF(M1(I)-E)208,208,209
209 A=P+IA
A2(A)=V(I)-V1(I)
IA=IA+1
208 CONTINUE
DO 111 I=1,N
IF((M1(I)-E),LE,0,0) GO TO 111
IF(IA11(I)) 112,111,112
112 B=A+IB
A2(B)=VQG11(I)
IB=IB+1
111 CONTINUE
DO 150 I=1,N
IF((M1(I)-E),LT,0,0) GO TO 150
IF(IA11(I),EQ,0,0) GO TO 150
C=B+IC
A2(C)=VQG21(I)
IC=IC+1
150 CONTINUE
115 RETURN
END

```

2.2. ПОДПРОГРАММЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ

2.2.1. Подпрограмма RKUT2

Подпрограмма RKUT2 предназначена для построения решения y_i системы дифференциальных уравнений $\dot{y}_i = f_i(\{y_i\}, t)$ ($i = 1, n_y$, где n_y – число уравнений) на начальных отрезках интегрирования $[t_0, t_0 + h]$.

Параметры	n_y	$y_i(t_0)$	$\dot{y}_i(t_0)$	$h/2$	$\dot{y}_i(t_0 + h/2)$	$y_i(t + h)$
Идентификатор	NU	A1(I), A5(I)	A2(I), A4(I)	H1	A2(I)	A1(I)

Вычисления производятся в соответствии с формулами [3]:

$$y_i(t_0 + \frac{1}{2}h) = y_i(t_0) + \frac{1}{2}h\dot{y}_i(t_0); \quad (2.14)$$

$$y_i(t_0 + h) = y_i(t_0) + h\dot{y}_i(t_0 + \frac{1}{2}h), \quad (2.15)$$

где t_0 – начальный момент времени, h – шаг интегрирования.

Обращение к подпрограмме осуществляется из головной программы MAIN для построения решения на отрезке $(0; h)$, а также из подпрограммы INTEGR при необходимости уменьшения шага интегрирования.

Для подсчета значений $\dot{y}_i(t_0 + \frac{1}{2}h)$ рассматриваемая подпрограмма обращается к подпрограмме SPRAV.

Соответствие используемых параметров и их идентификаторов в подпрограмме следующее (см. табл. 2.8).

Текст подпрограммы приведен ниже:

```

SUBROUTINE RKUT2
C   МОДИФИКАЦИЯ RKUT1
C
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BLH/H,H1,NU
C
75 DO 105 I=1,NU
      A4(I)=A2(I)
      A5(I)=A1(I)
105 A1(I)=A1(I)+A2(I)*H1
      CALL SPRAV
      DO 107 I=1,NU
107 A1(I)=A5(I)+2*H1*A2(I)
      RETURN
      END

```

2.2.2. Подпрограмма INTEGR

Подпрограмма INTEGR рассматриваемой модификации состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок подпрограммы осуществляет процедуру интегрирования системы дифференциальных уравнений $\dot{y}_i = f_i(\{y_i\}, t)$ методом прогноза и коррекции ($i = 1, n_y$, где n_y – число уравнений). В качестве формулы прогноза выбрана двухточечная формула типа Адамса-Башфорта [3]

$$y_{n+2}^{(0)} = y_{n+1} + \frac{1}{2}h(3\dot{y}_{n+1} - \dot{y}_n), \quad (2.16)$$

а в качестве формулы коррекции – одноточечная формула Адамса-Мультона [3]

$$y_{n+2}^{(1)} = y_{n+1} + \frac{1}{2}h(\dot{y}_{n+2}^{(0)} + \dot{y}_{n+1}). \quad (2.17)$$

Погрешность используемого метода на каждом шаге $(n+2)$ интегрирования после применения формулы коррекции составляет

$$\varepsilon \simeq \frac{1}{6} |y_{n+2}^{(0)} - y_{n+2}^{(1)}|. \quad (2.18)$$

Обоснование выбора формул (2.16)–(2.18) для интегрирования системы дифференциальных уравнений, описывающих движение поезда, приведено в работах [3, 6]. Алгоритм процедуры интегрирования составлен так, что интегрирование может осуществляться либо с постоянным $h = \text{const}$, либо с переменным $h = \text{var}$ шагом.

При интегрировании с переменным шагом оценка погрешности по формуле (2.18) используется для задания шага h , причем наибольшая погрешность $\max \varepsilon$ определяется как наибольшая абсолютная погрешность среди решений $q_i(t)$, где q_i – деформация межвагонного соединения [6].

Алгоритм интегрирования с автоматическим выбором шага состоит в следующем.

Шаг интегрирования при отыскании решения в точке $t_{n+3} = t_{n+1} + 2h$ не меняется, если значение $\max \varepsilon$, найденное в точке t_{n+2} , лежит в пределах $d\bar{\varepsilon} \leq \max \varepsilon_{n+2} < \bar{\varepsilon}$, где $\bar{\varepsilon}$ – наибольшая допустимая погрешность, а d – коэффициент, определяющий значение ее нижней границы ($d = 0,031$).

Величина h удваивается при отыскании решения в точке t_{n+3} , если на данном шаге оказалось, что $\max \varepsilon_{n+2} < d\bar{\varepsilon}$. При этом решение в точке t_{n+3} строится по информации в точках

$$t_n, \quad t_{n+2} (t_{n+3} = t_n + 4h = t_{n+2} + 2h).$$

В случае $\max \varepsilon_{n+2} > \bar{\varepsilon}$ решение, полученное на данном шаге интегрирования, аннулируется и строится новое в точке $t'_{n+2} = t_{n+1} + h_0$, где h_0 – то значение шага интегрирования, которое задается в начале решения (заведомо приемлемое значение шага). Причем новое решение (в точке t'_{n+2}) строится с использованием одношагового метода интегрирования Рунге-Кутта второго порядка. Оценка величины $\max \varepsilon$ при этом не производится, так как очевидно, что ее величина будет находиться в допустимых пределах ($\max \varepsilon_{n+2} < \bar{\varepsilon}$). Далее решение в точке $t_{n+3} = t'_{n+2} + h_0$ строится по формулам (2.16), (2.17) с контролем погрешности. При этом решение в точке t_{n+3} строится по информации в точках t_{n+1}, t'_{n+2} .

Обращение к основному блоку рассматриваемой подпрограммы осуществляется на каждом шаге интегрирования из подпрограммы

Таблица 2.9

Параметры	n_y	\tilde{h}_0	$h_0 = \tilde{h} \cdot \tilde{h}_0$	\tilde{n}
Идентификатор	NU	H	H	NC1
Параметры	$h/2$	ε	$\max \varepsilon$	$\bar{\varepsilon}$
Идентификатор	H1	Y1	ALFA	VGR
Параметры	$d \cdot \bar{\varepsilon}$	P_{var}	$y^{(0)}_{i,n+2}$	$\hat{y}^{(0)}_{i,n+2}$
Идентификатор	HGR	PVH	A1(I), A5(I)	A2(I)
Параметры	$y_{i,n+1}$	$\hat{y}_{i,n+1}$	$\hat{y}_{i,n}$	$\hat{y}^{(1)}_{i,n+2}$
Идентификатор	A3(I)	A2(I), A4(I)	A4(I), A7(I)	A1(I)

Таблица 2.10

Идентификаторы	H	PVH	VGR, HGR
Формат	F8.6	I4	2F8.6

MAIN. В свою очередь подпрограмма INTEGR дважды на каждом шаге интегрирования обращается к подпрограмме SPRAV для вычисления производных $\hat{y}^{(0)}$ и $\hat{y}^{(1)} = \dot{y}_i$ по найденным $y^{(0)}$ (приближенному) и $y^{(1)}$ (уточненному) решениям.

Вспомогательный блок подпрограммы предназначен для формирования параметров, необходимых для выполнения процедуры интегрирования. Значение шага h_0 , которое вводится в этом блоке подпрограммы, увеличивается в \tilde{n} раз, если интегрируется система дифференциальных уравнений, «укороченная» в \tilde{n} раз. Это значение шага принимается в качестве «нулевого»: $h_0 = \tilde{h}_0 \tilde{n}$.

В подпрограмме также вводится признак вариации шага P_{var} . Значение $P_{var} = 0$ означает, что интегрирование будет производиться с постоянным шагом $h = h_0 = \text{const}$; при $P_{var} = 1$ интегрирование осуществляется с переменным шагом $h = \text{var}$. При этом вводится дополнительная информация о верхней $\bar{\varepsilon}$ и нижней $\bar{d}\varepsilon$ границах допускаемой погрешности, а значение шага на начальном отрезке интегрирования ($0; h$) принимается равным h_0 .

Соответствие используемых параметров и их идентификаторов в подпрограмме приведено в табл. 2.9.

Массивы A3–A7 аналогичны по структуре массивам A1, A2. Структура последних описана в подпрограмме SPRAV.

Порядок ввода параметров, необходимых для выполнения процедуры интегрирования, и спецификация форматов ввода следующие (табл. 2.10).

Текст подпрограммы приведен ниже.

SUBROUTINE INTEGR

МОДИФИКАЦИЯ INTEGR1

```
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BL7/M2
COMMON/BLOG/PM(300),IA1(100),PM1(300)
```

```
COMMON/BL9/PM2(600),IA11(100)
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BLH/H,H1,NU
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLE/E
DIMENSION A6(801),A7(801)
INTEGER PVH
REAL IA1,IA11
```

```
C
 85 DO 100 I=1,NU
    A6(I)=A3(I)
    A3(I)=A1(I)
    A1(I)=A3(I)+(3.0*A2(I)-A4(I))*H1
    A5(I)=A1(I)
    A7(I)=A4(I)
100 A4(I)=A2(I)
    CALL SPRAV
    DO 200 I=1,NU
200 A1(I)=A3(I)+(A4(I)+A2(I))*H1
    IF(PVH-1)55,37,37
37 ALFA=0
    DO 16 I=NP,NP1
      Y1=ABS((A5(I)-A1(I))/6.0)
      IF(ALFA-Y1)30,16,16
30 ALFA=Y1
16 CONTINUE
    IF(ALFA-HGR)45,45,35
35 IF(ALFA-VGR)55,55,25
25 H1=0.5*H
    DO 56 I=1,NU
      A1(I)=A3(I)
      A2(I)=A4(I)
      CALL RKUT2
      GO TO 55
45 H1=2.0*H1
    CALL SPRAV
    DO 114 I=1,NU
      A3(I)=A6(I)
114 A4(I)=A7(I)
    RETURN
55 CALL SPRAV
    RETURN
```

C ENTRY PARINT

```
C
 1 FORMAT(2X,'ШАГ ИНТЕГРИРОВАНИЯ H=H*NC1=',F6.4/)
 2 FORMAT(2X,'ИНТЕГРИРОВАНИЕ С ПОСТОЯННЫМ ШАГОМ',
    *(H=CONST')/ )
 3 FORMAT(2X,'ИНТЕГРИРОВАНИЕ С ПЕРЕМЕННЫМ ШАГОМ',
    *(H=VAR')/ )
 4 FORMAT(2X,'ДОПУСКАЕМАЯ ПОГРЕШНОСТЬ: ВЕРХНЯЯ',
    *'ГРАНИЦА', VGR=VGR*NC1=',F9.7,'НИЖНЯЯ ГРАНИЦА',
    *'HGR=HGR*NC1=',F9.7)
 6 FORMAT(I4)
 7 FORMAT(10F8.6)
 READ 7,H
```

```

H=H*NC1
PRINT 1,H
READ 6,PVH
IF(PVH.EQ.0) GO TO 8
NP=N+2
NP1=2*N+1
READ 7,VGR,HGR
VGR=VGR*NC1
HGR=HGR*NC1
PRINT 3
PRINT 4,VGR,HGR
GO TO 9
8 PRINT 2
9 H1=0.5*H
NU=2*N+1
MU=M2+1
DO 640 I=2,N
IF(IA1(I).EQ.0.0) GO TO 640
NU=NU+MU
640 CONTINUE
IF(M21.EQ.0) GO TO 630
DO 650 I=1,N
IF(M1(I).LE.E) GO TO 650
NU=NU+2
IF(IA11(I).LE.E) GO TO 650
NU=NU+2
650 CONTINUE
630 A1(1)=0.0
A2(1)=1
DO 40 I=1,NU
A3(I)=0.0
40 A4(I)=0.0
RETURN
END

```

2.3. ПОДПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ

2.3.1. Подпрограмма FORMI

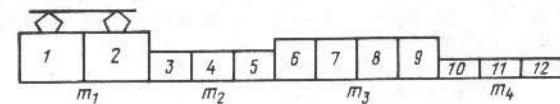
Подпрограмма FORMI относится к группе вспомогательных подпрограмм и предназначена для формирования массивов исходных данных.

Формальный параметр RES подпрограммы представляет собой одномерный массив действительных чисел, который формируется по данным массивов NUP и TABL.

Перед формированием массива RES подпрограмма организует ввод элементов массивов NUP и TABL. Число формируемых элементов массива RES соответствует числу экипажей в поезде n_0 (идентификатор N0), причем $n_0 \leq 100$.

Массив NUP представляет собой массив целых чисел, i -тый элемент которого равен числу экипажей поезда (или числу междугонных соединений) в i -той группе поезда с одинаковыми значениями

Рис. 2.1. Пример схемы формирования поезда



ми формируемого параметра. i -й элемент массива TABL представляет собой значение формируемого параметра в i -й группе.

В качестве примера на рис. 2.1 и в табл. 2.11 приведены соответственно схема поезда и информация массивов NUP и TABL, необходимая для формирования массива RES масс экипажей m_{0i} поезда (табл. 2.12).

Таблица 2.11

Номер группы	1	2	3	4
Элемент массива NUP	2	3	4	3
Элемент массива TABL	m_1	m_2	m_3	m_4

Таблица 2.12

Номер экипажа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Элементы	m_1	m_1	m_2	m_2	m_2	m_3	m_3	m_3	m_3	m_4	m_4	m_4

Таблица 2.13

Идентификатор	Формат	Примечание
NUP(I)	20I4	$I = 1, N_k; N_k \leq 20$
TABL(I)	10F8.4	$I = 1, N_k; N_k \leq 20$

Следует заметить, что при правильной подготовке исходных данных должно выполняться равенство

$$\sum_{I=1}^{N_k} NUP(I) = N_0, \quad (2.19)$$

где N_k – число элементов массива NUP.

Если условие не выполняется, печатается сообщение «Ошибка в исходных данных». Идентификаторы вводимых величин и спецификации форматов ввода приведены в табл. 2.13

На печать выводятся значения элементов массивов NUP и TABL.

Текст подпрограммы приведен ниже.

SUBROUTINE FORMI(RES)

```

0 COMMON/BLN/N,N0,NC1
0 DIMENSION RES(100),TABL(20),NUP(20)
0
1 FORMAT(20I4)
2 FORMAT(10F8.4)

```

```

9  FORMAT(//2X,'ОШИБКА В ИСХ. ДАН. (IK#N0)!!!!')
10 FORMAT(2X,10F11.4)
11 FORMAT(2X,10(8X,13))
READ 1,(NUP(I),I=1,20)
IK=0
NK=0
DO 3 I=1,20
IF(NUP(I).EQ.0) GO TO 7
IK=IK+NUP(I)
3  NK=NK+1
7  IF(IK.EQ.N0) GO TO 4
PRINT 9
4  PRINT 11,(NUP(I),I=1,NK)
READ 2,(TABL(I),I=1,NK)
PRINT 10,(TABL(I),I=1,NK)
L=1
DO 5 I=1,NK
6  RES(L)=TABL(I)
L=L+1
IF(L.GT.N0) GO TO 8
IF(L.LE.NUP(I)) GO TO 6
NUP(I+1)=NUP(I+1)+NUP(I)
5  CONTINUE
8  RETURN
END

```

2.3.2. Подпрограмма MINPOR

Подпрограмма MINPOR предназначена для преобразования параметров поезда в параметры «укороченной» механической системы.

Формальный параметр TABL представляет собой действительный массив входных и выходных данных. Операция преобразования сводится к суммированию элементов массива входных данных по формуле

$$\sigma_j = \sum_{i=\hat{n}_j - n}^{\hat{n}_j} \gamma_i, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.20)$$

где σ_j (идентификатор TABL(IK)) – элемент массива выходных данных; γ_i (TABL(I)) – элемент массива входных данных; $i \leq n_0$; n_0 (N0) – число экипажей в поезде; \hat{n} (NC1) – число экипажей в группе; n (N) – число тел в «укороченной» механической системе.

Текст подпрограммы приведен ниже.

```

C      SUBROUTINE MINPOR(TABL)
C      -----
COMMON/BLN/N,N0,NC1
DIMENSION TABL(100)
C      -----
N1=1
N2=NC1
DO 50 IK=1,N
Y1=0

```

```

DO 51 I=N1,N2
51  Y1=Y1+TABL(I)
TABL(IK)=Y1
N1=N1+NC1
50  N2=N2+NC1
RETURN
END

```

2.3.3. Модификация PRINTR1 подпрограммы PRINTR

Подпрограмма PRINTR рассматриваемой модификации состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок подпрограммы предназначен для вывода на печать промежуточных результатов с интервалом по времени h_p (идентификатор HP), где $h_p \geq h$ (h – шаг интегрирования).

Обращение к блоку в процессе счета осуществляется подпрограммой MAIN.

Через каждый интервал времени $\Delta t = h_{pm}$ (идентификатор HPM) блок обращается к подпрограмме MAX (точка входа VUMAX), которая организует печать распределений вдоль поезда наибольших значений продольных сил и ускорений. На печать выводится следующая информация (в виде идентификаторов): T – время; X(1) – координата головного экипажа или группы экипажей в момент времени T; VS – мгновенное значение заданной скорости, выбранное в соответствии с кривой скорости; V(1) – фактическая скорость движения головного экипажа; PT, PST, PR, PSR, PRT, P0 – управляющие признаки (см. описание подпрограммы VNESH модификации VNESH1); S(NS1), S(NS2), S(NS3) – мгновенные значения усилий в межувагонных соединениях с номерами NS1, NS2, NS3; F(NP1), F(NP2) – силы тяги (тормозные силы от электрического торможения), действующие на экипажи с номерами NP1, NP2; FT(NFT1), FT(NFT2) – мгновенные значения тормозных сил (пневматическое торможение), действующих на экипажи с номерами NFT1, NFT2; W(NF1) – сила сопротивления поступательному движению, действующая на экипаж с номером NF1; FB(NVOZ) – суммарная возмущающая сила, действующая на экипаж с номером NVOZ; SMAX1 – наибольшая растягивающая сила в поезде за промежуток времени $\Delta t = h_{psm}$ (идентификатор HPSM); NL10 – номер межувагонного соединения, в котором образовалась наибольшая в поезде растягивающая сила; S01 – наибольшая сжимающая сила в поезде за промежуток времени $\Delta t = h_{psm}$; NL13 – номер межувагонного соединения, в котором образовалась наибольшая в поезде сжимающая сила.

Вспомогательный блок подпрограммы предназначен для ввода и формирования информации, необходимой при организации печати промежуточных результатов интегрирования заданной системы дифференциальных уравнений.

Список вводимых величин и спецификации соответствующих форматов ввода следующий (табл. 2.14)

Таблица 2.14

Идентификаторы	HP, HPM, HPSM	NS1, NS2, NS3, NF1, NF2, NFT1, NFT2, NFP1, NFP2, NVOZ
Формат	3F8.5	10/4

Для контроля печатаются все величины, указанные в табл. 2.14.
Текст подпрограммы приведен ниже.

```

SUBROUTINE PRINTR
C МОДИФИКАЦИЯ PRINTR1
C
COMMON/BLX/X(100)
COMMON/BLVS/V$,
COMMON/BLMX/NL17,NL18
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BLMAX/SMAX(100),S0(100),V1M(100),V10(100),
*SMAX1,S01,SMAX2,S02,TPSM,HPSM,NL10,NL13
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BLN/N,NO,NC1
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BL14/S1MAX(100),S10(100)
INTEGER PT,PRT,PST,P0,PR,PSR
20 FORMAT(1X,F9.3,1X,F8.1,1X,F5.2,1X,F5.2,1X,6I1,3F6.1,
*1X,2F5.1,1X,2F5.1,1X,2F5.2,1X,2F6.2,1X,F5.0,1X,I2,
*1X,F5.0,1X,I2)
21 FORMAT(16X,'X',11X,'V',3X,'PT,PST',4X,'S',5X,'S',5X,
*'S',5X,'F',4X,'F',5X,'FT',3X,'FT',3X,'FP',3X,'FP',5X,
*'W',5X,'FB')
22 FORMAT(7X,'T',7X,'(1)',3X,'VS',4X,'(1)',2X,'PR,PSR',
*2X,3('I',I2,'I',2X),('I',I2,'I',1X,'(',I2,'I',3X,'(,I2,'I',
*3(1X,'I',I2,'I'),2X,'(,I2,'I',2X,'(,I2,'I',
*2X,'SMAX1',1X,'NL',3X,'S01',1X,'NL')
24 FORMAT(32X,'PRT,P0')

C
4 PRINT 20,T,X(1),VS,V(1),PT,PST,PR,PSR,PRT,P0,S(NS1),
*S(NS2),S(NS3),F(NF1),F(NF2),FT(NFT1),FT(NFT2),
*FP(NFP1),FP(NFP2),W(NF1),FB(NVOZ),SMAX1,NL10,S01,NL13
TP=TP+HP
IF(T-TPM)5,5,6
6 CALL VUMAX
TPM=TPM+HPM
5 RETURN
C
ENTRY PARPRI
C
10 FORMAT(10F8.5)
11 FORMAT(204)
12 FORMAT(2X,'ПАРАМЕТРЫ ПЕЧАТИ РЕЗУЛЬТАТОВ: '/2X,'HP=',
*F6.3,'HMP=',F6.3,'HPSM=',F6.3)
13 FORMAT(2X,'NS1=',I2,'NS2=',I2,'NS3=',I2,'NF1=',I2,
**NF2=',I2,'NFT1=',I2,'NFT2=',I2,'NFP1=',I2,
**NFP2=',I2,'NVOZ=',I2)
14 FORMAT(/28H Р Е З У Л Т А Т Ы,

```

```

*24Н РЕШЕНИЯ://)
15 FORMAT (/2X,118(1H=)/)

READ 10,HP,HPM,HPSM
PRINT 12,HP,HPM,HPSM
READ 11,NS1,NS2,NS3,NF1,NF2,NFT1,NFT2,NFP1,NFP2,NVOZ
PRINT 13,NS1,NS2,NS3,NF1,NF2,NFT1,NFT2,NFP1,NFP2,NVOZ
PRINT 15
PRINT 14
PRINT 15
PRINT 21
PRINT 22,NS1,NS2,NS3,NF1,NF2,NFT1,NFT2,NFP1,NFP2,NF1,
*NVOZ
PRINT 24
PRINT 15
DO 23 I=1,N
V1M(I)=0
V10(I)=0
SMAX(I)=0
S1MAX(I)=0.0
S10(I)=0.0
23 S0(I)=0
TP=HP
TPM=HPM
TPSM=HPSM
SMAX1=0
S01=0
SMAX2=0
S02=0
NL10=0
NL13=0
NL17=0
NL18=0
RETURN
END

```

2.3.4. Модификация PRINTR2 подпрограммы PRINTR

Данная подпрограмма управления печатью информации, получаемой в процессе решения задачи, состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок предназначен для выдачи на печать с шагом печати h_p (идентификатор HP) информации о следующих переменных: Q, QG1, QG2, QA1, Q1, QG11, QG21, QA11, V, VQG1, VQG2, VQA1, V1, VQG11, VQG21, VQA11, S, S1, FB, FB1, W, A2. Эти переменные являются массивами и описаны ранее. Программа позволяет печатать любое количество элементов из перечисленных 22 массивов. Для того чтобы обеспечить это, в подпрограмме используются два массива: KP и NP.

Массив KP состоит из чисел, показывающих количество вводимых величин каждого из 22 массивов, приведенных выше. Номера элементов массива KP определяются упомянутым ранее порядком следования массивов.

Таблица 2.15

Идентификатор	HP, HPM, HPSM	KP(I), I = 1,22	NP(I), I = 1,KPO
Формат	3F15.12	20I4	20I4

Массив NP, размерность которого KPO равна сумме элементов массива KP (но не более 100), состоит из последовательно расположенных номеров элементов перечисленных выше массивов. При этом в начале размещены все номера выводимых элементов массива Q, затем – все номера выводимых элементов массива QG1 и т. д.

В соответствии с информацией, содержащейся в массивах KP и NP, заполняется элементами приведенных выше массивов новый массив MP. С шагом печати HP печатается время T и содержимое массива MP. Если KPO = Σ KP(I) = 0, то печать промежуточных данных с шагом HP не выполняется.

С шагом HPM печатаются имевшие место в течение времени [TPM, TPM + HPM] наибольшие растягивающие SMAX и сжимающие S0 силы в автосцепках, растягивающие SMAX1 и сжимающие S01 силы в соединениях подвижных грузов с вагонами, положительные V1M и отрицательные V10 наибольшие ускорения вагонов. Для печати наибольших величин происходит обращение к подпрограмме VUMAX, входящей в подпрограмму MAX.

С шагом печати HPSM печатаются наибольшие растягивающие и наибольшие сжимающие силы в поезде.

Обращение к подпрограмме осуществляется программой MAIN. Вспомогательный блок (точка входа PARPRI) осуществляет ввод информации, необходимой для организации печати результатов. Ввод организуется в порядке, приведенном в табл. 2.15.

Рассмотрим пример организации печати результатов. Пусть с шагом печати 0,1 с необходимо напечатать промежуточные результаты в виде значений Q(2), Q(10), Q1(2), Q1(10), S(2), S(10), S1(2), S1(10), FB(1), максимумов сил и ускорений с шагом 4 с, наибольшей по составу силы с шагом 1 с. В этом случае: HP = 0,1; HPM = 4,0; HPSM = 1,0; {KP(1), I = 1,22} = {2, 0, 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 2, 1, 0, 0, 0}; {NP(1), I = 1,9} = {2, 10, 2, 10, 2, 10, 2, 10, 1}.

Текст подпрограммы следующий.

```
SUBROUTINE PRINTR
C МОДИФИКАЦИЯ "PRINTR2"
C
DIMENSION MP(100), KP(100), NP(100)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BLMAX/SMAX(100),S0(100),V1M(100),V10(100),
*SMAX1,S01,SMAX2,S02,TPSM,HPSM,NL10,NL13
COMMON/BL14/S1MAX(100),S10(100)
COMMON/BLQG/QA1(100),QG1(100),QG2(100),IA1(100),
*VQG1(100),VQG2(100),VQA(100)
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BL9/QG11(100),QG21(100),QA11(100),VQG11(100),
```

```
*VQG21(100),VQA1(100),IA11(100)
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLMX/NL17,NL18
REAL MP
IF(KPO,EQ.0) GO TO 30
IF(KP(1),EQ.0) GO TO 100
DO 2 I=1,KP1
I1=NP(I)
2 MP(I)=Q(I1)
100 IF(KP(2),EQ.0) GO TO 3
DO 41 I=1,KP22
J=I+KP1
J1=NP(J)
41 MP(J)=QG1(J1)
3 IF(KP(3),EQ.0) GO TO 25
DO 36 I=1,KP33
J=I+KP2
J1=NP(J)
36 MP(J)=QG2(J1)
25 IF(KP(4),EQ.0) GO TO 7
DO 8 I=1,KP44
J=I+KP3
J1=NP(J)
8 MP(J)=QA1(J1)
7 IF(M21,EQ.0) GO TO 15
IF(KP(5),EQ.0) GO TO 9
DO 10 I=1,KP55
J=I+KP4
J1=NP(J)
10 MP(J)=Q1(J1)
9 IF(KP(6),EQ.0) GO TO 11
DO 12 I=1,KP66
J=I+KP5
J1=NP(J)
12 MP(J)=QG11(J1)
11 IF(KP(7),EQ.0) GO TO 13
DO 14 I=1,KP77
J=I+KP6
J1=NP(J)
14 MP(J)=QG21(J1)
13 IF(KP(8),EQ.0) GO TO 15
DO 16 I=1,KP88
J=I+KP7
J1=NP(J)
16 MP(J)=QA11(J1)
15 IF(KP(9),EQ.0) GO TO 17
DO 18 I=1,KP99
J=I+KP8
J1=NP(J)
18 MP(J)=V(J1)
17 IF(KP(10),EQ.0) GO TO 19
DO 20 I=1,KP100
J=I+KP9
```

```

J1=NP(J)
20 MP(J)=VQG1(J1)
19 IF(KP(11),EQ,0) GO TO 121
DO 22 I=1,KP111
J=I+KP10
J1=NP(J)
22 MP(J)=VQG2(J1)
121 IF(KP(12),EQ,0) GO TO 23
DO 24 I=1,KP112
J=I+KP11
J1=NP(J)
24 MP(J)=VQA(J1)
23 IF(KP(13),EQ,0) GO TO 125
DO 26 I=1,KP113
J=I+KP12
J1=NP(J)
26 MP(J)=V1(J1)
125 IF(M21,EQ,0) GO TO 70
IF(KP(14),EQ,0) GO TO 27
DO 28 I=1,KP114
J=I+KP13
J1=NP(J)
28 MP(J)=VQG11(J1)
27 IF(KP(15),EQ,0) GO TO 29
DO 130 I=1,KP115
J=I+KP14
J1=NP(J)
130 MP(J)=VQG21(J1)
29 IF(KP(16),EQ,0) GO TO 70
DO 32 I=1,KP116
J=I+KP15
J1=NP(J)
32 MP(J)=VQA1(J1)
70 IF(KP(17),EQ,0) GO TO 31
DO 34 I=1,KP117
J=I+KP16
J1=NP(J)
34 MP(J)=S(J1)
31 IF(KP(18),EQ,0) GO TO 35
DO 136 I=1,KP118
J=I+KP17
J1=NP(J)
136 MP(J)=S1(J1)
35 IF(KP(19),EQ,0) GO TO 37
DO 38 I=1,KP119
J=I+KP18
J1=NP(J)
38 MP(J)=FB(J1)
37 IF(KP(20),EQ,0) GO TO 39
DO 40 I=1,KP120
J=I+KP19
J1=NP(J)
40 MP(J)=FB1(J1)
39 IF(KP(21),EQ,0) GO TO 141
DO 42 I=1,KP121
J=I+KP20

```

J1=NP(J)

```

42 MP(J)=W(J1)
141 IF(KP(22),EQ,0) GO TO 21
DO 44 I=1,KP122
J=I+KP21
J1=NP(J)+1
44 MP(J)=A2(J1)
1 FORMAT(F10.4,13F8,3)
21 SMP=0.0
DO 84 I=1,KPO
84 SMP=SMP+ABS(MP(I))
IF(SMP,LT,0.01) GO TO 30
PRINT 1,T,(MP(I),I=1,KPO)
30 TP= TP+HP
IF(T,LT,TPM) GO TO 5
IF(SMP,GE,0.01) GO TO 6
TPM=TPM+HPM
GO TO 5
6 CALL VUMAX
TPM=TPM+HPM
5 IF(T,LT,TPSM) RETURN
PRINT 5555,SMAX1,NL10,SO1,NL13
5555 FORMAT(10X,'НАИБОЛЬШАЯ СИЛА SMAX1 =',F10.3,' В СЕЧЕН',
*'ИИ NL10 =',14/10X,'НАИБОЛЬШАЯ ПО МОДУЛЮ ОТР. СИЛА',
*' SO1 =',F10.3,' В СЕЧЕНИИ NL13 =',14)
TPSM=TPSM+HPSM
RETURN
C -----
ENTRY PARPRI
C -----
116 FORMAT(3F15.12)
READ 116,HP,HPM,HPSM
PRINT 53,HP,HPM,HPSM
DO 1000 I=1,N
V1M(I)=0.0
V10(I)=0.0
SMAX(I)=0.0
SO(I)=0.0
S1MAX(I)=0.0
1000 S10(I)=0.0
53 FORMAT(30X,'ШАГ ПЕЧАТИ=',F10.8/30X,'ШАГ ПЕЧАТИ',
*'МАКСИМУМОВ=',F10.5/30X,'ШАГ ПЕЧАТИ НАИБОЛЬШИХ',
*' СИЛ=',F10.5)
111 FORMAT(2044)
READ 111,(KP(I),I=1,22)
TP=HP
TPM=HPM
TPSM=0.0
SMAX1=0.0
SO1=0.0
SMAX2=0.0
SO2=0.0
KPO=0
DO 222 I=1,22
222 KPO=KPO+KP(I)
IF(KPO,EQ,0) GO TO 666

```

```

READ 111,(NP(I),I=1,KPO)
KP1=KP(1)
KP2=KP(1)+KP(2)
KP3=KP(1)+KP(2)+KP(3)
KP4=KP3+KP(4)
KP5=KP(5)+KP4
KP6=KP(6)+KP5
KP7=KP(7)+KP6
KP8=KP(8)+KP7
KP9=KP(9)+KP8
KP10=KP(10)+KP9
KP11=KP(11)+KP10
KP12=KP(12)+KP11
KP13=KP(13)+KP12
KP14=KP(14)+KP13
KP15=KP(15)+KP14
KP16=KP(16)+KP15
KP17=KP(17)+KP16
KP18=KP(18)+KP17
KP19=KP(19)+KP18
KP20=KP(20)+KP19
KP21=KP(21)+KP20
KP22=KP(2)
KP33=KP(3)
KP44=KP(4)
KP55=KP(5)
KP66=KP(6)
KP77=KP(7)
KP88=KP(8)
KP99=KP(9)
KP100=KP(10)
KP111=KP(11)
KP112=KP(12)
KP113=KP(13)
KP114=KP(14)
KP115=KP(15)
KP116=KP(16)
KP117=KP(17)
KP118=KP(18)
KP119=KP(19)
KP120=KP(20)
KP121=KP(21)
KP122=KP(22)
333 FORMAT(120(1H-)/120HI Q I QG1I QA1I Q1 I QG1II
1 QG2I QA1II V I VQG1I VQG2I VQA1I V1 I VQG1II VQG2II
2 VQA1I S I S1 I FB I FB1I W I A2 I/120(1H-))
114 FORMAT(1HI,I3,1HI,4(I3,2H I),3(I4,2H I),I3,2H I,
*3(I4,2H I),I3,2H I,2(I5,2H I),I4,2H I,I3,1HI,5(I3,2H I))
555 FORMAT(120(1H-)/)
PRINT 333
PRINT 114,(KP(I),I=1,22)
PRINT 555
4 FORMAT(8X,27I4)
PRINT 4,(NP(I),I=1,KPO)
666 RETURN
END

```

2.3.5. Подпрограмма MAX

Подпрограмма MAX рассматриваемой модификации состоит из двух блоков.

Первый блок подпрограммы, доступ к которому осуществляется на каждом шаге интегрирования посредством оператора CALL MAX головной программы MAIN, предназначен для выбора наибольших растягивающей $S_{m,i}^+$ и сжимающей $S_{m,i}^-$ сил в каждом межвагонном соединении (соединении между группами), наибольших ускорения $\dot{V}_{m,i}^+$ и замедления $\dot{V}_{m,i}^-$ каждого i -го экипажа поезда, наибольших растягивающей $S1_{m,i}^+$ и сжимающей $S1_{m,i}^-$ сил в соединении «вагон–груз», а также для определения наибольших в поезде растягивающей $\max S^+$ и сжимающей $\max S^-$ сил на каждом интервале времени $\Delta t = h_{\text{psm}}$ и номеров сечений N_m^+ и N_m^- , в которых образовались силы с наибольшими значениями $\max S^+$ и $\max S^-$.

Второй блок подпрограммы, обращение к которому осуществляется с шагом $\Delta t = h_{\text{pm}}$ через точку входа VUMAX подпрограммы PRINTR, предназначен для организации печати распределений сил $S_{m,i}^+$ и $S_{m,i}^-$, распределений мгновенных значений деформаций q_i , сил S_i и скоростей v_i , а также распределений величин $\dot{V}_{m,i}^+$, $\dot{V}_{m,i}^-$, $S1_{m,i}^+$ и $S1_{m,i}^-$. После выдачи на печать указанных значений элементы массивов, соответствующие переменным $S_{m,i}^+$, $S_{m,i}^-$, $\dot{V}_{m,i}^+$, $\dot{V}_{m,i}^-$, $S1_{m,i}^+$, $S1_{m,i}^-$, обнуляются.

Соответствие используемых величин и их идентификаторов в подпрограмме отражено в табл. 2.16.

Таблица 2.16

Параметры	$S_{m,i}^+$	$S_{m,i}^-$	$S1_{m,i}^+$	$S1_{m,i}^-$
Идентификатор	SMAX(I)	S0(I)	S1MAX(I)	S10(I)
Параметры	$\max S^-$	q_i	S_i	v_i
Идентификатор	S01	Q1	S(I)	V(I)

Окончание табл. 2.16

Параметры	$\dot{V}_{m,i}^+$	$\dot{V}_{m,i}^-$	$\max S^+$
Идентификатор	V1M(I)	V10(I)	SMAX1
Параметры	h_{psm} , h_{psm}	N_m^+	N_m^-
Идентификатор	HPM, HPSM	NL10	NL13

Выдача информации осуществляется в следующем порядке: SMAX, S0, Q, S, V, V1M, V10, S1MAX, S10.

Текст подпрограммы приведен ниже.

SUBROUTINE MAX

```

COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BLMAX/SMAX(100),S0(100),V1M(100),V10(100),

```

```

*SMAX1,S01,SMAX2,SO2,TPSM,HPSM,NL10,NL13
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BLMX/NL17,NL18
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL14/S1MAX(100),S10(100)
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)

C
Y1=0.0
Y2=0.0
NL15=0
NL16=0
DO 12 I=2,N
IF(S(I))5,4,4
4 IF(SMAX(I)=S(I))8,8,7
8 SMAX(I)=S(I)
7 IF(S(I)-Y1)12,12,11
11 Y1=S(I)
NL15=I
GO TO 12
5 IF(S0(I)-S(I))10,6,6
6 S0(I)=S(I)
10 IF(Y2-S(I))12,12,13
13 Y2=S(I)
NL16=I
12 CONTINUE
DO 112 I=1,N
IF(S1(I))55,44,44
44 IF(S1MAX(I)-S1(I))88,88,112
88 S1MAX(I)=S1(I)
GO TO 112
55 IF(S10(I)-S1(I))112,66,66
66 S10(I)=S1(I)
112 CONTINUE
DO 27 I=1,N
23 IF(A2(I+1))25,24,24
24 IF(V1M(I)-A2(I+1))28,28,27
28 V1M(I)=A2(I+1)
GO TO 27
25 IF(V10(I)-A2(I+1))27,26,26
26 V10(I)=A2(I+1)
27 CONTINUE
IF(SMAX2,GE,Y1) GO TO 14
SMAX2=Y1
NL17-NL15
14 IF(SO2,LE,Y2) GO TO 15
SO2=Y2
NL18-NL16
15 IF(T,LE,TPSM)RETURN
SMAX1=SMAX2
S01=S02
NL10=NL17
NL13=NL18
SMAX2=0
SO2=0
TPSM=T+HPSM
RETURN

```

ENTRY VUMAX

```

3 FORMAT(5X,'SMAX',7X,'S0',9X,'Q',9X,'S',9X,'V',8X,
**'V1M',7X,'V10',5X,'$1MAX',7X,'$10')
1 FORMAT(2X,9F10.4)
PRINT 3
PRINT 1,(SMAX(I),S0(I),Q(I),S(I),V(I),V1M(I),V10(I),
*$1MAX(I),$10(I),I=1,N)
DO 2 I=1,N
V1M(I)=0
V10(I)=0
SMAX(I)=0.0
$1MAX(I)=0.0
$10(I)=0.0
S0(I)=0.0
RETURN
END

```

Глава 3. АЛГОРИТМЫ И ПОДПРОГРАММЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ СИЛ

3.1. ПОДПРОГРАММЫ РАСЧЕТА СИЛ В АВТОСЦЕПКАХ

3.1.1. Модификация APPARAT1 подпрограммы SILA

Подпрограмма SILA рассматриваемой модификации состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок подпрограммы предназначен для вычисления внутренних усилий S_i в соединениях между вагонами, оборудованными фрикционными поглощающими аппаратами с линейными при нагружении и разгрузке силовыми характеристиками.

Обращение к основному блоку подпрограммы осуществляется подпрограммой SPRAV при формировании правых частей дифференциальных уравнений движения поезда.

Алгоритм подпрограммы базируется на следующих формулах [26-28]:

$S_i =$

$$\begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq |q_i| \leq \delta_i; \\ & \text{при } (\delta_i < |q_i| < \Delta_i + \delta_i) \wedge (q_i \dot{q}_i \geq 0); \\ k_{hi}(q_i - \delta_i), & \text{если } |k_{hi}(q_i - \delta_i)| \leq |k_{hi}(q_i - \delta_i) + k_{pi}(q_{pi} - \delta_i)|, \\ & \text{иначе} \end{cases}$$

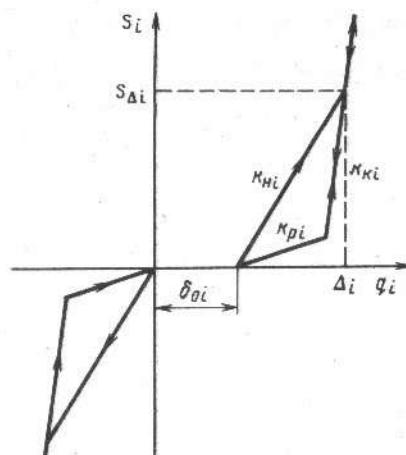


Рис. 3.1. Графическое изображение соотношений (3.1)

ния, при которой поглощающие аппараты закрываются (исчerpывают свой ход); k_{hi} и k_{pi} —жесткости соединения при нагружении и разгрузке; k_{xi} —продольная жесткость кузова экипажа; β_i —коэффициент вязкого сопротивления деформированию конструкции кузова; q_{hi} и q_{pi} —значения q_i в момент изменения знака произведения $q_i \dot{q}_i$ (моменты переходов от нагружения к разгрузению и наоборот).

В программе величина k_{pi} определяется как

$$k_{pi} = k_{hi}(1 - \eta_i),$$

где η_i —коэффициент поглощения энергии фрикционным поглощающим аппаратом.

Графическое изображение зависимости (3.1) приведено на рис. 3.1.

В табл. 3.1 показано соответствие физических величин, используемых в формуле (3.1), и их идентификаторов в подпрограмме.

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку входа PARS) обеспечивает (путем обращения к подпрограммам FORMI и MINPOR) формирование параметров междувагонных соединений

Таблица 3.1

Параметры	i	q_i	\dot{q}_i	S_i	δ_{0i}
Идентификатор	I	Q(I)	A2(I)	S(I)	D(I)
Параметры	κ_{hi}	κ_{xi}	$1 - \eta_i$	β_i	Δ_i
Идентификатор	K(I)	KK(I)	HETA(I)	BETA(I)	DM(I)
Параметры	$k_{pi}(q_{pi} - \delta_i) - \kappa_{hi}(q_{hi} - \delta_i) - \kappa_{xi}\Delta_i$	$\kappa_{hi}\Delta_i$	$q_i - \delta_i$	$ q_i - \delta_i $	
Идентификатор	AH(I)	AP(I)	SM(I)	X	X1

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{xi}(q_i - q_{pi}) + k_{pi}(q_{pi} - \delta_i) + \beta_i \dot{q}_i; \quad (3.1) \\ \text{при } (\delta_i < |q_i| < \Delta_i + \delta_i) \wedge (q_i \dot{q}_i < 0): \\ k_{pi}(q_i - \delta_i), \text{ если } [|k_{pi}(q_i - \delta_i)| \geqslant \\ \geqslant |k_{xi}(q_i - q_{hi}) + k_{hi}(q_{hi} - \delta_i) - \delta_i|] \wedge (k_{pi} - \delta_i) [k_{xi}(q_i - q_{hi}) + k_{hi}(q_{hi} - \delta_i)] \geqslant 0, \\ \text{иначе} \\ k_{xi}(q_i - q_{hi}) + k_{hi}(q_{hi} - \delta_i) + \beta_i \dot{q}_i; \\ \text{при } |q_i| \geqslant \Delta_i + \delta_i : \\ k_{xi}(|q_i| - \Delta_i - \delta_i) + k_{hi}\Delta_i \operatorname{sign} q_i + \beta_i \dot{q}_i, \end{array} \right.$$

где q_i —деформация соединения ($i - 1$) и i -го экипажей; $\delta_i = 0,5\delta_{0i}(1 + \operatorname{sign} q_i)$; δ_{0i} —наибольший зазор в данном соединении, а Δ_i —абсолютная деформация соединения, при которой поглощающие аппараты закрываются (исчerpывают свой ход); k_{hi} и k_{pi} —жесткости соединения при нагружении и разгрузке; k_{xi} —продольная жесткость кузова экипажа; β_i —коэффициент вязкого сопротивления деформированию конструкции кузова; q_{hi} и q_{pi} —значения q_i в момент изменения знака произведения $q_i \dot{q}_i$ (моменты переходов от нагружения к разгрузке и наоборот).

полной и «укороченной» систем. Для подготовки к вводу информации, требуемой для формирования массивов параметров междувагонных соединений, необходимо ознакомиться с работой подпрограммы FORMI.

Информация для формирования указанных массивов вводится в следующем порядке: K; D; BETA; HETA; KK; SM; DM.

Информацией для формирования массивов параметров соединений служат для каждого параметра числа, определяющие количество соединений с одинаковыми параметрами, и численные значения этих параметров.

После формирования печатаются следующие массивы:
для полной системы: M0 и LB0 (массы и длины экипажей), K, D, HETA, BETA, KK, SM, DM;

для «укороченной» системы: M и LB (массы и длины групп экипажей), а также параметры соединений групп экипажей друг с другом, сформированные подпрограммой MINPOR.

Текст рассмотренной модификации подпрограммы SILA приведен ниже.

SUBROUTINE SILA МОДИФИКАЦИЯ APPARAT1

```

COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
DIMENSION K(100),D(100),BETA(100),HETA(100),KK(100),
*SM(100),DM(100),AH(100),AP(100)
COMMON/BL7/M2
COMMON/BLQG/PM(300),IA1(100),PM1(300)
REAL IA1
REAL K,KK,M,M0,LB,LB0
C
DO 18 I=2,N
L=I+N+1
IF(Q(I)) 1,2,2
1 X=Q(I)
GO TO 3
2 X=Q(I)-D(I)
3 X1=ABS(X)
IF(Q(I)*X) 4,4,5
4 S(I)=0.0
GO TO 18
5 IF(X1-DM(I)) 6,7,7
6 IF(Q(I)*A2(L)) 10,9,9
9 Y1=K(I)*X
Y2=X*KK(I)+AH(I)+A2(L)*BETA(I)
IF(ABS(Y1)-ABS(Y2)) 11,12,12
11 S(I)=Y1
AP(I)=Y1-KK(I)*X
GO TO 18
12 S(I)=Y2
AP(I)=AH(I)

```

```

GO TO 18
10 Y3=K(I)*X
Y1=Y3*NETA(I)
Y2=KK(I)*X+AP(I)+A2(L)*BETA(I)
IF(Y1*Y2) 13,13,14
14 IF(ABS(Y1)-ABS(Y2)) 15,15,13
15 IF(ABS(Y2)-ABS(Y3)) 21,21,19
21 S(I)=Y2
AH(I)=AP(I)
GO TO 18
19 S(I)=Y3
AP(I)=Y3-KK(I)*X
GO TO 18
13 S(I)=Y1
AH(I)=Y1-KK(I)*X
GO TO 18
7 IF(Q(I))16,17,17
17 S(I)=(X1-DM(I))*KK(I)+SM(I)+A2(L)*BETA(I)
GO TO 18
16 S(I)=-(X1-DM(I))*KK(I)-SM(I)+A2(L)*BETA(I)
18 CONTINUE
RETURN
C -----
ENTRY PARS
C -----
8 FORMAT(20I4)
20 FORMAT(/16X,'ПАРАМЕТРЫ ВАГОНОВ И',
*'МЕЖ ВАГОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ')
22 FORMAT(6X,3F10.1,2F10.4,3F10.1,F10.4)
23 FORMAT(/16X,'ПАРАМЕТРЫ "УКОРОЧЕННОЙ"',
*'СИСТЕМЫ')
24 FORMAT(10F8.4)
27 FORMAT(13X,'M',8X,'LB',9X,'K',9X,'D',7X,'NETA',6X,
*'BETA',7X,'KK',8X,'SM',8X,'DM')
41 FORMAT(2X,'ФОРМИРОВАНИЕ K(I)')
42 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ D(I)')
43 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ BETA(I)')
44 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ NETA(I)')
45 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ KK(I)')
46 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ SM(I)')
47 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ DM(I)')
C -----
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ K(I)
PRINT 41
CALL FORMI(K)
C ВВОД ЗАЗОРОВ D(I)
PRINT 42
CALL FORMI(D)
C ВВОД КОЭФ. BETA(I)
PRINT 43
CALL FORMI(BETA)
C ВВОД КОЭФ. NETA(I)
PRINT 44
CALL FORMI(NETA)
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK(I)
PRINT 45
CALL FORMI(KK)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ SM(I)
PRINT 46

```

```

0 CALL FORMI(SM)
ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM(I)
PRINT 47
CALL FORMI(DM)
PRINT 20
PRINT 27
PRINT 22,(M0(I),LB0(I),K(I),D(I),NETA(I),BETA(I),
*KK(I),SM(I),DM(I),I=1,N0)
IF(NC1.EQ.1) GO TO 29
DO 25 I=1,N0
K(I)=1/K(I)
25 KK(I)=1/KK(I)
CALL MINPOR(K)
CALL MINPOR(D)
CALL MINPOR(KK)
CALL MINPOR(DM)
DO 26 I=1,N
K(I)=1/K(I)
26 KK(I)=1/KK(I)
PRINT 23
PRINT 27
PRINT 22,(M(I),LB(I),K(I),D(I),NETA(I),BETA(I),KK(I),
*SM(I),DM(I),I=1,N)
29 DO 28 I=1,100
IA1(I)=0
AH(I)=0
AP(I)=0
28 S(I)=0
M2=0
RETURN
END

```

3.1.2. Модификация APPARAT2 подпрограммы SILA

Подпрограмма SILA этой модификации состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок предназначен для вычисления сил в поездах, которые составлены из вагонов, оборудованных только фрикционными поглощающими аппаратами, т. е. этот вариант подпрограммы выполняет почти полностью те же функции, что и модификация APPARAT1. Отличие состоит в том, что в этой подпрограмме предусмотрена возможность учета влияния начальной затяжки поглощающих аппаратов на силы в поезде, а вычисления осуществляются в соответствии с алгоритмом, определяемым формулами [7, 19]:

$$S_i = S_{\phi i} \operatorname{sign} q_i, \quad q_{\phi i} = |q_i| - 0,5\delta_{0i}(1 + \operatorname{sign} q_i), \quad (3.2)$$

$$\text{где } S_{\phi i} = \begin{cases} \min \{S_{hi}, S_{ki}\}, & \text{если } (q_{\phi i} < \Delta_i) \wedge (q_{\phi i}(t) \geq q_{\phi i}(t-h)); \\ \max \{S_{pi}, S_{ki}\}, & \text{если } (q_{\phi i} < \Delta_i) \wedge (q_{\phi i}(t) < q_{\phi i}(t-h)); \\ S_{ki}, & \text{если } q_{\phi i} \geq \Delta_i; \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\left. \begin{aligned} S_{ki} &= \tilde{S}_i + k_{ki}q_{\phi i}(t) - q_{\phi i}(t-h) + \beta_i \dot{q}_i \operatorname{sign} q_i; \\ \tilde{S}_i &= (S_{hi}(t-h) \vee S_{pi}(t-h)), \\ \text{если} \\ S_{\phi i}(t-h) &= (S_{hi}(t-h) \vee S_{pi}(t-h)), \\ \text{иначе} \\ \tilde{S}_i &= S_{\phi i}(t-h) - \beta_i \dot{q}_i(t-h) \operatorname{sign} q_i(t-h); \\ S_{hi} &= S_{0i} + k_{hi}q_{\phi i}; \quad S_{pi} = (1 - \eta_i)k_{hi}q_{\phi i}, \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

где q_i —относительное перемещение центров масс ($i-1$ -го и i -го экипажей; $q_{\phi i}$ —сжатие поглощающих аппаратов и деформаций кузовов; δ_{0i} —зазор в соединении; Δ_i —величина $q_{\phi i}$, при которой закрываются поглощающие аппараты; S_i —сила, деформирующая соединение; S_{hi} и S_{pi} —ее значения на ветвях нагрузки и разгрузки силовой характеристики поглощающих аппаратов, а S_{ki} —сила при переходе от нагрузки к разгрузке и наоборот; S_{0i} —сила начальной затяжки аппаратов i -го соединения; k_{hi} , k_{ki} —коэффициенты жесткости при вычислении сил S_{hi} и S_{ki} по формулам (3.4), а η_i —коэффициент рассеивания энергии соединения при работе поглощающих аппаратов; β_i —коэффициент силы вязкого сопротивления деформированию конструкции экипажа; t —время; h —шаг интегрирования.

Формулы (3.3) и (3.4) при $\beta = 0$ реализуют зависимость $S_{\phi}(q_{\phi}, \dot{q}_{\phi})$, представленную на рис. 3.2, а. При этом величина q_{ϕ} изменяется в зависимости от величины q так, как показано на рис. 3.2, б.

При вычислении силы S_{ϕ} предполагается, что вязкое рассеяние энергии, характеризуемое слагаемыми $\beta_i \dot{q}_i \operatorname{sign} q_i$ в формулах (3.4), принимается во внимание только на тех этапах, когда поглощающий аппарат не работает ($q_{\phi} > \Delta$ или на этапах перехода от нагружения аппарата к разгрузению).

Участку $q_{\phi} > \Delta$ соответствует отрезок AB на рис. 3.2, а, а вычисление силы S_{ϕ} осуществляется в соответствии с третьей строкой формул (3.3). При $q_{\phi} < \Delta$ функция $S_{\phi}(q_{\phi}, \dot{q}_{\phi})$ неоднозначна. Данной величине q_{ϕ} соответствуют значения $S_p(q_{\phi}) \leq S_{\phi} \leq S_h(q_{\phi})$. Этот диапазон сил образует «мертвую» зону, т. е. при изменении сил в этом диапазоне нет хода поглощающего аппарата, а изменение q_{ϕ} обусловлено только деформациями кузова экипажа, которые определяются его продольной жесткостью k_k и коэффициентом вязкости

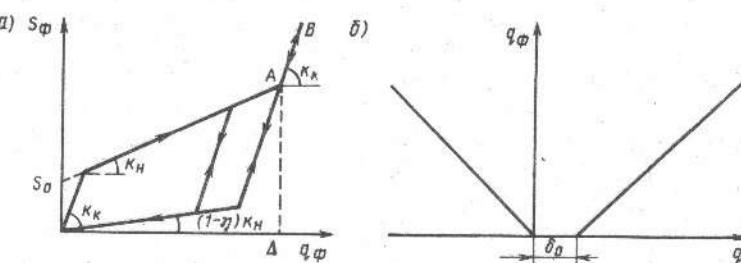


Рис. 3.2. Зависимости силы от деформаций междувагонного соединения (а) и деформаций междувагонного соединения от относительного перемещения центров масс соседних вагонов (б)

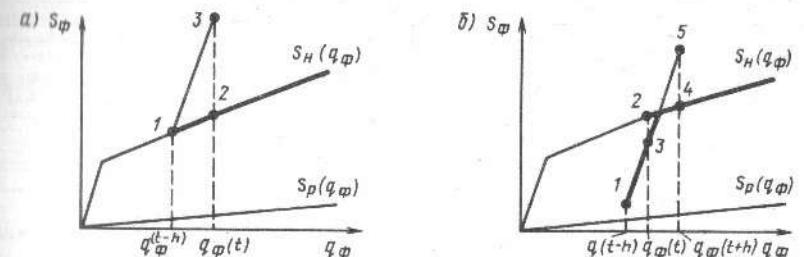


Рис. 3.3. Иллюстрация логических соотношений зависимостей (3.3)

β. Однозначное определение значения S_{ϕ} осуществляется логическими выражениями, определяющими первые две строки формул (3.3).

В качестве примера рассмотрим первую из этих строк. При этом для упрощения будем считать, что $\beta = 0$. Пусть в момент времени $t-h$ силе $S_{\phi}(t-h)$ соответствует значение $S_h(t-h)$ (точка 1 на рис. 3.3, а). В момент времени t находим, что при $q_{\phi}(t) > q_{\phi}(t-h)$ значению $S_h(q_{\phi})$ соответствует точка 2 на рис. 3.3, а, а значению $S_p(q_{\phi})$ — точка 3. Соответствующие физическому смыслу точки (q_{ϕ}, S_{ϕ}) могут быть расположены только в области, ограниченной функциями $S_h(q_{\phi})$ и $S_p(q_{\phi})$. Так как точка 3 лежит вне этой области, то она не имеет физического смысла, и сила определяется точкой 2.

Если в момент времени $t-h$ силе $S_{\phi}(t-h)$ соответствовало значение, определяемое точкой 1, лежащей на переходном участке от разгрузения к нагружению аппарата, то в момент времени t силе $S_{\phi}(q_{\phi})$ при $q_{\phi}(t) > q_{\phi}(t-h)$ могут соответствовать точки 2 и 3. Приращение величины S_{ϕ} , определяемое точками 1 и 3, таково, что сила трения в поглощающем аппарате не преодолена, т. е. сила соответствует точке 3, а не точке 2, лежащей на линии изменения силы в зависимости от величины q_{ϕ} , соответствующей сумме ходов поглощающих аппаратов и абсолютных деформаций кузовов экипажей. Если в момент $t+h$ значение $q_{\phi}(t+h) > q_{\phi}(t)$ таково, что ему соответствуют $S_h(q_{\phi})$ в точке 4 и $S_p(q_{\phi})$ в точке 5, то очевидно, что точка 5 не имеет физического смысла и выбирается точка 4 (см. рис. 3.3, б).

В табл. 3.2 приведены идентификаторы переменных и коэффициентов, входящих в формулы (3.2)–(3.4). При этом индексу i соответствует идентификатор I .

При промежуточных вычислениях идентификатор $S(I)$, как видно из данных табл. 3.2, может соответствовать значению S_{ki} , но после выхода из подпрограммы элементы массива S соответствуют значениям S_i .

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку входа PARS) путем обращения к подпрограммам FORMI и MINPOR формирует массивы параметров междувагонных соединений и параметров соединений тел в «укороченной» системе. Для подготовки к вводу данных, необходимых для формирования указанных массивов, сле-

Таблица 3.2

Параметры	q_i	\dot{q}_i	$q_{\phi i}$	$q_{\phi i}(t - h)$
Идентификатор	Q(I)	VQF	QF	AH(I)
Параметры	$1 - \eta_i$	β_i	S_i	S_{hi}
Идентификатор	NETA(I)	BETA(I)	S(I)	SN
Окончание табл. 3.2				
Параметры	δ_{oi}	Δ_i	k_{hi}	k_{xi}
Идентификатор	D(I)	DM(I)	K(I)	KK(I)
Параметры	S_{pi}	S_{ki}	\tilde{S}_i	S_{oi}
Идентификатор	SP	S(I)	AP(I)	SM(I)

дует обратиться к описанию подпрограммы FORMI и информации для формирования массивов параметров междувагонных соединений K, D, BETA, NETA, KK, SM, DM.

Для контроля печатаются те же величины (с учетом изменения смысла идентификатора SM(I)* в данной модификации подпрограммы), которые перечислены в п. 3.1.1.

Текст подпрограммы SILA данной модификации приведен ниже.

```

SUBROUTINE SILA
МОДИФИКАЦИЯ "APPARAT2"
COMMON/BLOG/PM(300),IA1(100),PM1(300)
COMMON/BL7/M2
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
DIMENSION K(100),D(100),BETA(100),NETA(100),KK(100),
*SM(100),DM(100),AP(100),AH(100)
REAL KK,K,M,LB,M0,LB0,IA1
DO 20 I=2,N
SX=SIGN(1.0,Q(I))
QZ=ABS(Q(I))-0.5*D(I)*(1.0+sx)
VQF=V(I-1)-V(I)
IF(QZ) 1,1,3
3 QF=QZ
GO TO 2
1 QF=0.0
AP(I)=0.0
S(I)=0.0
GO TO 11
2 S(I)=AP(I)+KK(I)*(QF-AH(I))+*BETA(I)*VQF*SX
IF(QF-DM(I))4,6,6
4 IF(VQF*SX)9,9,8
8 SM=SM(I)+K(I)*QF
P=SN-S(I)

```

```

IF(P)10,10,6
6 AP(I)=S(I)-BETA(I)*VQF*SX
GO TO 11
10 S(I)=SN
AP(I)=S(I)
GO TO 11
9 SP=NETA(I)*K(I)*QF
P=SP-S(I)
IF(P)6,6,13
13 S(I)=SP
AP(I)=S(I)
11 AH(I)=QF
20 S(I)=S(I)*SX
RETURN
C -----
ENTRY PARS
C -----
202 FORMAT(2X,'ПАРАМЕТРЫ ВАГОНОВ И',
*'МЕЖВАГОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ')
222 FORMAT(9F10.3)
223 FORMAT(2X,'ПАРАМЕТРЫ "УКОРОЧЕННОЙ"
*СИСТЕМЫ")
27 FORMAT(7X,'M',8X,'LB',9X,'K',9X,'D',7X,'NETA',6X,
*'BETA',7X,'KK',8X,'SM',8X,'DM')
C   ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ K(I)
CALL FORMI(K)
C   ВВОД ЗАЗОРОВ D(I)
CALL FORMI(D)
C   ВВОД КОЭФ. BETA(I)
CALL FORMI(BETA)
C   ВВОД КОЭФ. NETA(I)
CALL FORMI(NETA)
C   ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK(I)
CALL FORMI(KK)
CALL FORMI(SM)
C   ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM(I)
CALL FORMI(DM)
PRINT 202
PRINT 27
PRINT 222,(M0(I),LB0(I),K(I),D(I),NETA(I),BETA(I),
*KK(I),SM(I),DM(I),I=1,N0)
IF(NC1.EQ.1) GO TO 1000
DO 125 I=1,N0
K(I)=1./K(I)
125 KK(I)=1./KK(I)
CALL MINPOR(K)
CALL MINPOR(D)
CALL MINPOR(KK)
CALL MINPOR(DM)
CN1=NC1
DO 500 I=1,N0
BETA(I)=BETA(I)/CN1
NETA(I)=NETA(I)/CN1
500 SM(I)=SM(I)/CN1
CALL MINPOR(BETA)
CALL MINPOR(NETA)
CALL MINPOR(SM)

```

```

DO 126 I=1,N
K(I)=1./K(I)
126 KK(I)=1./KK(I)
PRINT 223
PRINT 27
PRINT 222,(M(I),LB(I),K(I),D(I),NETA(I),BETA(I),KK(I),
*SM(I),DM(I),I=1,N)
1000 DO 400 I=1,N
AH(I)=0.0
IA1(I)=0.0
AP(I)=0.0
400 S(I)=0.0
M2=0
RETURN
END

```

3.1.3. Модификация APPARAT3 подпрограммы SILA

Подпрограмма SILA данной модификации состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок предназначен для вычисления усилий в автосцепках и приведенных к перемещению плунжера скоростей перемещения поршней трехкамерных гидrogазовых поглощающих аппаратов типа ГА-500 или других, в которых перемещение плунжера связано линейной зависимостью с перемещениями плавающих поршней, отделяющих жидкость от газа. Эта подпрограмма может быть использована и тогда, когда отсутствуют поршни, отделяющие жидкость от газа в камерах низкого или высокого давления, а газ изолирован от жидкости эластичной оболочкой. Предполагается, что каждое соединение экипажей образовано одним упругим или упругофрикционным устройством и одним или несколькими одинаковыми гидрогазовыми трехкамерными устройствами. Алгоритм вычисления удлинения q_{ϕ} упругих или упругофрикционных устройств, усилий в автосцепках и приведенных к перемещению плунжера скоростей v_{r1i} и v_{r2i} перемещений подвижных поршней, отделяющих жидкость от газа, приведен ниже [7, 19]:

$$\left. \begin{aligned} q_i^* &= q_i - 0.5\delta_{0i}(1 + \text{sign } q_i) - A_i q_{r0i} \text{sign } q_i; \\ \ddot{q}_i^* &= \ddot{q}_i - A_i v_{r0i} \text{sign } q_i, \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

где \dot{q}_i^* и \ddot{q}_i^* – вспомогательные величины для вычисления перемещений и их производных; q_i и \dot{q}_i – относительные перемещения центров масс ($i-1$ -го и i -того экипажей и их производные; δ_{0i} – полный зазор в i -том соединении; q_{r0i} и v_{r0i} – полные перемещение и скорость перемещения плунжера гидрогазового поглощающего аппарата; A_i – количество гидрогазовых поглощающих аппаратов в данном соединении.

Вычисляются значения q_{r0i} и v_{r0i} с помощью формул:

$$q_{r0i} = q_{r1i} + q_{r2i} + S_{0i}/k_{\text{ж}}; \quad v_{r0i} = v_{r1i} + v_{r2i}, \quad (3.6)$$

где q_{r1i} и q_{r2i} – приведенные к перемещениям плунжера перемещения плавающих поршней, отделяющих газ от жидкости в камерах высокого и низкого давления;

$$S_{0i} = /S_i/(1 + \kappa \text{sign } (q_i, \dot{q}_i))^{-1}, \quad (3.7)$$

$k_{\text{ж}}$ – жесткость столба жидкости в недеформированном гидрогазовом поглощающем аппарате; S_i – усилие, деформирующее соединение; κ – коэффициент трения манжет о стенки плунжера.

Слагаемое $S_{0i}/k_{\text{ж}}$ следует исключать, если не соблюдается условие $k_{\text{ж}} \gg k_k$ (k_k – продольная жесткость конструкции вагона). Для этого в исходных данных задается произвольно большая величина $k_{\text{ж}} \gg k_k$, а при решении задачи эквивалентная сжимаемой жидкости пружина рассматривается как элемент деформируемой конструкции вагона. В этом случае вместо действительной величины k_k задается

$$k_{kji} = k_{ki} / \left(1 + A_i \frac{k_{ki}}{k_{\text{ж}}} \right). \quad (3.8)$$

При расчетах величины k_{kji} в формулу (3.8) подставляются действительные значения k_{ki} и $k_{\text{ж}}$.

Вообще же в тех случаях, когда достаточно знать приблизительные величины перемещений с погрешностью не более 10 мм при предельно больших силах (около 3 МН), рекомендуется учитывать сжимаемость жидкости с помощью выражения (3.8) и задавать исходными данными предельно большую величину $k_{\text{ж}}$ ($\sim 10^6$).

С помощью выражений (3.5) вычисляются величины $q_{\phi i}$ суммарных сжатий фрикционных поглощающих аппаратов и абсолютных деформаций кузовов экипажей, а также их производные:

$$\left. \begin{aligned} q_{\phi i} &= 0.5\dot{q}_i^* (1 + \text{sign } (q_i \dot{q}_i^*)); \\ \ddot{q}_{\phi i} &= 0.5\ddot{q}_i^* (1 + \text{sign } (q_i \dot{q}_i^*)). \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Затем, если в данном соединении фрикционные поглощающие аппараты нет (программный признак $PF(I) = 0$), определяется величина

$$S_i = k_{ki} q_{\phi i}, \quad \text{или} \quad S_i = k_{kji} q_{\phi i}; \quad (3.10)$$

если же соединение включает в себя и фрикционные поглощающие аппараты (программный признак $PF(I) = 1$), то величину S_i ($q_{\phi i}$, $\dot{q}_{\phi i}$) вычисляют в соответствии с алгоритмом, реализующим формулы (3.1). При этом вычислении S_i ($q_{\phi i}$, $\dot{q}_{\phi i}$) в формулах (3.1) полагается $\delta_i = 0$.

Вычисление приведенных к перемещению плунжера скоростей перемещения поршней осуществляется в соответствии с формулами [7, 19]:

$$\left. \begin{aligned} v_{r1i} &= \sqrt{|S_{0i} - S_{r1i}| / \beta_{r1} (q_{r1i})} \text{sign } (S_{0i} - S_{r1i}), \\ \text{если} \\ (0 < q_{r1i} < \Delta_1) \vee ((q_{r1i} = 0) \wedge (S_{0i} > S_{r1i}^0)) \vee ((q_{r1i} = \Delta_1) \wedge (S_{0i} < S_{r1i})), \\ \text{иначе} \\ v_{r1i} &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

$$v_{\Gamma 2i} = \sqrt{|S_{0i} - S_{\Gamma 2i}| / \beta_{\Gamma 2}} (q_{\Gamma 0i}) \operatorname{sign}(S_{0i} - S_{\Gamma 2i}),$$

если

$$((0 < q_{\Gamma 2i}) \wedge (q_{\Gamma 0i} < \Delta_{\Gamma})) \vee ((q_{\Gamma 2i} = 0) \wedge (S_{0i} > S_{02}^0)) \vee ((q_{\Gamma 0i} = \Delta_{\Gamma}) \wedge (S_{0i} < S_{\Gamma 2i})), \quad (3.12)$$

иначе

$$v_{\Gamma 2i} = 0.$$

В выражениях (3.11) и (3.12) Δ_1 и Δ_{Γ} – наибольшие возможные (до упора) перемещения поршня в камере низкого давления и плунжера аппарата; S_{01}^0 и S_{02}^0 – силы начальных затяжек, зависящие от начального давления газа в камерах; $S_{\Gamma 1i}$ и $S_{\Gamma 2i}$ – силы сопротивления газа сжатию, вычисленные с помощью выражений

$$S_{\Gamma ji} = S_{0j}^0 (1 - r_j q_{\Gamma ji})^{-d_j}, j = 1, 2, \quad (3.13)$$

в которых r_1 и r_2 – постоянные числа, определяемые отношением площади сечения плунжера к объему соответствующей индексу камеры в исходном состоянии, d_1 и d_2 – показатели политропы.

Функции $\beta_{\Gamma 1}(q_{\Gamma 1i})$ и $\beta_{\Gamma 2}(q_{\Gamma 0i})$ представляют зависящие от перемещения плавающего поршня и перемещения плунжера коэффициенты гидравлического сопротивления жидкости перетеканию через дроссельные отверстия. Эти функции аппроксимируются выражениями:

$$\beta_{\Gamma 1} = \begin{cases} \beta_{0n1} + \beta_{1n1} q_{\Gamma 1i} + \beta_{2n1} q_{\Gamma 1i}^{H_1}, & \text{если } v_{\Gamma 1i} \geq 0; \\ \beta_{0p1} + \beta_{1p1} q_{\Gamma 1i} + \beta_{2p1} q_{\Gamma 1i}^{P_1}, & \text{если } v_{\Gamma 1i} < 0; \end{cases} \quad (3.14)$$

$$\beta_{\Gamma 2} = \begin{cases} \beta_{0n2} + \beta_{1n2} q_{\Gamma 0i} + \beta_{2n2} q_{\Gamma 0i}^{H_2}, & \text{если } v_{\Gamma 2i} \geq 0; \\ \beta_{0p2} + \beta_{1p2} q_{\Gamma 0i} + \beta_{2p2} q_{\Gamma 0i}^{P_2}, & \text{если } v_{\Gamma 2i} < 0. \end{cases} \quad (3.15)$$

В последних выражениях коэффициенты β_{0nj} , β_{0pj} , β_{1nj} , β_{2pj} , β_{2nj} , β_{2pj} ($j = 1, 2$) – постоянные величины, задаваемые исходными данными; n_1 , n_2 , p_1 и p_2 – целые показатели степени.

В табл. 3.3 приведены идентификаторы переменных и коэффициентов, входящих в описанные выше формулы.

Так как вычисление силы S_i в тех случаях, когда соединение, кроме гидравлического поглощающего аппарата, содержит еще и фрикционный, осуществляется в соответствии с формулами (3.1), то идентификаторы параметров и переменных, входящих в эти формулы, такие же, как и в табл. 3.1.

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку входа PARS) с помощью подпрограммы FORMI и MINPOR формирует параметры межвагонных соединений поезда и параметры соединений тел «укороченной» системы. Порядок подготовки необходимой для этого информации приведен в описании работы подпрограммы FORMI. Указанная информация вводится в порядке следования идентификаторов: K; D; BETA; HETA; KK; SM; DM; PF; IA1.

Затем вводятся параметры (для всех соединений они одинаковы)

Таблица 3.3

Параметры	q_i	$q_{\Gamma 0i}$	$q_{\Gamma 1i}$	$q_{\Gamma 2i}$	q_i^*	$q_{\Gamma i}^*$	$QF(I)$	$A2(I + N + 1)$
Идентификатор	I	Q(I)	QA1(I)	QG2(I)	X1			
Параметры	$v_{\Gamma 1i}$	$v_{1,2i}$	$v_{\Gamma 0i}$	$\dot{q}_{\phi i}$	S_i	$S_{1,ii}$	$S_{1,2i}$	S_{0i}
Идентификатор	VQG1(I)	VQG2(I)	VQA(I)	VX	SI(I)	SG1(I)	SG2(I)	MS(I)
Параметры	Δ_1	Δ_r	r_1	r_2	d_1	d_2	S_{01}^0	S_{02}^0
Идентификатор	DG1	DA1	R1	R2	POL1	POL2	SOG1	SOG2
Параметры	χ	k_{xi}	k_{xk}	β_{11}	β_{12}	β_{0n1}	β_{1n1}	β_{2n1}
Идентификатор	FM	KK(I)	KOG	BG1	BG2	BOH1	B1H1	B2H1
Параметры	H_1	β_{0p1}	β_{1p1}	β_{2p1}	P_1	β_{0n2}	β_{1n2}	β_{2n2}
Идентификатор	H10	BOP1	B1P1	B2P1	P1	BOH2	B1H2	B2H2
Параметры	H_2	β_{0p2}	β_{1p2}	β_{2p2}	P_2	δ_{0i}	A_i	$PF(I)$
Идентификатор	H20	BOP2	B1P2	B2P2	P2	D(I)	IA1(I)	PF(I)

Таблица 3.4

Идентификатор	BOP1	BOP2	BOH1	BOH2	B1P1	B1P2	B2P1	B2P2	B2H1	B2H2
Формат	8F10.1	8F10.1	8F10.1	8F10.1	4F20.1	4F20.1	4F20.1	4F20.1	4I4	4I4
Идентификатор	DG1	DG2	DA1	SOG1	SOG2	KOG	FM	R1	R2	POL1
Формат	8F10.1									

гидравлических поглощающих аппаратов, необходимые для вычислений переменных с помощью описанных формул. Порядок ввода их и форматы представления чисел приведены в табл. 3.4.

Для контроля вводимых исходных величин печатаются массивы МО и LBO (массы и длины экипажей); К, D, ВЕТА, НЕТА, KK, SM, DM, PF, IA1 (параметры соединений экипажей друг с другом). Затем печатаются параметры гидравлических поглощающих аппаратов, приведенные в табл. 3.4.

В случаях использования «укороченной» системы дифференциальных уравнений печатаются параметры групп экипажей и их соединений, сформированные обращением к подпрограмме MINPOR.

Текст данной модификации подпрограммы приведен ниже.

```

SUBROUTINE SILA
C МОДИФИКАЦИЯ "APPARAT3"
C
COMMON/BL7/M2
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BLOG/QA1(100),QG1(100),QG2(100),IA1(100),
*VQG1(100),VQG2(100),VQA(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
DIMENSION K(100),D(100),BETA(100),NETA(100),KK(100),
*SM(100),DM(100)
DIMENSION PF(100),QF(100),MS(100),AP(100),AH(100)
REAL KK,K,KOG
REAL IA1,IA11
REAL MS
REAL M,M0,LB,LB0
INTEGER P1,H10,P2,H20
C
L=L1
DO 30 I=2,N
SS=MS(I)
IF(Q(I).LT.0.0) GO TO 2
P=Q(I)-D(I)
SX=1.0
IF(P.GT.0.0) GO TO 3
4 S(I)=0.0
AP(I)=0.0
AH(I)=0.0
GO TO 20
2 P=Q(I)
SX=-1.0
3 IF(IA1(I).LT.0.001) GO TO 6
L=L+1
5 IF(QG1(I).LT.DG1) GO TO 7
QG1(I)=DG1
A1(L)=QG1(I)
A4(L)=0.0
VQG1(I)=0.0
7 QA1(I)=(QG1(I)+QG2(I)+MS(I)/KOG)*SX
VQA(I)=(VQG1(I)+VQG2(I))*SX
QGG=ABS(QA1(I))

```

```

IF(QGG.LT.DA1) GO TO 6
QA1(I)=DA1*SX
VQG2(I)=0.0
VQG1(I)=0.0
VQA(I)=0.0
6 X1=P-IA1(I)*QA1(I)
ZNX=SIGN(1.0,X1)
ZNO=SIGN(1.0,Q(I))
IF(ZNX*ZNO)4,4,8
8 IF(PF(I).GT.0.0) GO TO 9
S(I)=KK(I)*X1
QF(I)=0.0
GO TO 20
9 QF(I)=ABS(X1)
VX=A2(I+N+1)-VQA(I)*IA1(I)
IF(QF(I).GE.DM(I)) GO TO 10
IF(Q(I)*VX)11,12,12
12 Y1=K(I)*X1
Y2=KK(I)*X1+AH(I)+BETA(I)*VX
Z=ABS(Y2)
IF(ABS(Y1).GT.Z) GO TO 13
S(I)=Y1
AP(I)=Y1-KK(I)*X1
GO TO 20
13 S(I)=Y2
AP(I)=AH(I)
GO TO 20
11 Y3=K(I)*X1
Y1=Y3*NETA(I)
Y2=KK(I)*X1+AP(I)+BETA(I)*VX
Z=ABS(Y2)
IF(Y1*Y2.LE.0.0) GO TO 14
IF(ABS(Y1).GT.Z) GO TO 14
S(I)=Y2
AH(I)=AP(I)
GO TO 20
14 S(I)=Y1
AH(I)=Y1-KK(I)*X1
GO TO 20
10 IF(Q(I).LE.0.0) GO TO 15
S(I)=(QF(I)-DM(I))*KK(I)+SM(I)+BETA(I)*VX
GO TO 20
15 S(I)=(DM(I)-QF(I))*KK(I)-SM(I)+BETA(I)*VX
20 IF(IA1(I).GT.0.001) GO TO 16
GO TO 30
16 IF(Q(I)*A2(N+I+1).LT.0.0) GO TO 31
SVQ=1.0
GO TO 32
31 SVQ=-1.0
32 MS(I)=ABS(S(I))/(1.0+FM*SVQ)
IF(QGG.GE.DA1) GO TO 17
IF(QG1(I).GE.DG1) GO TO 19
IF(MS(I).GT.SOG1) GO TO 18
IF(QG1(I).GE.0.0001) GO TO 18
VQG1(I)=0.0
QG1(I)=0.0
GO TO 21

```

```

19 IF(MS(I).GE.SS) GO TO 21
18 SG1=SOG1/(1.0-R1*QG1(I))**POL1
WG=MS(I)-SG1
IF(WG,GE,0.0) GO TO 22
SWG=-1.0
BG1=B0P1+B1P1*QG1(I)
IF(P1,GT,0) GO TO 40
GO TO 41
40 Z=1.0
DO 42 J=1,P1
42 Z=Z*QG1(I)
BG1=BG1+B2P1*Z
41 CONTINUE
GO TO 23
22 BG1=B0H1+B1H1*QG1(I)
IF(H10,GT,0) GO TO 43
GO TO 44
43 Z=1.0
DO 45 J=1,H10
45 Z=Z*QG1(I)
BG1=BG1+B2H1*Z
44 CONTINUE
SWG=1.0
23 VQG1(I)=((ABS(WG)/BG1)**0.5)*SWG
IF(QG1(I)-DG1)21,35,35
35 IF(SWG,LE,0.0) GO TO 21
VQG1(I)=0.0
21 IF(MS(I).GT.SOG2) GO TO 24
IF(QG2(I).GE.0.0001) GO TO 24
VQG2(I)=0.0
QG2(I)=0.0
GO TO 30
17 IF(MS(I).GE.SS) GO TO 30
24 SG2=SOG2/(1.0-R2*QG2(I))**POL2
WG=MS(I)-SG2
IF(WG,GE,0.0) GO TO 25
SWG=-1.0
BG2=B0P2+B1P2*QGG
IF(P2,GT,0) GO TO 46
GO TO 47
46 Z=1.0
DO 48 J=1,P2
48 Z=Z*QGG
BG2=BG2+B2P2*Z
47 CONTINUE
GO TO 26
25 BG2=B0H2+B1H2*QGG
IF(H20,GT,0) GO TO 49
GO TO 50
49 Z=1.0
DO 51 J=1,H20
51 Z=Z*QGG
BG2=BG2+B2H2*Z
50 CONTINUE
SWG=1.0
26 VQG2(I)=((ABS(WG)/BG2)**0.5)*SWG
IF(QGG-DA1)30,37,37
37 IF(SWG,LE,0.0) GO TO 30
VQG2(I)=0.0
30 CONTINUE
RETURN
C _____
C ENTRY PARS
C _____
202 FORMAT(/2X,'П А Р А М Е Т Р Ы В А Г О Н О В И ',
*' М Е Ж В А Г О Н Н Ы Х С О Е Д И Н Е Й /')
222 FORMAT(9F10.3,2F10.0)
223 FORMAT(/2X,'П А Р А М Е Т Р Ы "У К О Р О Ч Е Н Н О Й "
* С И С Т Е М Ы /')
27 FORMAT(1X,'M',8X,'LB',9X,'K',9X,'D',7X,'HETA.,6X,
*'BETA',7X,'KK',8X,'SM',8X,'DM',8X,'PF',7X,'IA1')
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ K(I)
CALL FORMI(K)
C ВВОД ЗАЗОРОВ D(I)
CALL FORMI(D)
C ВВОД КОЭФ. ВЕТА(I)
CALL FORMI(BETA)
C ВВОД КОЭФ. НЕТА(I)
CALL FORMI(HETA)
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK(I)
CALL FORMI(KK)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ SM(I)
CALL FORMI(SM)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM(I)
CALL FORMI(DM)
CALL FORMI(PF)
CALL FORMI(IA1)
PRINT 202
PRINT 27
PRINT 222,(M0(I),LB0(I),K(I),D(I),HETA(I),BETA(I),
*KK(I),SM(I),DM(I),PF(I),IA1(I),I=1,N0)
IF(NC1,EQ,1) GO TO 1000
DO 125 I=1,N0
K(I)=1/K(I)
125 KK(I)=1./KK(I)
CALL MINPOR(K)
CALL MINPOR(D)
CALL MINPOR(KK)
CALL MINPOR(DM)
CALL MINPOR(IA1)
DO 126 I=1,N
K(I)=1./K(I)
126 KK(I)=1./KK(I)
PRINT 223
PRINT 27
PRINT 222,(M(I),LB(I),K(I),D(I),HETA(I),BETA(I),KK(I),
*SM(I),DM(I),PF(I),IA1(I),I=1,N)
1000 DO 400 I=1,N
QF(I)=0.0
QG1(I)=0.0
VQG1(I)=0.0
QG2(I)=0.0
VQG2(I)=0.0
QA1(I)=0.0

```

```

VQA(I)=0.0
AH(I)=0
AP(I)=0
MS(I)=0.0
400 S(I)=0
M2=1
L1=2*N+1
READ 217,B0P1,B0P2,B0H1,B0H2,B1P1,B1P2,B1H1,B1H2
READ 150,B2P1,B2P2,B2H1,B2H2
READ 217,DG1,DA1,SOG1,SOG2,KOG
READ 217,FM,R1,R2,POL1,POL2
217 FORMAT(8F10.1)
150 FORMAT(4F20.1)
54 FORMAT(30X,'ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ТРЕХКАМЕРНАЯ СХЕМА ГИД',
*' ПОАППАРАТА')
PRINT 54
IF(NC1,EQ,1) GO TO 1670
CN1=NC1
R1=R1/CN1
R2=R2/CN1
DA1=DA1*CN1
DG1=DG1*CN1
1670 PRINT 145,B0P1,B0P2,B0H1,B0H2,DG1,SOG1,FM,POL1,
*B1P1,B1P2,B1H1,B1H2,SOG2,R1,POL2,B2P1,B2P2,B2H1,
*B2H2,DA1,R2,KOG
145 FORMAT(2X,'B0P1=','F12.1,' B0P2=','F12.1,' B0H1=',
* F12.1,' B0H2=','F12.1,' DG1=','F5.1,' FM=',
* F3.1,' POL1=','F3.1/2X,' B1P1=','F10.1,' B1P2=','F10.1,
* ' B1H1=','F10.1,' B1H2=','F10.1,' SOG2=','F5.2,
** R1=','F3.1,' POL2=','F3.1/2X,' B2P1=','F12.1,' B2P2=',
* F12.1,' B2H1=','F12.1,' B2H2=','F12.1,' DA1=','F5.2,
** R2=','F4.1,' KOG=','F12.0)
300 FORMAT(4I4)
READ 300,P1,H10,P2,H20
PRINT 301,P1,H10,P2,H20
301 FORMAT(2X,'P1=','14,' H10=','14,' P2=','14,' H20=','14)
QGG=0.0
RETURN
END

```

3.1.4. Модификация APPARAT4 подпрограммы SILA

Данная модификация подпрограммы SILA состоит из двух блоков – основного и вспомогательного.

Основной блок при обращении к нему подпрограммы вычисляет в процессе интегрирования дифференциальных уравнений движения экипажей и дифференциальных уравнений состояния соединений усилия S_i и скорости v_{ri} перемещений поршней гидрогазовых поглощающих аппаратов. При этом зависимость силы от сжатия и скорости сжатия гидрогазового поглощающего аппарата упрощенно можно представить с помощью выражения

$$S_i = S_{ri}(1 + p_2 |v_{ri}| v_{ri}), \quad (3.16)$$

64

где S_{ri} – сила сопротивления газа сжатию, p_2 – коэффициент гидравлического сопротивления, изменяющийся в зависимости от знака v_{ri} скорости.

Величина S_{ri} в зависимости от перемещения q_{ri} плунжера поглощающего аппарата вычисляется по одной из следующих формул:

$$S_{ri} = S_0(1 - r q_{ri})^{-d}; \quad (3.17)$$

$$S_{ri} = S_0 + S_{01} q_{ri} + S_{02} q_{ri}^3; \quad (3.18)$$

$$S_{ri} = S_0 + A(e^{\frac{C}{A} q_{ri}} - 1), \quad (3.19)$$

где S_0 , r , d , S_{01} , S_{02} , A и C – постоянные величины.

Алгоритм вычисления усилий S_i и скорости v_{ri} в основном аналогичен алгоритму, описанному в п. 3.1.3. Но в данном случае в соответствии с выражением (3.16) вместо двух уравнений (3.11) и (3.12) решается одно:

$$q_{ri} = v_{ri} = \sqrt{(|S_i|/S_{ri} - 1)/p_2 \operatorname{sign}(|S_i| - S_{ri})}, \quad (3.20)$$

или

$$(0 < q_{ri} < \Delta_r) \vee ((q_{ri} = 0) \wedge (|S_i| \leq S_0)) \vee ((q_{ri} = \Delta_r) \wedge (|S_i| < S_{ri}(\Delta_r))),$$

иначе

$$q_{ri} = v_{ri} = 0.$$

В процессе работы подпрограммы выражение для вычисления S_{ri} выбирается в соответствии со значением программного признака P1, вводимого с исходными данными; при P1 = 0 используется выражение (3.17), при P1 = 1 – выражение (3.18), а при P1 = 2 – выражение (3.19).

Полученные в результате интегрирования значения q_i и q_{ri} позволяют определить величину q_{fi} удлинения элемента, моделирующего деформации фрикционного поглощающего аппарата и кузова экипажа:

$$q_{fi} = q_i^* \sigma_0 (q_i^* q_i), \quad (3.21)$$

где

$$\left. \begin{aligned} q_i^* &= q_i - 0.5 \delta_{0i} (1 + \operatorname{sign} q_i) - A_i q_{ai} \operatorname{sign} q_i; \\ q_{ai} &= q_{ri} + |S_i|/k_{\infty}; \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

σ_0 – единичная функция Хевисайда; A_i – количество гидравлических аппаратов в соединении вагонов; k_{∞} – жесткость столба жидкости гидравлического поглощающего аппарата. Из физических соображений необходимо, чтобы выполнялось условие $k_{\infty} \gg k_k$; k_k – продольная жесткость конструкции вагона; если это условие не соблюдается, то вместо k_{∞} следует задать в исходных данных величину k_k^* как можно большей ($\sim 10^6$), а величину k_k заменить величиной

$$k_k^* = k_k / (1 + A_i k_k / k_{\infty}).$$

Сила в соединении определяется в предположении, что, кроме рассматриваемого гидравлического поглощающего аппарата, в соединении может быть фрикционный поглощающий аппарат с начальной затяжкой S_{0f} и силовой характеристикой, показанной на рис. 3.4.

Таблица 3.5

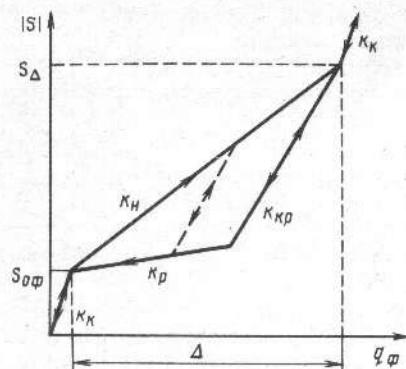


Рис. 3.4. Упрощенная силовая характеристика упруго-фрикционного соединения

$PF(I) = 0$, показывающего, что в соединении нет фрикционного поглощающего аппарата, вычисление силы S_i осуществляется с помощью выражения (3.23). Если же $PF(I) = 1$ (есть фрикционный аппарат в i -м (соединении), то вычисление силы по формуле (3.23) производится до тех пор, пока вычисленное значение не превысит силу начальной затяжки аппарата $S_{\text{оф}}$. Как только это произойдет, определяют величину

$$X_1 = q_{\phi i} - \frac{S_{\text{оф}}}{k_k} \operatorname{sign} q_i, \quad (3.24)$$

а затем по полученному значению X_1 вычисляется S_i^* с помощью формул (3.1), если в них величину δ_{oi} приравнять нулю. Если значение S_i^* найдено при $|X_1| \geq \Delta$, то $S_i = S_i^*$, если же $|X_1| < \Delta$, то $S_i = S_i^* + S_{\text{оф}} \operatorname{sign} q_i$.

Особенностью реализации формул (3.1) в данной модификации является то, что при $|X_1| < \Delta$ жесткость переходного участка равна не k_k , а $k_{kp} \leq k_k$. Это позволяет применять эти формулы в случаях, когда последовательно с рассматриваемым гидравлическим поглощающим аппаратом включен резинометаллический поглощающий аппарат.

В табл. 3.5 приведены идентификаторы переменных и параметров, используемых в подпрограмме.

Так как величина p_2 принимает разные значения в зависимости от знака v_{ri} , то в программе присваивается значение $P22 = B0H1$, если $v_{ri} > 0$, и $P22 = B0P1$, если $v_{ri} < 0$ ($P22$ – идентификатор p_2).

Определение параметров формул (3.16) и (3.17) по данным эксперимента или расчетов, основанных на более точных и полных математических моделях, описано в работе [7].

Вспомогательный блок PARS предназначен для ввода и формирования массивов исходных данных, необходимых при расчетах

На рис. 3.4 k_h и k_p – жесткость при нагружении и разгрузении фрикционного поглощающего аппарата, k_{kp} – жесткость переходного участка; S_Δ – сила закрытия поглощающего аппарата, Δ – перемещение, соответствующее полному ходу.

Сначала силу вычисляют по формуле

$$S_i = k_{ki} q_{\phi i} + \beta_i \dot{q}_{\phi i}, \quad (3.23)$$

где $\dot{q}_{\phi i} = \dot{q}_i - A_i v_{ri} \operatorname{sign} q_i$, β_i – коэффициент вязкого сопротивления деформированию соединения.

Если $(|S_i| - S_{\text{оф}}) PF(I) \leq 0$, то сохраняется вычисленное значение силы. Это значит, что при значении программного признака

Окончание табл. 3.5

Параметры	i	q_i	q_{ri}	δ_{oi}	Δ_i
Идентификатор	I	Q(I)	QA1(I)	D(I)	DM(I)
Параметры	$ S_i $	$S_{\Delta i}$	S_0	S_{01}	S_{02}
Идентификатор	MS(I)	SM(I)	SOG	SOG1	SOG2
Параметры	k_k	r	d	A	C
Идентификатор	KOG	R1	POL1	SOG2	SOG1

Параметры	Δ_i	v_{ri}	S_i	S_{ri}
Идентификатор	DA1	VQA(I)	S(I)	WG
Параметры	$S_{\text{оф}}$	k_{hi}	k_{ki}	k_{kp}
Идентификатор	POL2	K(I)	KK(I)	KKP(I)
Параметры	p_2	A_i	β_i	$1 - \eta_i$
Идентификатор	P22	IA1(I)	BETA(I)	NETA(I)

Таблица 3.6

Идентификатор	BOP1	BOH1	DA1	SOG1	SOG2	SOG	KOG	R1	POL1	POL2	P1
Формат	2F10.1							5F10.1			3F10.1

с использованием описанных выше формул. Обращается к этому модулю головная программа MAIN. Формирование указанных массивов осуществляется с помощью подпрограммы FORMI. В тех случаях, когда производится формирование параметров укороченной системы, происходит обращение к подпрограмме MINPOR.

Ниже приведены идентификаторы массивов в той последовательности, которая соответствует порядку подготовки информации для их формирования, т. е.

Идентификатор	K	D	BETA	NETA	KK
Идентификатор	SM	DM	PF	IA1	KKP

Для подготовки данных необходимо ознакомиться с работой подпрограммы FORMI.

В табл. 3.6 приведены идентификаторы параметров в порядке ввода. Параметры, указанные в табл. 3.6, вводятся после ввода информации о параметрах, приведенных выше.

Для контроля ввода печатается информация, необходимая для работы подпрограммы FORMI, затем печатаются параметры всех экипажей и их соединений. Если осуществляется преобразование параметров, связанное с понижением порядка системы дифференциальных уравнений, то после этого печатаются параметры «укороченной» системы.

Текст подпрограммы приведен далее.

C SUBROUTINE SILA
 C МОДИФИКАЦИЯ "APPARAT4"
 C
 COMMON/BL7/M2
 COMMON/BLN/N,N0,NC1
 COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
 COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
 COMMON/BLQG/QA1(100),QG1(100),QG2(100),IA1(100),
 *VQG1(100),VQG2(100),VQA(100)
 COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
 DIMENSION K(100),D(100),BETA(100),HETA(100),KK(100),
 *SM(100),DM(100),KKP(100)
 DIMENSION PF(100),OF(100),MS(100),AP(100),AH(100)
 REAL KK,K,KOG,KKP
 REAL IA1,IA11
 REAL MS
 REAL M,M0,LB,LB0
 INTEGER P1
 C
 L=L1
 DO 180 I=2,N
 VQA(I)=VQG1(I)
 QA1(I)=QG1(I)
 SS=MS(I)
 IF(Q(I).LT.0.0) GO TO 50
 P=Q(I)-D(I)
 SX=1.0
 IF(P.GT.0.0) GO TO 28
 S(I)=0.0
 IF(IA1(I).NE.0.0) L=L+1
 GO TO 59
 50 P=Q(I)
 SX=-1.0
 28 IF(IA1(I).NE.0.0) L=L+1
 59 QG=QA1(I)*SX+S(I)/KOG
 QGG=QG*SX
 IF(QGG.LT.DA1) GO TO 20
 QG=DA1*SX
 VQA(I)=0.0
 20 IF(Q(I)*P.LT.0.0) GO TO 52
 X1=P-IA1(I)*QG
 QF(I)=X1
 Z=A2(I+N+1)-VQA(I)*IA1(I)
 IF(Q(I)*X1.GT.0.0) GO TO 51
 S(I)=0.0
 GO TO 52
 51 S(I)=KK(I)*X1+BETA(I)*Z
 IF(PF(I)*(ABS(S(I))-POL2).LE.0.0) GO TO 52
 X1=X1-POL2/KK(I)*SX
 X2=ABS(X1)
 IF(X2.GE.DM(I)) GO TO 56
 IF(Q(I)*Z.LT.0.0) GO TO 54
 Y1=(POL2+K(I)*X2)*SX
 Y2=KKP(I)*X1+AH(I)+BETA(I)*Z
 Z1=ABS(Y2)
 IF(ABS(Y1).GT.Z1) GO TO 53
 S(I)=Y1
 AP(I)=Y1-KKP(I)*X1
 GO TO 52
 53 S(I)=Y2
 AP(I)=AH(I)
 GO TO 52
 54 Y3=K(I)*X1
 Y1=Y3*BETA(I)
 Y2=KKP(I)*X1+AP(I)+BETA(I)*Z
 Z1=ABS(Y2)
 IF(Y1*Y2.LE.0.0) GO TO 55
 IF(ABS(Y1).GT.Z1) GO TO 55
 S(I)=Y2
 AH(I)=AP(I)
 GO TO 52
 55 S(I)=Y1
 AH(I)=Y1-KKP(I)*X1
 GO TO 52
 56 S(I)=((X2-DM(I))*KK(I)+SM(I))*SX+BETA(I)*Z
 52 IF(IA1(I).LT.0.001) GO TO 80
 MS(I)=ABS(S(I))
 IF(OGG.GE.DA1) GO TO 34
 IF(MS(I).GT.SOG) GO TO 33
 IF(QA1(I).GE.0.0001) GO TO 33
 VQA(I)=0.0
 QA1(I)=0.0
 A1(L)=QA1(I)
 GO TO 80
 34 IF(MS(I).GE.SS) GO TO 80
 33 IF(P1.EQ.1) GO TO 58
 IF(P1.EQ.2) GO TO 75
 WG=MS(I)*(1.0-R1*QA1(I))**POL1/SOG-1.0
 GO TO 61
 58 WG=SOG+SOG1*(QA1(I))+SOG2*(QA1(I))**3
 WG=MS(I)/WG-1.0
 GO TO 61
 75 WG=SOG+SOG2*(EXP(SOG1/SOG2*QA1(I))-1.0)
 WG=MS(I)/WG-1.0
 61 IF(WG.GT.0.0) GO TO 35
 P22=B0P1
 SWG=-1.0
 GO TO 37
 35 IF(OGG.GE.DA1) GO TO 80
 P22=B0H1
 SWG=1.0
 37 VQA(I)=(ABS(WG)/P22)**0.5*SWG
 80 QG2(I)=0.0
 QA1(I)=QA1(I)
 VQG1(I)=VQA(I)
 VQG2(I)=0.0
 180 CONTINUE
 RETURN
 C
 ENTRY PARS
 C
 202 FORMAT(/2X,'ПАРАМЕТРЫ ВАГОНОВ И',
)

```

** МЕЖВАГОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ*/
222 FORMAT(10F10.3,2F10.0)
223 FORMAT(2X,'ПАРАМЕТРЫ "УКОРОЧЕННОЙ"',
          ** СИСТЕМЫ')
27 FORMAT(7X,'M',8X,'LB',9X,'K',9X,'D',7X,'NETA',6X,
          **BETA',7X,'KK',8X,'SM',8X,'DM',7X,'KKP',8X,'PF',7X,'IA1')
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ K(I)
CALL FORMI(K)
C ВВОД ЗАЗОРОВ D(I)
CALL FORMI(D)
C ВВОД КОЭФ. ВЕТА(I)
CALL FORMI(BETA)
C ВВОД КОЭФ. НЕТА(I)
CALL FORMI(NETA)
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK(I)
CALL FORMI(KK)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ SM(I)
CALL FORMI(SM)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM(I)
CALL FORMI(DM)
CALL FORMI(KKP)
CALL FORMI(PF)
CALL FORMI(IA1)
PRINT 202
PRINT 27
PRINT 222,(M0(I),LB0(I),K(I),D(I),NETA(I),BETA(I),
*KK(I),SM(I),DM(I),KKP(I),PF(I),IA1(I),I=1,N0)
IF(NC1.EQ.1) GO TO 1000
CN1=NC1
DO 125 I=1,N0
K(I)=1./K(I)
KKP(I)=1./KKP(I)
125 KK(I)=1./KK(I)
CALL MINPOR(K)
CALL MINPOR(D)
CALL MINPOR(KK)
CALL MINPOR(KKP)
CALL MINPOR(DM)
CALL MINPOR(IA1)
DO 126 I=1,N
K(I)=1./K(I)
KKP(I)=1./KKP(I)
126 KK(I)=1./KK(I)
PRINT 223
PRINT 27
PRINT 222,(M(I),LB(I),K(I),D(I),NETA(I),BETA(I),KK(I),
*SM(I),DM(I),KKP(I),PF(I),IA1(I),I=1,N)
1000 DO 400 I=1,N
QF(I)=0.0
QG1(I)=0.0
VQG1(I)=0.0
QG2(I)=0.0
VQG2(I)=0.0
QA1(I)=0.0
VQA(I)=0.0
AH(I)=0
AP(I)=0

```

```

MS(I)=0.0
400 S(I)=0
M2=0
L1=2*N+1
READ 217,BOP1,B0H1
READ 217,DA1,SOG1,SOG2,SOG,KOG
READ 217,R1,POL1,POL2
217 FORMAT(8F10.1)
230 FORMAT(14)
254 FORMAT(30X,'ИСПОЛЬЗУЕТСЯ УПРОЩЕННАЯ СХЕМА ГИДРО',
* 'АППАРАТА')
PRINT 254
IF(NC1.EQ.1) GO TO 1670
CN1=NC1
R1=R1/CN1
DA1=DA1*CN1
PRINT 230,P1
1670 PRINT 145,DA1,SOG,P1,R1,POL1,POL2,SOG1,SOG2,BOP1,B0H1,KOG
145 FORMAT(2X/'DA1',6X,'SOG',6X,'P1 ',7X,'R1 ',7X,'POL1 ',5X,
*'POL2 ',5X,'SOG1',5X,'SOG2',5X,'BOP1 ',5X,'B0H1 ',5X,'KOG ',
*2F10.7,14,6X,8F10.4)
RETURN
END

```

3.1.5. Модификация APPARAT5 подпрограммы SILA

Данная модификация состоит из двух блоков – основного – SILA и вспомогательного – PARS.

Основной блок подпрограммы предназначен для расчета сил S_i при аварийных режимах, сопровождающихся пластическими деформациями конструкции вагона. Обращается к нему подпрограмма SPRAV при вычислении правых частей уравнений. Определение сил в межвагонных соединениях осуществляется в соответствии с алгоритмом, который представлен формулами, аналогичными описанным в п. 3.1.2:

$$q_{\phi i} = |q_i - \varepsilon_i| - 0.5\delta_{0i}(1 + \text{sign}(q_i - \varepsilon_i)); \quad \left. \begin{array}{l} \\ S_i = S_{\phi i} \text{ sign}(q_i - \varepsilon_i); \end{array} \right\} \quad (3.25)$$

$$S_{\phi i} = \begin{cases} \min\{S_{hi}, S_{ki}\}, & \text{если } (q_{\phi i} < \Delta_i) \wedge (q_{\phi i}(t) \geq q_{\phi i}(t-h)); \\ \max\{S_{pi}, S_{ki}\}, & \text{если } (q_{\phi i} < \Delta_i) \wedge (q_{\phi i}(t) < q_{\phi i}(t-h)); \\ S_{ki}, & \text{если } (q_{\phi i} \geq \Delta_i) \wedge (S_{ki} < S_{si}); \\ S_{si} + k_{ksi}(q_{\phi i}(t) - q_{\phi i}(t-h)), & \text{если } (q_{\phi i} > \Delta_i) \wedge (S_{ki} > S_{si}). \end{cases} \quad (3.26)$$

Здесь S_{ki} , S_{hi} и S_{pi} определены формулами (3.4), а

$$S_{si} = |S_{s0i} \text{ sign}(q_i - \varepsilon_i) + \varepsilon_i k_{ksi}/(1 - k_{ksi}/k_{ki})|; \quad \left. \begin{array}{l} \\ \varepsilon_i = \varepsilon_i(t-h) + (1 - k_{ksi}/k_{ki})(q_{\phi i}(t) - q_{\phi i}(t-h)) \text{ sign}(q_i - \varepsilon_i), \end{array} \right\} \quad (3.27)$$

где ε_i – остаточная продольная деформация конструкции вагона в единицах длины;
 S_{hi} – усилие, соответствующее пределу текучести конструкции с учетом ее наклепа;

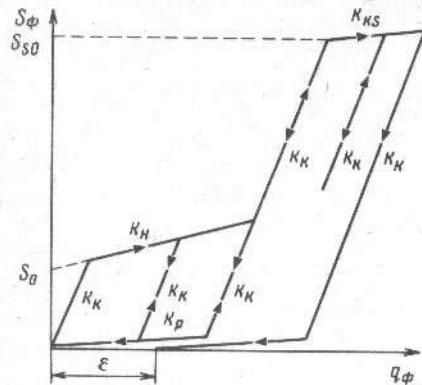


Рис. 3.5. Силовая характеристика упругоупрочненного соединения при упругопластических деформациях кузова вагона

ной программой MAIN. Модуль PARS обращается к подпрограммам FORMI и при формировании параметров «укороченной» системы – к подпрограмме MNPOR. Путем обращения к подпрограмме FORMI формируются массивы величин, идентификаторы которых K, D, BETA, HETA, KK, SM, DM, KP, DEP, DST.

Для контроля печатаются параметры экипажей (M0 – массы и LB0 – длины) и параметры междувагонных соединений. Затем по-

Таблица 3.7

Параметры	q_i	$q_{\phi i}(t)$	$q_{\phi i}(t - h)$	ϵ_i
Идентификатор	Q(I)	QF	AH(I)	DST(I)
Параметры	$S_{\phi i}$	$S_{\phi i}(t - h)$	S_{hi}	S_{pi}
Идентификатор	S(I)	AP(I)	SN	SP
Параметры	S_{oi}	S_{soi}	K_{hi}	K_{ki}
Идентификатор	SM(I)	DEP(I)	K(I)	KK(I)

Окончание табл. 3.7

Параметры	\dot{q}_i	S_i	S_{ki}
Идентификатор	VQF	S(I)	S(I)
Параметры	S_{si}	δ_{0i}	Δ_i
Идентификатор	SP1(I)	D(I)	DM(I)
Параметры	K_{ksi}	$1 - \eta_i$	β_i
Идентификатор	KP(I)	HETA(I)	BETA(I)

сле преобразований, связанных с переходом к «укороченной» системе, печатаются параметры «укороченной» системы.

Текст подпрограммы приведен далее.

SUBROUTINE SILA
МОДИФИКАЦИЯ "APPARAT5"

```

COMMON/BLQG/DST(100),PM(200),IA1(100),PM1(300)
COMMON/BL7/M2
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
DIMENSION K(100),D(100),BETA(100),HETA(100),KK(100),
*SM(100),DM(100),AP(100),AH(100),KP(100),DEP(100)
REAL KK,K,M,LB,M0,LB0,IA1,KP
DO 20 I=2,N
  QZ=Q(I)-DST(I)
  SX=SIGN(1.0,Q(I))
  QZ=ABS(Q(I))-_
*0.5*D(I)*(1.0+SX)
  VQF=V(I-1)-V(I)
  IF(QZ)1,1,3
  3 QF=QZ
  GO TO 2
  1 QF=0.0
  AP(I)=0.0
  S(I)=0.0
  GO TO 11
  2 S(I)=AP(I)+KK(I)*(QF-AH(I))+_
*BETA(I)*VQF*SX
  IF(QF-DM(I))4,6,6
  4 IF(VQF*SX)9,9,8
  8 SN=SM(I)+K(I)*QF
  P=SN-S(I)
  IF(P)10,10,6
  6 AP(I)=S(I)-BETA(I)*VQF*SX
  SP1=ABS(DEP(I)*SX+DST(I)*KP(I)/(1.0-KP(I)/KK(I)))
  IF(AP(I).LT.SP1) GO TO 11
  S(I)=SP1+KP(I)*(QF-AH(I))
  DST(I)=DST(I)+(1.0-KP(I)/KK(I))*(QF-AH(I))*SX
  GO TO 11
  10 S(I)=SN
  AP(I)=S(I)
  GO TO 11
  9 SP=HETA(I)*K(I)*QF
  P=SP-S(I)
  IF(P)6,6,13
  13 S(I)=SP
  AP(I)=S(I)
  11 AH(I)=QF
  20 S(I)=S(I)*SX
  RETURN
C   ENTRY PARS
C
202 FORMAT(/2X,'ПАРАМЕТРЫ ВАГОНОВ И',
*' МЕЖВАГОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ/')
222 FORMAT(12F10.3)
223 FORMAT(/2X,'ПАРАМЕТРЫ "УКОРОЧЕННОЙ"',
*' СИСТЕМЫ')
27 FORMAT(7X,'M',8X,'LB',9X,'K',9X,'D',7X,'HETA',6X,'BETA',

```

```

*7X,'KK',8X,'SM',8X,'DM',8X,'KP',7X,'DEP',7X,'DST'
C   ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ K(I)
    CALL FORMI(K)
C   ВВОД ЗАЗОРОВ D(I)
    CALL FORMI(D)
C   ВВОД КОЭФ. ВЕТА(I)
    CALL FORMI(BETA)
C   ВВОД КОЭФ. НЕТА(I)
    CALL FORMI(HETA)
C   ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK(I)
    CALL FORMI(KK)
    CALL FORMI(SM)
C   ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM(I)
    CALL FORMI(DM)
    CALL FORMI(KP)
    CALL FORMI(DEP)
    CALL FORMI(DST)
    PRINT 202
    PRINT 27
    PRINT 222,(M0(I),LB0(I),K(I),D(I),HETA(I),BETA(I),
*KK(I),SM(I),DM(I),KP(I),DEP(I),DST(I),I=1,N0
    IF(NC1.EQ.1) GO TO 1000
    DO 125 I=1,N0
    K(I)=1./K(I)
    KP(I)=1./KP(I)
    KK(I)=1./KK(I)
    CALL MINPOR(K)
    CALL MINPOR(D)
    CALL MINPOR(KK)
    CALL MINPOR(DM)
    CALL MINPOR(KP)
    CALL MINPOR(DST)
    CN1=NC1
    DO 500 I=1,N0
    BETA(I)=BETA(I)/CN1
    HETA(I)=HETA(I)/CN1
    500 SM(I)=SM(I)/CN1
    CALL MINPOR(BETA)
    CALL MINPOR(HETA)
    CALL MINPOR(SM)
    DO 126 I=1,N
    K(I)=1./K(I)
    KP(I)=1./KP(I)
    KK(I)=1./KK(I)
    PRINT 223
    PRINT 27
    PRINT 222,(M(I),LB(I),K(I),D(I),HETA(I),BETA(I),KK(I),
*SM(I),DM(I),KP(I),DEP(I),DST(I),I=1,N)
1000 DO 400 I=1,N
    AH(I)=0
    IA1(I)=0.0
    AP(I)=0
400 S(I)=0
    M2=0
    RETURN
    END

```

3.1.6. Модификация APPARAT6 подпрограммы SILA

Данная модификация подпрограммы SILA состоит из двух блоков основного и вспомогательного.

Основной блок предназначен для вычисления в процессе формирования правых частей (при обращении к нему подпрограммы PRAV) дифференциальных уравнений движения экипажей величин сил в поезде, оборудованном фрикционными поглощающими аппаратами с нелинейными (кусочно-линейными) силовыми характеристиками. Допускается моделирование явлений «захватывания» клиньев или «заклинивания» поглощающих аппаратов, а также срыва клиньев и их мгновенного проскальзывания.

В основном описание зависимости силы от сжатия и скорости сжатия такое же, как в п. 2.1.2, но значения S_{hi} и S_{pi} в этой модификации вычисляются в соответствии с выражениями:

$$S_{hi} = \begin{cases} S_{ij} + \frac{S_{ij+1} - S_{ij}}{q_{ij+1} - q_{ij}} (q_{\phi i} - q_{ij}), & j = 1, N_{\Delta i}, \\ S_{ij+1}, & \text{если } (q_{ij} \leq q_{\phi i} < q_{ij+1}) \wedge (S_{ij+1} \geq S_{ij}); \\ S_{ij+1}, & \text{если } (q_{ij} < q_{\phi i} \leq q_{ij+1}) \wedge (S_{ij+1} < S_{ij}), \end{cases} \quad (3.28)$$

при этом

$$q_{\phi i} = q_{ij+1}, \quad q_i = q_i(t-h) + (q_{ij+1} - q_{ij}) \operatorname{sign} q_i; \\ S_{pi} = k_{pi} q_{\phi i}. \quad (3.29)$$

Здесь q_{ij} и S_{ij} – координаты узловых точек кусочно-линейной аппроксимации силовой характеристики при нагружении; $N_{\Delta i}$ – число узловых точек в пределах суммарного хода поглощающих аппаратов ($N_{\Delta i} \leq 5$); $q_i(t-h)$ – значение q_i , полученное в результате интегрирования до мгновенного проскальзывания на величину $q_{ij+1} - q_{ij}$.

Пример соответствующей формулы (3.28) и (3.29) зависимости показан на рис. 3.6.

Пунктиром изображен переход на участке проскальзывания. Условием его является $(q_{ij} < q_{\phi i} \leq q_{ij+1}) \wedge (S_{ij+1} < S_{ij})$.

В табл. 3.8 приведены идентификаторы параметров, которые используются при вычислении силы с помощью формул (3.2) – (3.4) при условии, что $S_h(q_\phi)$ описывается выражением (3.28), а $S_p(q_\phi)$ – выражением (3.29).

Вспомогательный блок (см. точку входа PARS) предназначен для ввода (при обращении головной

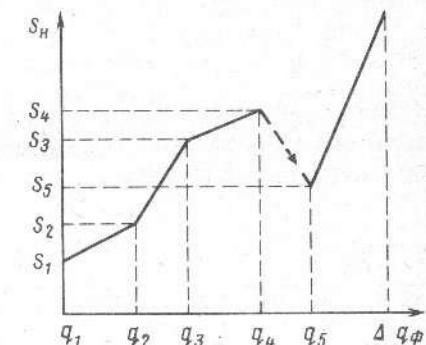


Рис. 3.6. Кусочно-линейная аппроксимация силовой характеристики упруго-фрикционных поглощающих аппаратов при нагружениях

Таблица 3.8

Параметры	q_i	$q_{\phi i}$	$\text{sign } q_i$	\dot{q}_i	S_i
Идентификатор	Q(I)	QF	SX	VQF	S(I)
Параметры	i	j	δ_{oi}	Δ_i	$N_{\Delta i}$
Идентификатор	I	j	D(I)	DM(I)	KU(I)
Окончание табл. 3.8					
Параметры	S_{bi}	S_{pi}	S_{ki}	$S_j(t-h)$	$q_{\phi i}(t-h)$
Идентификатор	SN	SP	S(I)	AP(I)	AH(I)
Параметры	κ_{pi}	κ_{ki}	β_i	q_{ij}	S_{ij}
Идентификатор	NETA(I)	KK(I)	BETA(I)	QU(I,j)	SU(I,j)

программы MAIN) параметров, необходимых для формирования с помощью подпрограммы FORMI массивов коэффициентов формул (3.2)–(3.4), (3.28) и (3.29).

Формирование массивов координат ($q_{ij}; S_{ij}$) осуществляется следующим образом. С помощью вспомогательного одномерного массива RAB формируются сначала элементы массива абсцисс первой узловой точки q_{i1} ($i = 1, N$ – номера соединений), затем, если $q_{i1} < \Delta_i$, элементы массива q_{i2} абсцисс второй узловой точки и т. д. (до значения наибольшего номера узловой точки $j_i = N_{\Delta i} \leq 5$, при котором имеет место $q_{ij} = \Delta_i$). После этого вводятся в той же последовательности массивы ординат $S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{ij}$ – узловых точек ($i = 1, N$). Этих массивов должно вводиться столько же, сколько было массивов абсцисс узловых точек. Количество массивов абсцисс (или ординат) узловых точек определяется при вводе автоматически счетчиком KUV и должно быть не более пяти. Последним массивом значений абсцисс узловых точек должен быть массив значений Δ_i , что является признаком завершения ввода.

В табл. 3.9 показана последовательность информации о значении каждого параметра и числа соединений с одинаковой величиной параметра. По этой информации после обращения к подпрограмме FORMI формируется соответствующий массив. Для подготовки вводимых данных необходимо познакомиться с описанием работы подпрограммы FORMI.

Таблица 3.9

№ п/п	1	2	3	4	5	6
Идентификатор	D	BETA	NETA	KK	DM	RAB(q_{i1})
Окончание табл. 3.9						
№ п/п	7	...	$5 + KUV$	$5 + KUV + 1$...	$5 + 2KUV$
Идентификатор	RAB(q_{i2})	...	RAB(q_{iKUV})	RAB(S_{i1})	...	RAB(S_{iKUV})

Для контроля ввода параметров системы печатается информация, необходимая для работы подпрограммы FORMI, затем – массивы M0 и LB0 масс и длин экипажей, после этого – соответствующие № 1–5 табл. 3.9 массивы параметров соединений, далее – массивы координат узловых точек ($q_{ij}; S_{ij}$), $i = 1, N$, $j = 1, N_{\Delta i}$.

В тех случаях, когда расчет выполняется с понижением порядка исходной системы дифференциальных уравнений, исходные массивы преобразуются подпрограммой MINPOR. Затем печатаются параметры «укороченной» системы.

Текст подпрограммы приведен ниже.

SUBROUTINE SILA МОДИФИКАЦИЯ "APPARAT6"

```

COMMON/BLQG/PM(300),IA1(100),PM1(300)
COMMON/BL7/M2
COMMON/BLE/E
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
DIMENSION D(100),BETA(100),NETA(100),KK(100),RAB(100),
*DM(100),AP(100),AH(100)
DIMENSION SU(5,100),QU(5,100),J(100),KU(100),QUP(100)
REAL KK,M,LB,M0,LB0,IA1
DO 20 I=2,N
  SX=SIGN(1.0,Q(I))
  QZ=ABS(Q(I))-_
*0.6*D(I)*(1.0+SX)
  VQF=V(I-1)-V(I)
  IF(QZ) 1,1,333
  1 QF=QZ
  GO TO 2222
  2 QF=0.0
  AP(I)=0.0
  S(I)=0.0
  GO TO 11
  3 B(I)=AP(I)+KK(I)*(QF-AH(I))+_
*BETA(I)*VQF*SX
  IF(QF-DM(I))4,6,6
  4 IF(VQF*SX)9,9,8
  5 JU=J(I)
  JU=JU+1
  6 IF(JU.GT.KU(I)) JU=KU(I)
  IF((QF+E),EQ,QU(JU,I)) GO TO 444
  IF(QF,LT,QU(JU,I)) GO TO 2
  JU=JU+1
  GO TO 111
  7 IF(QF,GE,QU(JU-1,I)) GO TO 3
  JU=JU-1
  GO TO 111
  8 IF(SU(JU,I)-SU(JU-1,I)) 278,467,467
  78 SN=SU(JU,I)
  IQF=-1
  GO TO 345

```

```

467 SPR=(SU(JU,I)-SU(JU-1,I))/(QU(JU,I)-QU(JU-1,I))*(QF-
*QU(JU-1,I))
SN=SU(JU-1,I)+SPR
IQF=1
GO TO 345
444 SN=SU(JU,I)
IQF=1
345 J(I)=JU
P=SN-S(I)
IF(P)10,10,6
6 AP(I)=S(I)-BETA(I)*VQF*SX
GO TO 11
10 S(I)=SN
AP(I)=S(I)
IF(IQF,GT,0) GO TO 11
QF=QU(JU,I)
Q(I)=(QF+0.5*D(I)*(1.0+SX))*SX
A1(I+N+1)=Q(I)
A3(I+N+1)=Q(I)
GO TO 11
9 SP=HETA(I)*QF
P=SP-S(I)
IF(P)6,6,13
13 S(I)=SP
AP(I)=S(I)
11 AH(I)=QF
20 S(I)=S(I)*SX
RETURN
C -----
C ENTRY PARS
C -----
202 FORMAT(/2X,'ПАРАМЕТРЫ ВАГОНОВ И',
*'МЕЖВАГОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ')
222 FORMAT(7F10,3)
223 FORMAT(/2X,'ПАРАМЕТРЫ "УКОРОЧЕННОЙ"
*СИСТЕМЫ")
27 FORMAT(7X,'M',8X,'LB',9X,'D',7X,'HETA',6X,'BETA',
*7X,'KK',8X,'DM')
C ВВОД ЗАЗОРОВ D(I)
CALL FORMI(D)
C ВВОД КОЭФ. ВЕТА(I)
CALL FORMI(BETA)
C ВВОД КОЭФ. НЕТА(I)
CALL FORMI(HETA)
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK(I)
CALL FORMI(KK)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM(I)
CALL FORMI(DM)
C ВВОД И ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВОВ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК
DO 901 JP=1,5
DO 901 I=1,N0
SU(JP,I)=0.0
901 QU(JP,I)=0.0
KUV=0
DO 999 JP=1,5
KUV=KUV+1
CALL FORMI(RAB)

```

```

DO 9996 I=1,N0
QU(JP,I)=RAB(I)
IF(QU(JP,I).GE.DM(I)) GO TO 9995
KS=0
GO TO 9996
9995 KS=1
9996 CONTINUE
IF(KS,GT,0) GO TO 699
999 CONTINUE
699 DO 998 JP=1,KUV
CALL FORMI(RAB)
DO 998 I=1,N0
998 SU(JP,I)=RAB(I)
998 CONTINUE
PRINT 202
PRINT 27
PRINT 222,(M0(I),LB0(I),D(I),HETA(I),BETA(I),
*KK(I),DM(I),I=1,N0)
PRINT 1234,(JP,JP,JP=1,KUV)
1234 FORMAT(10X,'УЗЛОВЫЕ ТОЧКИ',
*'СИЛЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК'//
*6X,5('QU(',I1,')',6X,'SU(',I1,')',6X))
3456 FORMAT(10F12.5)
PRINT 3456,((QU(JP,I),SU(JP,I),JP=1,5),I=1,N0)
IF(NC1.EQ.1) GO TO 1000
DO 125 I=1,N0
HETA(I)=1./HETA(I)
125 KK(I)=1./KK(I)
CALL MINPOR(HETA)
CALL MINPOR(D)
CALL MINPOR(KK)
CALL MINPOR(DM)
CN1=NC1
DO 500 I=1,N0
500 BETA(I)=BETA(I)/CN1
CALL MINPOR(BETA)
DO 126 I=1,N
HETA(I)=1./HETA(I)
126 KK(I)=1./KK(I)
DO 1271 JP=1,5
DO 1272 I=1,N0
1272 QUP(I)=QU(JP,I)
CALL MINPOR(QUP)
DO 1273 I=1,N
1273 QU(JP,I)=QUP(I)
1271 CONTINUE
PRINT 223
PRINT 27
PRINT 222,(M(I),LB(I),D(I),HETA(I),BETA(I),KK(I),
*DM(I),I=1,N)
PRINT 1234,(JP,JP,JP=1,KUV)
PRINT 3456,((QU(JP,I),SU(JP,I),JP=1,5),I=1,N)
1000 DO 400 I=1,N
AH(I)=0
IA1(I)=0.0
AP(I)=0
J(I)=0

```

Таблица 3.10

```

J(I)=0
KU(I)=1
400 S(I)=0
M2=0
I=2
220 DO 200 JP=2,5
IF(QU(JP,I),LE.0.0) GO TO 210
KU(I)=KU(I)+1
200 CONTINUE
210 I=I+1
IF(I.LE,N0) GO TO 220
RETURN
END

```

3.1.7. Модификация APPARAT7 подпрограммы SILA

Этот вариант подпрограммы SILA состоит из двух блоков – основного и вспомогательного.

Основной блок предназначен для вычисления (при обращении к нему подпрограммы SPRAV) сил в автосцепках в случаях, когда по условию решаемой задачи необходимо принимать во внимание влияние скорости скольжения клиньев фрикционного поглощающего аппарата на процесс его сжатия.

В основу положен алгоритм подпрограммы APPARAT6, дополненный формулой

$$S_{hi} = S_{hi}^* \frac{1 + b_{1i} |q_{\phi i}(t) - q_{\phi i}(t-h)| / h}{1 + b_{2i} |q_{\phi i}(t) - q_{\phi i}(t-h)| / h}, \quad (3.30)$$

где S_{hi}^* – величина, вычисленная с помощью выражений (3.28), b_{1i} и b_{2i} – постоянные коэффициенты, зависящие от свойств трущихся поверхностей, h – шаг интегрирования. При вычислении S_{hi}^* второе из условий в выражениях (3.28) во внимание не принимается.

Подпрограмма использует идентификаторы, приведенные в табл. 3.9 со следующим дополнением:

Параметр	b_{1i}	b_{2i}	h	i
Идентификатор	B1(I)	B2(I)	H	I

При этом идентификатор HETA(I) соответствует параметру k_p выражения (3.29).

Вспомогательный блок PARS при обращении к нему головной программы вводит информацию, необходимую для формирования подпрограммой FORM1 массивов исходных данных, описывающих характеристики междувагонных соединений. Формирование массивов q_{ij} и S_{ij} происходит так же, как описано в предыдущем параграфе.

В табл. 3.10 приведены идентификаторы вводимых величин в порядке ввода.

После окончания ввода исходных данных печатаются массивы значений параметров M0 и LB0 вагонов (масс и длин), затем – значений параметров соединений D, BETA, HETA, KK, DM, B1, B2,

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	...
Идентификатор	D	BETA	HETA	KK	DM	QU(I,2)	QU(I,2)	...
Окончание табл. 3.10								
№ п/п	5 + KUV	6 + KUV	...	5 + 2KUV	6 + 2KUV	7 + 2KUV	...	
Идентификатор	QU(I,KUV)	SU(I,I)	...	SU(I,KUV)	B1	B2	...	

после чего – значения координат узловых точек кусочно-линейной аппроксимации силовой характеристики (идентификаторы QU(I, J) и SU(I, J), где $I = 1, N$; $J = 1, 5$).

При вычислениях по «укороченной» системе с помощью подпрограммы MINPOR производится преобразование параметров, которые затем также печатаются для контроля в приведенном выше порядке.

Текст подпрограммы приведен ниже.

SUBROUTINE SILA МОДИФИКАЦИЯ "APPARAT7"

```

COMMON/BLH/H,H1,NU
COMMON/BLOG/PM(300),IA1(100),PM1(300)
COMMON/BL7/M2
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
DIMENSION D(100),BETA(100),HETA(100),KK(100),RAB(100),
*DM(100),AP(100),AH(100),B1(100),B2(100)
DIMENSION SU(5,100),QU(5,100),J(100),KU(100),QUP(100)
REAL KK,M,LB,M0,LB0
DO 20 I=2,N
SX=SIGN(1.0,Q(I))
QZ=ABS(Q(I))-
*0.5*D(I)*(1.0+SX)
VQF=V(I-1)-V(I)
IF(QZ)1,1,333
1 QF=QZ
GO TO 2222
2 QF=0.0
AP(I)=0.0
S(I)=0.0
GO TO 11
11 S(I)=AP(I)+KK(I)*(QF-AH(I))+*
*BETA(I)*VQF*SX
IF(QF-DM(I))4,6,6
4 IF(VQF*SX)9,9,8
8 JU=J(I)
JU=JU+1
111 IF(JU.GT.KU(I)) JU=KU(I)
IF(QF.EQ.QU(JU,I)) GO TO 444
IF(QF.LT.QU(JU,I)) GO TO 2

```

```

JU=JU+1
GO TO 111
2 IF(QF,GE,QU(JU-1,I)) GO TO 3
JU=JU-1
GO TO 111
3 SPR=(SU(JU,I)-SU(JU-1,I))/(QU(JU,I)-QU(JU-1,I))*(QF-
*QU(JU-1,I))
SN=SU(JU-1,I)+SPR
GO TO 345
444 SN=SU(JU,I)
345 J(I)=JU
SN=SN*(1.0+B1(I)*(QF-AH(I))/H1)/(1.0+B2(I)*(QF-AH(I))/H1)
P=SN-S(I)
IF(P)10,10,6
6 AP(I)=S(I)-BETA(I)*VQF*SX
GO TO 11
10 S(I)=SN
AP(I)=S(I)
GO TO 11
9 SP=HETA(I)*QF
P=SP-S(I)
IF(P)6,6,13
13 S(I)=SP
AP(I)=S(I)
11 AH(I)=QF
20 S(I)=S(I)*SX
RETURN
C -----
ENTRY PARS
C -----
202 FORMAT(/2X,'ПАРАМЕТРЫ ВАГОНОВ И',
** МЕЖВАГОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ')
222 FORMAT(9F10.3)
223 FORMAT(/2X,'ПАРАМЕТРЫ "УКОРОЧЕННОЙ"
* СИСТЕМЫ")
27 FORMAT(7X,'M',8X,'LB',9X,'D',7X,'HETA',6X,'BETA',
*7X,'KK',8X,'DM',8X,'B1',8X,'B2')
C ВВОД ЗАЗОРОВ D(I)
CALL FORMI(D)
C ВВОД КОЭФ. ВЕТА(I)
CALL FORMI(BETA)
C ВВОД КОЭФ. НЕТА(I)
CALL FORMI(HETA)
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK(I)
CALL FORMI(KK)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM(I)
CALL FORMI(DM)
C ВВОД И ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВОВ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК
KUV=0
DO 781 JP=1,5
DO 781 I=1,N0
QU(JP,I)=0.0
781 SU(JP,I)=0.0
DO 999 JP=1,5
KUV=KUV+1
CALL FORMI(RAB)
DO 9996 I=1,N0
QU(JP,I)=RAB(I)
IF(QU(JP,I).GE.DM(I)) GO TO 9995
KS=0
GO TO 9996
9995 KS=1
9996 CONTINUE
IF(KS.GT.0) GO TO 699
999 CONTINUE
699 DO 998 JP=1,KUV
CALL FORMI(RAB)
DO 9998 I=1,N0
9998 SU(JP,I)=RAB(I)
998 CONTINUE
CALL FORMI(B1)
CALL FORMI(B2)
PRINT 202
PRINT 27
PRINT 222,(M0(I),LB0(I),D(I),HETA(I),BETA(I),
*KK(I),DM(I),B1(I),B2(I),I=1,N0)
PRINT 1234,(JP,JP,JP=1,KUV)
1234 FORMAT(10X,'УЗЛОВЫЕ ТОЧКИ',
** СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК'//
*6X,5('QU',I1,''),8X,'SU',I1,'',8X))
3456 FORMAT(10F12.5)
PRINT 3456,((QU(JP,I),SU(JP,I),JP=1,5),I=1,N0)
IF(NC1.EQ.1) GO TO 1000
DO 125 I=1,N0
HETA(I)=1./HETA(I)
125 KK(I)=1./KK(I)
CALL MINPOR(HETA)
CALL MINPOR(D)
CALL MINPOR(KK)
CALL MINPOR(DM)
CN1=NC1
DO 500 I=1,N0
500 BETA(I)=BETA(I)/CN1
CALL MINPOR(BETA)
DO 126 I=1,N
HETA(I)=1./HETA(I)
126 KK(I)=1./KK(I)
DO 1271 JP=1,5
DO 1272 I=1,N0
1272 QUP(I)=QU(JP,I)
CALL MINPOR(QUP)
DO 1273 I=1,N
1273 QU(JP,I)=QUP(I)
1271 CONTINUE
PRINT 223
PRINT 27
PRINT 222,(M(I),LB(I),D(I),HETA(I),BETA(I),KK(I),
*DM(I),B1(I),B2(I),I=1,N)
PRINT 1234,(JP,JP,JP=1,KUV)
PRINT 3456,((QU(JP,I),SU(JP,I),JP=1,5),I=1,N)
1000 DO 400 I=1,N
IA1(I)=0.0
AH(I)=0
AP(I)=0

```

```

KU(I)=1
400 S(I)=0
M2=0
I=2
220 DO 200 JP=2,5
IF(QU(JP,I).LE.0,0) GO TO 210
KU(I)=KU(I)+1
200 CONTINUE
210 I=I+1
IF(I.LE.N0) GO TO 220
RETURN
END

```

3.2. ПОДПРОГРАММЫ РАСЧЕТА СИЛ В АМОРТИЗАТОРАХ ГРУЗОВ

3.2.1. Модификация AMORTOR1 подпрограммы SILA1

Модификация состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок данной модификации наиболее рационально использовать для вычисления сил взаимодействия кузова вагона с подвижной хребтовой балкой, кузова вагона с подвижной амортизированной рамой или с грузом в тех случаях, когда рассматриваемое амортизирующее устройство состоит из двух- или трехкамерного гидрогазового амортизатора удара или из комбинации такого амортизатора с другим, имеющим резинометаллические или упруго-фрикционные элементы (с линеаризованной силовой характеристикой) и включенным с ним последовательно.

Алгоритм расчета полностью аналогичен описанному в п. 3.1.3.

Обращение к блоку осуществляется подпрограммой SPRAV в тех случаях, когда программный признак M21 = 1 (в поезде есть хоть один экипаж с подвижными грузами) и в данном вагоне, определяемом номером i , значение массы m_{1i} подвижного груза больше наперед заданного весьма малого положительного числа.

В табл. 3.11 приведены используемые в этой модификации идентификаторы переменных и коэффициентов, входящих в формулы п. 3.1.3. Обозначение переменных и идентификаторов отличаются от приведенных в п. 3.1.3 дополнительным индексом 1.

Вычисление по формулам п. 3.1.3 не производится, если рассматриваемое соединение в вагоне с номером i не содержит гидрогазового амортизатора. В этом случае программный признак IA11(I) задается равным нулю.

Если рассматриваемое соединение состоит из гидрогазового амортизатора удара и включенного последовательно с ним упруго-фрикционного или резинометаллического поглощающего аппарата,

Пара- метры	i	q_{1i}	q_{r1i}	q_{r2i}	q_{r0i}	$q_{\Phi i}$	$A1_i$
Иденти- фикатор	I	Q(I)	QG1(I)	QG2(I)	QA11(I)	X1	QF1(I)
Пара- метры	v_{r1i}	v_{r2i}	v_{r0i}	S_{1i}	S_{0i}	S_{r1i}	$PF1(I)$
Иденти- фикатор	VQG11(I)	VQG21(I)	VQA1(I)	S1(I)	MS1(I)	SG11(I)	PF1(I)
Пара- метры	Δ_{11}	Δ_{11}	r_{11}	r_{21}	d_{11}	d_{21}	S_{011}^o
Иденти- фикатор	DG11	DA11	R11	R21	POL11	POL21	SOG11
Пара- метры	ν_1	β_{11}	β_{121}	k_{0x1}	$\frac{\beta_{0x1}}{(\beta_{0p11})}$	$\frac{\beta_{1x1}}{(\beta_{1p11})}$	$H_{11}(p_{11})$
Иденти- фикатор	FM1	BG1	BG2	KOG1	B0H11 (B0P11)	B1H11 (B1P11)	B2H11 (B2P11)
Пара- метры	$\frac{\beta_{0x21}}{(\beta_{0p21})}$	$\frac{\beta_{1x21}}{(\beta_{1p21})}$	$\frac{\beta_{2x21}}{(\beta_{2p21})}$	$\kappa_{21}(p_{21})$	δ_{0i}	k_{xi}	$ q_{r0i} $
Иденти- фикатор	B0H21 (B0P21)	B1H2 (B1P21)	B2H2 (B2P21)	H201 (P21)	D2(I)	KK1(I)	QGG
							M1(I)

Таблица 3.12

Параметры	k_{ii}	$1 - \eta_{ii}$	Δ_{ii}	k_{ii}/Δ_{ii}
Идентификатор	K1(I)	HETA1(I)	DM1(I)	SM1(I)
Параметры	β_{ii}	\dot{q}_{ii}	$k_{pi}(q_{pi} - \delta_{ii})$ $- k_{ki}(q_{ii} - \delta_{ii})$	$k_{bi}(q_{bi} - \delta_{ii})$ $- k_{ki}(q_{ii} - \delta_{ii})$
Идентификатор	BETA1(I)	AD	AN(I)	AR(I)

то для соответствующего номеру i вагона программный признак PF1(I) должен иметь значение, равное 1. Если, кроме гидрогазового амортизатора, дополнительных амортизирующих элементов нет, то PF1(I) = 0.

В табл. 3.12 приведены дополнительно к табл. 3.11 идентификаторы переменных и коэффициентов, входящих в формулы (3.1), используемые в случае, если PF1(I) = 1.

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку входа PARG) с помощью подпрограммы FORMI формирует массивы параметров рассматриваемых соединений и масс грузов. Порядок подготовки данных для формирования массивов с помощью подпрограммы FORMI приведен при ее описании.

Информация, необходимая для формирования каждого массива параметров, вводится в порядке следования идентификаторов: K1, D2, BETA1, HETA1, KK1, SM1, DM1, PF1, IA11, M1.

Таблица 3.13

Идентификатор	B0P11	B0P21	B0H11	B0H21	B1P11	B1P21
Формат	8F 10.1					
Идентификатор	DG11	DG21	DA11	SOG11	SOG21	
Формат	8F 10.1					
Идентификатор	P11		H101		P21	
Формат	4I4					

Окончание табл. 3.13

Идентификатор	B1H11	B1H21	B2P11	B2P21	B2H11	B2H21
Формат	8F 10.1					
Идентификатор	KOG1	FM1	R11	R21	POL11	POL21
Формат	8F 10.1					
Идентификатор	H201					
Формат	4I4					

Затем вводятся параметры гидравлических амортизаторов удара в предположении, что для всех соединений они одинаковы. Порядок ввода их и форматы представления чисел приведены в табл. 3.13.

Для контроля вводимых величин печатаются массивы M1 (массы грузов) и массивы K1, D2, BETA1, HETA1, KK1, SM1, DM1, PF1, IA11 параметров рассматриваемых соединений. Затем печатаются параметры гидравлических поглощающих аппаратов.

Текст данной модификации подпрограммы приведен ниже.

C SUBROUTINE SILA1
МОДИФИКАЦИЯ "AMORTOR1"

```
COMMON/BL7/M2
COMMON/BLN/N,NO,NC1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BLOQ/QA1(100),QG1(100),QG2(100),IA1(100),
*VQG1(100),VQG2(100),VQA(100)
COMMON/BLE/E
COMMON/BL9/QG11(100),QG21(100),QA11(100),VQG11(100),
*VQG21(100),VQA1(100),IA11(100)
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
DIMENSION K1(100),D1(100),BETA1(100),HETA1(100),
*KK1(100),SM1(100),DM1(100)
DIMENSION PF1(100),QF1(100),MS1(100),AR(100),AN(100)
REAL KK1,K1,KOG1
REAL IA1,IA11
REAL MS1,M1
REAL M,M0,LB,LB0
INTEGER P11,H101,P21,H201
```

```
C
KU=KU1
L=L2
DO 30 I=1,N
IF(M1(I).LT.0.0) GO TO 30
KU=KU+1
AD=A2(KU)
1 SS=MS1(I)
IF(Q1(I).LT.0.0) GO TO 2
P=Q1(I)-D2(I)
SX=1.0
IF(P.GT.0.0) GO TO 3
4 S1(I)=0.0
AR(I)=0.0
AN(I)=0.0
GO TO 20
2 P=Q1(I)
SX=-1.0
3 IF(IA11(I).LT.0.001) GO TO 6
L=L+1
5 IF(QG11(I).LT.DG11) GO TO 7
QG11(I)=DG11
A1(L)=QG11(I)
A4(L)=0.0
VQG11(I)=0.0
```

```

7 QA11(I)=(QG11(I)+QG21(I)+MS1(I)/KOG1)*SX
L=L2
DO 30 I=1,N
IF(M1(I),LT,E) GO TO 30
KU=KU+1
AD=A2(KU)
1 SS=MS1(I)
IF(Q1(I),LT,0.0) GO TO 2
P=Q1(I)-D2(I)
SX=1.0
IF(P,GT,0.0) GO TO 3
4 S1(I)=0.0
AR(I)=0.0
AN(I)=0.0
GO TO 20
2 P=Q1(I)
SX=-1.0
3 IF(IA11(I).LT,0.001) GO TO 6
L=L+1
5 IF(QG11(I).LT,DG11) GO TO 7
QG11(I)=DG11
A1(L)=QG11(I)
A4(L)=0.0
VQG11(I)=0.0
7 QA11(I)=(QG11(I)+QG21(I)+MS1(I)/KOG1)*SX
VQA1(I)=(VQG11(I)+VQG21(I))*SX
QGG=ABS(QA11(I))
IF(QGG,LT,DA11) GO TO 6
QA11(I)=DA11*SX
VQG21(I)=0.0
VQG11(I)=0.0
VQA1(I)=0.0
6 X1=P-IA11(I)*QA11(I)
ZNX=SIGN(1.0,X1)
ZNO=SIGN(1.0,Q1(I))
IF(ZNX*ZNO)4,4,8
8 IF(PF1(I),GT,0.0) GO TO 9
S1(I)=KK1(I)*X1
QF1(I)=0.0
GO TO 20
9 QF1(I)=ABS(X1)
VX=AD-VQA1(I)*IA11(I)
IF(QF1(I),GE,DM1(I)) GO TO 10
IF(Q1(I)*VX) 11,12,12
12 Y1=K1(I)*X1
Y2=KK1(I)*X1+AN(I)+BETA1(I)*VX
Z=ABS(Y2)
IF(ABS(Y1),GT,Z) GO TO 13
S1(I)=Y1
AR(I)=Y1-KK1(I)*X1
GO TO 20
13 S1(I)=Y2
AP(I)=AN(I)
GO TO 20
11 Y3=K1(I)*X1
Y1=Y3*HETA1(I)

Y2=KK1(I)*X1+AR(I)+BETA1(I)*VX
Z=ABS(Y2)
IF(Y1*Y2,LE,0.0) GO TO 14
IF(ABS(Y1),GT,Z) GO TO 14
S1(I)=Y2
AN(I)=AR(I)
GO TO 20
14 S1(I)=Y1
AN(I)=Y1-KK1(I)*X1
GO TO 20
10 IF(Q1(I),LE,0.0) GO TO 15
S1(I)=(QF1(I)-DM1(I))*KK1(I)+SM1(I)+BETA1(I)*VX
GO TO 20
15 S1(I)=(DM1(I)-QF1(I))*KK1(I)-SM1(I)+BETA1(I)*VX
20 IF(IA11(I),GT,0.001) GO TO 16
GO TO 30
16 IF(Q1(I)*AD,LT,0.0) GO TO 31
SVQ=1.0
GO TO 32
31 SVQ=-1.0
32 MS1(I)=ABS(S1(I))/(1.0+FM1*SVQ)
IF(QGG,GE,DA11) GO TO 17
IF(QG11(I),GE,DG11) GO TO 19
IF(MS1(I),GT,SOG11) GO TO 18
IF(QG11(I),GE,0.0001) GO TO 18
VQG11(I)=0.0
QG11(I)=0.0
GO TO 21
19 IF(MS1(I),GE,SS) GO TO 21
18 SG1=SOG11/(1.0-R11*QG11(I))**POL11
WG=MS1(I)-SG1
IF(WG,GE,0.0) GO TO 22
SWG=-1.0
BG1=B0P11+B1P11*QG11(I)
IF(P11,GT,0) GO TO 40
GO TO 41
40 Z=1.0
DO 42 J=1,P11
42 Z=Z*QG11(I)
BG1=BG1+B2P11*Z
41 CONTINUE
GO TO 23
22 BG1=B0H11+B1H11*QG11(I)
IF(H101,GT,0) GO TO 43
GO TO 44
43 Z=1.0
DO 45 J=1,H101
45 Z=Z*QG11(I)
BG1=BG1+B2H11*Z
44 CONTINUE
SWG=1.0
23 VQG11(I)=((ABS(WG)/BG1)**0.5)*SWG
IF(QG11(I)-DG11)21,35,35
35 IF(SWG,LE,0.0) GO TO 21
VQG11(I)=0.0
21 IF(MS1(I),GT,SOG21) GO TO 24
IF(QG21(I),GE,0.0001) GO TO 24

```

```

VQG21(I)=0.0
QG21(I)=0.0
GO TO 30
17 IF(MS1(I).GE,SS) GO TO 30
24 SG2=SOG21/(1.0-R21*QG21(I))**POL21
WG=MS1(I)-SG2
IF(WG,GE,0.0) GO TO 25
SWG=-1.0
BG2=B0P21+B1P21*QGG
IF(P21.GT,0) GO TO 46
GO TO 47
46 Z=1.0
DO 48 J=1,P21
48 Z=Z*QGG
BG2=BG2+B2P21*Z
47 CONTINUE
GO TO 26
25 BG2=B0H21+B1H21*QGG
IF(H201,GT,0) GO TO 49
GO TO 50
49 Z=1.0
DO 51 J=1,H201
51 Z=Z*QGG
BG2=BG2+B2H21*Z
50 CONTINUE
SWG=1.0
26 VQG21(I)=((ABS(WG)/BG2)**0.5)*SWG
IF(QGG-DA11)30,37,37
37 IF(SWG,LE,0.0) GO TO 30
VQG21(I)=0.0
30 CONTINUE
RETURN
C -----
ENTRY PARG
C -----
111 FORMAT(20X,'П А Р А М Е Т Р Ы Г Р У З О В')
119 FORMAT(2X,F10.4,F10.1,3F10.5,F10.1,2F10.5,F10.1,2F10.0)
999 FORMAT(1X/7X,'M1',8X,'K1',8X,'D1',5X,'HETA1',5X,
*'BETA1',7X,'KK1',7X,'SM1',7X,'DM1',7X,'PF1',7X,'IA11'
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ K1(I)
CALL FORMI(K1)
C ВВОД ЗАЗОРОВ D2(I)
CALL FORMI(D2)
C ВВОД КОЭФ. BETA1(I)
CALL FORMI(BETA1)
C ВВОД КОЭФ. HETA1(I)
CALL FORMI(HETA1)
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK1(I)
CALL FORMI(KK1)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ SM1(I)
CALL FORMI(SM1)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM1(I)
CALL FORMI(DM1)
CALL FORMI(PF1)
CALL FORMI(IA11)
CALL FORMI(M1)
E=0.00001

```

```

M21=1
PRINT 111
READ 217,B0P11,B0P21,B0H11,B0H21,B1P11,B1P21,B1H11,B1H21
READ 250,B2P11,B2P21,B2H11,B2H21
READ 217,DG11,DA11,SOG11,SOG21,KOG1
READ 217,BETF1,FM1,R11,R21,POL11,POL21
217 FORMAT(8F10.1)
250 FORMAT(4F20.1)
PRINT 999
PRINT 119,(M1(I),K1(I),D1(I),HETA1(I),BETA1(I),
*KK1(I),SM1(I),DM1(I),PF1(I),IA11(I),I=1,N0)
1000 DO 400 I=1,N
QF1(I)=0.0
QG11(I)=0.0
VQG11(I)=0.0
QG21(I)=0.0
VOG21(I)=0.0
QA11(I)=0.0
VQA1(I)=0.0
AN(I)=0
AR(I)=0
MS1(I)=0
400 S1(I)=0
PRINT 145,B0P11,B0P21,B0H11,B0H21,DG11,SOG11,FM1,POL11,
*B1P11,B1P21,B1H11,B1H21,SOG21,KOG1,R11,POL21,B2P11,
*B2P21,B2H11,B2H21,DA11,R21
145 FORMAT(2X,'B0P11=','F12.1,' B0P21=','F12.1,' B0H11=',
*'F12.1,' B0H21=',
*'F12.1,' DG11=','F5.1,' SOG11=','F5.2,' FM1=',
*'F3.1,' POL11=','F3.1/2X,' B1P11=','F10.1,' B1P21=','F10.1,
*' B1H11=','F10.1,' B1H21=','F10.1,' SOG21=','F5.2,' KOG1=',
*'F7.1,' R11=','F3.1,' POL21=','F3.1/2X,' B2P11=','F12.1,
*' B2P21=','F12.1,' B2H11=','F12.1,' B2H21=','F12.1,' DA11=','F5.2,
*' R21=','F4.1)
300 FORMAT(4I4)
READ 300,P11,H101,P21,H201
PRINT 301,P11,H101,P21,H201
301 FORMAT(2X,'P11=','I4,' H101=','I4,' P21=','I4,
*' H210=','I4)
QGG=0.0
L1=0
DO 140 I=1,N
IF(M1(I).LT.E) GO TO 140
L1=L1+1
140 CONTINUE
L=2*N+1
IF(M2.EQ.0) GO TO 100
DO 101 I=2,N
IF(IA1(I).EQ.0.0) GO TO 101
L=L+2
101 CONTINUE
GO TO 102
100 DO 103 I=2,N
IF(IA1(I).EQ.0.0) GO TO 103
L=L+1
103 CONTINUE

```

```

102 L=L+L1
KU1=L
L2=L+L1
RETURN
END

```

3.2.2. Модификация AMORTOR2 подпрограммы SILA1

Данная модификация подпрограммы SILA1 состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок подпрограммы модификации AMORTOR2 предназначен для вычисления продольных сил в соединениях кузова вагона с подвижной хребтовой балкой, кузова вагона с подвижной амортизированной рамой или грузом, цистерны с телом, моделирующим движение жидкости, только в том случае, когда соединения осуществляются упругими, упругофирикционными или упруговязкими устройствами.

Алгоритм, реализуемый данным блоком подпрограммы, полностью соответствует алгоритму, реализуемому основным модулем модификации APPARAT2 подпрограммы SILA.

Обозначения идентификаторов и переменных, входящих в формулы (3.2)–(3.4), отличаются от соответствующих обозначений в модификации APPARAT2 подпрограммы SILA добавлением 1 в символ. Так, вместо S_i и $S(I)$ здесь используются обозначения S_{ii} и $S1(I)$, вместо q_i и $Q(I)-q_{1i}$ и $Q1(I)$ и т. д.

Вспомогательный блок PARG подпрограммы путем обращения к подпрограммам FORMI и MINPOR формирует массивы параметров соединений для исходной и «укороченной» систем.

Ввод данных для формирования массивов параметров соединений груза с кузовом вагона осуществляется так же, как и в п. 3.1.1. Затем вводится информация для формирования массива M1. Для контроля печатаются те же величины (с учетом изменения смысла идентификаторов), которые перечислены в п. 3.1.1.

Текст подпрограммы SILA1 данной модификации приведен далее.

```

SUBROUTINE SILA1
МОДИФИКАЦИЯ "AMORTOR2"
-----
COMMON/BLE/E
COMMON/BL9/PMG(600),IA11(100)
COMMON/BLQG/PM(300),IA1(100),PM1(300)
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
DIMENSION K(100),D(100),BETA(100),HETA(100),KK(100),
*SM(100),DM(100),AP(100),AH(100)
REAL KK,K,IA11,M1
-----
DO 30 I=1,N
IF(M1(I).LE.E) GO TO 30

```

```

SX=SIGN(1.0,Q1(I))
QZ=ABS(Q1(I))-
*0.5*D(I)*(1.0+SX)
VQF=V(I)-V1(I)
IF(QZ) 1,1,3
1 QF=QZ
GO TO 2
2 S1(I)=AP(I)+KK(I)*(QF-AH(I))+*
BETA(I)*VQF*SX
IF(QF-DM(I))4,6,6
4 IF(VQF*SX)9,9,8
8 SN=SM(I)+K(I)*QF
P=SN-S1(I)
IF(P)10,10,6
6 AP(I)=S1(I)-BETA(I)*VQF*SX
GO TO 11
10 S1(I)=SN
AP(I)=S1(I)
GO TO 11
9 SP=HETA(I)*K(I)*QF
P=SP-S1(I)
IF(P)6,6,13
13 S1(I)=SP
AP(I)=S1(I)
11 AH(I)=QF
20 S1(I)=S1(I)*SX
30 CONTINUE
RETURN
-----
C ENTRY PARG
-----
111 FORMAT(20X,'ПАРАМЕТРЫ ГРУЗОВ')
119 FORMAT(2X,F10.4,F10.1,3F10.5,F10.1,2F10.5)
888 FORMAT(10X,'ПАРАМЕТРЫ ГРУЗОВ',
*'УКОРОЧЕННОЙ СИСТЕМЫ')
999 FORMAT(1X/7X,'M1',8X,'K1',8X,'D1',5X,
*HETA1',5X,'BETA1',7X,'KK1',7X,'SM1',7X,'DM1')
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ K(I)
CALL FORMI(K)
C ВВОД ЗАЗОРОВ D(I)
CALL FORMI(D)
C ВВОД КОЭФ. BETA(I)
CALL FORMI(BETA)
C ВВОД КОЭФ. HETA(I)
CALL FORMI(HETA)
C ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK(I)
CALL FORMI(KK)
CALL FORMI(SM)
C ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM(I)
CALL FORMI(DM)
CALL FORMI(M1)
E=0.00001
M21=1
PRINT 111

```

```

PRINT 999
PRINT 119,(M1(I),K(I),D(I),HETA(I),BETA(I),
*KK(I),SM(I),DM(I),I=1,N0)
IF(NC1.EQ.1) GO TO 1000
CALL MINPOR(K)
CALL MINPOR(M1)
CALL MINPOR(KK)
CALL MINPOR(DM)
CALL MINPOR(BETA)
CALL MINPOR(HETA)
CALL MINPOR(SM)
PRINT 888
PRINT 999
PRINT 119,(M1(I),K(I),D(I),HETA(I),BETA(I),KK(I),
*SM(I),DM(I),I=1,N)
1000 DO 400 I=1,N
AH(I)=0.0
IA11(I)=0.0
AP(I)=0.0
400 S1(I)=0.0
RETURN
END

```

3.2.3. Модификация AMORTOR3 подпрограммы SILA1

Модификация AMORTOR3 состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок этой модификации предназначен для вычисления сил взаимодействия вагона и груза, вагона с подвижной рамой или с подвижной хребтовой балкой в случае, когда эти соединения моделируются элементами с кусочно-линейными характеристиками.

Алгоритм, реализуемый блоком, полностью соответствует алгоритму, реализованному основным модулем модификации APPARAT6.

Обозначение идентификаторов и переменных, входящих в формулы (3.28) и (3.29), в основном такие же, как и в п. 3.1.6. Исключение составляют переменные, для которых S_{1i} — $S1(I)$; β_{1i} — $Q1(I)$; \dot{q}_{1i} — VQF .

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку входа PARG) путем обращения к подпрограммам FORM1 и MINPOR формирует массивы параметров соединений в полной и «укороченной» системах.

Информация для формирования массивов параметров межвагонных соединений вводится в следующем порядке: D, BETA, HETA, KK, DM, M1, QU(I, J), SU(I, J).

Для контроля печатаются величины, которые формируются в подпрограмме, затем печатаются параметры «укороченной» системы.

Текст подпрограммы SILA1 данной модификации приведен ниже.

```

C          SUBROUTINE SILA1
C          МОДИФИКАЦИЯ "AMORTOR3"
C
COMMON/BL9/PMG(600),IA11(100)
COMMON/BLE/E
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL35/LB0(100),MO(100),LB(100),M(100)
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
DIMENSION D(100),BETA(100),HETA(100),KK(100),RAB(100),
*DM(100),AP(100),AH(100)
DIMENSION SU(5,100),QU(5,100),J(100),KU(100),QUP(100)
REAL KK,K,M1
C
DO 30 I=1,N
IF(M1(I).LE.E) GO TO 30
SX=SIGN(1.0,Q1(I))
QZ=ABS(Q1(I))-
*0.5*D(I)*(1.0+SX)
VQF=V(I)-V1(I)
IF(QZ)1,1,333
333 QF=QZ
GO TO 222
1 QF=0.0
AP(I)=0.0
S1(I)=0.0
GO TO 11
222 S1(I)=AP(I)+KK(I)*(QF-AH(I))+*
*BETA(I)*VQF*SX
IF(QF-DM(I))4,6,6
4 IF(VQF*SX)9,9,8
8 JU=J(I)
JU=JU+1
111 IF(JU.GT.KU(I)) JU=KU(I)
IF((QF+E).EQ.QU(JU,I)) GO TO 444
IF(QF.LT.QU(JU,I)) GO TO 2
JU=JU+1
GO TO 111
2 IF(QF.GE.QU(JU-1,I)) GO TO 3
JU=JU-1
GO TO 111
3 SPR=(SU(JU,I)-SU(JU-1,I))/(QU(JU,I)-QU(JU-1,I))*(QF-
*QU(JU-1,I))
SN=SU(JU-1,I)+SPR
GO TO 345
444 SN=SU(JU,I)
345 J(I)=JU
P=SN-S1(I)
IF(P) 10,10,6
6 AP(I)=S1(I)-BETA(I)*VQF*SX
GO TO 11
10 S1(I)=SN
AP(I)=S1(I)
GO TO 11
9 SP=HETA(I)*QF
P=SP-S1(I)

```

```

IF(P)6,6,13
13 S1(I)=SP
AP(I)=S1(I)
11 AH(I)=QF
20 S1(I)=S1(I)*SX
30 CONTINUE
RETURN

C      -----
C      ENTRY PARG
C      -----
1111 FORMAT(20X,'П А Р А М Е Т Р Ы Г Р У З О В ')
119 FORMAT(2X,F10.4,F10.5,F10.1,F10.4,F10.1,F10.5)
888 FORMAT(10X,'П А Р А М Е Т Р Ы Г Р У З О В ',
*'У К О Р О Ч Е Н Н О Й С И С Т Е М Ы')
1999 FORMAT(1X/7X,'M1',8X,'D1',5X,
*'HETA1',5X,'BETA1',7X,'KK1',7X,'DM1')
C      ВВОД ЗАЗОРОВ D(I)
CALL FORMI(D)
C      ВВОД КОЭФ. ВЕТА(I)
CALL FORMI(BETA)
C      ВВОД КОЭФ. НЕТА(I)
CALL FORMI(HETA)
C      ВВОД ЖЕСТКОСТЕЙ KK(I)
CALL FORMI(KK)
C      ВВОД ПАРАМЕТРОВ DM(I)
CALL FORMI(DM)
CALL FORMI(M1)
E=0.00001
M21=1
C      ВВОД И ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВОВ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК
DO 901 JP=1,5
DO 901 I=1,N0
SU(JP,I)=0.0
901 QU(JP,I)=0.0
KUV=0
DO 999 JP=1,5
KUV=KUV+1
CALL FORMI(RAB)
DO 9996 I=1,N0
QU(JP,I)=RAB(I)
IF(QU(JP,I).GE.DM(I)) GO TO 9995
KS=0
GO TO 9996
9995 KS=1
9996 CONTINUE
IF(KS.GT.0) GO TO 699
999 CONTINUE
699 DO 998 JP=1,KUV
CALL FORMI(RAB)
DO 9998 I=1,N0
9998 SU(JP,I)=RAB(I)
998 CONTINUE
PRINT 1111
PRINT 1999
PRINT 119,(M1(I),D(I),HETA(I),BETA(I),
*KK(I),DM(I),I=1,N0)
PRINT 1234,(JP,JP,JP=1,KUV)
1234 FORMAT(10X,'У З Л О В Ј Е Т О Ч К И',

```

```

*' С И Л О В Ў Х А Р А К Т Е Р И С Т И К '//'
*6X,5('QU(',I1,')',6X,'SU(',I1,')',6X))
3456 FORMAT(10F12.5)
PRINT 3456,((QU(JP,I),SU(JP,I),JP=1,5),I=1,N0)
IF(NC1.EQ.1) GO TO 1000
CALL MINPOR(HETA)
CALL MINPOR(D)
CALL MINPOR(KK)
CALL MINPOR(DM)
CALL MINPOR(M1)
DO 1271 JP=1,5
DO 1272 I=1,N0
1272 QUP(I)=QU(JP,I)
CALL MINPOR(QUP)
DO 1273 I=1,N
1273 QU(JP,I)=QUP(I)
1271 CONTINUE
PRINT 888
PRINT 1999
PRINT 119,(M1(I),D(I),HETA(I),BETA(I),KK(I),
*DM(I),I=1,N)
PRINT 1234,(JP,JP,JP=1,KUV)
PRINT 3456,((QU(JP,I),SU(JP,I),JP=1,5),I=1,N)
1000 DO 400 I=1,N
AH(I)=0
IA11(I)=0.0
AP(I)=0
J(I)=0
KU(I)=1
400 S1(I)=0
I=2
220 DO 200 JP=2,5
IF(QU(JP,I).LE.0.0) GO TO 210
KU(I)=KU(I)+1
200 CONTINUE
210 I=I+1
IF(I.LE.N0) GO TO 220
RETURN
END

```

3.2.4. Модификация AMORTOR4 подпрограммы SILA1

Данная модификация используется в случаях, когда рассматривают переходные режимы движения поездов и не принимается во внимание подвижность грузов. В этом случае подпрограмма включает лишь воспомогательный блок, назначение которого состоит в том, чтобы присвоить программному признаку M21 значение, равное нулю, и присвоить нулевые значения параметрам и переменным, относящимся к уравнениям движения грузов.

В этом случае ввод параметров, характеризующих груз и его соединение с кузовом вагона, не производится. В процессе интегрирования уравнений движения обращение к подпрограмме не выполняется.

Текст подпрограммы приведен далее.

Таблица 4.1

Параметры	n_0	B_i	F_i	P_i	F_i^*	W_i
Идентификаторы	N0	FT(I)	F(I)	FP(I)	FB(I)	W(I)

```

C SUBROUTINE SILA1
C МОДИФИКАЦИЯ "AMORTOR4"
C
C COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
C COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
C COMMON/BLN/N,N0,NC1/BLE/E
C
C ENTRY PARG
C
2 FORMAT(30X,'КРЕПЛЕНИЕ ГРУЗОВ К ВАГОНАМ - ЖЕСТКОЕ')
23 FORMAT(3X,'ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧ. V=E=',F7.5)
M21=0
DO 1 I=1,N0
S1(I)=0.0
1 M1(I)=0.0
PRINT 2
E=0.0001
PRINT 23,E
RETURN
END

```

влияющих силы тяжести P_i (программный признак негоризонтальности пути $LP1 > 0$) и к подпрограмме VNESH для организации вычисления сил F_i или B_i , вызываемых действиями машиниста или системой управления локомотивом.

Признаки M3 и LP1 формируются соответственно подпрограммами PARSP и PARPR.

Используемые в подпрограмме идентификаторы физических величин приведены в табл. 4.1.

Если интегрируется «укороченная» система дифференциальных уравнений движения поезда (признак NC1 > 1 формируется подпрограммой PARVAG), то при вычислении сил происходит обращение в подпрограмме MINPOR, которая осуществляет расчет суммарной возмущающей силы, действующей на группу вагонов.

Текст подпрограммы приведен ниже.

SUBROUTINE FVOZM МОДИФИКАЦИЯ FVOZM1

```

COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLLP/LP1
COMMON/BLN/N,N0,NC1

IF (LP1) 8,8,5
8 CALL PROF
8 CALL VNESH
DO 9 I=1,N0,
D=SIGN(1.0,V(I))
FT(I)=FT(I)*D
W(I)=ABS(W(I))*D
9 FB(I)=FP(I)+F(I)+FT(I)+W(I)
IF(NC1,EQ,1) RETURN
CALL MINPOR(FB)
RETURN
END

```

4.1.2. Модификация FVOZM2 подпрограммы FVOZM

Эта модификация подпрограммы FVOZM реализует более общий алгоритм расчета сил, действующих на экипажи поезда, и может быть использована в случаях, когда в процессе движения возможны остановки отдельных экипажей (например, при остановочных торможениях). Обращение к подпрограмме осуществляется подпрограммой SPRAV.

Глава 4. АЛГОРИТМЫ И ПОДПРОГРАММЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВНЕШНИХ СИЛ

4.1. ПОДПРОГРАММЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВНЕШНИХ СИЛ

4.1.1. Модификация FVOZM1 подпрограммы FVOZM

Данная модификация подпрограммы FVOZM состоит из одного основного блока и предназначена для формирования действующей на каждый экипаж поезда суммарной внешней силы

$$F_i^* = F_i + B_i + W_i + P_i, \quad i = 1, n_0, \quad (4.1)$$

где F_i —сила тяги или осаживания, тормозная сила при электрическом торможении локомотива; B_i —тормозная сила, действующая на i -й экипаж при пневматическом торможении; W_i —сила сопротивления поступательному движению экипажа; P_i —составляющая сила тяжести от уклона пути; n_0 —число экипажей в поезде.

Подпрограмма используется только в тех случаях, когда исследуются переходные режимы, возникающие в процессе движения поезда без остановок отдельных экипажей. Предполагается, что сопротивление поступательному движению экипажей постоянное $W_i = \text{const}$ (программный признак M3 = 0).

К данной подпрограмме систематически в процессе счета обращается подпрограмма SPRAV.

Перед суммированием внешних возмущений подпрограмма FVOZM обращается в подпрограмме PROF для вычисления соста-

Таблица 4.2

Параметры	v_i	S_i	S_{ii}	$ v_i $	A	$ W_i + B_i $	ϵ
Идентификатор	V(I)	S(I)	S1(I)	Y	A	C	E

Работа подпрограммы при скоростях движения первого экипажа, больших некоторой заданной величины (в данном случае выбрано $v = 1,5 \text{ м/с}$), почти полностью совпадает с работой подпрограммы, описанной в предыдущем пункте (модификация FVOZM1) и вычисляющей силы по формуле (4.1). Исключение составляет обращение к подпрограмме SOPR, которая определяет мгновенные значения силы сопротивления W_i .

Если же скорость v_i меньше заданной величины v , то внешняя сила, действующая на экипаж, вычисляется в соответствии с выражениями:

$$F_i^* = \begin{cases} W_i + B_i + F_i + P_i, & \text{если } (|W_i + B_i| \leq |A|) \wedge (|v_i| \leq \epsilon); \\ A + F_i + P_i, & \text{если } (|W_i + B_i| > |A|) \wedge (|v_i| \leq \epsilon), \end{cases} \quad (4.2)$$

где $A = S_{i+1} - S_i + S_{ii} - F_i - P_i$, ϵ —малая положительная величина, S_i и S_{i+1} —сила в автосцепках i -го экипажа, а S_{ii} —сила взаимодействия i -го экипажа с грузом (если груз может перемещаться относительно экипажа). Значения сил S_i , S_{i+1} и S_{ii} формируются подпрограммами SILA и SILA1, значение ϵ вводится подпрограммой PARG. Для вычисления сил P_i и W_i используются подпрограммы PROF и SOPR, а вычисление сил F_i и B_i организуется подпрограммой VNESH.

В табл. 4.2 приведены идентификаторы переменных, используемых в данной модификации и не описанных в табл. 4.1. Текст подпрограммы приведен ниже.

```

C      SUBROUTINE FVOZM
C      МОДИФИКАЦИЯ FVOZM2
C
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLE/E
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
COMMON/BLLP/LP1
COMMON/BLM3/M3
DIMENSION FD(100)
C
IF (LP1) 8,5
5 CALL PROF
8 CALL VNESH
24 IF (M3.EQ.0) GO TO 14
CALL SOPR
14 IF (V(1).LT.1.5) GO TO 12
9 DO 15 I=1,N0
15 FB(I)=FT(I)+W(I)+FP(I)+F(I)
IF (NC1.EQ.1) RETURN
CALL MINPOR(FB)
RETURN

```

```

18 N12=1
N13=NC1
DO 90 K=1,N
D=SIGN(1.0,V(K))
DO 20 I=N12,N13
FT(I)=ABS(FT(I))*D
W(I)=ABS(W(I))*D
FB(I)=FT(I)+W(I)
FD(I)=FP(I)+F(I)
20 CONTINUE
N12=N12+NC1
80 N13=N13+NC1
IF (NC1.EQ.1) GO TO 16
CALL MINPOR(FB)
CALL MINPOR(FD)
16 DO 80 I=1,N
Y=ABS(V(I))
IF (E-Y) 80,50,50
80 IF(I.EQ.N) GO TO 52
A=S(I+1)-S(I)+S1(I)-FD(I)
GO TO 53
52 A=-S(I)+S1(I)-FD(I)
53 B=ABS(A)
C=ABS(FB(I))
IF (C-B) 80,51,51
51 FB(I)=A
80 FB(I)=FB(I)+FD(I)
RETURN
END

```

4.1.3. Модификация FVOZM3 подпрограммы FVOZM

В отличие от предыдущих модификаций подпрограмма FVOZM данной модификации предназначена для формирования внешних сил, действующих не только на экипаж, но и на грузы, подвижные относительно экипажа, а также на экипажи с подвижными хребтовыми балками.

Обращение к подпрограмме производится подпрограммой SPRAV. Рассматриваемая подпрограмма перед формированием внешних сил обращается к подпрограммам VNESH, PROF и SOPR, осуществляющим соответственно определение внешних сил, вызываемых действиями машиниста или системы управления локомотивом, уклонами продольного профиля пути и сопротивлением движению экипажей.

Силы, действующие на кузова обычных экипажей, вычисляются с помощью формул (4.1) и (4.2), силы, действующие на подвижные грузы или на вагоны с подвижными хребтовыми балками

$$F_i = P_{ii} + B_{ii} + W_{ii}, \quad (4.3)$$

где W_{ii} —сопротивление движению груза в i -м экипаже, которое принимается равным нулю для обычных экипажей или равно сопротивлению движения экипажа, если экипаж с подвижной хребтовой балкой. При этом, если $W_{ii} \neq 0$, то $W_i = 0$. Значение тормозной силы B_{ii} не равно нулю только в тех случаях, когда рассматри-

Таблица 4.3

Параметры	F_i^*	B_i	B_{ii}	F_{ii}^*
Идентификатор	FB(I)	FT(I)	F1(I)	FB1(I)
Параметры	P_i	P_{ii}	W_i	W_{ii}
Идентификатор	FP(I)	FP1(I)	W(I)	W1(I)
Окончание табл. 4.3				
Параметры	m_{ii}			
Идентификатор	M(I)			

вается экипаж с подвижной хребтовой балкой. Во всех остальных случаях $B_{ii} = 0$. В тех случаях, когда $B_{ii} \neq 0$, имеет место $B_i = 0$. Составляющая силы тяжести P_{ii} отлична от нуля во всех случаях, когда рассматривается подвижный груз. Она зависит от массы груза и уклона пути.

Признаком наличия в поезде подвижного груза является условие $M21 \neq 0$, а признаком наличия подвижного груза в данном вагоне — $m_{ii} \neq 0$, где m_{ii} — масса подвижной части груза. Смысл программных признаков LP1 и M3 такой же, как в пп. 4.1.1 и 4.1.2.

Идентификаторы физических величин, используемых подпрограммой, следующие (табл. 4.3).

Подпрограмма рассматриваемой модификации не осуществляет автоматически формирования силы, действующей на группу вагонов, как предыдущие модификации подпрограмм FVOZM1 и FVOZM2. Поэтому при ее использовании для интегрирования уравнений движения модели поезда с меньшим числом тел, чем общее число экипажей, параметры, характеризующие внешние силы, должны быть определены предварительно для каждого тела, заменяющего ту или иную группу экипажей.

Текст подпрограммы приведен ниже.

```

C      SUBROUTINE FVOZM
C      МОДИФИКАЦИЯ "FVOZM3"
C
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BLM3/M3
COMMON/BLE/E
COMMON/BLLP/LP1
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BLN/N,NO,NC1
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
INTEGER PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
C
      CALL VNESH
19 IF(LP1,EQ,0) GO TO 17
      CALL PROF
17 IF(M3,EQ,0) GO TO 117
      CALL SOPR
117 IF(V(1),LE,1.5) GO TO 12
      DO 15 I=1,N
15 FB(I)=FT(I)+W(I)+FP(I)+F(I)

```

```

GO TO 83
18 DO 10 I=1,N
D=-SIGN(1.0,V(I))
FT(I)=ABS(FT(I))*D
W(I)=ABS(W(I))*D
10 FB(I)=FT(I)+W(I)
DO 80 I=1,N
Y=ABS(V(I))
IF(E-Y)80,50,50
50 A=S(I+1)-S(I)+S1(I)-F(I)-FP(I)
B=ABS(A)
C=ABS(FB(I))
IF(C-B)80,51,51
51 FB(I)=A
50 FB(I)=FB(I)+FP(I)+F(I)
80 IF(M21,EQ,0) RETURN
81 IF(V(1),LE,1.5) GO TO 112
DO 118 I=1,N
IF(M1(I),LT,E) GO TO 118
FB1(I)=F1(I)+W1(I)+FP1(I)
119 CONTINUE
RETURN
112 DO 100 I=1,N
D=-SIGN(1.0,V1(I))
F1(I)=ABS(F1(I))*D
W1(I)=ABS(W1(I))*D
100 FB1(I)=F1(I)+W1(I)
DO 180 I=1,N
Y=ABS(V1(I))
IF(E-Y)180,150,150
150 A=-S1(I)-F1(I)-FP1(I)
B=ABS(A)
C=ABS(FB1(I))
IF(C-B)180,151,151
151 FB1(I)=A
150 FB1(I)=FB1(I)+FP1
RETURN
END

```

4.1.4. Модификация VNESH1 подпрограммы VNESH

Модификация VNESH1 подпрограммы VNESH предназначена для исследования движения поезда по участкам пути большой протяженности со сменой режимов управления.

Подпрограмма состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок подпрограммы (при обращении к нему подпрограммы FVOZM) организует последовательность вычисления внешних сил, вызванных управлением движением, путем обращения к подпрограммам TUGA, RECUP, TORM (или к дополнительным точкам указанных подпрограмм). Алгоритм управления описан в работе [41] и предполагает, что задачей управления является поддержание заданной скорости движения поезда.

На рис. 4.1 изображена схема переключения режимов управле-

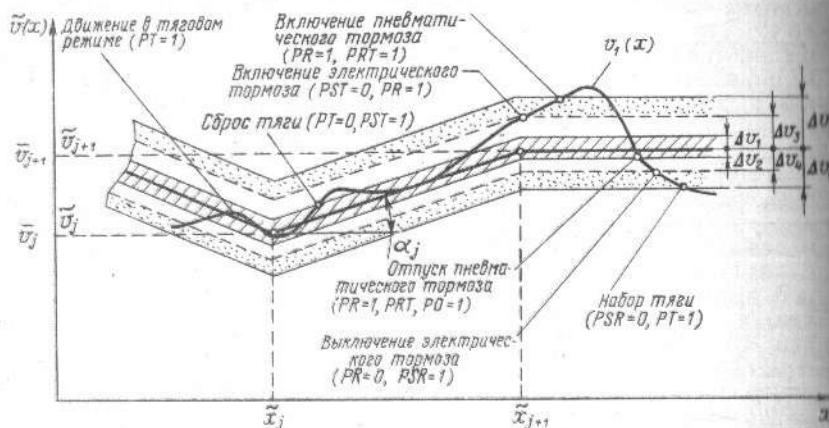


Рис. 4.1. Схема переключения режимов управления

ния, где $v_1(x)$ – фактическая скорость движения головного экипажа, $x(t)$ – координата, определяющая перемещение головного экипажа, $\tilde{v}(x)$ – заданная скорость движения, $\Delta v_1, \Delta v_2, \Delta v_3, \Delta v_4, \Delta v_5, \Delta v_6$ – заданные допускаемые отклонения значений $v_1(x)$ от $\tilde{v}(x)$.

Режим управления выбирается в зависимости от состояния программных признаков PT, PST, PR1, PR, PSR, PRT, PO, значения которых формируются подпрограммой в процессе счета в зависимости от соотношения величин $v_1(x)$ и $\tilde{v}(x)$ и знака ускорения \ddot{v}_1 головного экипажа. Физический смысл перечисленных программных признаков описан ниже.

Приравнивание единице значений признаков реализации сил PT, PR или PRT означает, что происходит набор силы тяги ($PT = 1$), увеличение тормозных сил от электрического ($PR = 1$) или пневматического ($PRT = 1$) торможений. Указанные признаки формируются в те моменты времени ТНН (начало набора силы тяги), ТНР (начало электрического торможения), ТТ (момент включения пневматических тормозов), когда начинают выполняться соответствующие условия:

$$v_1(t) < \tilde{v}(x(t)) - \Delta v_6; \quad v_1(t) > \tilde{v}(x(t)) + \Delta v_3;$$

$$v_1(t) > \tilde{v}(x(t)) + \Delta v_5.$$

Признаки PT, PR, PRT изменяются на нулевые в моменты времени ТНС, ТНЧР, Т0, когда начинают выполняться условия $v_1(t) > \tilde{v}(x(t)) + \Delta v_1$; $v_1(t) < \tilde{v}(x(t)) - \Delta v_4$; $v_1(t) < \tilde{v}(x(t)) - \Delta v_2$ соответственно. При этом формируются значения, равные единице, признаков сброса тяги PST, сброса тормозной силы от электрического торможения PSR, отпуска тормозов PO.

Признаки PST, PSR, PO устанавливаются равными нулю в соответствующих подпрограммах TUGA (см. точку входа SBROS), RECUP (см. точку входа SBREC), TORM, когда вычисляемые в них внешние силы от управляющих воздействий, уменьшаясь (по або-

люному значению), становятся равными нулю. (При пневматическом торможении силы нажатия на тормозные колодки всех экипажей должны стать равными нулю).

Возможность вычисления тормозной силы, развиваемой при электрическом торможении, определяется состоянием признака PR1 (0 или 1). Если $PR1 = 0$, то предполагается, что в процессе движения электрический тормоз включаться не будет. Признак вводится подпрограммой PARVF. При $PT = 1, PR = 1, PRT = 1$ подпрограмма VNESH обращается для расчета внешних сил к подпрограммам TUGA, RECUP, TORM, а при значениях $PST = 1, PSR = 1, PO = -1$ к точкам входа SBROS подпрограммы TUGA или SBREC подпрограммы RECUP и к подпрограмме TORM, соответственно. Моменты переключения режимов управления отмечены на рис. 4.1 точками.

Заданная скорость как функция пройденного пути $\tilde{v}(x(t))$ представляется кусочно-линейной зависимостью и для $x \in [x_j, x_{j+1}]$ находится как:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{v}(x) &= \tilde{v}_j + \operatorname{tg} \alpha_j (x - x_j); \\ \tilde{v}(x_j) &= (\tilde{v}_{j+1} - \tilde{v}_j)/(\tilde{x}_{j+1} - \tilde{x}_j), \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

(здесь \tilde{x}_j, \tilde{v}_j – координаты узловых точек кусочно-линейной функции $\tilde{v}(x)$, $j = 1, n_0$ – число узлов).

При составлении программы приняты следующие идентификаторы параметров и переменных (см. табл. 4.4).

Вспомогательный блок подпрограммы (точка входа PARVF) предназначен для ввода и формирования величин, используемых основным блоком, а также для организации ввода параметров внешних сил. При этом осуществляется обращение к вспомогательным блокам подпрограмм TUGA, RECUP, TORM, SOPR, PROF (см. точки входа PARTUG, PARREC, PARTOR, PARSP, PARPR соответственно).

В табл. 4.5 приведены величины, которые вводятся вспомогательным блоком рассматриваемых подпрограмм, и соответствующие форматы представления данных.

Массив TGG формируется после ввода параметров узловых точек кривой скорости. Для контроля печатаются следующие величины: NG; массивы XG, VG, TGG; DV1, DV2, DV3, DV4, DV5, DV6, PT, PRT, PR, PR1.

Таблица 4.4

Параметры	x	v_1	\tilde{v}	\ddot{v}_1	Δv_1	Δv_2	Δv_3
Идентификатор	X(1)	V(1)	VS	A2(2)	DV1	DV2	DV3

Окончание табл. 4.4

Параметры	Δv_4	Δv_5	Δv_6	n_G	\tilde{x}_j	\tilde{v}_j	$\operatorname{tg} \alpha_j$
Идентификатор	DV4	DV5	DV6	NG	XG(I)	VG(I)	TGG(I)

Таблица 4.5

Идентификатор переменной	Формат	Примечание
NG	I4	—
XG(I)	10F8.1	$I = 1, NG; NG \leq 50$
VG(I)	10F8.1	$I = 1, NG; NG \leq 50$
DV1, DV2, DV3, DV4, DV5, DV6	6F8.1	
PT, PRT, PR, PR1	4I4	

Одновременно с вводом исходных данных присваивается нуль признакам P0, PST, PSR и величинам TT, THH, T0, THR.

Текст подпрограммы приведен ниже.

```

SUBROUTINE VNESH
МОДИФИКАЦИЯ VNESH1
COMMON/BLT/TT,T0,THH,THC,THR,THCR
COMMON/BLX/X(100)
COMMON/BLDV/DV1,DV2,DV3,DV4,DV5,DV6
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLA/A1(801),A2(801),A3(801),A4(801),A5(801)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BLVS/VS
DIMENSION XG(50),VG(50),TGG(50)
INTEGER PT,PRT,PST,P0,PR,PR1,PSR
C
105 DO 1 I=2,50
IF(X(1).LT.XG(I)) GO TO 8
GO TO 1
8 VS=VG(I-1)+(X(1)-XG(I-1))*TGG(I-1)
GO TO 95
1 CONTINUE
95 Y=V(1)-VS
IF(Y.LT.0) GO TO 39
IF(Y.GE.DV1) GO TO 30
IZ=1
GO TO 50
30 IZ=0
IF(Y.GE.DV3) GO TO 31
IF(A2(2).LE.0) GO TO 50
IF(PT.EQ.0) GO TO 50
PST=1
PT=0
THC=T
GO TO 53
31 IF(Y.GE.DV5) GO TO 32
IF(A2(2).LE.0) GO TO 50
IF(PR1.EQ.0) GO TO 50
IF(PR.EQ.1) GO TO 50
IF(PST.EQ.1) GO TO 50
PR=1
THR=T
GO TO 52
32 IF(PRT.EQ.1) GO TO 50
IF(PR1.EQ.0) GO TO 33

```

```

IF(PR.EQ.1) GO TO 33
PR=1
THR=T
33 PRT=1
TT=T
GO TO 50
39 Y=ABS(Y)
IF(Y.GE.DV2) GO TO 40
IZ=1
GO TO 50
40 IZ=0
IF(Y.GE.DV4) GO TO 41
IF(A2(2).GE.0) GO TO 60
IF(P0.EQ.1) GO TO 60
PRT=0
P0=1
T0=T
GO TO 61
41 IF(Y.GE.DV6) GO TO 42
IF(A2(2).GE.0) GO TO 60
IF(PSR.EQ.1) GO TO 61
IF(PR.EQ.0) GO TO 62
IF(PRT.EQ.0) GO TO 43
PRT=0
P0=1
T0=T
43 PSR=1
PR=0
THCR=T
GO TO 61
42 IF(PT.EQ.1) GO TO 63
IF(PSR.EQ.1) GO TO 61
IF(P0.EQ.1) GO TO 62
PT=1
THH=T
GO TO 63
50 IF(PRT.EQ.1) CALL TORM
IF(P0.EQ.1) CALL TORM
51 IF(PST.EQ.0) GO TO 52
53 CALL SBROS
GO TO 54
52 IF(PR.EQ.1) CALL RECUP
54 IF(IZ.EQ.0) RETURN
60 IF(PT.EQ.0) GO TO 61
63 CALL TUGA
RETURN
61 IF(PSR.EQ.1) CALL SBREC
62 IF(P0.EQ.1) CALL TORM
RETURN
C
ENTRY PARVF
C
10 FORMAT(20I4)
11 FORMAT(10F8.1)
12 FORMAT(10F8.4)
13 FORMAT(/2X,' ПАРАМЕТРЫ КРИВОЙ СКОРОСТИ/')
14 FORMAT(2X,' XG ')

```

```

15 FORMAT(2X,' VG ')
16 FORMAT(3X,'TGG')
17 FORMAT(//3X,' DV1=','F6.3,' DV2=','F6.3,' DV3=','F6.3,
*' DV4=','F6.3,' DV5=','F6.3,' DV6=','F6.3)
18 FORMAT(//3X,' PT=','I1,' PRT=','I1,
*' PR=','I1,' PR1=','I1/)
19 FORMAT(2X,10F10.3)

C
-----  

READ 10,NG
PRINT 13
READ 11,(XG(I),I=1,NG)
PRINT 14
PRINT 19,(XG(I),I=1,NG)
READ 11,(VG(I),I=1,NG)
PRINT 15
PRINT 19,(VG(I),I=1,NG)
TGG(NG)=0.0
NG=NG-1
DO 20 I=1,NG
20 TGG(I)=(VG(I+1)-VG(I))/(XG(I+1)-XG(I))
PRINT 16
PRINT 19,(TGG(I),I=1,NG)
READ 11,DV1,DV2,DV3,DV4,DV5,DV6
PRINT 17,DV1,DV2,DV3,DV4,DV5,DV6
READ 10,PT,PRT,PR,PR1
PRINT 18,PT,PRT,PR,PR1
P0=0
PST=0
PSR=0
IZ=0
CALL PARTUG
IF(PR1.EQ.0) GO TO 21
CALL PARREC
21 CALL PARTOR
CALL PARSP
CALL PARPR
TT=0
THH=0
T0=0
THR=0
RETURN
END

```

4.1.5. Модификация VNESH2 подпрограммы VNESH

Данная модификация предназначена для решения задач по определению сил при соударениях вагонов и сцепов и при движении поезда «на выбеге». Подпрограмма содержит один вспомогательный модуль с точкой входа PARVF, который обращением к подпрограммам PARSP и PARPR организует ввод параметров сил сопротивления и параметров продольного профиля пути, а также приравнивает нулю переменные, соответствующие силам тяги и торможения. Обращение к подпрограмме осуществляется подпрограммой FVOZM.

Текст подпрограммы приведен далее.

```

SUBROUTINE VNESH
МОДИФИКАЦИЯ "VNESH2"
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),
*FT(100),W(100)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
INTEGER PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BLX/X(100)
COMMON/BLVS/VS
REAL M1
RETURN
-----  

ENTRY PARVF
1 FORMAT(30X,' РАССМАТРИВАЕМЫЙ РЕЖИМ – СОУДАРЕНИЕ',
*' ИЛИ ВЫБЕГ')
PRINT 1
CALL PARSP
CALL PARPR
DO 2 I=1,N0
FT(I)=0.0
F(I)=0.0
2 FB(I)=0.0
IF(M21,EQ,0) GO TO 3
DO 3 I=1,N0
IF(M1(I),EQ,0.0) GO TO 3
F1(I)=0.0
FP1(I)=0.0
FB1(I)=0.0
3 CONTINUE
P0=0
PR=0
PR1=0
PRT=0
PST=0
PSR=0
PT=0
X(1)=0.0
VS=0.0
RETURN
END

```

4.1.6. Модификация VNESH3 подпрограммы VNESH

Эта модификация состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок подпрограммы предназначен для использования при определении продольных сил в случаях трогания поезда с места. К этому блоку обращается подпрограмма FVOZM. Блок содержит в себе только один оператор вызова подпрограммы TUGA, в которой вычисляются значения силы тяги.

Вспомогательный блок PARVF предназначен для ввода параметров силы тяги (обращение к подпрограмме PARTUG), обнуления

Таблица 4.6

Параметры	<i>i</i>	<i>M</i> 21	<i>m</i> _{1<i>i</i>}	<i>B</i> _{<i>i</i>}	<i>B</i> _{1<i>i</i>}	<i>v</i> _{<i>i</i>}	<i>v</i> _{от}	<i>T</i> _о	ε
Идентифи- катор	I	M21	M1(I)	FT(I)	F1(I)	V(1)	VOT	TO	E

элементов массивов, используемых при вычислении внешних сил (см. описание программы FVOZM), и формирования программных признаков $PT = 1$, $P0 = 0$, $PST = 0$, $PRT = 0$, $PREC = 0$, $PRECI = 0$, смысл которых объяснен в описании модификации VNESH1. Блок обращается также к подпрограмме PARSP для ввода параметров сил сопротивления поступательному движению и к PARPR для ввода параметров продольного профиля пути.

Текст подпрограммы данной модификации приведен ниже.

```

SUBROUTINE VNESH
МОДИФИКАЦИЯ "VNESH3"
C -----
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),
*FT(100),W(100)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
INTEGER PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BLX/X(100)
COMMON/BLVS/V$S
C -----
CALL TUGA
RETURN
C -----
ENTRY PARVF
C -----
CALL PARTUG
CALL PARSP
CALL PARPR
DO 1 I=1,N0
F1(I)=0.0
F(I)=0.0
1 FT(I)=0.0
P0=0
PR=0
PR1=0
PRT=0
PST=0
PSR=0
PT=1
X(1)=0.0
VS=0.0
RETURN
END

```

4.1.7. Модификация VNESH4 подпрограммы VNESH

Подпрограмма VNESH состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок предназначен для определения продольных сил в случаях торможения поезда. К блоку обращается подпрограмма FVOZM. Блок содержит обращение к подпрограмме TORM для вычисления тормозных сил B_i , которые действуют на вагоны. Если

в вагон оборудован подвижной хребтовой балкой, то тормозная сила, приложенная к кузову, в данном случае действует на тело массой m_{1*i* , т.е. $B_{1*i*} \neq 0$, $B_i = 0$, если признак MPT(I) наличия в данном вагоне подвижной хребтовой балки равен 1, и $B_{1*i*} = 0$, $B_i \neq 0$, если признак MPT(I) = 0. Анализ состояния признака производится только в том случае, когда имеется хоть один подвижной груз (признак M21 = 1) и только для тех значений *i*, для которых $m_{1*i*} > \varepsilon$, где m_{1*i* – масса подвижного груза в *i*-м экипаже ($\varepsilon = 0.000001$).

Как только скорость v_1 первого экипажа, вычисленная на предыдущем шаге, становится меньше заданной скорости $v_{\text{от}}$, вырабатывается значение признака отпуска тормозов $P0 = 1$ и запоминается соответствующий момент времени. Этот признак используется в подпрограмме TORM при вычислении тормозной силы.

Идентификаторы переменных, использованных в основном блоке, приведены в табл. 4.6.

Вспомогательный блок PARVF предназначен для ввода параметров внешних сил. К этому блоку обращается головная программа. Вначале блок обращается к подпрограмме PARTOR ввода параметров тормозных сил, затем вводится значение VOT (формат FB.3). Далее происходит обращение к подпрограмме PARSP для ввода параметров сил сопротивления и PARPR для ввода параметров продольного профиля пути. Для контроля ввода печатается значение VOT.

Текст подпрограммы данной модификации приводится ниже.

```

SUBROUTINE VNESH
МОДИФИКАЦИЯ "VNESH4"
C -----
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),
*FT(100),W(100)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
INTEGER PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BLX/X(100)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLVS/V$S
REAL M1,MPT
COMMON/BLT/TT,T0,THK,THC,THR,THCR
COMMON/BLE/E
IF((PRT+P0).EQ.0) RETURN
CALL TORM
IF(M21.EQ.0) GO TO 2
DO 2 I=1,N0

```

```

IF(M1(I).LT.E) GO TO 2
IF(MPT(I).EQ.0.0) GO TO 2
F1(I)=FT(I)
FT(I)=0.0
2 CONTINUE
IF(V(1).GT.VOT) RETURN
IF(IM.EQ.2) RETURN
T0=T
IM=2
P0=1
PRT=0
RETURN
C -----
ENTRY PARVF
C -----
CALL PARTOR
READ 3,VOT
3 FORMAT(F8.3)
4 FORMAT(10X,'ОТПУСК НАЧИНАЕТСЯ ПРИ СКОРОСТИ 1ГО',
* 'ВАГОНА', V(1)=' ,F8.2)
PRINT 4,VOT
CALL PARSP
CALL PARPR
DO 1 I=1,N0
F1(I)=0.0
F(I)=0.0
1 FT(I)=0.0
IM=1
P0=0
PR=0
PR1=0
PRT=1
PST=0
PSR=0
PT=0
X(1)=0.0
VS=0.0
RETURN
END

```

4.2. ПОДПРОГРАММЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ЭКИПАЖЕЙ И СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛ ТЯЖЕСТИ НА УКЛОНАХ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПУТИ

4.2.1. Модификация SOPR1 подпрограммы SOPR

Подпрограмма SOPR рассматриваемой модификации состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок подпрограммы предназначен для вычисления сил сопротивления поступательному движению, действующих на экипажи поезда с жестко присоединенными грузами, по формуле

$$W_i = -m_i \left(\frac{W_0}{1 + A_0 W_0 |v_i|} + W_{01} + A_{11} |v_i| + A_{22} v_i^2 \right) 10^{-3}, \quad i = \overline{1, n_0}, \quad (4.5)$$

где W_i — сила сопротивления, действующая на i -й экипаж; m_i — масса i -го экипажа; v_i — его скорость; W_0 — удельное сопротивление, соответствующее трению покоя; A_0 , W_{01} , A_{11} , A_{22} — некоторые постоянные величины; n_0 — число экипажей в поезде. Величины коэффициентов в формуле (4.5) определяются в соответствии с данными работ [2, 55].

Подпрограмма FVOZM (модификация FVOZM2, FVOZM3) обращается к рассматриваемому модулю, если программный признак M3 = 1.

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку входа PARSP) предназначен для формирования параметров сил сопротивления. Здесь организован ввод значений W_0 , A_0 , W_{01} , A_{11} , A_{22} . Равенство нулю W_0 означает, что силы сопротивления постоянны (не зависят от скорости движения) и в процессе счета не изменяются. При этом признаку M3 присваивается значение, равное нулю (признак используется в подпрограмме FVOZM).

Таблица 4.7

Параметры	m_{oi}	v_i	W_0	A_0
Идентификатор	M0(I)	V(I)	W0	A0

Окончание табл. 4.7

Параметры	W_{01}	A_{11}	A_{22}	W_i	n_0
Идентификатор	W01	A11	A22	W(I)	N0

Таблица 4.8

Информация	Формат	Примечание
W0, A0, W01, A11, A22	5F8.2	—
W	—	Массив формируется с помощью подпрограммы FORMI, если $W0 = 0$ ($M3 = 0$)

Постоянные силы сопротивления, действующие на каждый экипаж, формируются с помощью подпрограммы FORMI.

Значение $W_0 > 0$ означает, что силы сопротивления зависят от скорости. При этом признаку M3 присваивается значение, равное 1, а силы сопротивления вычисляются на каждом шаге интегрирования по формуле (4.5).

Соответствие используемых физических величин их идентификаторам в подпрограмме следующее (см. табл. 4.7).

Порядок ввода параметров и форматы представления данных соответствуют табл. 4.8.

Для контроля печатаются коэффициенты $W0$, $A0$, $W01$, $A11$, $A22$, если $W0 \neq 0$ ($M3 = 1$), или элементы массива W , если $W0 = 0$ ($M3 = 0$).

Текст подпрограммы приведен далее.

```

C      SUBROUTINE SOPR
C      МОДИФИКАЦИЯ SOPR1
C
COMMON/BLM3/M3
COMMON/BLE/E
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
6 FORMAT(30X,'СИЛЫ ОСНОВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ',
* 'ДВИЖЕНИЮ','ЗАВИСЯТ ОТ СКОРОСТИ')
7 FORMAT(20F6.2)
8 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ W(I)')
REAL M1,MPT,M0
C
DO 20 I=1,N0
Y1=V(I)
Y=ABS(Y1)
W(I)=(W0/(1.0+A0*W0*Y)+W01+A11*Y+A22*Y**2)*0.001
W(I)=-W(I)*M0(I)
20 CONTINUE
IF(M21.EQ.0) RETURN
DO 30 I=1,N0
IF (M1(I).LT.E.OR.MPT(I).LE.E) GO TO 30
W1(I)=W(I)
W(I)=0
30 CONTINUE
RETURN
C      ENTRY PARSP
C
1 FORMAT(10F8.2)
2 FORMAT(30X,'ПАРАМЕТРЫ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ: W0=',
*F5.1,' A0=',F5.2,' W01=',F5.1,' A11=',F5.2,
*' A22=',F6.3)
3 FORMAT(30X,'СИЛЫ ОСНОВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ',
*'ДВИЖЕНИЮ ПОСТОЯННЫ W(I)=CONST:')
READ 1,W0,A0,W01,A11,A22
IF(ABS(W0).GT.0.00001) GO TO 4
M3=0
C      ВВОД СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ W(I)
PRINT 8
CALL FORMI(W)
DO 40 I=1,N0
40 W(I)=-W(I)
PRINT 3
PRINT 7,(W(I),I=1,N0)
IF(M21.EQ.0) RETURN
CALL FORMI(MPT)
DO 31 I=1,N0
31 W1(I)=0.0
DO 32 I=1,N
IF(M1(I).LT.E.OR.MPT(I).LE.E) GO TO 32
W1(I)=W(I)
W(I)=0

```

```

# CONTINUE
RETURN
4 PRINT 6
PRINT 2,W0,A0,W01,A11,A22
M3=1
IF(M21.EQ.0) RETURN
CALL FORMI(MPT)
DO 33 I=1,N0
33 W1(I)=0.0
5 RETURN
END

```

4.2.2. Модификация PROF1 подпрограммы PROF

Подпрограмма PROF рассматриваемой модификации состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок подпрограммы предназначен для вычисления P_i продольных составляющих сил тяжести, действующих на уклонах продольного профиля пути на i -й экипаж с жестко присоединенными грузами.

Алгоритм построен в предположении, что продольный профиль пути (рис. 4.2) состоит из $(p+1)$ прямолинейных участков с уклонами i_k и длиной \bar{L}_k ($k = 0, p$) и p криволинейных, каждый из которых представляет собой дугу радиуса R_k ($k = 1, p$). Эти дуги сопрягают отрезки пути постоянного уклона.

Если при $t = 0$ головной экипаж поезда имеет координату $x_{01} = 0$, то он занимает в этот момент времени на профиле положение, изображенное на рис. 4.2.

Пусть A_k^c и A_k^n – соответственно координаты концов криволинейных и прямолинейных участков, причем координата конца начального прямолинейного участка равна нулю ($A_0^n = 0$). Очевидно, что A_{k-1}^n и A_k^c являются координатами начала и конца участка сопряжения, а A_k^c и A_k^n – координатами границ участков постоянного уклона.

Следовательно,

$$\begin{aligned} A_1^0 &= l_1; \quad A_1^n = l_1 + \bar{L}_1 = A_1^c + \bar{L}_1; \\ A_2^0 &= A_1^n + l_2; \quad A_2^n = A_1^n + l_2 + \bar{L}_2 = A_2^c + \bar{L}_2; \end{aligned}$$

$$A_k^0 = A_{k-1}^n + l_k; \quad A_k^n = A_{k-1}^n + l_k + \bar{L}_k = A_k^c + \bar{L}_k, \quad k = \overline{1, p};$$

$$\text{и } l_k = |i_{k+1} - i_k| R_k.$$

Значение P_i зависит от положения экипажа на профиле пути, которое определяется координатой x_{0i} . Эта координата вычисляется в рассматриваемой подпрограмме по формуле

$$x_{0i} = x_{01} - \frac{1}{2} \sum_{j=2}^i (l_{B,j-1}^0 + l_{B,j}^0), \quad i = \overline{2, n_0}, \quad (4.8)$$

Таблица 4.9

Параметр	x_{oi}	x_i	n_0	n	\bar{n}	i_k	R_k	p
Идентификатор	X0(I)	X(I)	N0	N	NC1	DI(I)	R(I)	P
Окончание табл. 4.9								
Параметр	A_v	l_{bi}^0	l_{bi}	\bar{L}_k	$m_0 g$	y	p_i	
Идентификатор	A(L)	LB0(I)	LB(I)	LP(I)	PM0(I)	Y2	FP(I)	

Таблица 4.10

Информатор	Формат	Примечание
LP1	I4	
P	I4	Информация вводится при $LP1 > 0$; $I = 1, p + 1; p + 1 \leq 400$
DI(I)	10F8.5	
LP(I)	10F8.5	
R(I)	10F8.5	

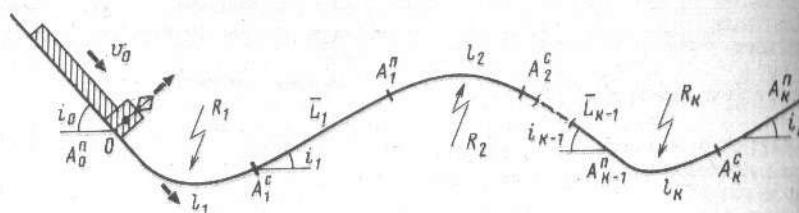


Рис. 4.2. Представление продольного профиля пути.

где x_{01} – координата центра масс первого экипажа, получаемая путем интегрирования дифференциального уравнения $\dot{x}_{01} = v_{01}$ (см. описание подпрограммы SPRAV); l_{bj}^0 – длина экипажа с номером j ; n_0 – число экипажей в поезде.

Значение P_i определяется следующими соотношениями:

$$P_i = \begin{cases} m_{0i}g i_0, & \text{если } x_{0i} \leq 0; \\ m_{0i}g i_{k,i}, & \text{если } A_k^c \leq x_{0i} \leq A_k^n; \\ m_{0i}g (i_{k,i} + y/R_{k,i}), & \text{если } A_k^n \leq x_{0i} \leq A_{k+1}^c, \end{cases} \quad (4.9)$$

где $i_{k,i}$ – угол уклона участка с номером k , на котором находится экипаж с номером i ; $R_{k,i}$ – радиус дуги сопряжения соответствующего участка, $y = x_{0i} - A_k^n$, $k = 0, \bar{n}$.

В тех случаях, когда интегрируется «укороченная» система дифференциальных уравнений, координата центра масс i -го экипажа определяется согласно выражениям:

$$\left. \begin{aligned} x_{0i} &= x_v - \sum_{j=1}^k l_{bj}^0 + \frac{1}{2} (l_{bv} + l_{bk}^0); \\ i &= (v-1)\bar{n} + k; \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, \bar{n}}, \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

где n – число групп экипажей, \bar{n} – число экипажей в каждой из них, l_{bv} – длина, x_v – координата центра масс группы с номером v .

$$x_v = x_1 - \frac{1}{2} \sum_{j=2}^v (l_{bj-1} - l_{bj}), \quad v = \overline{2, n}. \quad (4.11)$$

Координата x_1 центра масс первой группы получается в результате интегрирования уравнения $\dot{x}_1 = v_1$ (см. описание подпрограммы SPRAV).

После определения координат центров масс экипажей по формуле (4.9) вычисляется сила P_i .

Обращение к основному блоку подпрограммы осуществляется подпрограммой FVOZM на каждом шаге интегрирования в случаях, когда параметр $LP1 > 0$ (указанный параметр задается вспомогательным блоком рассматриваемой подпрограммы).

Идентификаторы переменных и параметров, используемых для вычисления сил P_i , приведены ниже (табл. 4.9).

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку входа PARPR) предназначен для формирования параметров продольного профиля пути. Обращение к этому блоку осуществляется на начальном этапе

работы программы подпрограммой VNESH (см. точку входа PARVF).

Вспомогательным блоком вводится параметр LP1, значение которого является программным признаком движения поезда по горизонтальному пути ($LP1 \leq 0$) либо по пути с изломами профиля ($LP1 > 0$).

В случаях когда $LP1 > 0$, вводятся и формируются параметры профиля пути: число изломов p , уклоны прямолинейных участков, их длины, радиусы сопрягающих кривых. На основании этих данных формируется массив координат концов криволинейных и прямолинейных участков.

Порядок ввода исходной информации приведен в табл. 4.10.

Для контроля печатаются массивы DI, LP, R, A, соответствующие физическим переменным i_k , L_k , R_k , A_k .

Текст подпрограммы приведен ниже.

SUBROUTINE PROF МОДИФИКАЦИЯ PROF1

```
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLLX/X(100)
COMMON/BLLP/LP1
DIMENSION XO(100),DI(400),LP(400),R(400),A(800),PM0(100)
INTEGER P,P1,P2,P3
REAL LB,LP,LB0,M0
```

```
X(1)=-Q(1)
```

```
DO 2 I=2,N
```

```

2 X(I)=X(I-1)-0.5*(LB(I-1)+LB(I))
N12=1
N13=NC1-1
K1=1
DO 116 J=1,N
XO(K1)=X(J)+0.5*(LB(J)-LB0(K1))
IF(NC1-1) 116,116,118
118 DO 117 I=N12,N13
117 XO(I+1)=XO(I)-0.5*(LB0(I)+LB0(I+1))
N12=N12+NC1
N13=N13+NC1
116 K1=K1+NC1
DO 11 I=1,N0
Y=XO(I)
IF(Y.LE.0) GO TO 4
Y2=Y
DO 3 L=IND,P3,2
Y1=Y-A(L)
IF(Y1.LT.0) GO TO 5
Y2=Y-A(L+1)
IF(Y2.GT.0) GO TO 3
J=(L+1)/2+1
FP(I)=DI(J)*PM0(I)
IF(I,LT,N0) GO TO 11
IND=L
GO TO 11
5 J=(L+1)/2
FP(I)=(DI(J)+Y2/R(J))*PM0(I)
GO TO 11
3 CONTINUE
4 FP(I)=DI(1)*PM0(I)
11 CONTINUE
RETURN
C _____
ENTRY PARPR
C _____
23 FORMAT(1X,' ДВИЖЕНИЕ ПО ПУТИ ЛОМАНОГО ПРОФИЛЯ ')
24 FORMAT(1X,' ПАРАМЕТРЫ ПРОФИЛЯ ПУТИ:')
20 FORMAT(1I4)
22 FORMAT(2X,' ДВИЖЕНИЕ ПО ПЛОЩАДКЕ')
25 FORMAT(2X,'DI')
27 FORMAT(2X,'LP')
28 FORMAT(2X,'R')
29 FORMAT(2X,'A')
30 FORMAT(10F8.5)
32 FORMAT(2X,10F9.4)
33 FORMAT(2X,10F9.1)
C _____
READ 20,LP1
IF(LP1)12,12,19
19 PRINT 23
READ 20,P
DO 15 I=1,400
DI(I)=0
LP(I)=0
15 R(I)=0
P1=P+1
PRINT 24
READ 30,(DI(I),I=1,P1)
PRINT 25
PRINT 32,(DI(I),I=1,P1)
READ 30,(LP(I),I=1,P)
PRINT 27
PRINT 33,(LP(I),I=1,P)
READ 30,(R(I),I=1,P)
L=1
DO 13 K=1,P
Y=DI(K+1)-DI(K)
Y1=ABS(R(K))
R(K)=SIGN(R(K),Y)
A(L)=Y1*ABS(Y)
A(L+1)=LP(K)
13 L=L+2
PRINT 28
PRINT 33,(R(I),I=1,P)
P2=P+P
P3=P2-1
PRINT 29
DO 10 L=2,P2
10 A(L)=A(L)+A(L-1)
PRINT 33,(A(I),I=1,P2)
DO 31 I=1,N0
31 PM0(I)=M0(I)*9.81
IND=1
RETURN
12 DO 14 I=1,N0
14 FP(I)=0
PRINT 22
RETURN
END

```

4.2.3. Модификация PROF2 подпрограммы PROF

Подпрограмма данной модификации в основном аналогична подпрограмме модификации PROF1. Отличие ее в том, что модификация PROF2 предназначена для использования также в случаях, когда в состав поезда включены вагоны с подвижными грузами. С этой целью в тех случаях, когда программный признак M21 наличия в поезде вагонов с подвижными грузами не равен нулю, дополнительно к значениям P_i составляющих сил тяжести, действующих на вагоны, вычисляются силы P_{1i} соответствующих сил тяжести, действующих на грузы, в соответствии с выражением

$$P_{1i} = P_i \frac{m_{1i}g}{m_{0i}g}, \quad (4.12)$$

где m_{1i} – масса подвижного груза; m_{0i} – масса кузова вагона; g – ускорение свободного падения. При составлении подпрограммы дополнительно к идентификаторам

п. 4.2.2 введены идентификаторы $PM0(I)$ и $FP(I)$, соответствующие величинам m_{1g} и P_{1i} , входящим в выражение (4.12).

Текст подпрограммы приведен ниже.

```

SUBROUTINE PROF
МОДИФИКАЦИЯ PROF2
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLX/X(100)
COMMON/BLLP/LP1
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
DIMENSION XO(100),DI(400),LP(400),R(400),A(800),
*PM0(100),PM1(100)
INTEGER P,P1,P2,P3
REAL LB,LP,LB0,M0,M1
C
X(1)=-Q(1)
DO 2 I=2,N
2 X(I)=X(I-1)-0.5*(LB(I-1)+LB(I))
N12=
N13=NC1-1
K1=
DO 116 J=1,N
XO(K1)=X(J)+0.5*(LB(J)-LB0(K1))
IF(NC1-1) 116,116,118
118 DO 117 I=N12,N13
117 XO(I+1)=XO(I)-0.5*(LB0(I)+LB0(I+1))
N12=N12+NC1
N13=N13+NC1
116 K1=K1+NC1
DO 11 I=1,N0
Y=XO(I)
IF(Y.LE.0) GO TO 4
Y2=Y
DO 3 L=IND,P3,2
Y1=Y-A(L)
IF(Y1.LT.0) GO TO 5
Y2=Y-A(L+1)
IF(Y2.GT.0) GO TO 3
J=(L+1)/2+1
FP(I)=DI(J)*PM0(I)
IF(M1(I).EQ.0.0) GO TO 36
FP1(I)=DI(J)*PM1(I)
36 IF(I.LT.N0) GO TO 11
IND=L
GO TO 11
5 J=(L+1)/2
FP(I)=(DI(J)+Y2/R(J))*PM0(I)
IF(M1(I).EQ.0.0) GO TO 11
FP1(I)=(DI(J)+Y2/R(J))*PM1(I)
GO TO 11
3 CONTINUE
4 FP(I)=DI(1)*PM0(I)
IF(M1(I).EQ.0.0) GO TO 11
FP1(I)=DI(1)*PM1(I)
11 CONTINUE
RETURN
C
ENTRY PARPR
C
23 FORMAT(1X,'ДВИЖЕНИЕ ПО ПУТИ ЛОМАНОГО ПРОФИЛЯ ')
24 FORMAT(1X,'ПАРАМЕТРЫ ПРОФИЛЯ ПУТИ:')
20 FORMAT(14)
22 FORMAT(2X,'ДВИЖЕНИЕ ПО ПЛОЩАДКЕ')
25 FORMAT(2X,' DI ')
27 FORMAT(2X,' LP ')
28 FORMAT(2X,' R ')
29 FORMAT(2X,' A ')
30 FORMAT(10F8.5)
32 FORMAT(2X,10F9.4)
33 FORMAT(2X,10F9.1)
C
LP1=1
PRINT 23
READ 20,P
DO 15 I=1,400
DI(I)=0
LP(I)=0
15 R(I)=0
P1=P+1
PRINT 24
READ 30,(DI(I),I=1,P1)
PRINT 25
PRINT 32,(DI(I),I=1,P1)
READ 30,(LP(I),I=1,P)
PRINT 27
PRINT 33,(LP(I),I=1,P)
READ 30,(R(I),I=1,P)
L=1
DO 13 K=1,P
Y=DI(K+1)-DI(K)
Y1=ABS(R(K))
R(K)=SIGN(R(K),Y)
A(L)=Y1*ABS(Y)
A(L+1)=LP(K)
13 L=L+2
PRINT 28
PRINT 33,(R(I),I=1,P)
P2=P+P
P3=P2-1
PRINT 29
DO 10 L=2,P2
10 A(L)=A(L)+A(L-1)
PRINT 33,(A(I),I=1,P2)
DO 31 I=1,N0
31 PM0(I)=M0(I)*9.81

```

```

IF(M21.EQ.0) GO TO 34
DO 35 I=1,N0
35 PM1(I)=M1(I)*9.81
34 IND=1
RETURN
END

```

4.2.4. Модификация PROF3 подпрограммы PROF

Эта модификация используется в случаях, когда исследуются переходные режимы на площадке. При этом информация о профиле пути не вводится.

Подпрограмма состоит из одного вспомогательного блока, значение которого состоит в том, чтобы формировать программный признак движения поезда по площадке LP1 = 0, присваивать нулевые значения элементам массивов FP и FP1, а также величине X(1). Для информации печатается сообщение «Рассматривается движение по площадке».

Текст подпрограммы приводится ниже.

```

SUBROUTINE PROF
МОДИФИКАЦИЯ "PROF3"
COMMON/BLX/X(100)
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLLP/LP1
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
RETURN
ENTRY PARPR
LP1=0
X(1)=0.0
DO 1 I=1,N0
  FP1(I)=0.0
  1 FP(I)=0.0
  2 FORMAT(30X,'РАССМАТРИВАЕТСЯ ДВИЖЕНИЕ ПО ',
    * 'ПЛОЩАДКЕ')
  PRINT 2
  RETURN
END

```

4.3. ПОДПРОГРАММЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ СИЛЫ ТЯГИ

4.3.1. Модификация TUGA1 подпрограммы TUGA

Подпрограмма TUGA рассматриваемой модификации состоит из трех блоков: двух основных и одного вспомогательного.

Основные блоки предназначены для вычисления сил тяги, развиваемых локомотивами с номерами N_1 и N_2 при наборе и сбросе.

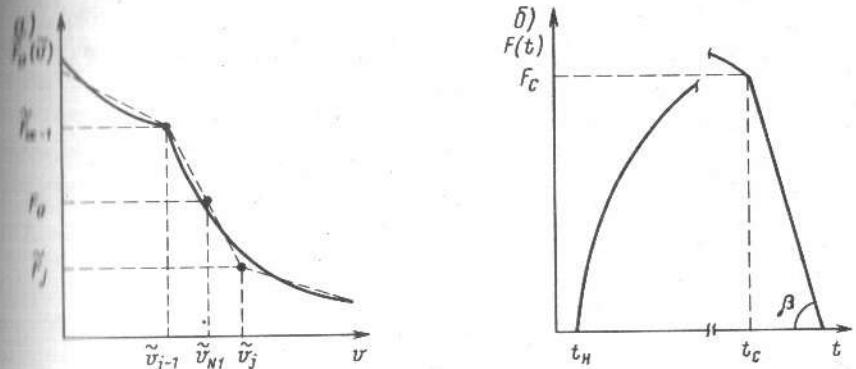


Рис. 4.3. Зависимость силы тяги от скорости и времени движения локомотива

К этим блокам подпрограмма VNESH (модификация VNESH1) обращается с помощью операторов CALL TUGA и CALL SBROS.

Алгоритм вычисления силы предполагает, что ее наибольший уровень F_0 зависит от скорости движения локомотива в соответствии с тяговой характеристикой [2, 49] (рис. 4.3, a), которая аппроксимируется кусочно-линейной зависимостью и задается координатами узловых точек. Характер изменения силы тяги от времени на этапе ее набора соответствует экспоненциальному закону, а на этапе сброса – линейному (рис. 4.3, б).

В подпрограмме предусмотрена возможность набора тяги после неоконченного сброса. Предполагается, что силы тяги локомотивов изменяются синхронно.

Формулы, с помощью которых вычисляются силы тяги, приведены ниже:

$$F_0 = \tilde{F}_{j-1} + (v_{N_1} - \tilde{v}_{j-1}) \operatorname{tg} \alpha_j; \quad (4.13)$$

$$F_{N_1} = F_{N_2} = F_0 (1 - e^{-\gamma(t - t_h + t_D)}); \quad (4.14)$$

$$F_{N_1} = F_{N_2} = F_c - (t - t_c) \operatorname{tg} \beta; \quad (4.15)$$

$$t_D = \frac{1}{\gamma} \ln (1 - F_{N_1}/F_0). \quad (4.16)$$

В этих формулах и на рис. 4.3 приняты следующие обозначения: \tilde{v}_j – абсцисса и ордината j -го узла кусочно-линейной аппроксимации тяговой характеристики локомотива ($j = 1, N_t$; N_t – число узлов); v_{N_1} – скорость локомотива с номером N_1 в рассматриваемый момент времени t ; $\operatorname{tg} \alpha_j = (\tilde{F}_j - \tilde{F}_{j-1})/(\tilde{v}_j - \tilde{v}_{j-1})$, где α_j – угол наклона j -го линейного участка тяговой характеристики к оси абсцисс; F_{N_1}, F_{N_2} – силы тяги локомотивов соответственно с номерами N_1 и N_2 ; γ – коэффициент нарастания силы тяги; t_h – момент начала набора тяги; t_D – интервал времени, в течение которого сила тяги могла бы нарасти от нуля до того значения, которое имеет место в момент начала набора после неоконченного сброса; t_c – момент начала сброса тяги; F_c – уровень силы тяги, с которого начинается ее сброс; β – угол, показанный на рис. 4.3, б, иллюстрирующим зависимость силы тяги от времени при сбросе.

Идентификаторы параметров и переменных, используемых в подпрограмме, приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11

Параметры	N_1	N_2	F_{N1}	F_{N2}
Идентификатор	NL11	NL12	$F(NL11)$	$F(NL12)$
Параметры	F_o	γ	t_n	t_e
Идентификатор	F0	GAMMA	THH	THC

Окончание табл. 4.11

Параметры	v_{N1}	N_t	\tilde{v}_j	\tilde{F}_j
Идентификатор	$V(NL11)$	NT	$VTG(I)$	$FTG(I)$
Параметры	t_D	F_c	$\operatorname{tg} \alpha_j$	$\operatorname{tg} \beta$
Идентификатор	TDD	FHC	$TGT(I)$	TGL

Таблица 4.12

Идентификаторы переменных	Формат	Примечание
NL11, NL12	2I4	
NT	I4	
VTG(I)	10F8.4	$I = 1, NT; NT \leq 10$
FTG(I)	10F8.4	$I = 1, NT; NT \leq 10$
GAMMA, TGL	2F8.4	

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку входа PARTUG) обеспечивает формирование параметров, используемых в основных модулях при вычислении сил тяги. Обращение к модулю происходит из вспомогательного блока подпрограммы VNESH (модификация VNESH1) на начальном этапе работы программы.

Вспомогательным модулем подпрограммы вводятся необходимые для расчета параметры в том порядке, в каком они приведены в табл. 4.12.

При формировании исходных данных для контроля печатаются величины NL11, NL12 и массивы VTG, FTG, TGT, GAMMA, TGL.

Текст подпрограммы приведен ниже.

```

SUBROUTINE TUGA
МОДИФИКАЦИЯ TUGA1
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BLNL/NL11,NL12
COMMON/BLT/TT,T0,THH,THC,THR,THCR
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BLN/N,N0,NC1
DIMENSION VTG(10),FTG(10),TGT(10)
INTEGER PST

```

```

C -----
4 DO 1 I=2,10
IF(V(NL11).GT.VTG(I)) GO TO 1
2 FO=FTG(I-1)+(V(NL11)-VTG(I-1))*TGT(I-1)
GO TO 3
1 CONTINUE
3 F(NL11)=FO*(1.0-EXP(-GAMMA*(T-THH+TDO)))
FHC=F(NL11)
F(NL12)=FHC
RETURN

C -----
ENTRY SBROS
C -----
F(NL11)=FHC-(T-THC)*TGL
IF(F(NL11).GT.0) GO TO 33
F(NL11)=0.0
PST=0
33 F(NL12)=F(NL11)
DO 31 I=2,10
IF(V(NL11).GT.VTG(I)) GO TO 31
FO=FTG(I-1)+(V(NL11)-VTG(I-1))*TGT(I-1)
GO TO 34
31 CONTINUE
34 Y=F(NL11)/FO
IF(Y.GE.1) GO TO 35
TDO=- ALOG(1.0-Y)/GAMMA
RETURN
35 TDO=3.0
RETURN

C -----
ENTRY PARTUG
C -----
9 FORMAT(/2X,' НОМЕРА ЛОКОМОТИВОВ: NL11=',I2,
* ' NL12=',I2/)
10 FORMAT(20I4)
11 FORMAT(10F8.4)
12 FORMAT(2X,' ПАРАМЕТРЫ ТЯГОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ:')
13 FORMAT(2X,' VTG ',10F8.2)
14 FORMAT(2X,' FTG ',10F8.2)
15 FORMAT(2X,' TGT ',10F8.4)
16 FORMAT(/2X,' GAMMA=',F8.3,2X,' TGL=',F8.4/)
READ 10,NL11,NL12
PRINT 9,NL11,NL12
PRINT 12
READ 10,NT
READ 11,(VTG(I),I=1,NT)
PRINT 13,(VTG(I),I=1,NT)
READ 11,(FTG(I),I=1,NT)
PRINT 14,(FTG(I),I=1,NT)
TGT(NT)=0
NT=NT-1
DO 20 I=1,NT
20 TGT(I)=(FTG(I+1)-FTG(I))/(VTG(I+1)-VTG(I))
PRINT 15,(TGT(I),I=1,NT)
READ 11,GAMMA,TGL
PRINT 16,GAMMA,TGL
DO 21 I=1,N0
21

```

```

21 F(I)=0
TDO=0
THH=0
RETURN
END

```

4.3.2. Модификация TUGA2 подпрограммы TUGA

Данная модификация состоит из двух блоков: основного TUGA и вспомогательного PARTUG.

Основной блок подпрограммы предназначен для вычисления силы тяги, изменяющейся во времени по следующему закону:

$$F_i(t) = F_0(1 - e^{-\gamma(t-\tau)}), \quad i = n_1, n_2, n_3, \quad (4.17)$$

где $F_i(t)$ – сила тяги, приложенная к экипажу с номером i ; F_0 – ее наибольший уровень; τ – время запаздывания включения силы тяги по отношению к моменту начала процесса; γ – коэффициент, характеризующий темп нарастания этой силы; t – время; n_1, n_2, n_3 – номера экипажей, которые рассматриваются как локомотивы.

Предполагается, что сила F_i может развиваться синхронно одним, двумя или тремя локомотивами.

Идентификаторы физических величин, используемых в основном блоке, приведены ниже (табл. 4.13).

Таблица 4.13

Параметры	i	t	F_i	F_0	γ	n_1	n_2	n_3	τ
Идентификатор	I	T	F(I)	F0	GAMMA	NM1	NM2	NM3	THT

Обращается к подпрограмме TUGA подпрограмма VNESH.

Вспомогательный блок предназначен для ввода параметров сил тяги. Ниже приведены идентификаторы вводимых величин и форматы представления данных (табл. 4.14).

Таблица 4.14

Идентификатор	NM1	NM2	NM3	F0	GAMMA	THT
Формат	—	3I3	—	—	3F10.5	—

Для контроля печатаются введенные величины и текст, поясняющий, что изменение силы тяги происходит по экспоненциальному закону.

Если рассматриваются случаи, когда сила тяги развивается одним или двумя локомотивами, то оставшиеся номера n_2 и n_3 или n_3 нужно задавать равными нулю.

Текст подпрограммы данной модификации приведен далее.

SUBROUTINE TUGA
МОДИФИКАЦИЯ "TUGA2"

```

COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLN/N,N0,NC1
P=F0*(1.0-EXP(-GAMMA*(T-THT)))
F(NM1)=P
IF(NM2)1,2
2 F(NM2)=P
IF(NM3)1,33
33 F(NM3)=P
1 RETURN
C
ENTRY PARTUG
C
19 FORMAT(3I4,3F8.3)
READ 19,NM1,NM2,NM3,F0,GAMMA,THT
12 FORMAT(30X,'РАССМАТРИВАЕТСЯ РЕЖИМ ТРОГАНИЯ/'
*30X,'ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ СИЛЫ ТЯГИ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ',
*' ПРОСТАЯ ЭКСПОНЕНТА'/30X,'ПАРАМЕТРЫ СИЛЫ ТЯГИ',
*' - F0='F10.3,' GAMMA='F10.3,' THT='F10.3,' NM1='I3,
*' NM2='I3,' NM3='I3)
PRINT 12,F0,GAMMA,THT,NM1,NM2,NM3
RETURN
END

```

4.3.3. Модификация TUGA3 подпрограммы TUGA

Данная модификация состоит из двух блоков: основного TUGA и вспомогательного (точка входа PARTUG).

Основной блок предназначен для вычисления силы тяги и отличается от основного блока модификации TUGA2 тем, что в данном случае изменение силы тяги во времени задается с помощью кусочно-линейной зависимости, а именно

$$F_i(t) = \tilde{F}_{j-1} + \frac{\tilde{F}_j - \tilde{F}_{j-1}}{\tilde{t}_j - \tilde{t}_{j-1}}(t - \tilde{t}_{j-1}), \quad (4.18)$$

если $\tilde{t}_{j-1} \leq t \leq \tilde{t}_j$; $j = \overline{1, k}$ для $i = n_1, n_2, n_3$,

где $(\tilde{t}_j, \tilde{F}_j)$ – координаты j -й узловой точки кусочно-линейной аппроксимации, k – число аппроксимаций ($k \leq 10$).

Идентификаторы параметров и переменных, использованных в этом параграфе, приведены ниже (табл. 4.15)

Таблица 4.15

Параметры	i	t	F_i	j	\tilde{t}_j	\tilde{F}_j	n_1	n_2	n_3	k
Идентификатор	I	T	F(I)	J	TT(J)	TK(J)	NM1	NM2	NM3	K

Таблица 4.16

Идентификатор	NM1	NM2	NM3	TT(I), I = 1,10	TK(I), I = 1,10
Формат	3I3			10F8.3	10F8.3

Обращается к подпрограмме TUGA подпрограмма VNESH. Вспомогательный блок предназначен для ввода параметров силы тяги. Кроме того, во вспомогательном модуле определяется число k точек аппроксимации.

В операторах ввода массивов TT и TK требуется ввести координаты 10 узловых точек. Если число узловых точек меньше 10, то необходимо задать координаты имеющихся точек, остальные значения задать нулевыми. В табл. 4.16 приведены форматы вводимых величин.

Для контроля печатаются вводимые величины и текст, информирующий о применяемом законе изменения силы тяги.

Текст подпрограммы данной модификации приведен ниже.

```

SUBROUTINE TUGA
МОДИФИКАЦИЯ "TUGA3"
COMMON/B1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLN/N,NO,NC1
DIMENSION TT(10),TK(10)

C
J=J+1
11 IF(J.GT.K) J=K
IF(T.EQ.TT(J)) GO TO 4
IF(T.LT.TT(J)) GO TO 2
J=J+1
GO TO 11
2 IF(T.GE.TT(J-1)) GO TO 3
J=J-1
GO TO 11
3 THT=(TK(J)-TK(J-1))/(TT(J)-TT(J-1))*(T-TT(J-1))
P=TK(J-1)+THT
IF(ABS(P).GT.0.001) GO TO 23
F(NM1)=0.0
GO TO 24
23 F(NM1)=P
GO TO 24
4 F(NM1)=TK(J)
24 IF(NM2)1,1,22
22 F(NM2)=P
IF(NM3)1,1,33
33 F(NM3)=P
1 RETURN
C
ENTRY PARTUG
C
19 FORMAT(3I3,3F10.5)
READ 19,NM1,NM2,NM3

```

```

READ 119,(TT(I),I=1,10)
READ 119,(TK(I),I=1,10)
119 FORMAT(10F8.3)
12 FORMAT(30X,'РАССМАТРИВАЕТСЯ РЕЖИМ ТРОГАНИЯ/'
*30X,'СИЛА ТЯГИ – КУСОЧНО-ЛИНЕЙНАЯ ФУНКЦИЯ'
*30X,'ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКА://5X,'АБСЦИССЫ УЗЛ. ТОЧЕК – :',
*10F9.4/5X,'ОРДИНАТЫ УЗЛ. ТОЧЕК – :,10F9.4//'
*30X,'СИЛЫ ТЯГИ ПРИЛОЖЕНЫ К ЭКИПАЖАМ NN',3I4)
PRINT 12,((TT(I),I=1,10),(TK(I),I=1,10),NM1,NM2,NM3)
J=0
K=1
DO 200 I=2,10
IF(TT(I).LE.0.0) RETURN
K=K+1
200 CONTINUE
0   ОПРЕДЕЛЕНО ЧИСЛО УЧАСТКОВ К КРИВОЙ, АППРОКСИМИ
0   *РУЮЩЕЙ СИЛУ ТЯГИ
RETURN
END

```

4.4. ПОДПРОГРАММЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ СИЛ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ВАГОНОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ТОРМОЗАМИ

4.4.1. Модификация TORM1 подпрограммы TORM

Подпрограмма TORM рассматриваемой модификации состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок подпрограммы предназначен для вычисления тормозных сил, действующих на экипажи при пневматическом торможении на этапе торможения и отпуска тормозов.

В процессе счета к основному блоку обращается подпрограмма VNESH.

Тормозные силы вычисляются по формулам:

$$B_i = -\bar{n}_i \varphi_i K_i(t); \quad (4.19)$$

$$\varphi_i = C_1 \frac{K_i + C_2}{K_i + C_3} \tilde{V}(v_i); \quad (4.20)$$

$$\tilde{V}(v_i) = \frac{|v_i| + C_4}{|v_i| + C_5}, \quad i = \overline{1, n_0}, \quad (4.21)$$

где \bar{n}_i – число тормозных колодок в i -м экипаже; φ_i – коэффициент трения тормозных колодок о колеса; K_i – сила нажатия на одну тормозную колодку; v_i – скорость движения экипажа; C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 – коэффициенты, значения которых зависят от типа тормозных колодок; n_0 – число экипажей в поезде.

Закон изменения силы $K_i(t)$ аппроксимируется кусочно-линейной функцией, изображенной на рис. 4.4, и задается координатами узловых точек, число которых равно семи на этапе увеличения тормозной силы и пяти на этапе отпуска тормозов.

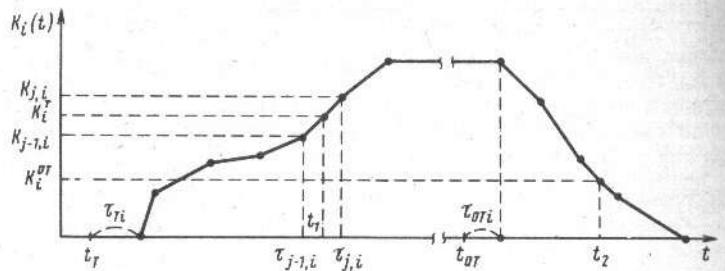


Рис. 4.4. Зависимость силы нажатия на тормозную колодку от времени при пневматическом торможении

Силы нажатия $K_i^T(t)$ на этапе увеличения сил K_i вычисляются по формулам:

$$K_i^T(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t - t_T \leq \tau_{ti}; \\ K_{j-1,i} + \frac{K_{j,i} - K_{j-1,i}}{\tau_{j,i}} (t - t_T - \tau_{ti} - \sum_{k=0}^{j-1} \tau_{k,i}), & j = \overline{1, 6}, \\ \text{если } \sum_{k=0}^{j-1} \tau_{k,i} < t - t_T - \tau_{ti} \leq \sum_{k=0}^j \tau_{k,i}, \tau_{0,i} = 0, K_{0,i} = 0; \\ K_{6,i}, & \text{если } \tau_{ti} + \sum_{k=1}^6 \tau_{k,i} < t - t_T \leq t_{\text{от}} + \tau_{\text{от},i}, \end{cases} \quad (4.22)$$

где $K_{j,i}$ – относящееся к i -му экипажу значение силы нажатия в конце j -го участка кусочно-линейной аппроксимации; $\tau_{j,i}$ – длительность изменения тормозной силы от значения $K_{j-1,i}$ до значения $K_{j,i}$; τ_{ti} – время бега тормозной волны от головного экипажа к i -му; t_T – момент начала торможения (в этот момент значение признака PRT , вырабатываемое в подпрограмме $VNESH$, становится равным единице).

Вычисление силы нажатия $K_i^{\text{от}}$ в текущий момент времени на этапе отпуска тормозов i -го экипажа производится по формулам:

$$K_i^{\text{от}} = \begin{cases} K_{6,i}, & \text{если } t - t_{\text{от}} \leq \tau_{\text{от},i}; \\ K_{j-1,i} - \frac{K_{j-1,i} - K_{j,i}}{\tau_{j,i}} (t - t_{\text{от}} - \tau_{\text{от},i} - \sum_{k=6}^{j-1} \tau_{k,i}), & j = \overline{7, 10}; \\ \text{если } \sum_{k=6}^{j-1} \tau_{k,i} < t - t_{\text{от}} - \tau_{\text{от},i} \leq \sum_{k=7}^j \tau_{k,i}, & j = \overline{7, 10}; \\ 0, & \text{если } t - t_{\text{от}} > \tau_{\text{от},i} + \sum_{k=7}^{10} \tau_{k,i}, \end{cases} \quad (4.23)$$

где $K_{j,i}$ – значение силы нажатия в j -й узловой точке; $\tau_{\text{от},i}$ – время бега волны отпуска тормозов от головного экипажа к i -му; $t_{\text{от}}$ – момент начала отпуска (в этот момент значение признака $P0$, вырабатываемое подпрограммой $VNESH$, становится равным единице).

Следует заметить, что даже в случае интегрирования «укороченной» системы дифференциальных уравнений подпрограмма вычисляет тормозные силы для каждого экипажа в отдельности, но при этом зависимость $\dot{V}(v)$ насчитывается для группы вагонов.

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку входа **PARTOR**) предназначен для формирования параметров тормозной системы. Здесь организован ввод коэффициентов C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 , используемых в формулах (4.20) и (4.21), формирование (с помощью подпрограммы **FORMI**) значений \bar{n}_i и параметров диаграмм изменения сил нажатий $K_i(t)$. Эти параметры задаются в нескольких сечениях поезда, число которых равно n_T ($n_T \leq 10$), а в промежуточных определяются программой в соответствии с линейным законом распределения.

Номера сечений, в которых задаются параметры диаграмм, помещаются в одномерный массив **ITAU**, параметры диаграмм – в двухмерный массив **YTAU**. Число столбцов J ($j = 1, 21$) массива **YTAU** соответствует числу задаваемых параметров, а число строк I ($i = 1, 10$) – числу сечений (если $n_T < 10$, то остальные строки могут быть заполнены нулями; если число параметров $j < 21$, то остальные столбцы также могут быть заполнены нулями).

По данным массивов **ITAU** и **YTAU** подсчитываются элементы двумерного массива **TAUOB**, которые представляют собой параметры диаграмм $K_i(t)$ для всех вагонов поезда (число строк мас-

Таблица 4.17

Параметр	B_i	\bar{n}_i	K_i	v_i
Идентификатор	FT(I)	CK(I)	Z	V(I)
Параметр	t	t_T	$t_{\text{от}}$	τ_{ti}
Идентификатор	T	TT	T0	TAU(I)
Параметр	τ_{5i}	τ_{6i}	τ_{7i}	τ_{8i}
Идентификатор	TAUS(I)	TAU6(I)	TAU7(I)	TAU8(I)
Параметр	K_{4i}	K_{5i}	K_{6i}	K_{7i}
Идентификатор	K04(I)	K05(I)	K06(I)	K07(I)

Окончание табл. 4.17

Параметр	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
Идентификатор	C1	C2	C3	C4	C5
Параметр	$\tau_{\text{от},i}$	$\tau_{j,i}$	τ_{2i}	τ_{3i}	τ_{4i}
Идентификатор	TAUOT(I)	TAU1(I)	TAU2(I)	TAU3(I)	TAU4(I)
Параметр	τ_{9i}	τ_{10i}	K_{1i}	K_{2i}	K_{3i}
Идентификатор	TAU9(I)	TAU10(I)	K01(I)	K02(I)	K03(I)
Параметр	K_{8i}	K_{9i}	n_T	n_0	i
Идентификатор	K08(I)	K09(I)	NTAU	N0	I

Таблица 4.18

Строка	Параметр	Строка	Параметр	Строка	Параметр
YTAU(I,1)	τ_{1i}	YTAU(I,8)	$\tau_{\text{от}i}$	YTAU(I,15)	K_3i
YTAU(I,2)	τ_{2i}	YTAU(I,9)	τ_{7i}	YTAU(I,16)	K_{4i}
YTAU(I,3)	τ_{2i}	YTAU(I,10)	τ_{8i}	YTAU(I,17)	K_{5i}
YTAU(I,4)	τ_{3i}	YTAU(I,11)	τ_{9i}	YTAU(I,18)	K_{6i}
YTAU(I,5)	τ_{4i}	YTAU(I,12)	τ_{10i}	YTAU(I,19)	K_{7i}
YTAU(I,6)	τ_{5i}	YTAU(I,13)	K_{1i}	YTAU(I,20)	K_{8i}
YTAU(I,7)	τ_{6i}	YTAU(I,14)	K_{2i}	YTAU(I,21)	K_{9i}

сива TAUOB равно числу экипажей в поезде, а число столбцов – числу задаваемых параметров).

К вспомогательному модулю подпрограмма VNESH (см. точку входа PARVF) обращается однократно.

Идентификаторы используемых физических величин приведены в табл. 4.17.

Порядок размещения информации в двумерном массиве YTAU (I, J) приведен в табл. 4.18 (I – номер строки, J – номер столбца).

Здесь I – номер сечения, J – номер узловой точки кусочно-линейной аппроксимации.

Порядок ввода вспомогательным модулем исходной информации и форматы представления данных приведены в табл. 4.19.

Таблица 4.19

Информация	Формат	Примечание
C1, C2, C3, C4, C5	5F8.3	
CK		Массив формируется с помощью подпрограммы FORMI
NTAU	I4	
ITAU(I)	10I4	I = 1, NTAU; NTAU ≤ 10
YTAU(I)	10F8.3	I = 1, 10; j = 1, 21 (порядок расположения информации в массиве соответствует табл. 4.18)

Для контроля печатаются следующие исходные данные: значения коэффициентов C1, C2, C3, C4, C5, NTAU; массивы ITAU, YTAU; массивы CK, TAU, TAU1, TAU2, TAU3, TAU4, TAU5, TAU6, TAUOT, TAU7, TAU8, TAU9, TAU10, K01, K02, K03, K04, K05, K06, K07, K08, K09.

Текст подпрограммы приведен далее

SUBROUTINE TORM МОДИФИКАЦИЯ TORM1

ТОРМОЖЕНИЕ ПОЕЗДА (С ОТПУСКОМ) – ЭКСТРЕННОЕ, ПОЛНОЕ СЛУЖЕБНОЕ, РЕГУЛИРОВОЧНОЕ; МНОГОСТУПЕНЬЧАТАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАПОЛНЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ ЦИЛИНДРОВ; ТО ЖЕ – ПРИ ОТПУСКЕ.

```
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
COMMON/BL1/FB1(100),FP1(100),F1(100),W1(100)
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BLT/TT,T0,THH,THC,THR,THCR
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLVS/VS
COMMON/BLE/E
DIMENSION CK(100),TAU(100),TAU1(100),TAU2(100),
*TAU3(100),TAU4(100),TAU5(100),TAU6(100),TAUOT(100),
*TAU7(100),TAU8(100),TAU9(100),TAU10(100),ITAU(10),
*K01(100),K02(100),K03(100),K04(100),K05(100),K06(100),
*K07(100),K08(100),K09(100),YTAU(10,21),TAUOB(100,21)
INTEGER PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
REAL K01,K02,K03,K04,K05,K06,K07,K08,K09
REAL M1,MPT
```

```
N12=1
N13=NC1
DO 90 K=1,N
Y=ABS(V(K))
Y1=(Y+C4)/(Y+C5)
DO 80 I=N12,N13
IF(P0.LE.0) GO TO 44
IF(FT(I).GE.0.0) GO TO 80
X=T-T0-TAUOT(I)
IF(X.LT.0.0) GO TO 44
X1=X-TAU7(I)
IF(X1.GT.0) GO TO 7
Z=K06(I)-((K06(I)-K07(I))/TAU7(I)*X)
GO TO 32
7 X2=X1-TAU8(I)
IF(X2.GT.0) GO TO 8
Z=K07(I)-((K07(I)-K08(I))/TAU8(I)*X1)
GO TO 32
8 X3=X2-TAU9(I)
IF(X3.GT.0) GO TO 9
Z=K08(I)-((K08(I)-K09(I))/TAU9(I)*X2)
GO TO 32
9 X4=X3-TAU10(I)
IF(X4.GT.0) GO TO 34
Z=K09(I)-((K09(I)-TAU10(I))/X3)
GO TO 32
34 X=T-TT-TAU(I)
IF(X.GT.0) GO TO 29
```

```

34 FT(I)=0.0
GO TO 80
29 X1=X-TAU1(I)
IF(X1.GT.0) GO TO 200
Z=K01(I)/TAU1(I)*X
GO TO 32
200 X2=X1-TAU2(I)
IF(X2.GT.0) GO TO 201
Z=(K02(I)-K01(I))/TAU2(I)*X1+K01(I)
GO TO 32
201 X3=X2-TAU3(I)
IF(X3.GT.0) GO TO 202
Z=(K03(I)-K02(I))/TAU3(I)*X2+K02(I)
GO TO 32
202 X4=X3-TAU4(I)
IF(X4.GT.0) GO TO 203
Z=(K04(I)-K03(I))/TAU4(I)*X3+K03(I)
GO TO 32
203 X5=X4-TAU5(I)
IF(X5.GT.0) GO TO 204
Z=(K05(I)-K04(I))/TAU5(I)*X4+K04(I)
GO TO 32
204 X6=X5-TAU6(I)
IF(X6.GT.0) GO TO 50
Z=(K06(I)-K05(I))/TAU6(I)*X5+K05(I)
GO TO 32
50 Z=K06(I)
32 FT(I)=-C1*CK(I)*Z*(Z+C2)/(Z+C3)*Y1
80 CONTINUE
N12=N12+NC1
90 N13=N13+NC1
DO 46 I=1,N0
IF(FT(I).LT.0.0) GO TO 692
46 CONTINUE
P0=0
692 IF (M21,EQ,0) RETURN
DO 691 I=1,N0
IF (M1(I).LT.E.OR.MPT(I).LT.E) GO TO 691
F1(I)=FT(I)
FT(I)=0
691 CONTINUE
RETURN
C -----
ENTRY PARTOR
C -----
3 FORMAT(10F8, 3)
5 FORMAT(2X, F8, 1, 6F8, 4)
14 FORMAT(' КОЭФФИЦИЕНТЫ В ТОРМОЗНОЙ ФОРМУЛЕ: '
*' C1=','F6.3,' C2=','F6.3,' C3=','F6.3,' C4=','F6.3,' C5=','F6.3)
58 FORMAT(3X,'ФОРМИРОВАНИЕ CK(I)')
1 FORMAT(10I4)
103 FORMAT(I4)
53 FORMAT(2X,'ЧИСЛО СЕЧЕНИЙ В ПОЕЗДЕ ДЛЯ ЗАДАНИЯ '
**' ПАРАМ. ТОРМ. СИЛ:NTAU=','I2)
54 FORMAT(2X,'НОМЕРА СООТВ. СЕЧ.:','10I4)
55 FORMAT(/32H  ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ В УЗЛАХ:')
2 FORMAT(10F8,3)

56 FORMAT(2X,11H YTAU(1,J),1X,10H YTAU(2,J),1X,
*10H YTAU(3,J),1X,10H YTAU(4,J),1X,10H YTAU(5,J),1X,
*10H YTAU(6,J),1X,10H YTAU(7,J),1X,10H YTAU(8,J),1X,
*10H YTAU(9,J),1X,10HYTAU(10,J))
104 FORMAT(10(3X,F8.2))
105 FORMAT(22(1X,F4.1))
57 FORMAT(4H CK,1X,5H TAU,1X,4HTAU1,1X,4HTAU2,1X,
*4HTAU3,1X,4HTAU4,1X,4HTAU5,1X,4HTAU6,1X,5HTAUOT,1X,
*4HTAU7,1X,4HTAU8,1X,4HTAU9,1X,5HTAU10,1X,3HK01,1X,
*3HK02,1X,4H K03,1X,4H K04,1X,4H K05,1X,4H K06,1X,4H K07,
*1X,4H K08,1X,4H K09)
READ 3,C1,C2,C3,C4,C5
PRINT 14,C1,C2,C3,C4,C5
C ВВОД ЧИСЛА КОЛОДОК НА КАЖД. ЭКИПАЖЕ CK(I)
PRINT 58
CALL FORMI(CK)
READ 103,NTAU
PRINT 53,NTAU
READ 1,(ITAU(I),I=1,NTAU)
PRINT 54,(ITAU(I),I=1,NTAU)
READ 2,(YTAU(I,J),I=1,10),J=1,21
PRINT 55
PRINT 56
PRINT 104,(YTAU(I,J),I=1,10),J=1,21)
NTAU1=NTAU-1
I=0
J=0
705 J=J+1
701 I=I+1
J1=ITAU(I)
J2=ITAU(I+1)
DO 702 K1=J1,J2
702 TAUOB(K1,J)=(YTAU(I+1,J)-YTAU(I,J))/(J2-J1)*(K1-J1)+*
YTAU(I,J)
IF(I.LT.NTAU1) GO TO 701
IF(J.GE.21) GO TO 712
I=0
GO TO 705
712 DO 710 I=1,N0
TAU(I)=TAUOB(I,1)
TAU1(I)=TAUOB(I,2)
TAU2(I)=TAUOB(I,3)
TAU3(I)=TAUOB(I,4)
TAU4(I)=TAUOB(I,5)
TAU5(I)=TAUOB(I,6)
TAU6(I)=TAUOB(I,7)
TAUOT(I)=TAUOB(I,8)
TAU7(I)=TAUOB(I,9)
TAU8(I)=TAUOB(I,10)
TAU9(I)=TAUOB(I,11)
TAU10(I)=TAUOB(I,12)
K01(I)=TAUOB(I,13)
K02(I)=TAUOB(I,14)
K03(I)=TAUOB(I,15)
K04(I)=TAUOB(I,16)
K05(I)=TAUOB(I,17)

```

```

K06(I)=TAUOB(I,18)
K07(I)=TAUOB(I,19)
K08(I)=TAUOB(I,20)
710 K09(I)=TAUOB(I,21)
PRINT 57
PRINT 105,(CK(I),TAU(I),TAU1(I),TAU2(I),TAU3(I),
*TAU4(I),TAU5(I),TAU6(I),TAUOT(I),TAU7(I),TAU8(I),
*TAU9(I),TAU10(I),K01(I),K02(I),K03(I),K04(I),K05(I),
*K06(I),K07(I),K08(I),K09(I),I=1,N0
DO 25 I=1,N0
25 FT(I)=0
TT=0
T0=0
RETURN
END

```

4.4.2. Модификация TORM2 подпрограммы TORM

Данная модификация состоит из двух блоков: основного и вспомогательного.

Основной блок предназначен для вычисления тормозных сил, действующих на вагоны при торможении или сбросе тормозной силы.

Использование этой модификации рекомендуется лишь в тех случаях, когда рассматриваются переходные режимы движения, вызванные изменениями только тормозных сил с упрощенным представлением сил нажатия на колодки. Обращение к подпрограмме осуществляется подпрограммой VNESH на каждом шаге интегрирования при формировании правых частей дифференциальных уравнений.

При вычислении тормозной силы B_i предполагается, что она зависит от скорости v_i и силы нажатия K_i в соответствии с формулой

$$B_i = -\bar{n}_i C_1 K_i \frac{K_i + C_2 |v_i| + C_5}{K_i + C_3 |v_i| + C_6}, \quad i = n_L, n_{L1}, \quad (4.24)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 – постоянные коэффициенты, зависящие от типа тормозных колодок; \bar{n}_i – число таких колодок на i -м экипаже; n_L и n_{L1} – номера начального и конечного экипажей участка поезда, на котором действуют тормозные силы.

В данной модификации подпрограммы реализована следующая зависимость (рис. 4.5) силы нажатия K_i от времени t при нарастании тормозной силы

$$K_i^+(t) = K_{oi}(1 - e^{-\gamma_i(t - \tau_i)}) \sigma_0(t - \tau_i) \quad (4.25)$$

и при ее сбросе

$$K_i^{ot}(t) = \begin{cases} K_{oi}, & \text{если } t - t_{0T} - \tau_{0Ti} \leq 0; \\ K_{oi}(1 - (t - t_{0T} - \tau_{0Ti})/K_{ot}K_{oi}), & \text{если } t - t_{0T} - \tau_{0Ti} > 0; \\ 0, & \text{если } t - t_{0T} - \tau_{0Ti} > K_{ot}K_{oi}; \end{cases} \quad (4.26)$$

где K_{oi} – наибольший уровень силы нажатия в i -м сечении; γ_i – коэффициент, характеризующий темп нарастания силы нажатия; τ_i – время запаздывания прихода тормозной волны в i -е сечение; τ_{0Ti} – запаздывание начала сброса тормозной силы в i -м сечении по сравнению с моментом t_{0T} начала сброса силы в первом сечении; K_{ot} – коэффициент, характеризующий темп сброса тормозной силы и равный $\operatorname{tg}\alpha$, (α – угол, показанный на рис. 4.5).

Время запаздывания

$$\tau_i = \sum_{j=1}^{i-1} l_{bj}^0 / c_t, \quad (4.27)$$

где c_t – скорость распространения тормозной волны; l_{bj}^0 – длина j -го вагона:

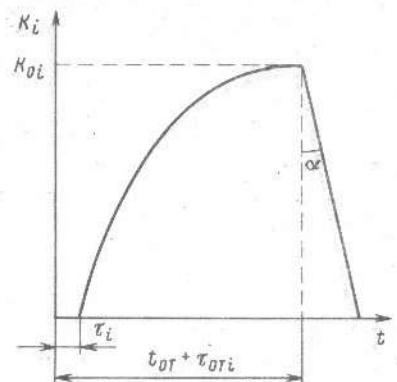


Рис. 4.5. Зависимость силы нажатия на тормозную колодку от времени при нарастании тормозной силы

Величина τ_{0Ti} определяется по следующей формуле

$$\tau_{0Ti} = \sum_{j=1}^{i-1} l_{bj}^0 / c_{ot}, \quad (4.28)$$

где c_{ot} – скорость распространения волны сброса;

Сброс тормозной силы начинается тогда, когда значение признака P0, вырабатываемое в подпрограмме VNESH, становится равным 1.

В табл. 4.20 приведены идентификаторы переменных и коэффициентов, использованных в основном модуле модификации.

Вспомогательный блок PARTOR служит для ввода параметров тормозных сил и вычисления τ_i и τ_{0Ti} по формулам (4.27) и (4.28). Ниже приведены идентификаторы вводимых величин и форматы представления данных (табл. 4.21).

Далее с помощью подпрограммы FORMI формируются массивы F01, GAMA1, OTP, CK.

Таблица 4.20

Параметры	B_i	v_i	K_i	C_1	C_2
Идентификатор	FT(I)	V(I)	Z	C1	C2
Параметры	t	γ_i	c_t	t_{0T}	l_{bj}^0
Идентификатор	T	GAMMA(I)	CT	TOT	LBO(I)

Окончание табл. 4.20

Параметры	C_3	C_4	C_5	\bar{n}_i	$ v_i $	K_{oi}
Идентификатор	C3	C4	C5	CK(I)	Y	F01(I)
Параметры	c_{ot}	τ_i	τ_{0Ti}	K_{ot}	n_L	n_{L1}
Идентификатор	OTP	TAU(I)	TAUOT(I)	OTP(I)	NL	NL1

Таблица 4.2

Идентификатор	C1	C2	C3	C4	C5	CT	COT	NL	NL1
Формат				10F8.5				2/4	

Для контроля печатаются параметры C1–C5, CT, COT, NL, NL1, затем значения элементов массивов GAMA1, F01, CK, TAU, TAUOT, OTP.

Текст подпрограммы данной модификации приведен ниже.

```

SUBROUTINE TORM
C МОДИФИКАЦИЯ "TORM2"
C
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
INTEGER PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BLN/N,N0,NC1
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BL35/LB0(100),M0(100),LB(100),M(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
DIMENSION GAMA1(100),F01(100),TAU(100)
DIMENSION CK(100),TAUOT(100),OTP(100)
COMMON/BL13/M21,M1(100),MPT(100)
COMMON/BL10/V1(100),Q1(100),S1(100)
COMMON/BL/T,T0,THK,THC,THR,THCR
REAL M,M1,MPT,LB
C
DO 48 I=NL,NL1
P=T-TAU(I)
IF(P) 48,48,8
8 IF(P0,EQ,0) GO TO 128
TOT=T-T0-TAUOT(I)
IF(TOT,GE,0.0) GO TO 228
128 Z=(1.0-EXP(GAMA1(I)*P))*F01(I)
GO TO 29
228 Z=1.0-TOT/OTP(I)/F01(I)
Z=Z*F01(I)
IF(Z,LT,0.0)Z=0.0
29 X1=V(I)
Y=ABS(X1)
FT(I)=-(C1*CK(I)*Z*(Z+C2)/(Z+C3))*((Y+C4)/Y+C5))
48 CONTINUE
RETURN
C
ENTRY PARTOR
C
15 FORMAT(10F8.5)
16 FORMAT(214)
READ 15,C1,C2,C3,C4,C5,CT,COT
READ 16,NL,NL1
TAU(1)=0.0
TAUOT(1)=0.0
DO 400 I=2,N0
TAUOT(I)=TAUOT(I-1)+LB(I-1)/COT
400 TAU(I)=TAU(I-1)+LB(I-1)/CT
CALL FORMI(F01)

```

```

CALL FORMI(GAMA1)
CALL FORMI(OTP)
CALL FORMI(CK)
17 FORMAT(30X,'ПАРАМЕТРЫ ТОРМОЗНОЙ СИЛЫ/10X,
''КОЭФФИЦИЕНТЫ В ТОРМОЗНОЙ ФОРМУЛЕ РАВНЫ: C1=',
'F8.4,'C2='F8.4,'C3='F8.4,'C4='F8.4,'C5='F8.4/10X,
''СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН: ТОРМОЖЕНИЯ CT=',
'F8.3,' ,ОТПУСКА COT='F8.3/10X,
''ТОРМОЗНАЯ СИЛА ПРИЛОЖЕНА К ЭКИПАЖАМ, НАЧИНАЯ ',
'C',I4,'-ГО И КОНЧАЯ ',I4,'-ЫМ')
PRINT 17,C1,C2,C3,C4,C5,CT,COT,NL,NL1
PRINT 219
219 FORMAT(15X,'GAMA1',17X,'F01',17X,'TAU',15X,'TAUOT',
'17X,'OTP',18X,'CK')
PRINT 119,(GAMA(I),F01(I),TAU(I),TAUOT(I),OTP(I),
'CK(I),I=1,NO)
119 FORMAT(6F20.4)
RETURN
END

```

4.5. Подпрограммы для вычисления сил при торможении локомотива электрическим тормозом

Подпрограмма RECUP состоит из трех блоков: двух основных и одного вспомогательного.

Основные блоки предназначены для вычисления тормозных сил, действующих на локомотивы с номерами N_1 и N_2 при электрическом торможении. Одним из модулей моделируется этап увеличения тормозной силы (набор), другим – этап уменьшения этой силы (брос).

Обращение к указанным блокам осуществляется подпрограммой VNESH (модификация VNESH1) с помощью операторов CALL RECUP и CALL SBREC.

Алгоритм вычисления тормозной силы B_i предполагает зависимость наибольшего уровня тормозной силы \tilde{B}_0 от скорости движения локомотива v в соответствии с его тормозной характеристикой [49] (рис. 4.6, а). Функция $\tilde{B}_0(v)$ аппроксимируется кусочно-линейной

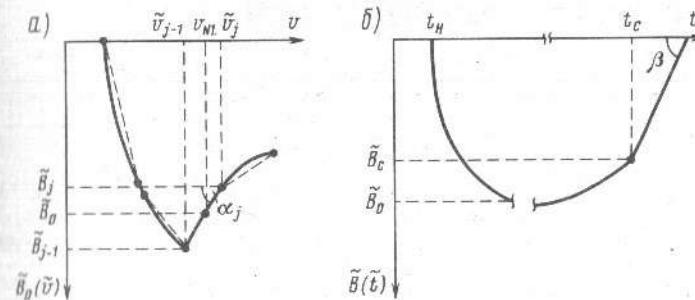


Рис. 4.6. Зависимость тормозной силы локомотива при электрическом торможении от скорости и времени

Таблица 4.23

Идентификатор	Формат	Примечание
NTR	I4	—
VTR(I)	10F8.4	$I = 1, NTR, NTR \leq 10$
FTR(I)	10F8.4	$I = 1, NTR, NTR \leq 10$
GAMAR, TGLR	2F8.4	—

зависимостью и задается координатами узловых точек. Характер изменения тормозной силы от времени на этапе ее набора соответствует экспоненциальному закону, а на этапе сброса – линейному (рис. 4.6, б). В подпрограмме предусмотрена возможность набора тормозной силы после неоконченного сброса. Предполагается также, что тормозные силы локомотивов изменяются синхронно.

Формулы, на которых базируется алгоритм вычисления тормозной силы, приведены ниже:

$$B_0 = B_{j-1} + (v_{N_1} - \tilde{v}_{j-1}) \operatorname{tg} \alpha_j; \quad (4.29)$$

$$B_{N_1} = B_{N_2} = B_0 (1 - e^{-\gamma(t-t_n+t_D)}); \quad (4.30)$$

$$B_{N_1} = B_{N_2} = B_c - (t - t_c) \operatorname{tg} \beta; \quad (4.31)$$

$$t_D = -\frac{1}{\gamma} \ln(1 - B_{N_1}/B_0). \quad (4.32)$$

В формулах (4.29)–(4.32) и на рис. 4.6 приняты следующие обозначения: (\tilde{v}_j, B_j) – абсцисса и ордината j -го узла кусочно-линейной аппроксимации тормозной характеристики локомотива ($j = 1, N_T$, где N_T – число узлов); v_{N_1} – скорость локомотива с номером N_1 в рассматриваемый момент времени t ;

$$\operatorname{tg} \alpha_j = (B_j - B_{j-1}) / (\tilde{v}_j - \tilde{v}_{j-1}),$$

где α_j – угол наклона j -го участка тормозной характеристики к оси абсцисс; B_{N_1}, B_{N_2} – тормозные силы, действующие на локомотивы с номерами N_1 и N_2 ; γ – коэффициент нарастания тормозной силы; t_n – момент начала набора тормозной силы локомотива; t_D – интервал времени, в течение которого тормозная сила могла бы нарасти от нуля до ее значения в момент начала набора после неоконченного сброса; t_c – момент начала сброса тормозной силы; B_c – уровень тормозной силы, с которого начинается ее сброс; $\operatorname{tg} \beta$ – скорость сброса силы.

Соответствие физических величин и их идентификаторов в подпрограмме приведено в табл. 4.22.

Вспомогательный блок подпрограммы (см. точку PARREC) обеспечивает формирование параметров, используемых в основных модулях при вычислении сил электрического торможения. К этому модулю на начальном этапе работы программы обращается подпрограмма VNESH (модификация VNESH1).

Таблица 4.22

Параметр	Идентификатор	Параметр	Идентификатор	Параметр	Идентификатор
N_1	NL11	\tilde{v}_j	VTR(I)	t_c	THCR
N_2	HL12	\tilde{B}_j	FTR(I)	t_D	TDOR
\tilde{B}_{N_1}	F(NL11)	$\operatorname{tg} \alpha_j$	TGR(I)	B_c	FHCR
\tilde{B}_{N_2}	F(NL12)	\tilde{B}_o	FOR	$\operatorname{tg} \beta$	TGLR
V_{N_1}	V(NL11)	γ	GAMAR	t	T
N_T	NTR	t_n	THR	j	I

Параметры, значения которых вводятся вспомогательным модулем подпрограммы, и форматы представления чисел приведены в табл. 4.23.

При формировании исходных данных для контроля печатаются следующие массивы: VTR, FTR, TGR, GAMAR, TGLR.

Текст подпрограммы приведен ниже.

SUBROBTINE RECUP

```
COMMON/BL12/FB(100),FP(100),F(100),FT(100),W(100)
COMMON/BLPR/PT,PRT,PST,P0,PR,PSR,PR1
COMMON/BLT/TT,T0,THH,THC,THR,THCR
COMMON/BLRES/V(100),Q(100),S(100)
COMMON/BLTIM/T,TP
COMMON/BLNL/NL11,NL12
COMMON/BLN/N,N0,NC1
DIMENSION VTR(10),FTR(10),TGR(10)
INTEGER PSR
```

```
DO 1 I=2,10
IF(V(NL11).GT.VTR(I)) GO TO 1
2 FOR=FTR(I-1)+(V(NL11)-VTR(I-1))*TGR(I-1)
GO TO 3
1 CONTINUE
3 F(NL11)=FOR*(1.0-EXP(-GAMAR*(T-THR+TDOR)))
FHCR=F(NL11)
F(NL12)=FHCR
RETURN
```

ENTRY SBREC

```
F(NL11)=FHCR+(T-THCR)*TGLR
IF(F(NL11).LT.0.0) GO TO 33
F(NL11)=0.0
PDR=0
33 F(NL12)=F(NL11)
DO 31 I=2,10
IF(V(NL11).GT.VTR(I)) GO TO 31
FOR=FTR(I-1)+(V(NL11)-VTR(I-1))*TGR(I-1)
GO TO 34
31 CONTINUE
34 Y=F(NL11)/FOR
IF(Y.GE,1) GO TO 35
TDOR=-ALOG(1.0-F(NL11)/FOR)/GAMAR
RETURN
```

```

35 TDOR=3.0
RETURN
C -----
ENTRY PARREC
C -----
10 FORMAT(20I4)
11 FORMAT(10F8.4)
13 FORMAT(2X,'VTR',10F8.2)
14 FORMAT(2X,'FTR',10F8.2)
12 FORMAT(2X,'ПАРАМЕТРЫ ТОРМОЗНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ',
* '(ЭЛ. ТОРМ)')
15 FORMAT(2X,'TGR',10F8.4)
16 FORMAT(2X,'GAMAR',F8.3,2X,'TGLR',F8.4)
PRINT 12
READ 10,NTR
READ 11,(VTR(I),I=1,NTR)
PRINT 13,(VTR(I),I=1,NTR)
READ 11,(FTR(I),I=1,NTR)
DO 40 I=1,NTR
40 FTR(I)=-FTR(I)
PRINT 14,(FTR(I),I=1,NTR)
TGR(NTR)=0
NTR=NTR-1
DO 20 I=1,NTR
20 TGR(I)=(FTR(I+1)-FTR(I))/(VTR(I+1)-VTR(I))
PRINT 15,(TGR(I),I=1,NTR)
READ 11,GAMAR,TGLR
PRINT 16,GAMAR,TGLR
DO 21 I=1,NO
21 F(I)=0
TDOR=0
THR=0
RETURN
END

```

Глава 5. ИНСТРУКЦИИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «ПОЕЗД»

5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ, РЕШАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «ПОЕЗД»

Описанный в предыдущих главах набор (библиотека) подпрограмм позволяет формировать пакет программ, предназначенный для решения широкого круга задач динамики подвижного состава. Эти инженерные задачи можно разбить на несколько классов. Каждый класс представляет собой совокупность задач, решение которых связано с определением сил, действующих на вагоны и перевозимые в них грузы, и ускорений вагонов. Набор подпрограмм

(программа) для решения той или иной задачи определяется расчетной схемой поезда, типом межвагонных соединений и соединений вагонов с грузами, режимом движения и т.д.

Поэтому каждому набору подпрограмм соответствует некоторый буквенно-цифровой набор символов – шифр программы, отражающий ее назначение. Шифр каждой программы может быть представлен шестью символами ABCDEF, суть которых следующая:

Символ A в первой позиции шифра – буквенный, несет информацию о режиме движения: P – пуск; T – торможение; V – движение «на выбеге» или соударение вагонов или сцепов; S – смена (чертедование) управляющих режимов.

Символ B во второй позиции – цифровой, определяет дополнительные сведения о математической модели внешних сил, обеспечивающих заданное управление. Численное значение символа в этой позиции соответствует номеру модификации подпрограммы TUGA или TORM, если исследуется движение поезда в режиме набора тяги или торможения. Так, например, шифр P2... означает, что рассматривается трогание поезда силой тяги, изменение которой во времени происходит по экспоненциальному закону в соответствии с алгоритмом подпрограммы TUGA второй модификации (TUGA2). Нуль в рассматриваемой позиции соответствует режиму соударения (V) или движению на выбеге (V0...). Шифр S1... означает, что при рассмотрении движения поезда с чередованием управляющих режимов используется программа, которая включает в себя подпрограммы TUGA и TORM первой модификации (TUGA1, TORM1).

Символ C – цифровой. Этот символ задает сведения о продольном профиле пути: C = 3 означает, что в программный набор входит подпрограмма PROF модификации PROF3, формирующая нулевые значения внешних сил, вызванных уклонами продольного профиля пути, что соответствует движению поезда по плоскости; C = 1 или C = 2 означает, что в набор входит подпрограмма PROF первой или второй модификации (PROF1, PROF2).

Символ D – цифровой. Цифра в этой позиции характеризует тип межвагонного соединения и соответствует номеру модификации подпрограммы SILA (1 – APPARAT1, 2 – APPARAT2 и т.д.).

Следует отметить, что модификации APPARAT3 и APPARAT4 используются в случаях, когда вагоны оборудованы гидрогазовыми поглощающими аппаратами (типа ГА-500 и др.). Остальные модификации предназначены для исследования сил в поездах с фрикционными поглощающими аппаратами. Модификация APPARAT2 отличается от модификации APPARAT1 тем, что при составлении ее алгоритма принималось во внимание наличие начальной затяжки в поглощающем аппарате.

Алгоритм модификации APPARAT7 учитывает влияние на силовую характеристику поглощающих аппаратов зависимости коэффициента трения от скорости скольжения, модификация APPARAT5 позволяет моделировать упругопластические деформации конструкции при аварийных продольных силах ($S > 2,5 \div 3,0$ МН).

Зависимость силы в междувагонном соединении от его деформации, реализованная в подпрограмме SILA модификации APPARAT6, представляет собой кусочно-линейную функцию. Эту модификацию рационально использовать в случаях, когда исследуются новые фрикционные или резинометаллические поглощающие аппараты с нелинейными силовыми характеристиками при нагружении.

Символу Е в шифре программы соответствует цифровая информация о типе крепления груза с вагоном. Если груз крепится к вагону жестко, то содержимое этого разряда – 0; в случаях когда груз подвижен относительно вагона, в этой позиции находится номер модификации подпрограммы SILA1 (1 – AMORTOR1, 2 – AMORTOR2 и т.д.).

Содержание символа F представляет сведения о форме выдачи результатов решения на печать; цифра 1 означает, что результаты выдаются по программе PRINTR модификации PRINTR1; 2 – модификации PRINTR2.

В качестве примеров ниже приведены 6 классов задач и некоторые их варианты, наиболее часто встречающиеся в практике исследований, даны также шифры соответствующих программ, рекомендуемых к использованию при расчетах.

Класс I. Определение рациональных режимов и способов управления движением поездов

Задача 1 (S11101) – определение сил, действующих на вагоны поезда при движении по заданному участку пути переменного профиля. Смена режимов управления осуществляется с целью поддержания заданной скорости. Предполагается, что поезд оборудован фрикционными поглощающими аппаратами. Крепление кузова к вагонам жесткое.

Задача 2 (S12111) формулируется так же, как и задача 1, но для поезда с жидкими грузами (наливной поезд).

Задача 3 (S11301) формулируется так же, как и задача 1, но в предположении, что вагоны поезда оборудованы гидрогазовыми поглощающими аппаратами автосцепки.

Задача 4 (S12311) формулируется так же, как и задача 2, но в предположении, что вагоны наливного поезда оборудованы гидрогазовыми поглощающими аппаратами автосцепки.

Задача 5 (P20101) – определение рациональных (с позиции уровня продольных сил) параметров диаграммы набора силы тяги при трогании поезда на горизонтальном участке пути. Поезд оборудован фрикционными поглощающими аппаратами. Крепление грузов жесткое. Сила тяги нарастает до наибольшего значения по экспоненциальному закону.

Задача 6 (P20111) формулируется так же, как и задача 5, но для наливных поездов.

Задача 7 (T10101) – определение продольных сил, возникающих в объединенных поездах при торможении на горизонтальном участке пути. Тормозные средства головного и вспомогательных локомотивов (и соответствующих составов) в одних случаях могут включаться синхронно, в других – с запаздыванием по отношению друг к другу. Поглощающие аппараты фрикционного типа. Крепление кузова к вагонам жесткое.

Задача 8 (T11101) – определение сил, возникающих при регулировочном торможении поезда на переломе продольного профиля пути с целью выявления наиболее безопасного места начала торможения. Аппараты фрикционные.

Класс II. Оценка качества поглощающих аппаратов

Задачи 1, 2, 3 (V00202, P20102, T20102) – определение действующих на вагоны продольных сил и ускорений вагонов при маневрах (ударение сцепов вагонов), трогании поезда или торможении на горизонтальном участке пути. Крепление грузов жесткое. Вагоны оборудованы фрикционными поглощающими аппаратами.

Задачи 4, 5, 6 (V00302, P30101, T20102) формулируются так же, как и задачи 1, 2, 3. Поглощающие аппараты гидрогазовые.

Задача 7 (V00602) формулируется так же, как и задача 1 в случаях исследования новых фрикционных поглощающих аппаратов с нелинейными силовыми характеристиками, а также в случаях, когда изучается влияние на нагруженность вагонов случайных захватований и срывов клиньев фрикционных поглощающих аппаратов.

Класс III. Оценка качества автотормозного оборудования. Определение рациональных параметров диаграмм наполнения тормозных цилиндров

Задача 1 (T10101) – определение тормозного пути поезда, сил, действующих на вагоны, а также ускорений движения вагонов, оборудованных новыми воздухораспределителями, при различных режимах торможения (ЭТ, РТ, ПСТ). Все вагоны оборудованы одинаковыми воздухораспределителями. Крепление грузов жесткое. Поглощающие аппараты фрикционные.

Задача 2 (T10101) – поиск рациональных (с позиции уровня продольных сил и тормозных путей) параметров диаграмм наполнения тормозных цилиндров длинносоставного поезда при полных служебных торможениях. Аппараты фрикционные. Крепление грузов жесткое.

Класс IV. Определение рациональных параметров устройств крепления подвижных грузов к вагонам. Оценка условий транспортировки грузов

Задачи 1, 2, 3 (V00111, P20111, T20111) – определение продольных сил, действующих на вагоны и перевозимые грузы, и ускорений при соударениях сцепов на маневрах, при трогании поезда с места и торможении на горизонтальном участке пути. Вагоны поезда и соединения «вагон – груз» оборудованы фрикционными или резинометаллическими поглощающими аппаратами.

Задачи 4, 5, 6 (V00121, P20121, T20121) формулируются так же, как и задачи 1, 2, 3, с той лишь разницей, что соединения «вагон-груз» оборудованы гидрогазовыми поглощающими аппаратами.

Задачи 7, 8, 9 (V00312, P20322, T20322) формулируются так же, как и задачи 1, 2, 3, но при этом предполагается, что вагоны оборудованы гидрогазовыми поглощающими аппаратами автосцепки.

Задачи 10, 11, 12 (V00322, P20322, T20322) формулируются также, как и задачи 1, 2, 3, с той лишь разницей, что вагоны и соединения «вагон–груз» оборудованы гидравлическими поглощающими аппаратами.

Класс V. Оценка качества продольного профиля пути и нормирование его параметров

Задача 1 (S11101) – исследование движения длинносоставного поезда по заданному участку пути (проектное решение). Возможно исследование режимов управления. Аппараты фрикционные. Крепление грузов жесткое.

Задача 2 (Т11101) – определение продольных сил при торможении поезда на переломе продольного профиля пути с целью оценки наиболее неблагоприятного (по уравнению продольных сил) места начала торможения. Определение в этих случаях зависимостей наибольших продольных сил в поезде от параметров профиля пути. Аппараты фрикционные. Крепление грузов жесткое.

Задача 3 (V01101) – определение зависимостей наибольших продольных сил в поезде, возникающих при его движении «на выбеге» через перелом, от параметров продольного профиля пути.

Аппараты фрикционные. Крепление грузов жесткое.

Класс VI. Моделирование аварийных режимов

Задача 1 (V00502) – определение продольных ускорений вагонов и действующих на них сил при аварийном соударении двух поездов, оборудованных фрикционными поглощающими аппаратами автосцепки. Крепление грузов к вагонам жесткое. Перед соударением поезда двигались «на выбеге».

Задача 2 (T20502) формулируется так же, как и задача 1, но в этом случае предполагается, что в момент соударения поезда находитесь в тормозном режиме.

5.2. ИНСТРУКЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ПРОГРАММ

В соответствии с конкретно решаемой задачей составляется из элементов библиотеки подпрограмм та или иная программа. При выборе подпрограмм из библиотеки принимаются во внимание как их функциональные возможности, так и количество вводимых исходных величин, необходимых для их использования. Рационально информированной программой будет та, которая использует наименьшее количество вводимых величин и требует наименьших затрат машинного времени.

В табл. 5.1 приведены перечисленные варианты программ, цифры которых помещены в верхнюю строку таблицы. В каждом столбце звездочками помечены подпрограммы, которые входят в тот или иной вариант программы.

Таблица 5.1

Окончание табл. 5.1

№ п/п	Имя под- программы	Имя мо- дификации	Шифр задачи														
			S11101 S12111 S12301 S12311 S12412 T10101 T2102 T20111 T20121 T202312 T21601 T20321 P20101 P20111 P20102 P20321 P20322 P10502 V01101 V00202 V00302 V00602 V00111 V00121 V00312 V00321 V00222 V00224-2														
9	PROF	PROF1	*	*			*					*					
		PROF2	*	***													
		PROF3			*	***	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	SOPR	SOPR1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
11	VNESH	VNESH1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
		VNESH2															
		VNESH3															
		VNESH4															
12	TORM	TORM1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
		TORM2															
13	TUGA	TUGA1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
		TUGA2															
		TUGA3															
14	RECUP	RECUP1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
15	MAX	MAX1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
16	PRINTR	PRINTR1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
		PRINTR2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
17	PARVAG	PARVAG1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
18	FORMI	FORMI1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
19	MINPOR	MINPOR1	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Следует отметить, что приведенные выше шифры соответствуют наиболее рациональной компоновке подпрограмм в программы. Так, например, случай движения поезда «на выбеге», который выделен в вариант программы с шифром V01101, может быть рассмотрен и с помощью варианта программы S11101, однако в последнем случае требуется подготовка числового материала, который не будет использоваться при расчете, что нерационально.

Как видно из описания подпрограмм, их можно разделить на две большие группы: подпрограммы, имеющие несколько модификаций, подпрограммы, имеющие лишь одну модификацию. Из этого разделения следует структура библиотеки, используемой для хранения подпрограмм: подпрограммы, относящиеся к первой группе, рекомендуется хранить в виде исходных модулей, находящихся в разных разделах библиотеки, а подпрограммы второй группы – в виде одного раздела библиотеки загрузочных модулей.

Формирование конкретных программ из библиотеки подпрограмм осуществляется управляющими операторами, которые вводятся с помощью перфокарт, приведенных ниже. В данном случае предполагается, что используется операционная система ОС, а библиотека исходных модулей BIM и библиотека загрузочных модулей BZM находятся на пакете дисков с серийным номером DISK:

```
// POEZD JOB [УЧЕТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ]
// EXEC FORTGCLG,REGION.GO=120K,
// TIME,GO=ВРЕМЯ РЕШЕНИЯ
// FORT,SYSPRINT DD DUMMY
// FORT,SYIN DD DSN=BIM(RAZDEL1),
// VOL=SER=DISK,UNIT=5061,DISP=OLD
// DSN=BIM(RAZDEL2),
// VOL=SER=DISK,UNIT=5061,DISP=OLD
```

```
5011 // DSN=BIM(RAZDELN),
5010 // VOL=SER=DISK,UNIT=5061,DISP=OLD
5017 // LKED,SYSLIB DD DSN=BZM,
5018 // VOL=SER=DISK,UNIT=5061,DISP=OLD
5019 // DSN=SYS1,FORTLIB,DISP=SHR,UNIT=5061
5010//GO,FT06F001 DD SYSOUT=ВЫХОДНОЙ КЛАСС
5011//GO,SYIN DD *
ПЕРФОКАРТЫ С ИСХОДНЫМИ ДАННЫМИ
```

Перфокарты 6–7 повторяются ($n - 1$) раз, где n – число подпрограмм, которые необходимо оттранслировать для формирования данной программы. Вместо имен RAZDEL1–RAZDELN следует указывать действительные имена разделов библиотеки, содержащих ту или иную подпрограмму.

5.3. УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

В подпрограммах пакета использованы такие форматы представления данных для организации ввода и вывода, которые предполагают задание исходной информации в следующем виде: массы 10^{-1} т, жесткости $k \cdot 10^{-4}$, Н/м, перемещений q , зазоров δ и наибольших ходов поглощающих аппаратов Δ , м, скорости v , м/с, сил начальных затяжек $S_0 \cdot 10^{-4}$, Н, коэффициентов вязкости $\beta \cdot 10^{-4}$, Н·с/м.

При таком задании исходных данных результаты расчетов имеют следующие размерности: силы – $S \cdot 10^{-4}$, Н, перемещения – метры (м), ускорения – метры/секунды в квадрате (m/s^2), время – секунды (с), скорость – метры/секунду (м/с).

Всю числовую информацию, необходимую для проведения того или иного расчета, можно разбить на 8 групп. Сначала согласно структуре программы готовится информация о параметрах экипажей (группа 1). Далее следует информация (группа 2), с помощью которой задаются параметры внутренних сил в межвагонных соединениях. Если грузы подвижны относительно вагонов, необходимо подготовить информацию (группа 3) (в некоторых вариантах программ информация (группа 3) может отсутствовать). Это информация о параметрах грузов (гр. 3, а) и соединений «вагон–груз» (гр.

3,6). Затем следует информация (группа 4) для задания внешней силы: информация (гр. 4, а) о параметрах кривой скорости и режиме движения в начальный момент времени, о параметрах тяговой (гр. 4, б) и тормозной (гр. 4, в) характеристик локомотива, системы пневматического торможения (4, г), сил сопротивления поступательному движению (гр. 4, д), а также о параметрах продольного профиля пути (гр. 4, е). В ряде вариантов программ информация (гр. 4) вводится частично. Так, например, для определения продольных сил, возникающих при торможениях поезда, достаточно подготовить информацию (гр. 4, г), а (гр. 4, д), если используется программа с шифром Т20102.

Наконец, готовятся данные (группа 5) для формирования начальных условий, параметры (группа 6) процедуры интегрирования, параметры (группа 7) завершения решения и (группа 8) печати результатов.

5.4. НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСШИРЕНИЮ БИБЛИОТЕКИ ПОДПРОГРАММ

При составлении новой модификации той или иной подпрограммы необходимо учитывать структуру подпрограмм. Описание структуры каждой подпрограммы приведено в главе 2. Если подпрограмма (согласно описанию) содержит вспомогательный блок, предназначенный для формирования исходных данных, то в новой модификации подпрограммы этот блок нужно обязательно оформить. То же относится и к основным блокам соответствующих подпрограмм.

Необходимо также учесть структуру общих областей, описанных оператором COMMON. Перечень COMMON-блоков, используемых в подпрограммах библиотеки, а также список переменных каждого COMMON-блока приведены в табл. 5.2. Информацию о содержании каждой переменной можно почерпнуть из описания подпрограмм, в которых эти переменные используются. Перечень модификаций подпрограмм, в которых встречаются переменные из общих областей, находится в группе 4 табл. 5.2.

Глава 6. ПРИМЕРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

6.1. ДВИЖЕНИЕ С ЗАДАННОЙ СКОРОСТЬЮ ПО ПЕРЕЛОМАМ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПУТИ

Пусть необходимо оценить уровень продольных сил, возникающих в однородном поезде массой 8600 т при его движении по участку пути длиной 9000 м, изображенном на рис. 6.1. Грузы крепятся к вагонам жестко. Управление движением должно выбирать-

№	Название подпрограммы	Описание, включая описание в COMMON-блоках	Примечание
1	IBLRESI	V(100), Q(100), S(100)	
2	IBLTIM IBLX IBLA	T, TP X(100) A1(801), A2(801), A3(801), A4(801), A5(801)	
3		N, NC1	
4			
5	IBLNI	LBO(100), M0(100), LB(100), M1(100) FB(100), FP(100), F(100), FT(100), W(100)	
6	IBL35 IBL12	H, H1, NU	
7		M2	
8	IBLH	QA(100), QG1(100), QG2(100), JA(100), VQG1(100), VQG2(100), VQA(100)	
9	IBL7	LPI	
10	IBLQGI	E	
11	IBLLP	VVONU2, SPRAV2, INTEGR, SILA1, FVOZM2, SOPR, TORM и др. (при необходимости)	
12	IBLEF	PT, PRRT, PST, PO, PR, PSR, PR1 V1(100), Q1(100), S1(100)	
13	IBLPRI	M3	
14	IBL10	TT, TO, THH, THC, THR, THRC	
15	IBLM3	DV1, DV2, DV3, DV4, DV5, DV6	
16	IBLT	VS	
17	IBLDV	NL11, NL12	
18	IBLVS	FBI(100), FP1(100), F1(100), W1(100)	
19	IBLNLI	S1MAX(100), S1(100)	
20	IBL1	SMAX(100), S0(100), V1M(100), Y10(100), NL10, NL13	
21	IBL14 IBLMAX	SMAX(100), S0(100), V1M(100), Y10(100), NL10, NL13 M21, M1(100), MP1(100)	
22		QG1(100), QG2(100), QA11(100), VQG11(100), VQG21(100), VQA11(100), JA11(100)	
23	IBL13	SPRAV2, SILA1, VVONU2, INTEGR, FVOZM2, VNESH2, VNESH4, SOPR, PROF2, TORM	
24	IBL9	VVONU2, SPRAV2, INTEGR, PRINTR2, SILA1	
25	BLMX	PRINTR, MAX	



Рис. 6.1. Продольный профиль участка пути

ся в соответствии с заданной скоростью. Расчет продольных сил в этом случае необходимо выполнить по программе, соответствующей варианту S11101. Исходные данные и порядок нанесения числовой информации на перфокарты описан ниже.

Будем полагать, что поезд состоит из двух локомотивов серии ВЛ8, расположенных в голове поезда, и 94 четырехосных полностью груженых вагонов ($N_0 = 96$). Масса локомотива и вагона и их длины соответственно равны 184 и 84 т, 28 и 14 м.

Так как порядок интегрируемой системы дифференциальных уравнений довольно высок ($2N_0 = 192$), то целесообразно проводить его понижение путем объединения экипажей в группы, что предусматривается программой. Понизим порядок исходной системы дифференциальных уравнений в 8 раз, т. е. будем интегрировать систему дифференциальных уравнений, описывающую движение 12 групп экипажей ($N = 12$; по 8 экипажей в группе).

Предположим, что вагоны оборудованы фрикционными поглощающими аппаратами типа Ш-И-ТМ. При этом жесткость междувагонного соединения k_h при нагрузке составит $2600 \cdot 10^4$ Н/м, а при разгрузке $k_p = (1 - \eta) k_h$, где $\eta = 0,95$. Коэффициент вязкого рассеивания энергии $\beta = 30 \cdot 10^4$ Н·с/м, жесткость конструкции вагона $k_k = 8500 \cdot 10^4$ Н/м, наибольший зазор в каждом соединении $\delta = 0,065$ м; сила и перемещение, при которых закрываются поглощающие аппараты, $S_d = 200 \cdot 10^4$ Н и $\Delta = 0,077$ м.

Пусть заданная скорость на участке длиной 8100 м постоянна и составляет 25,3 м/с, а допускаемые отклонения фактической скорости движения от этого уровня следующие: $\Delta v_1 = \Delta v_2 = 0,5$ м/с; $\Delta v_3 = \Delta v_4 = 1$ м/с; $\Delta v_5 = \Delta v_6 = 1,5$ м/с. Будем считать, что при необходимости регулирования скорости в процессе движения могут приводиться в действие как пневматические тормоза состава, так и электрический тормоз каждого из локомотивов. Из описания подпрограммы TORM (модификация TORM1) следует, что численное значение признака PR1 необходимо задать равным единице.

Предположим, что тяговая характеристика $F(v)$ локомотива ВЛ8 может быть представлена в следующем виде (см. табл. 6.1)

Одна часть этой характеристики соответствует движению при малых скоростях с ограничением по сцеплению колесных пар с рельсами, другая – автоматическому участку ОПЗ движению при параллельном соединении тяговых двигателей [49].

Тормозную характеристику $B(v)$ при моделировании рекупера-

Таблица 6.1

$v, \text{м/с}$	0,0	2,8	5,6	11,1	14,7	16,7	19,5	22,2	27,8
$F \cdot 10^{-4}, \text{Н}$	58,0	51,0	49,0	47,0	38,0	26,0	16,0	15,5	7,0

Таблица 6.2

$v, \text{м/с}$	14,4	15,3	16,7	18,1	20,9	22,2	22,8	24,2	27,8	30,0
$B \cdot 10^{-4}, \text{Н}$	0	6,0	13,0	18,0	22,3	23,0	23,5	22,0	13,0	13,0

твного торможения локомотива примем соответствующей шестой величины контроллера машиниста [49] (табл. 6.2)

Темп нарастания силы тяги от нуля до наибольшего значения характеризуется коэффициентом $\gamma = 0,51/\text{с}$; темп сброса тяги – коэффициентом $\operatorname{tg} \alpha = 2 \cdot 10^4 \text{ Н/с}$. Аналогично для рекуперации: $\gamma = 0,51/\text{с}$, $\operatorname{tg} \alpha = 2 \cdot 10^4 \text{ Н/с}$.

Параметры системы управления пневматическими тормозами состава (воздухораспределитель усл. № 270-005) зададим следующими: скорость распространения вдоль состава тормозной волны 340 м/с, а волны отпуска тормозов 70 м/с. Это означает, что торможение хвостового экипажа поезда начнется через 5,6 с после начала торможения головного, а отпуск тормозов – через 19,2 с после начала их отпуска в голове поезда. Диаграммы изменения сил нажатия на тормозную колодку в голове и хвосте поезда показаны на рис. 6.2. Наибольшая сила нажатия K_{\max} составляет $0,5 \cdot 10^4 \text{ Н}$, что соответствует первой ступени регулировочного торможения. Время нарастания силы нажатия при торможении от 0 до K_{\max} составляет 10 и 15 с соответственно в голове и хвосте поезда, время уменьшения давления от K_{\max} до 0 при отпуске – 25 и 15 с. Распределение по длине поезда указанных параметров соответствует линейному закону. В связи с этим перечисленные параметры зададим в двух точках поезда: 1-м и 96-м (головном и хвостовом). Значения этих параметров в остальных сечениях будут формироваться программой в соответствии с линейным законом распределения.

Будем считать, что вагоны поезда оборудованы композиционными тормозными колодками, поэтому коэффициенты в формулах (4.20), (4.21) необходимо принять следующими:

$$C_1 = 0,055; C_2 = 20 \cdot 10^4 \text{ Н}; C_3 = 5,0 \cdot 10^4 \text{ Н}; C_4 = 41,7 \text{ м/с}; C_5 = 20,85 \text{ м/с}.$$

Число тормозных колодок на локомотиве равно 32 (двустороннее торможение), на вагоне – 8 (одностороннее торможение).

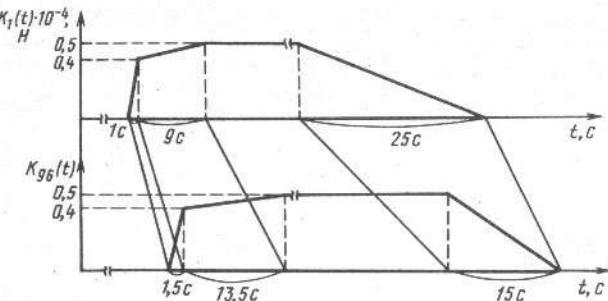
Коэффициенты в формуле (4.5) для вычисления силы сопротивления поступательному движению экипажа выбраны равными [2, 55]:

$$W_0 = 250 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2; A_0 = 0,36 \cdot 10^{-3} \text{ с}^3/\text{м}^2; W_{01} = 16,1 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2; A_{11} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ 1/с}; A_{22} = 0,022 \cdot 10^{-3} \text{ 1/м}.$$

Таблица 6.3

№ инфор- мационной группы	Идентифи- катор по- ременной	Форми- руемый массив	№ перфо- карты	Содержимое перфокарты	Имя подпрограммы (имя модификации)
1	2	3	4	5	6
7	KOLV	—	1	0001	MAIN
	N0, N	—	2	00960012	
	NUP(i)	M0(i)	3	00020094	
	TABL(i)		4	000018.800000 8.6	PARVAG
	NUP(i)	LB0(i)	5	00020094	
	TABL(i)		6	000028.000000 14.0	
2	NUP(i)	K(i)	7	0096	
	TABL(i)		8	2600.0	SILA (APPARATI)
	NUP(i)	D(i)	9	0096	
	TABL(i)		10	0.065	
	NUP(i)	BETA(i)	11	0096	
	TABL(i)		12	30.0	
	NUP(i)	HETA(i)	13	0096	
	TABL(i)		14	0.05	
	NUP(i)	KK(i)	15	0096	
	TABL(i)		16	8500.0	
	NUP(i)	SM(i)	17	0096	
	TABL(i)		18	200.0	
	NUP(i)	DM(i)	19	0096	
	TABL(i)		20	0.077	
4, a	NG	—	21	0002	VNESH (VNESH1)
	XG(i)	—	22	000000.0009100.0	
	VG(i)	—	23	000025.300000 25.3	
	DV1, DV2, DV3, DV4, DV5, DV6	—	24	000000.500000 0.5000001.0 0.5000001.000000 1.5000001.5	
	P1, PR1, PR, PR1	—	25	00000000000 0001	
	NL11, NL12	—	26	00010002	
4, b	NT VTG(i)	—	27	0009	
		—	28	000000.000000 2.8000005.6 0.000011.100000 14.70000016.7 0.000019.500000 22.20000027.8	TUGA (TUGA1)

Рис. 6.2. Диаграмма сил нажатия на тормозные колодки



Параметры профиля пути (см. рис. 6.1) имеют такие значения: уклоны участка пути, на котором находится поезд в начальный момент времени $t = 0$ и следующего за ним горизонтального участка, составляют $i_0 = i_1 = 0$. Длина этого горизонтального участка $L_1 = 500$ м.

Уклоны на последующем спуске и подъеме следующие: $i_2 = 0,015$; $i_3 = 0,015$; $i_4 = 0$ длины участков $L_2 = L_3 = 1000$ м, $L_4 = 4500$ м. Радиусы сопрягающих круговых кривых $R_2 = R_4 = 20\ 000$ м, $R_3 = 50\ 000$ м. Значение R_1 может быть задано любым, так как $i_0 = i_1$ (например, $R_1 = 1$ м).

Будем считать, что в начальный момент времени поезд полностью растянут ($q_{0i} = 0,065$ м) и все вагоны имеют скорость $v_0 = 23,0$ м/с. Очевидно, что движение поезда по рассматриваемому участку может сопровождаться чередованием процессов как ударного, так и квазистатического характера. Поэтому целесообразно в этих случаях (с целью сокращения затрат машинного времени) проводить интегрирование с переменным шагом $h = \text{var}$.

Значение h на начальных отрезках интегрирования рекомендуется принимать равным $h = 0,005$ с; верхняя граница допускаемой погрешности интегрирования $V_{GR} = 0,00004$ м, нижней — $H_{GR} = 0,0000012$ м.

Завершение решения будет соответствовать тому моменту времени, когда координата головного экипажа станет равной 9000 м. Поэтому значения признаков, по которым завершается решение, зададим следующими: $t_k = 1000$ с; $V_k = 0$ м/с; $X_k = 9000$ м.

Печать промежуточных результатов будем производить с шагом $h_p = 1,6$ с, распределений наибольших сил и ускорений — с шагом $h_{pm} = 80$ с, наибольшей в поезде растягивающей и сжимающей силы — с шагом $h_{pms} = 1,6$ с.

На печать будем выводить:

а) усилия во 2-м, 7-м, 12-м соединениях между группами экипажей;

б) сила тяги (тормозные силы, при электрическом торможении), действующие на 1-й и 2-й экипажи поезда;

в) тормозные силы (пневматическое торможение), действующие на 1-й и 96-й экипажи поезда;

г) составляющие силы тяжести от профиля пути, действующие на 1-й и 96-й экипажи поезда;

Продолжение табл. 6.3

Окончание табл. 6.3

1	2	3	4	5	6
			29	58.0 51.0 47.0 38.0 16.0 15.5 7.0	
	GAMMA, TGL	—	30	0.5 2.0	
	NTR	—	31	10	
	VTR(i)	—	32	14.4 15.3 18.1 20.9 22.8 24.2 30.0	
4,B				RECUP	
	FTR(i)	—	33	0.0 6.0 18.0 22.3 23.5 22.0 13.0	
	GAMAR, TGLR	—	34	0.5 2.0	
	C1, C2, C3, C4, C5	—	35	0.055 20.0 5.0 41.7 20.85	TORM (TORM1)
	NUP(i)	CK(i)	36	294	
	TABL(i)		37	32.0 8.0	
	NTAU	—	38	2	
	ITAU(i)	—	39	196	
	YTAU(i, 1)	TAU(i)	40	0.0 5.6	
	YTAU(i, 2)	TAU1(i)	41	1.0 1.5	
4,F	YTAU(i, 3)	TAU2(i)	42	9.0 13.5	
	YTAU(i, 4)	TAU3(i)	43	99.9 99.9 преднамеренно большое число	
	YTAU(i, 5)	TAU4(i)	44	Значение безразлично [может быть (м. б.) пустая перфокарта (п/к)]	
	YTAU(i, 6)	TAU5(i)	45	То же	
	YTAU(i, 7)	TAU6(i)	46	»	
	YTAU(i, 8)	TAUOT(i)	47	0.0 19.2	
	YTAU(i, 9)	TAU7(i)	48	25.0 15.0	

1	2	3	4	5	6
	YTAU(i, 10)	TAU8(i)	49	Значение безразлично (м. б. пустая п/к)	
	YTAU(i, 11)	TAU9(i)	50	То же	
	YTAU(i, 12)	TAU10(i)	51	»	
	YTAU(i, 13)	K01(i)	52	0.4 0.4	
	YTAU(i, 14)	K02(i)	53	0.5 0.5	
	YTAU(i, 15)	K03(i)	54	0.5 0.5	
	YTAU(i, 16)	K04(i)	55	(Пустая п/к)	
	YTAU(i, 17)	K05(i)	56	То же	
	YTAU(i, 18)	K06(i)	57	0.5 0.5	
	YTAU(i, 19)	K07(i)	58	0.0 0.0	
	YTAU(i, 20)	K08(i)	59	Значение безразлично (пустая п/к)	
	YTAU(i, 21)	K09(i)	60	То же	
4,H	W0, A0, W01, A11, A22	—	61	250.0 16.1 0.25 0.022	SOPR
	LP1	—	62	1	
	P	—	63	4	PROF (PROF1)
4,I	DI(i)	—	64	0.0 0.015 0.0	
	LP(i)	—	65	500.0 1000.0 4500.0	
	R(i)	—	66	1.0 20000.0 50000.0 20000.0	
	NUP(i)	—	67	96	VVONU (VVONU1)
5	TABL(i)	Q(i)	68	0.065	
	NUP(i)	—	69	96	
	TABL(i)	V(i)	70	23.0	
	H	—	71	0.005	
6	PVH	—	72	1	INTEGR
	VGR	—	73	0.00004	
	HGR	—	74	0000012	
7	TK, VK, XK	—	75	1000.0 0.0 9000.0	MAIN
	HP, HPM, HPSM	—	76	1.6 80.0 1.6	PRINTR (PRINTR1)
8	NS1, NS2, NS3, NF1, NF2, NFT1, NF2, NFT1, NFT2, NFP1, NFP2, NF1, NVOZ	—	77	217 112 1961 1196 111	

Таблица 6.4

SMAX	S0	Q	S	V	V1M	V10
0.0000	0.0000	-3748.6042	0.0000	19.6265	0.5793	-0.6309
69.0497	-82.6619	0.6810	52.3395	19.5696	0.8390	-0.9480
61.6639	-74.8938	0.7063	60.5369	19.5569	0.7461	-0.9421
51.3759	-87.3256	0.6531	21.9222	19.6526	0.6571	-1.0416
5.4096	-98.8727	0.0135	0.0000	19.2234	0.9612	-1.1476
5.6853	-88.2798	-0.1867	-3.9211	19.2181	0.7837	-1.1692
5.9990	-109.6483	-0.2088	-6.8050	19.2081	0.9131	-1.2025
6.3138	-103.6134	-0.2034	-9.1817	19.1917	0.9780	-1.2477
6.8086	-116.1078	-0.1963	-9.7507	19.1889	0.8489	-1.2917
7.2836	-122.7695	-0.2137	-8.4189	19.1826	1.0939	-1.4250
7.9092	-126.3421	-0.0935	-6.0586	19.1771	1.0072	-1.6226
5.8368	-136.0222	-0.0692	-3.3054	19.1735	0.1188	-1.8797

- д) силу сопротивления поступательному движению, действующую на 1-й экипаж;
е) суммарную возмущающую силу, действующую на 1-ю группу экипажей.

Последовательность расположения числового материала на перфокартах показана в табл. 6.3. Здесь указаны номера групп, которым соответствует та или иная входная информация, идентификаторы переменных, значения которых необходимо нанести на перфокарту, номер перфокарты и ее содержимое, а также имя подпрограммы (и в скобках имя ее модификации), которая организует ввод числовых значений указанных переменных.

В табл. 6.4 и 6.5 в качестве примера приведена выходная информация, полученная в результате решения описанной задачи. Указан-

ная информация выдается на печать подпрограммой MAX в моменты времени $t_1 = 160$ с и $t_2 = 480$ с. Каждый столбец соответствует массиву, указанному в заголовке.

6.2. ТОРМОЖЕНИЕ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ПУТИ ПОЕЗДА С ЛОКОМОТИВАМИ ПО КОНЦАМ

Необходимо определить продольные силы, возникающие в межвагонных соединениях при остановочном торможении поезда. Движение происходит на горизонтальном участке пути. Поезд сформирован согласно схеме, приведенной на рис. 6.3 (направление движения указано здесь стрелкой). Расчет сил в этом случае целесообразно выполнять по программе T10101.

Пусть каждый состав сдвоенного поезда состоит из 47 четырехосных полностью груженых вагонов. Тогда число экипажей в поезде, включая и локомотивы, равно 96 ($N_0 = 96$).

Будем интегрировать систему дифференциальных уравнений,писывающую движение 12 групп экипажей ($N = 12$), предполагая, что порядок исходной системы дифференциальных уравнений понижен в 8 раз. Параметры экипажей и междувагонных соединений примем такими же, как и в п. 6.1.

Будем считать, что тормозные магистрали составов разобщены. Это значит, что управление тормозами состава I осуществляется локомотивом ЛI, а II – ЛII. Волна разрядки тормозной магистрали распространяется вдоль состава I от экипажа с $N = 1$ до экипажа с $N = 48$, вдоль состава II – от экипажа с $N = 96$ до экипажа с $N = 49$, как показано стрелками на рис. 6.3.

Рассмотрим случай, когда тормозные средства I и II локомотивов включаются синхронно (этап отпуска тормозов в этом варианте расчета не рассматривается).

Пусть сила нажатия K_i на одну тормозную колодку нарастает во времени в соответствии с графиком, показанным на рис. 6.4, а параметры ее t_i , τ_{1i} , τ_{2i} , τ_{3i} изменяются вдоль поезда в соответствии с графиками, приведенными на рис. 6.5 (линии 1, 2, 3, 4). Значения τ_{ai} для всех экипажей поезда необходимо задать предварительно большими (например, $99,9$ с), а значения K_{1i} , K_{2i} , K_{3i} будем считать независящими от номера экипажа и соответственно равными $0,5 \cdot 10^4$; $0,7 \cdot 10^4$; $1,2 \cdot 10^4$ Н.

Параметры диаграмм $K_i(t)$ зададим в четырех сечениях поезда: 1, 48, 49 и 96. Значения этих же параметров в остальных сечениях неизменны и будут формироваться программой в соответствии с за-

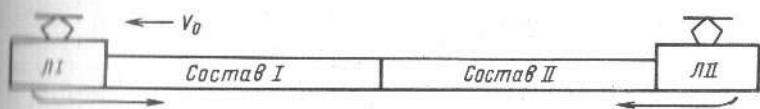


Рис. 6.3. Схема формирования поезда

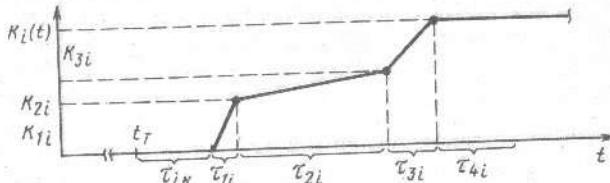


Рис. 6.4. Зависимость силы нажатия на тормозную колодку от времени на горизонтальном участке пути

данным линейным законом распределения (см. рис. 6.5). Так как этап отпуска рассматривается не будет, то скорость движения, при которой начинается уменьшение силы K_i , зададим преднамеренно малой (и отрицательной), например $-0,5$ м/с.

Остальные данные, характеризующие тормозные силы (тип тормозных колодок, их число и т. д.), а также силы сопротивления поступательному движению, примем такими же, как и в п. 6.1.

Так как рассматривается движение поезда по горизонтальному участку пути, то значение признака LP1 следует принять равным нулю (параметры продольного профиля пути не будут вводиться).

Будем полагать, что в начальный момент времени поезд полностью растянут ($q_{0i} = 0,065$ м) и все вагоны имеют скорость $v_0 = 13,9$ м/с. Интегрирование в рассматриваемом варианте целесообразно проводить с постоянным шагом ($h = \text{const}$), так как решение необходимо получить на сравнительно коротком отрезке интегрирования. Значение h рекомендуется принимать равным 0,01 с. Завершение счета произойдет в тот момент времени, когда скорость головного экипажа станет равной нулю. Поэтому значения признаков, по которым заканчивается решение, можно принять следующими: $t_k = 1000$ с; $V_k = 0$ м/с; $X_k = 2000$ м.

Часть параметров, необходимых для организации печати результатов, примем такими же, как и в п. 6.1, а именно: $h_p = 1,6$ с; $h_{pm} = 80$ с; $h_{psm} = 1,6$ с.

На печать выведем:

а) усилия во 2; 7 и 12-м соединениях между группами экипажей;

б) силы тяги указываются для любых номеров экипажей (например, 1 и 96), ибо в процессе решения сила тяги включаться не будет.

Остальные данные, необходимые для оформления печати результатов, можно принять такими же, как и в п. 6.1.

Последовательность расположения числового материала на перфокартах показана в табл. 6.6.

Для контроля полученного решения в табл. 6.7 приведена выходная информация, которая вы-

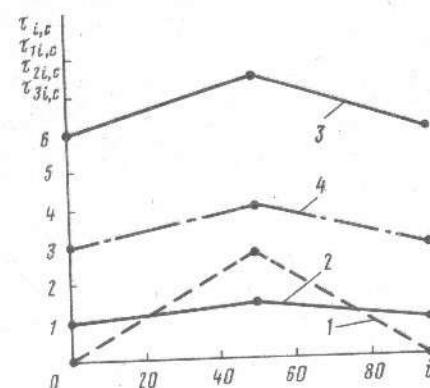


Рис. 6.5. Изменение вдоль поезда временных характеристик силы нажатия на тормозную колодку

№ информационной группы	Идентификатор переменной	Формируемый массив	№ перфокарты	Содержимое перфокарты	Имя подпрограммы (имя модификации)		
			2	3	4	5	6
1	KOLV	—	1	00001			MAIN
	N0, N	—	2	00960012			
1	NUP(i)	M0(i)	3	000100940001			
	TABL(i)		4	000018.80000008.6 000018.8			PARVAG
	NUP(i)	LB0(i)	5	000100940001			
	TABL(i)		6	000028.00000014.0 000028.0			
2	Информация для формирования параметров межвагонных соединений		7 ÷ 20	Перфокарты № 7-20 повторяют перфокарты с аналогичными номерами в табл. 6.3			SILA (APPARATI)
	C1, C2, C3, C4, C5	—	21	00000550000020.0 000005.0 000041.70000020.85			
	NUP(i)	CK(i)	22	000100940001			
	TABL(i)		23	000032.00000008.0 000032.0			
4, 7	NTAU(i)	—	24	0004			
	ITAU(i)	—	25	000100480049 0096			
	YTAU(i, 1)	TAU(i)	26	0000000.00000002.8 0000002.80000000.0			
	YTAU(i, 2)	TAU1(i)	27	000001.00000001.5 000001.50000001.0			
	YTAU(i, 3)	TAU2(i)	28	000003.00000004.0 000004.00000003.0			
	YTAU(i, 4)	TAU3(i)	29	000006.00000007.5 000007.50000006.0			
	YTAU(i, 5)	TAU4(i)	30	000099.90000099.9 000099.90000099.9			
	YTAU(i, 6)	TAU5(i)	31	Значение безразлично (может быть пустая п/к)			
	YTAU(i, 7)	TAU6(i)	32	То же			
	YTAU(i, 8)	TAU0T(i)	33	»			
	YTAU(i, 9)	TAU7(i)	34	»			
	YTAU(i, 10)	TAU8(i)	35	»			
	YTAU(i, 11)	TAU9(i)	36	»			
	YTAU(i, 12)	TAU10(i)	37	»			

Таблица 6.7

Окончание табл. 6.6						Σ_{MAX}	SO	Q	S	V	VIM	V10
1	2	3	4	5	6	0.0000	0.0000	-257.6377	0.0000	-0.0001	0.5739	-0.5506
						0.0000	-28.3344	-0.0086	-1.1880	0.0236	0.2175	-0.6387
	YTAU(i, 13)	K01(i)	38	0.5 0.5 0.5 0.5		0.0000	-35.6643	-0.0211	-1.2887	0.0212	0.0343	-0.7543
						0.4685	-32.4784	-0.0311	-0.5051	0.0151	0.1147	-0.7143
	YTAU(i, 14)	K02(i)	39	0.7 0.7 0.7 0.7		13.7943	-39.6273	-0.0269	-0.4374	0.0056	0.0000	-0.8433
						13.8465	-36.7010	-0.0310	-0.5044	-0.0318	0.4629	-0.8223
	YTAU(i, 15)	K03(i)	40	1.2 1.2 1.2 1.2		13.6143	-30.1334	-0.0133	-0.6512	-0.0176	0.4402	-0.7896
4, г						13.2559	-24.6680	0.2109	0.0000	-0.0268	0.4374	-0.7420
	YTAU(i, 16)	K04(i)	41	1.2 1.2 1.2 1.2		18.2915	-15.6553	0.5457	0.4183	0.0070	0.0000	-0.6287
						13.3177	0.0000	0.5453	0.4109	0.0168	0.0000	-0.5962
	YTAU(i, 17)	K05(i)	42	Значение безразлично (может быть пустая п/к)		18.2362	0.0000	0.5392	0.3118	0.0238	0.0000	-0.5126
	YTAU(i, 18)	K06(i)	43	То же		13.0711	0.0000	0.5236	0.0591	0.0306	0.0000	-0.5226
	YTAU(i, 19)	K07(i)	44	"								
	YTAU(i, 20)	K08(i)	45	"								
	YTAU(i, 21)	K09(i)	46	"								
	V0		47	- 0.5		VNESH (VNESH4)						
4, д	W0, A0, W01, A11, A22	—	48	0.500 0.36 0.25 0.022		SOPR						
	NUP(i)	Q(i)	49	0.96		VVONU (VVONU1)						
5	TABL(i)		50	0.065								
	NUP(i)	V(i)	51	0.96								
	TABL(i)		52	13.9								
6	H	—	53	0.01		INTEGR						
	PVH		54	0.00								
7	TK, VK, XK	—	55	1000.0 0.000.0 2000.0		MAIN						
	HP, HPM, HPSM	—	56	1.6 0.000.0 0.000.1		PRINTR (PRINTR1)						
8	NS1, NS2, NS3, NF1, NF2, NFT1, NFT2, NFP1, NFP2, NF1, NVOZ	—	57	2 0.000.7 0.0012 0.000.1 0.000.96 0.000.1 0.000.96 0.000.1 0.000.96 0.000.1 0.000.0								

дается подпрограммой MAX в момент завершения решения (при $t = 40$ с). Напечатанные столбцами числа являются элементами массивов, обозначенных в головке таблицы.

6.3. СОУДАРЕНИЕ СЦЕПОВ ВАГОНОВ

Рассмотрим пример задания исходных данных при расчете сил, возникающих при соударении двух сцепов: одного, состоящего из двух вагонов массой $8,6 \cdot 10^3$ т каждый с жестко присоединенными грузами и имеющего начальную скорость 2 м/с, и второго, состоящего из трех вагонов массой $8,6 \cdot 10^3$ т с подвижными грузами, при этом масса подвижного груза $4,3 \cdot 10^3$ т. Начальная скорость второго сцепа нулевая. Вагоны второго сцепа и подвижные рамы в них обрудованы гидравлическими поглощающими аппаратами ГА-500, а первого сцепа – фрикционными аппаратами Ш-2-В. Для решения этой задачи рационально использовать программу с шифром V00312. Приняты следующие параметры: зазоры в междувагонных соединениях $\delta_{0i} = 0,065$ м, жесткость аппаратов Ш-2-В при нагрузке $k_0 = 2600 \cdot 10^4$ Н/м, коэффициент их вязкости $\beta = 50 \cdot 10^4$ Н·с/м, коэффициент η поглощения энергии равен 0,95, наибольший ход двух аппаратов $\Delta = 0,18$ м. Коэффициенты в формулах (3.14) и (3.15), а также (3.12) и (3.13) имеют следующие значения [7]:

$$\beta_{001} = 1000 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2; \quad \beta_{1H1} = 0; \quad \beta_{2H1} = 0;$$

$$\beta_{001} = 1000 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2; \quad \beta_{1P1} = 0; \quad \beta_{2P1} = 0;$$

$$\beta_{002} = 64 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2; \quad \beta_{1H2} = 665 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3;$$

$$\beta_{2H2} = 6,75 \cdot 10^8 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3;$$

$$\beta_{0p2} = 1 \cdot 10^4 \text{ H} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2; \quad \beta_{1p2} = 1100 \cdot 10^4 \text{ H} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3;$$

$$\beta_{2p2} = 7,6 \cdot 10^8 \cdot 10^4 \text{ H} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3;$$

$$r_1 = 37,6 \text{ м}^{-1}; \quad r_2 = 8,6 \text{ м}^{-1}; \quad S_{01} = 7 \cdot 10^4 \text{ H}, S_{02} = 25 \cdot 10^4 \text{ H};$$

$$d_1 = 1,4; \quad d_2 = 1,5; \quad \Delta_1 = 0,02 \text{ м}, \Delta_2 = 0,12 \text{ м};$$

$$H_1 = 0; \quad H_2 = 1,5; \quad p_2 = 7;$$

$$FM = 0,1; \quad p_1 = 0; \quad k_{0\text{ж}} = 32000 \cdot 10^4 \text{ Н/м}.$$

Будем считать, что параметры амортизаторов грузов совпадают с параметрами поглощающих аппаратов, а в соединениях вагонов на стыке сцепов включен один фрикционный и один гидравлический поглощающие аппараты; взаимодействие вагонов второго сцепа между собой осуществляется через два гидравлических поглощающих аппарата.

Таблица 6.8

№ инфор- матич- ной группы	Иденти- фикатор перемен- ной	Формируе- мый массив	№ перфо- карты	Содержание перфокарты	Имя подпро- граммы (имя модифи- кации)	6
1	2	3	4	5		
7	KOLV		1	ППП1	MAIN	
	N0, N		2	ППП5ППП5		
	NUP(i)	M(i)	3	ППП2ППП3	PARVAG	
1	TABL(i)		4	8.6ПППП4.3		
	NUP(i)	LB(i)	5	ППП5		
	TABL(i)		6	*13.0		
	NUP(i)	K(i)	7	ППП5		
	TABL(i)		8	2600		
2	NUP(i)	D(i)	9	ППП5	SILA (APPARAT3)	
	TABL(i)		10	0.065		
	NUP(i)	BETA(i)	11	ППП5		
	TABL(i)		12	50		
	NUP(i)	HETA(i)	13	ППП5		
	TABL(i)		14	0.05		
	NUP(i)	KK(i)	15	ППП5		
	TABL(i)		16	8500.0		
	NUP(i)	SM(i)	17	ППП5		
	TABL(i)		18	364.0		
	NUP(i)	DM(i)	19	ППП2ППП3		
	TABL(i)		20	0.18ППП0.09		
	NUP(i)	PF(i)	21	ППП3ППП2		
	TABL(i)		22	1.0ПППП0		

1	2	3	4	5	6
	NUP(i)		23	ППП2ППП1 ППП2	
	TABL(i)	IA1(i)	24	0.ПППППП1.ПППППП2.	
	BOP1, BOP2, B0H1, B0H2, B1P1, B1P2, B1H1, B1H2		25	1000.ППППП100. ППППП1000. ПППП64.ППППППП0. ППППППП1100. ПППП0. ППППППП665.	
	B2P1, B2P2, B2H1, B2H2		26	ПППППППППППП ППППППППППП 760000000.ППППППП ППППППППППП ПППППППППППП 675000000.	
	DG1, DG2, DA1, SOG1, SOG2, KOG		27	0.02ППППП0.01 ППППП0.012 ППППП7. ППППП25. ППППП999999999	
	FM, R1, R2, POL1, POL2		28	0.1ППППП37.6 ППППП8.6 ППППП1.4 ППППП1.5	
	P1, H10, P2, H20		29	ППП0ППП0 ППП7ППП7	
	K1(i)	30-31		Перфокарты № 30 и 31 повторяют перфокарты № 7 и 8 соответственно	
	NUP(i)	D2(i)	32	ППП5	
	TABL(i)		33	0.0	
	—	34-37		Перфокарты № 34-37 повторяют перфокарты № 11-14 соответственно	
	NUP(i)	KK1(i)	38	ППП5	SILA1 (AMORTOR2)
	TABL(i)		39	10000.	
	—	40-43		Перфокарты № 40-43 повторяют перфокарты № 16-19 соответственно	
	NUP(i)	PF1(i)	44	ППП5	
	TABL(i)		45	0.	
	NUP(i)	IA11(i)	46	ППП5	
	TABL(i)		47	1.0	
	NUP(i)	M1(i)	48	ППП2ППП3	
	TABL(i)		49	0.0ПППП4.3	

Окончание табл. 6

Таблица 6.9

1	2	3	4	5	6	7	S_2	S_3	S_4	S_5	$S_{1,3}$	$S_{1,4}$	$S_{1,5}$
		—	50-54	Перфокарты № 50-54 повторяют перфокарты № 25-29		0.000	-7.759	-25.802	-41.507	-45.873	10.921	0.000	-24.864
		W0, A0, W01, A11, A22	—	55	Чистая п/к	0.000	-6.035	-25.861	-40.233	-45.986	10.874	0.000	-25.182
4, д		NUP(i)	W(i)	56	□□62	0.000	-4.967	-25.894	-38.974	-46.036	10.842	2.071	-25.413
		TABL(i)		57	0.0	0.001	-4.643	-25.951	-37.508	-37.966	10.801	13.558	-25.491
		NUP(i)	MPT(i)	58	□□62	0.001	-5.011	-26.012	-35.592	-37.942	10.725	14.244	-22.284
		TABL(i)		59	0.0	0.001	-5.888	-26.048	-33.601	-37.914	10.553	10.571	-21.049
		NUP(i)	Q(i)	60	□□□5	0.001	-7.027	-26.046	-31.795	-37.748	10.221	6.879	-20.298
		TABL(i)	V(i)	61	0.065	0.001	-8.164	-26.017	-30.205	-37.392	9.690	6.094	-19.449
5		NUP(i)		62	□□□2□□□3	0.001	-9.064	-25.982	-28.792	-36.810	8.967	5.304	-18.618
		TABL(i)	V(i)	63	-2.□□□□□0.	0.001	-9.570	-24.304	-27.534	-35.982	8.103	4.655	-17.867
		NUP(i)	Q1(i)	64	□□□5	0.001	-9.737	-14.699	-26.442	-34.913	7.070	4.217	-17.212
		TABL(i)		65	0.0	0.001	-9.302	-12.037	-25.377	-33.632	6.189	3.956	-16.629
		NUP(i)	V1(i)	66	□□□5	0.001	-8.214	-10.708	-24.333	-32.159	5.777	0.345	-16.079
		TABL(i)		67	0.0	0.001	-6.680	-10.228	23.413	-30.463	5.706	-1.558	-15.522
6	H		—	68	0.0001	0.001	-5.016	-10.141	-22.617	-28.589	5.735	-3.091	-14.916
	PVH		—	69	0	0.000	-3.803	-10.144	-21.895	-26.637	5.705	-1.908	-14.228
7	TK, VK, XK	—	70	3.0□□□□□0.0	□□□□□1000.	0.000	-3.762	-10.135	-21.158	-24.758	5.574	0.000	-13.442
	HP, HPM, HPSM	—	71	0.01□□□□□□□□	□□□0.1□□□□□□□□	0.000	-3.729	-10.090	-20.380	-23.023	5.359	3.121	-12.567
	KP(i)	—	72	□□□1□□□□3		0.000	-3.703	-10.001	-19.501	-21.527	5.082	6.181	-11.638
	NP(i)	—	73	□□□3□□□□3	□□□4□□□□5	0.000	-3.686	-9.867	-18.543	-20.244	4.757	6.487	-10.713
						0.000	-3.676	-9.695	-17.597	-19.065	4.394	5.048	-9.851
						0.000	-3.687	-9.498	-16.748	-17.887	4.013	1.267	-9.086
						0.000	-3.897	-8.663	0.000	-16.456	3.234	-0.465	-8.412
						0.000	-4.075	-6.797	0.000	-14.585	-0.392	-0.687	-7.767
						0.000	-4.017	-5.425	0.000	-12.811	-9.680	-0.778	-7.069
						0.000	-3.692	-5.145	0.000	0.000	-11.584	6.291	-6.068
						0.000	-3.667	-5.373	0.000	0.000	-9.817	8.195	-3.694
						0.000	-3.648	-5.542	0.000	0.000	-6.835	6.250	-1.075
						0.000	-3.625	-5.482	0.000	0.000	-6.271	5.233	0.000
						0.000	-3.595	-5.291	0.000	0.000	-5.480	0.000	0.000
						0.000	-3.560	-4.981	0.000	0.000	-4.537	-4.198	0.000
						0.000	-3.519	-4.565	0.000	0.000	-3.590	-8.013	0.000
						0.000	-3.470	-3.849	0.000	0.000	0.615	-6.584	0.000
						0.000	-3.412	-2.582	0.000	0.000	5.586	-5.598	7.887
						0.000	-3.340	-1.024	0.000	0.000	7.491	-0.991	11.790
						0.000	-3.252	-0.755	0.000	0.000	5.864	2.758	9.981
						0.000	-3.147	-0.132	0.000	0.000	1.587	7.180	6.591
						0.000	-3.023	0.000	0.000	15.329	-1.584	7.162	5.299
						0.000	-2.881	0.000	0.000	30.994	-5.904	2.951	5.837

Жесткость конструкции вагона составляет $8500 \cdot 10^4$ Н/м, жесткость конструкций подвижной рамы $10000 \cdot 10^4$ Н/м. Зазоры в единициях подвижных рам с вагонами отсутствуют.

Начальные условия следующие: скорость первых двух тел $v_{0i} = -2$ м/с ($i = 1, 2$), скорость трех следующих масс нулевая, т. е. $v_{0i} = 0$ ($i = 3 \dots 5$). Так как при описании работы поглощающих аппаратов учитывается зазор при положительном перемещении, а в данном случае перемещение будет отрицательным, то для того, чтобы проявили себя зазоры, задаются начальные перемещения, равные величине зазора, т. е. $q_{0i} = \delta_{0i} = 0.065$ м ($i = 1, 5$). Шаг интегрирования $h = 0.0001$ с. Число уравнений n_y определяется следующим образом: $2n + 1 + 2n_g + 2n_a$, где n — число вагонов в системе; n_g — число подвижных грузов; n_a — число гидравлических аппаратов.

Таблица 6.10

SMAX	S0	Q	S	V	VIM	V10	S1MAX	S10
0.0000	0.0000	0.8484	0.0000	-0.3387	16.9298	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	-145.5965	-0.0006	-0.1524	-0.4425	13.0885	-10.1291	0.0000	0.0000
0.0000	-112.5614	0.0277	0.0000	-0.8455	3.9124	-19.9218	29.3226	-77.1613
29.5089	-61.8308	0.1013	29.3772	-1.0816	5.1249	-8.4922	14.7484	-28.1819
31.6520	-46.0581	0.1207	31.6520	-1.2525	6.0034	-7.0820	16.9213	-25.5300

для описания работы которых требуется два дифференциальных уравнения. В данном случае $n_y = 2 \cdot 5 + 1 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 6 = 29$. Исходные данные для выдачи результатов, шаг печати результатов и наибольших значений зависят от того, какую информацию желательно получить. Например, в данном случае желательно получить данные о силах, действующих в месте удара и на подвижные грунты.

Числовой материал представлен в табл. 6.8. В табл. 6.9 и 6.10 приведена выходная информация, полученная в результате решения описанной задачи. Информация, приведенная в табл. 6.9, выдается подпрограммой PRINTR через интервалы времени Δt , равные 0,01 с ($n_p = 0,01$), и представляет собой текущие значения сил. Информация, приведенная в табл. 6.10, выдается подпрограммой MAX в момент завершения решения $t_k = 3,0$ с (описание выдаваемой информации см. в п. 2.10). Столбцами расположены массивы, обозначение которых приведено в головке таблиц.

6.4. ТОРМОЖЕНИЕ НАЛИВНЫХ ПОЕЗДОВ

Рассмотрим задачу об экстренном торможении наливного поезда, движущегося по горизонтальному участку пути с начальной скоростью 10 км/ч. Для определения продольных сил, действующих на цистерну при переходных режимах, ее представляют [7, 31, 35] в виде двух тел, между которыми происходит связь через упруговязкий элемент. В связи с такой моделью расчет производится по программе, имеющей шифр T20122.

Пусть наливной поезд состоит из двух локомотивов массой 18,3 · 10 т каждый, расположенных в голове состава, и 60 вагонов миосных цистерн массой 18,4 · 10 т, оборудованных поглощающими аппаратами Ш-2-В. В соответствии с работой [7] массы вагонов $m_i = 9,2 \cdot 10$ т, а массы подвижных грузов $m_{1i} = 9,2 \cdot 10$ т. Длина локомотивов и цистерн 21 и 12 м. Параметры междувагонного соединения в соответствии с опытными данными следующие: жесткость при нагрузке $k_{hi} = 2600 \cdot 10^4$ Н/м, при разгрузке $k_{pi} = (1 - \eta_i) k_{hi}$, причем $\eta_i = 0,9$; коэффициент вязкости $\beta_i = 50 \cdot 10^4$ Н · с/м, сила начальной затяжки $S_{0i} = 20 \cdot 10^4$ Н, наибольший ход $\Delta = 0,18$ м. Параметры соединений «вагон – подвижной груз» следующие: жесткость $k_{1i} = 13,3 \cdot 10^4$ Н/м, коэффициент вязкости $\beta_{1i} = 0,221 \cdot 10^4$ Н · с/м.

Идентификатор переменной	Формируемый массив	№ перфокарты	Содержание перфокарты	Имя подпрограммы (имя модификации)
KOLV	—	1	ЦЦЦ1	MAIN
N0, N	—	2	ЦЦ62ЦЦ62	
NUP(i)	M0(i)	3	ЦЦЦ2ЦЦЦ60	PARVAG
TABL(i)	—	4	18.3ЦЦЦ9.2	
NUP(i)	LB0(i)	5	ЦЦ62	
TABL(i)	—	6	21.12	
NUP(i)	K(i)	7	ЦЦ62	
TABL(i)	—	8	2600.	
NUP(i)	D(i)	9	ЦЦ62	
TABL(i)	—	10	0.065	
NUP(i)	BETA(i)	11	ЦЦ62	
TABL(i)	—	12	50.	
NUP(i)	HETA(i)	13	ЦЦ62	
TABL(i)	—	14	0.1	
NUP(i)	KK(i)	15	ЦЦ62	
TABL(i)	—	16	8500.0	
NUP(i)	SM(i)	17	ЦЦ62	
TABL(i)	—	18	364	
NUP(i)	DM(i)	19	ЦЦ62	
TABL(i)	—	20	0.18	
NUP(i)	K1(i)	21	ЦЦ62	
TABL(i)	—	22	0.0	
NUP(i)	D2(i)	23	ЦЦ62	
TABL(i)	—	24	0.0	
NUP(i)	BETA1(i)	25	ЦЦЦ2ЦЦ60	
TABL(i)	—	26	0.0ЦЦЦЦ0.221	
NUP(i)	HETA1(i)	27	ЦЦ62	
TABL(i)	—	28	0.0	
NUP(i)	KK1(i)	29	ЦЦЦ2ЦЦ60	
TABL(i)	—	30	0.0ЦЦЦЦ13.3	
NUP(i)	SM1(i)	31	ЦЦ62	
TABL(i)	—	32	0.0	
NUP(i)	DM1(i)	33	ЦЦ62	
TABL(i)	—	34	0.0	

Продолжение табл. 6.11

Окончание табл. 6.11

1	2	3	4	5	6
3	NUP(<i>i</i>)	M1(<i>i</i>)	35	□□□2□□60	
	TABL(<i>i</i>)		36	0.0□□□□9.2	
C1, C2, C3, C4, C5, CT, COT	—	37	0.055□□□20. □□□□□5. □□□□□41.7 □□□□20.85□□□240. □□□□70		
4, г	NL, NL1	—	38	□□□1□□62	
	NUP(<i>i</i>)	F01(<i>i</i>)	39	□□62	
	TABL(<i>i</i>)		40	1.6	
	NUP(<i>i</i>)		41	□□□2□□□2 □□□2□□□2 □□□2□□□2 □□□2□□□2 □□□2□□□2 □□□2□□□2 □□□2□□□2 □□□2□□□2 □□□2□□□30	
	TABL(<i>i</i>)	GAMMA1(<i>i</i>)	42	-0.4□□□ -0.389 □□ -0.378□□ -0.367 □□ -0.356□□ -0.345 □□ -0.334□□ -0.323 □□ -0.312□□ -0.301	
	TABL(<i>i</i>)		43	-0.29□□ -0.279 □□ -0.268□□ -0.287 □□ -0.246□□ -0.235 □□ -0.23	
	NUP(<i>i</i>)	OTP(<i>i</i>)	44	□□62	
	TABL(<i>i</i>)		45	1.2 (значение безразлично)	
	NUP(<i>i</i>)	CK(<i>i</i>)	46	□□62	
	TABL(<i>i</i>)		47	16.	
	VOT	—	48	-0.5	VNESH (VNEM)
4, д	W0, A0, W01, A11, A22	—	49	Чистая перфокарта	
	NUP(<i>i</i>)	W(<i>i</i>)	50	□□62	SOPR
	TABL(<i>i</i>)		51	0.0	
	NUP(<i>i</i>)	MPT(<i>i</i>)	52	□□62	
	TABL(<i>i</i>)		53	0.0	
	NUP(<i>i</i>)	Q(<i>i</i>)	54	□□62	
	TABL(<i>i</i>)		55	0.065	
	NUP(<i>i</i>)	V(<i>i</i>)	56	□□62	
5	TABL(<i>i</i>)		57	2.8	VVONU (VVONU)
	NUP(<i>i</i>)	Q1(<i>i</i>)	58	□□62	
	TABL(<i>i</i>)		59	0.0	

2	3	4	5	6
NUP(<i>i</i>)	V1(<i>i</i>)	60	□□62	
TABL(<i>i</i>)		61	2.8	
H	—	62	0.01	INTEGR
PVH	—	63	0.0	
TK, VK, XK	—	64	1000.□□□0.0 □□□□□10000.	MAIN
HP, HPM, HPSM	—	65	0.5□□□□□□□□□ □□□9.0□□□□□□□ □□□□□□□□□10	PRINTR (PRINTR2)
KP(<i>i</i>)	—	66	Чистая перфокарта	
KP(<i>i</i>)	—	67	То же	

Для реализации упруговязкой характеристики используется модификация AMORTOR2. При этом необходимо задать жесткость при нагружении k_{h1i} , силу начальной затяжки S_{01i} , ход аппарата Δ_{1i} равными нулю, жесткость конструкции k_{k1i} и величину β_{1i} равными соответственно $13,3 \cdot 10^4$ Н/м и $0,221 \cdot 10^4$ Н·с/м. Торможение производится только пневматическими тормозами. Колодки композиционные. При вычислении тормозной силы предполагается, что сила нажатия возрастает от нуля до наибольшего значения по экспоненциальному закону (модификация TORM2).

Жесткость конструкции рамы цистерны равна $8500 \cdot 10^4$ Н/м, зазоры в межвагонных соединениях $\delta_{0i} = 0,065$ м, а в соединениях «вагон – подвижной груз» зазоров нет.

Для обострения переходного процесса предполагается, что поезд предварительно растянут, т.е. все значения $q_{0i} = 0,065$ м.

Числовой материал представлен в табл. 6.11. Номера групп исходной информации имеют тот же смысл, что и ранее.

Для контроля полученного решения в табл. 6.12 приведена информация, выдаваемая подпрограммой MAX в момент завершения решения ($v_1 = 0$). Столбцами напечатаны массивы, обозначения которых приведены в головке таблицы.

6.5. АВАРИЙНОЕ СОУДАРЕНИЕ СЦЕПОВ

При соударении вагонов со скоростями, превышающими допустимые, могут возникнуть пластические деформации конструкции. Поэтому исследование сил при таких соударениях следует проводить с использованием модификации APPARAT5 подпрограммы VILA, которая позволяет определить остаточные деформации в учете их влияние на силы, возникающие в автосцепках в процессе удара. При расчете принимается, что в соединениях вагонов элек-

Таблица 6.12

SMAX	S0	Q	S	V	V1M	V10	SIMAX	S10
0.0	0.0	-19.2987	0.0	0.0074	2.1410	-0.5026	0.0	0.0
3.3716	-46.4548	-0.0004	-3.2083	0.0056	1.5035	-1.1352	0.0	0.0
3.4530	-37.4068	-0.0008	-6.9105	0.0047	2.2705	-2.9368	1.6891	-5.0178
3.7468	-35.9838	-0.0021	-8.4537	0.0042	3.1332	-2.8362	0.9202	-4.5050
0.3498	-39.1963	-0.0027	-9.5612	0.0040	2.5884	-3.3824	0.6233	-4.3984
0.0	-38.0420	-0.0036	-10.4721	0.0042	1.0411	-1.2141	0.4550	-4.1157
0.6437	-37.4035	-0.0036	-11.5177	0.0046	1.0330	-2.8208	0.4529	-4.0284
0.0	-42.3226	-0.0050	-12.8409	0.0044	1.4409	-1.9402	0.2968	-4.0218
0.9361	-48.1207	-0.0062	-14.4414	0.0021	1.1333	-1.9167	0.3515	-4.0363
0.0	-54.6973	-0.0071	-16.8282	0.0071	1.4203	-3.7749	0.2281	-4.0827
0.6286	-60.4209	-0.0082	-19.6736	0.0099	2.8943	-3.4817	0.2953	-4.3509
0.0	-65.5517	-0.0093	-22.2191	0.0044	1.0539	-3.5492	0.1732	-4.3732
0.0	-71.5269	-0.0101	-24.0327	0.0058	3.0840	-3.2819	0.2596	-4.6085
0.0	-76.4908	-0.0115	-27.3020	0.0041	1.1641	-4.3502	0.1562	-4.6381
0.0	-81.7313	-0.0128	-30.2234	0.0021	3.6166	-3.8733	0.2663	-4.8633
0.0	-86.9796	-0.0148	-36.6991	0.0083	1.8901	-5.0812	0.1787	-4.8975
0.0	-92.5952	-0.0159	-37.6138	0.0091	3.2809	-4.4115	0.3019	-5.1367
0.0	-97.8792	-0.0172	-40.7498	0.0094	1.8084	-5.4222	0.2361	-5.1555
0.0	-103.0445	-0.0182	-42.6123	0.0013	4.0590	-5.0681	0.3776	-5.3990
0.0	-108.1073	-0.0189	-45.4082	0.0089	2.1346	-6.3527	0.3422	-5.4176
0.0	-112.4570	-0.0192	-45.1235	0.0022	4.2668	-5.9161	0.4937	-5.6472

Между $i = 21$ и $i = 38$ приведенные величины изменяются равномерно

0.0	-185.3118	-0.0152	-36.2383	0.0060	5.2158	-9.8405	0.0	-7.2458
0.0	-189.1760	-0.0152	-35.9030	-0.0005	5.2350	-9.9094	0.0	-7.2771
0.0	-192.2134	-0.0153	-36.4000	0.0061	5.3126	-10.0067	0.0	-7.3107
0.0	-194.1444	-0.0157	-37.5523	0.0005	5.4405	-10.1288	0.0	-7.3407
0.0	-195.0799	-0.0163	-39.1107	0.0015	5.5155	-10.2679	0.0	-7.3759
0.0	-194.3588	-0.0173	-41.6385	0.0026	5.7133	-10.3910	0.0	-7.4231
0.0	-191.6423	-0.0187	-44.1264	0.0010	5.9188	-10.5578	0.0	-7.4628
0.0	-187.7430	-0.0207	-49.1665	0.0007	5.8431	-10.7407	0.2964	-7.5017
0.0	-182.8907	-0.0228	-53.8787	0.0000	5.3705	-10.7226	0.9817	-7.5540
0.0	-176.5772	-0.0254	-59.8126	-0.0013	5.4379	-10.3190	1.6747	-7.6125
0.0	-168.6890	-0.0247	-57.6906	-0.0537	5.5593	-10.4352	2.3070	-7.6565
0.0	-159.6877	-0.0208	-46.9808	-0.0893	5.8322	-10.6287	2.8506	-7.7135
0.0	-149.4703	-0.0171	-39.9160	-0.1173	5.2037	-10.8468	3.3217	-7.7808
0.0	-144.3342	-0.0142	-30.2682	-0.1782	5.2909	-10.2820	3.7539	-8.1669
0.0	-138.1131	-0.0119	-26.4280	-0.2071	5.3769	-10.4312	4.1915	-8.7714
0.0	-131.6529	-0.0091	-21.3152	-0.2336	5.7481	-10.6758	4.6192	-9.3733
0.0	-123.4188	-0.0065	-13.6274	-0.2669	5.1479	-10.9902	5.0508	-9.9867

Для $i = 55 \div 62$ результаты не приводятся.

тропоезда зазоры отсутствуют, а соударение поездов происходит на выбеге со скоростью 20 км/ч (5,6 м/с), на горизонтальном участке пути сопротивление движению не принимается во внимание.

В соответствии с условиями задачи расчет следует проводить по программе с шифром V00502.

Рассмотрим в качестве примера аварийное соударение двух одинаковых электропоездов [7, 34], каждый из которых состоит из восьми вагонов массой $7,8 \cdot 10^3$ т каждый, оборудованных поглощающими аппаратами типа ЦНИИ-Н-6 с ходом $\Delta = 0,07$ м, жест-

Таблица 6.13

№ инфор- мацион- ной группы	Идентифи- катор перемен- ной	Форми- руемый массив	№ перфо- карты	Содержание перфокарты	Имя подпро- граммы (имя модифи- кации)
1	2	3	4	5	6
7	KOLV	—	1	□□□1	MAIN
	N0, N	—	2	□□16□□16	
1	NUP(i)	M0(i)	3	□□16	PARVAG
	TABL(i)	—	4	7.8	
	NUP(i)	LB0(i)	5	□□16	
	TABL(i)	—	6	13.0	
	NUP(i)	—	7	□□16	
2	TABL(i)	K(i)	8	400.	SILA (APPARATS)
	NUP(i)	—	9	□□16	
	TABL(i)	D(i)	10	0.0	
	NUP(i)	—	11	□□16	
	TABL(i)	BETA(i)	12	0.0	
	NUP(i)	—	13	□□16	
	TABL(i)	HETA(i)	14	0.5	
	NUP(i)	—	15	□□16	
	TABL(i)	KK(i)	16	14000.	
	NUP(i)	—	17	□□16	
	TABL(i)	SM(i)	18	0.0	
3	NUP(i)	—	19	□□16	
	TABL(i)	DM(i)	20	0.14	
	NUP(i)	—	21	□□16	
	TABL(i)	KP(i)	22	600.	
	NUP(i)	—	23	□□16	
	TABL(i)	DEP(i)	24	250.	
	NUP(i)	—	25	□□16	
	TABL(i)	DST(i)	26	0.0	

1	2	3	4	5	6
	W0, A0, W01, A11, A22	27	Чистая перфокарта		
4, д	NUP(i)	28	□□16		SOPR
	TABL(i)	29	0.0		
	NUP(i)	30	□□16		VVONU
5	TABL(i)	31	0.0		(VVONU1)
	NUP(i)	32	□□□8□□□8		
	TABL(i)	33	2.8□□□□□2.8		
6	H	34	0.005		INTEGR
	PVH	35	0.0		
	TK, VK, XK	36	9.0□□□□□0.0 □□□□□□□1000.		
7	HP, HPM, HPSM	37	0.01□□□□□□□□ □□□1.0□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□3.0		MAIN
	KP(i)	38	□□□0□□□0□□□□□□□8 □□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□8		
8	KP(i)	39	□□□0□□□8		PRINTR (PRINTR2)
	NP(i)	40	□□□9□□10□□11 □□12□□13□□14 □□15□□16□□9 □□10□□11□□12 □□13□□14□□15 □□16□□9□□10□□11□□12		
	NP(i)	41	□□13□□14□□15 □□16		

костью при нагружении одного аппарата $k_{\text{н1}} = 800 \cdot 10^4$ Н/м и коэффициентом необратимого поглощения энергии $\eta = 0,5$. Предполагается, что продольная жесткость k_k конструкции вагона составляет $14000 \cdot 10^4$ Н/м, жесткость упругопластического деформирования кузова в продольном направлении при деформациях, превышающих предел текучести, равна $600 \cdot 10^4$ Н/м, а деформации, соответствующие пределу текучести в предварительно недеформированном кузове, имеют место при продольной силе в автосцепке, равной $250 \cdot 10^4$ Н.

Число дифференциальных уравнений интегрируемой системы составляет 33. На основании имеющегося опыта шаг интегрирования выбран равным 0,005 с.

При исследовании аварийных режимов представляет интерес процесс накопления остаточных деформаций. Поэтому для вывода

Таблица 6.14

SMAX	S0	Q	S	V	V1M	V10
0.0000	0.0000	0.3648	0.0000	0.7508	32.4568	-32.2996
277.7769	-279.1282	0.1393	150.2592	-1.0764	64.2484	-63.5478
300.8264	-305.2732	-0.0860	-177.6141	0.9853	65.0002	-63.4621
291.8926	-292.8823	0.1418	161.1664	-1.2844	66.2115	-66.2830
296.9338	-304.3979	-0.0800	-168.6901	1.1276	66.3336	-65.5919
277.1414	-292.9575	-0.0260	-75.7039	-0.9587	66.8392	-64.3846
277.1680	-359.7334	0.0586	183.1765	1.9018	63.9768	-69.0793
279.2830	-292.4961	0.0820	13.4168	-2.1410	65.0814	-65.2657
295.5576	-286.2268	-0.0847	-123.7655	2.1410	65.2657	-65.0814
279.2830	-292.4961	0.0820	13.4168	-1.9018	69.0793	-63.9768
277.1680	-359.7334	0.0586	183.1765	0.9587	64.3836	-62.8392
277.1414	-292.9575	-0.0260	-75.7039	-1.1276	65.5919	-66.3336
296.9338	-304.3979	-0.0800	-168.6901	1.2844	66.2830	-66.2115
291.8926	-292.8823	0.1418	161.1664	-0.9853	63.4621	-65.0002
300.8264	-305.2732	-0.0860	-177.6141	1.0764	65.5478	-64.2484
277.7769	-279.1282	0.1393	150.2592	-0.7508	32.2996	-32.4568

на печать с помощью подпрограммы PRINTR (модификация PRINTR2) значения остаточных деформаций присваиваются переменным QA1. Следовательно, для выдачи остаточных деформаций на печать необходимо задать элементы массива KP таким образом, чтобы выдавались элементы массива QA1(I) (т.е. KP(4) = n_p , где n_p – количество междувагонных соединений, остаточные деформации которых должны быть выданы на печать). В рассматриваемом случае $n_p = 8$. В табл. 6.13 приведен числовой материал для проведения расчета в рассматриваемом примере. В табл. 6.14 приведены наибольшие силы (и ускорения), выдаваемые подпрограммой MAX в момент завершения решения ($t_k = 9$ с). Столбцами напечатаны массивы, обозначения которых указаны в головке таблицы.

Глава 7. ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЕЗДА

7.1. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ. БЛОК-СХЕМА МОДЕЛИ

Возможности современных цифровых вычислительных машин позволяют решить любую задачу динамики поезда. Но, как правило, затраты времени на получение численных значений интересующих исследователя величин существенно превышают длительность

рассматриваемых колебаний поезда. В связи с этим нельзя использовать моделирующие движение поезда цифровые вычислительные машины в комплексе со стендами при изучении во время лабораторных испытаний работоспособности и надежности оборудования вагонов и в целом подвижного состава. Более того, при использовании в системе управления движением поезда информации о его состоянии необходимо, чтобы вычислительные устройства могли работать в ускоренном масштабе времени с тем, чтобы до выработки решения иметь сведения о возможном поведении поезда. На данном этапе развития вычислительной техники для выработки подобного решения могут быть эффективно применены аналоговые вычислительные устройства или цифроаналоговые дифференциальные анализаторы, построенные по принципу аналоговых вычислительных машин, но с применением цифровых счетно-решающих элементов [45]. Специализированное устройство, использующее для моделирования движения поезда аналоговые элементы, будем далее называть электронной моделью поезда.

Для построения электронной модели поезда можно воспользоваться уравнениями движения, представленными выражениями (2.3) или (2.4)–(2.12), если учитывается подвижность груза. Далее мы рассмотрим в основном построение электронной модели поезда без учета подвижности грузов, а затем рассмотрим, какими дополнительными устройствами можно моделировать движение груза.

В связи с тем что при электронном моделировании переменными являются электрические напряжения (или токи) с ограниченными пределами изменения, необходимо ввести масштабы и перейти от дифференциальных уравнений движения поезда к дифференциальным уравнениям изменения напряжений – аналогов различных кинематических и динамических переменных, характеризующих состояние поезда и силы, действующие в автосцепках вагонов. Чтобы не вводить дополнительные обозначения, будем отличать машинные переменные от физических чертой над символом. Масштабирование необходимо и при использовании цифровых дифференциальных анализаторов, так как их построение наиболее упрощено, если применяются цифровые счетно-решающие устройства с фиксированной запятой. Пусть

$$\begin{aligned} N_q &= q/\bar{q}, \quad N_v = v/\bar{v}, \quad N_S = S/\bar{S}, \quad N_F = F/\bar{F}, \quad N_0 = t/\bar{t} - \\ &\text{масштабные коэффициенты преобразования относительных перемещений центров масс вагонов, их скоростей движения, сил в автосцепках, внешних сил и времени. Тогда исходя из уравнений (2.3) получим:} \\ \dot{\bar{q}}_i &= B_i[\bar{S}_i - \bar{S}_{i+1} + a\bar{F}_i(\bar{t})], \quad i = \overline{1, n}; \\ \dot{\bar{q}}_i &= A(\bar{v}_{i-1} - \bar{v}_i), \quad i = \overline{2, n}, \quad \dot{\bar{q}}_1 = A_1\bar{v}_1, \end{aligned} \quad (7.1)$$

где $\dot{\bar{q}}_1$ – аналог пути, пройденного первым телом моделирующей механической системы;

$$\left. \begin{aligned} A = N_0 N_v N_q^{-1}; \quad B_i = N_0 N_S / N_v m_i; \quad a = N_F / N_S; \\ A_1 = N_0 N_v / N_{q1}; \quad \bar{S}_1 = \bar{S}_{n+1} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (7.2)$$

Начальным значениям v_i и q_i соответствуют начальные значения переменных \bar{v}_i и \bar{q}_i , а переменные S_i и F_i являются результатом масштабных преобразований аргументов и заданных функций $S_i(q_i, \dot{q}_i)$ и $F_i(t, v_i)$.

Один из вариантов электронной модели поезда приведен на рис. 7.1. Здесь сверху показана расчетная схема объединенного поезда, состоящего из головного ГЛ, вспомогательного ВЛ локомотивов и вагонов В, и соответствующая ей схема электронной модели.

На электронной схеме треугольниками обозначены интегрирующие, суммирующие и инвертирующие счетно-решающие устройства, а прямоугольниками – устройства, выполняющие указанную в них операцию.

На рис. 7.1 Φ – функциональный преобразователь, моделирующий зависимость тока возбуждения I_B тягового двигателя от магнитного потока Φ , БП – блок произведения, K и A_i – постоянные множители, значком $>$ отмечен операционный усилитель.

Штрихпунктирными линиями выделена часть схемы, моделирующая переходные процессы в цепи тягового двигателя вспомогательного локомотива в соответствии с уравнениями [7]:

$$A\dot{\Phi} + Bv\Phi + CI_B(\Phi) = cU_{kc}; \quad (7.3)$$

$$I_a = (1 + \rho_2) I_B(\Phi) + \rho_3 \dot{\Phi}; \quad (7.4)$$

$$F_k = k\bar{m}\Phi I_a; \quad (7.5)$$

$$\left. \begin{aligned} A = k_1 + \rho_1 k_2 + cd\rho_3 R_p; \quad B = 20\mu/D_6; \\ C = r + \rho_1 r_{tp} + cd(1 + \rho_2) R_p; \quad k_1 = 2,7\rho\sigma w_B \cdot 10^{-8}; \\ r = r_a + r_{dp} + r_{tp}; \quad k_2 = 2\rho\sigma w_B \cdot 10^{-8}; \\ \rho_1 = (r_a + r_{dp})/R_w; \quad \rho_2 = r_{tp}/R_w; \quad \rho_3 = k_2/R_w, \end{aligned} \right\} \quad (7.6)$$

где I_a и r_a – ток через якорь тягового двигателя и сопротивление его цепи, U_{kc} – напряжение в контактной сети, r_{dp} – сопротивление обмоток дополнительных полюсов, r_{tp} – сопротивление обмоток главных полюсов, R_w – сопротивление шунта, c и d – параметры, зависящие от схемы соединения тяговых двигателей. Установливая соответствие значений ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , c , d , R_p , R_w номерам позиций контроллера, можно решить уравнение (7.3) и определить с помощью выражений (7.4) и (7.5) силу тяги при любой позиции контроллера. Если в уравнении (7.3) положить $U_{kc} = 0$, то при $v \neq 0$ с помощью уравнений (7.3)–(7.5) можно определить силу, развиваемую локомотивом при электрическом торможении.

Приведенная на рис. 7.1 схема включает в себя элементы одного из вариантов реальной системы автоматического управления (САУ) вспомогательным локомотивом, работоспособность которой изучалась нами в лабораторных условиях с помощью электронной модели поезда и в полевых условиях – на вспомогательном локомотиве объединенного поезда.

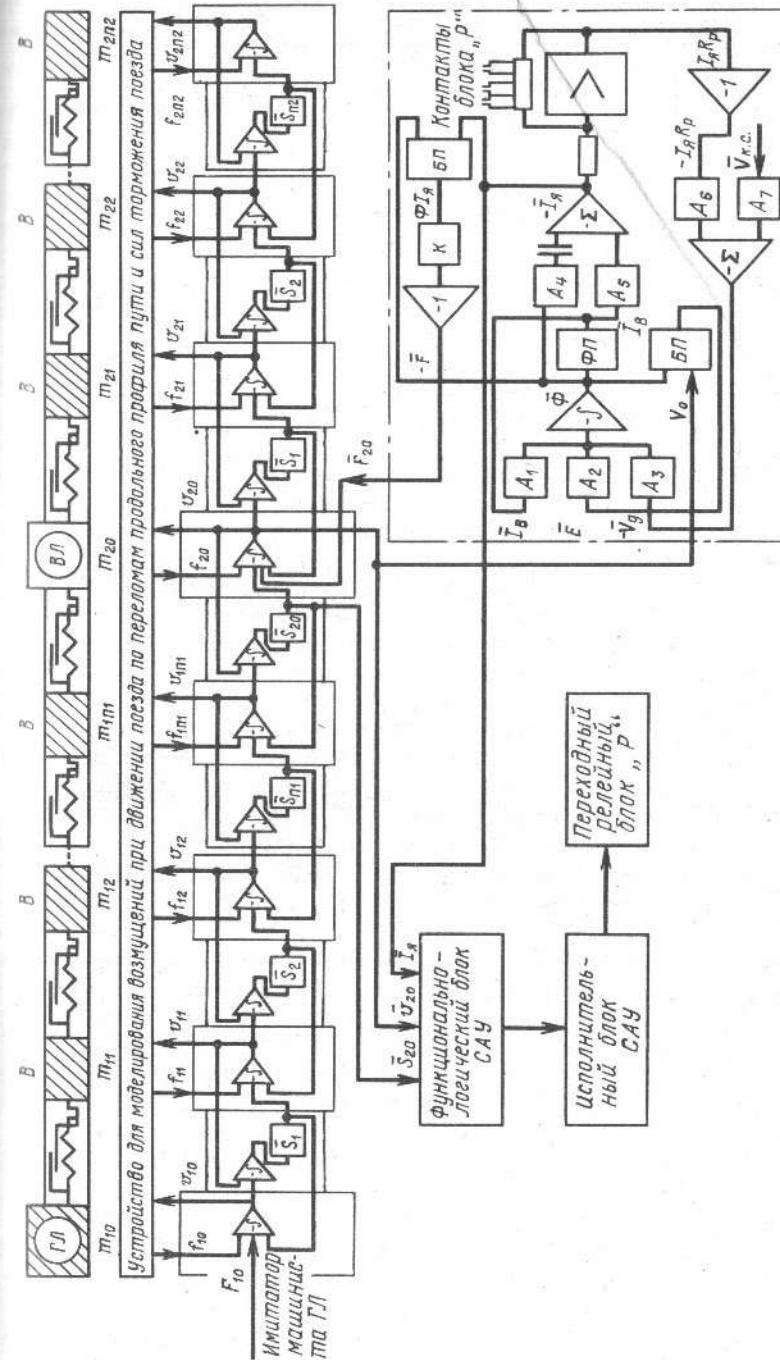


Рис. 7.1. Схема электронной модели объединенного поезда



Рис. 7.2. Элементы схемы, добавляемые к электронной модели поезда для моделирования переходных режимов движения наливных поездов

Прямоугольником S показано устройство, вырабатывающее напряжение — аналог внешних сил, действующих на экипажи при торможениях и на уклонах. Силы сопротивления на этой схеме не показаны. Способ моделирования и подключения их будет описан позже.

Прямоугольником, отмеченным буквой S , показан элемент, моделирующий работу соединения вагонов.

Особенностью моделирования с помощью аналоговых счетно-решающих устройств является то, что в связи с использованием операционных усилителей постоянного тока с отрицательной обратной связью знаки машинных переменных, относящихся к разным вагонам, чередуются, что позволяет значительно уменьшить объем используемого оборудования.

В тех случаях, когда моделируются переходные режимы движения поездов с подвижными относительно вагонов грузами, схема, приведенная на рис. 7.1, дополняется в соответствии с уравнениями (2.4), (2.5) и (2.8) цепями, которые показаны на рис. 7.2, а. Здесь штрихпунктирными линиями выделена часть схемы, показанная на рис. 7.1 и моделирующая изменение скорости v_i вагона с номером i ; \bar{v}_{1i} — напряжение-аналог скорости v_{1i} движения груза в вагоне; F_{1i} — внешняя сила, действующая на этот груз; S_{1i} — напряжение-аналог силы взаимодействия груза с кузовом вагона при его перемещениях q_{1i} относительно кузова. Прямоугольником с обозначением S_{1i} показано устройство, формирующее напряжение-аналог силы взаимодействия вагона с грузом. При моделировании переходных режимов движения наливных поездов силу взаимодействия можно вычислить в соответствии с выражением

$$S_{1i} = k_{1i} q_{1i} + \beta_{1i} \dot{q}_{1i}, \quad (7.7)$$

если представить движение вязкой жидкости дискретным аналогом [7, 31, 35], соответствующим первой форме ее колебаний в неподвижной цистерне. Схема, реализующая зависимость (7.7), показана на рис. 7.2, б. При этом машинные значения коэффициентов и их связь с элементами схемы R_1 , R_0 , C определяются соотношениями:

$$\bar{k}_{1i} = \frac{N_q}{N_S} k_{1i} = \frac{R_0}{R}; \quad \bar{\beta}_{1i} = \frac{N_q}{N_0 N_S} \beta_{1i} = R_0 C. \quad (7.8)$$

Из данных рис. 7.1 и 7.2 следует, что для моделирования движения поезда, состоящего из n вагонов, в части которых n_1 перевозятся подвижные грузы, необходимо по крайней мере $3(n + n_1)$ операторов

ционных усилителей с соответствующими им электрическими цепями (содержащими резисторы, конденсаторы, диоды), источниками опорного напряжения и источниками питания. При больших значениях n и объеме оборудования становится чрезмерно велик и в этих случаях приходится моделировать не сам поезд, а его «укороченную» механическую модель. Опыт моделирования показал, что при определении наибольших уровней сил, возникающих в автосцепке при переходных режимах движения, можно ограничиться механической системой, состоящей из 16 твердых тел. При этом масса каждого тела равна \bar{n} массам вагонов, масса тела, моделирующего локомотив, увеличивается в \bar{n} раз, коэффициенты жесткости междувагонных соединений уменьшаются, а зазоры в соединениях увеличиваются в \bar{n} раз.

В тех случаях, когда рассматриваются статистически неоднородные по массе поезда при построении «укороченной» механической системы, сначала формируется набор величин масс вагонов в соответствии с известными распределениями их и порядком вагонов в поезде, а затем суммируются массы всех вагонов, входящих в группу, заменяемую одним телом.

7.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ СИЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

7.2.1. Соединение, оснащенное фрикционными поглощающими аппаратами

Обычно при исследованиях переходных режимов движения грузовых поездов, вагоны которых оборудованы современными фрикционными поглощающими аппаратами, моделируется так называемая «интегральная» силовая характеристика соединений [7, 29, 50], отражающая свойства их совокупности. При этом предполагается, что сила S на каждом этапе работы соединения линейно зависит от его деформации. Такая кусочно-линеаризованная силовая характеристика показана на рис. 7.3, а, на котором черта над символом указывает, что речь идет о машинных переменных и параметрах. Одна из возможных схем счетно-решающих устройств, реализующих эту зависимость, приведена на рис. 7.3, б [39]. Рассмотрим работу устройства.

Пусть на вход устройства подается переменное напряжение \bar{q} (аналог деформации соединения), положительное и нарастающее в течение некоторого промежутка времени, а на контакты a и b поданы постоянные напряжения — соответственно $-\bar{d}$ и 0 (или 0 и \bar{d}) в тех случаях, когда на вход устройства подается инвертированная переменная \bar{q} , т. е. $-\bar{q}$. До тех пор, пока $\bar{q} \leq \bar{d}$, диод $D1$ закрыт и потенциал контакта a , являющегося входом делителя напряжения $D1$, равен нулю, т. е. изменение напряжения \bar{q} в этих пределах не

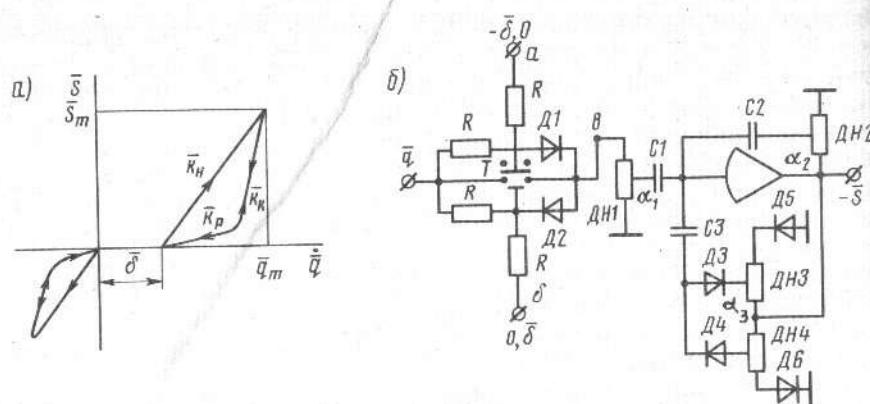


Рис. 7.3. Схема электронной модели, воспроизводящей силовую характеристику соединения вагонов с фрикционными поглощающими аппаратами

приведет к изменению напряжения $-\bar{S}$ на выходе устройства. Следовательно, напряжение $-\bar{\delta}$ должно быть величиной, соответствующей с масштабом N_q зазору $\bar{\delta}$ в соединении. Как только начнет выполняться условие $\bar{q} > \bar{\delta}$, откроется диод $D1$ и в точке v появится потенциал

$$U_v = \frac{R_D}{2R_D + R} (\bar{q} - \bar{\delta}) \quad (7.9)$$

и конденсатор $C1$, соединяющий выход делителя напряжения $DH1$ с суммирующей точкой операционного усилителя, начнет заряжаться до напряжения

$$U_{C1} = \frac{\alpha_1 R_D}{2R_D + R} (\bar{q} - \bar{\delta}). \quad (7.10)$$

В выражениях (7.9) и (7.10) R_D – величина сопротивления делителей напряжения DH , α_1 – коэффициент передачи делителя $DH1$ ($0 \leq \alpha_1 \leq 1$).

Одновременно с зарядом конденсатора $C1$ до напряжения U_{C1} заряжаются конденсаторы $C2$ (через делитель $DH2$ с коэффициентом деления α_2) до напряжения

$$U_{C2} = -\alpha_2 \bar{S} \quad (7.11)$$

и $C3$ (через делитель $DH3$ с коэффициентом деления α_3 и диод $D3$) до напряжения

$$U_{C3} = -\alpha_3 \bar{S}. \quad (7.12)$$

При этом в соответствии со свойствами операционных усилителей с отрицательной обратной связью и теорией счетно-решающих устройств, построенных на их основе [24],

$$I_{C1} = I_{C2} \pm I_{C3}, \quad (7.13)$$

где I_{C1} , I_{C2} и I_{C3} – токи заряда конденсаторов $C1$, $C2$ и $C3$.

Так как $I_{Ci} = U_{Ci} p C_i$, где U_{Ci} – падение напряжения на конденсаторе C_i с емкостью C_i (i – номер конденсатора; p – оператор Лапласа), то на основании выражений (7.10) – (7.13), принимая во внимание графическую зависимость $S(\bar{q}, \bar{q})$, приведенную на рис. 7.3, а, получим при $\bar{q} > \bar{\delta}$

$$\bar{S} = -\bar{k}_h (\bar{q} - \bar{\delta}); \quad \bar{k}_h = \frac{R_D}{2R_D + R} \frac{\alpha_1 C_1}{\alpha_2 C_2 + \alpha_3 C_3}. \quad (7.14)$$

Как только в процессе колебаний начинается разгрузка и напряжение \bar{q} начинает уменьшаться (от значения \bar{q}_m), начнет уменьшаться (от значения \bar{S}_m) по модулю напряжение на выходе устройства. При этом потенциал на катоде диода $D3$ окажется выше потенциала на его аноде и конденсатор $C3$ не сможет разряжаться, т.е. $\alpha_3 = 0$, и в цепях обратной связи будет иметь место только ток смещения через конденсатор $C2$. В этом случае

$$I_{C1} = I_{C2} \quad (7.15)$$

и в соответствии с рис. 7.3, а и выражениями (7.10) и (7.11)

$$\bar{S} = -[\bar{S}_m - \bar{k}_k (\bar{q}_m - \bar{q})]; \quad k_k = \frac{R_D}{2R_D + R} \frac{\alpha_1 C_1}{\alpha_2 C_2}. \quad (7.16)$$

Диод $D6$ на рассматриваемом этапе заперт, так как напряжение $\bar{S} < 0$. Поэтому потенциал анода диода $D4$ равен $-\bar{S}$. Как только начнет выполняться условие $\bar{S} \geq U_{C3}$, начнет разряжаться конденсатор $C3$ через диод $D4$ и делитель $DH4$ с коэффициентом передачи на данном этапе $\alpha_3 = 1$ (так как диод $D6$ заперт). При этом в соответствии с рис. 7.3, а

$$\bar{S} = -\bar{k}_p (\bar{q} - \bar{\delta}); \quad \bar{k}_p = \frac{R_D}{2R_D + R} \frac{\alpha_1 C_1}{\alpha_2 C_2 + C_3}. \quad (7.17)$$

Аналогично происходит процесс и при $\bar{q} < 0$, но в этом случае токи текут через другие диоды и $\bar{S} > 0$.

Если при исследованиях зазоры в соединениях во внимание не принимаются, тумблером T шунтируется входная диодная ячейка. В этом случае установку коэффициента α_1 необходимо осуществлять, учитывая, что множитель $R_D/(2R_D + R)$ отсутствует.

На рис. 7.4, а приведена блок-схема устройства, предназначенного для моделирования работы соединений вагонов и деформаций их кузовов в случаях, когда поглощающие аппараты закрываются и деформируются только конструкции кузовов вагонов сперва упруго, а затем упругопластически с упрочнением. Графическая зависимость $\bar{S}(\bar{q}, \bar{q})$ в этом случае представлена на рис. 7.4, б. Для сокращения схемы в этом случае входная диодная ячейка, моделирующая зазор в соединении и показанная на рис. 7.3, б, опущена, а на графике рис. 7.4, б не показан участок $\bar{\delta}$.

Схема устройства, приведенная на рис. 7.4, а, отличается от схемы устройства, приведенной на рис. 7.3, б, дополнительной

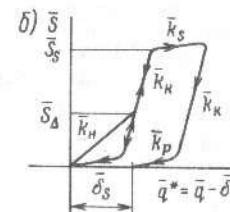
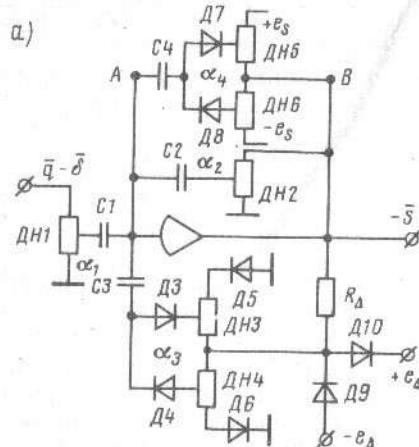


Рис. 7.4. Схема электронной модели, воспроизводящей силовую характеристику соединения вагонов с фрикционными поглощающими аппаратами в случае, когда учитывается их закрытие и упругопластические деформации кузова

цепью AB с опорными напряжениями $\pm e_s$, резистором R_Δ с диодами $D9$, $D10$ и опорными напряжениями $\pm e_\Delta$. На участке силовой характеристики, соответствующем $|S| < \bar{S}_\Delta$, описываемое устройство работает так же, как устройство, схема которого показана на рис. 7.3, б. Некоторое отличие заключается в том, что введен дополнительный резистор R_Δ . Вследствие этого при расчетах величины \bar{k}_h в выражении (7.14) следует вместо коэффициента α_3 подставить коэффициент $\alpha_3^* = \alpha_3 R_\Delta / (R_\Delta + R_\Delta)$, а при расчетах \bar{k}_p в выражении (7.17) перед слагаемым C_3 необходимо ввести множитель $R_\Delta / (R_\Delta + R_\Delta)$.

Как только напряжение \bar{S} по модулю будет таким, что

$$|\bar{S}| = \bar{S}_\Delta = (1 + R_\Delta / R_\Delta) e_\Delta, \quad (7.18)$$

цепь $R_\Delta - C_3$ отключится. Дальнейшее увеличение напряжения \bar{S} будет происходить при $|\bar{S}| > \bar{S}_\Delta$ только при токе смещения через конденсатор C_2 в цепи обратной связи. При этом

$$\bar{S} = -[\bar{S}_\Delta + \bar{k}_s(\bar{q}^* - \bar{q}_s)], \quad (7.19)$$

где \bar{q}_s — величина $\bar{q}^* = \bar{q} - \bar{\delta}$ в тот момент, когда начало выполняться условие (7.18); коэффициент \bar{k}_s определен выражением (7.16), если делитель $DH1$ нагружает входную диодную цепь, моделирующую зазор в соединении вагонов.

Коэффициент передачи α_4 делителей $DH5$ и $DH6$ устанавливается равным 0,5. Тогда, как только

$$|\bar{S}| \geq \bar{S}_s = e_s, \quad (7.20)$$

где \bar{S}_s — напряжение-аналог предела упругости конструкции вагона.

В цепь обратной связи усилителя подключается конденсатор $C4$.

В этом случае в соответствии с рис. 7.4, б

$$\bar{S} = -[\bar{S}_s + \bar{k}_s(\bar{q}^* - \bar{q}_s)]; \quad \bar{k}_s = \frac{R_\Delta}{2R_\Delta + R} \frac{\alpha_1 C_1}{\alpha_2 C_2 + 0,5 C_4}, \quad (7.21)$$

где \bar{q}_s — величина $\bar{q}^* = \bar{q} - \bar{\delta}$ в момент времени, когда начало выполняться условие (7.20).

После того как напряжение \bar{S} достигнет наибольшей по модулю величины и начнет уменьшаться, цепь AB отключится и конденсатор $C4$ не сумеет разрядиться. Это приведет к тому, что значение $\bar{S} = 0$ будет иметь место при $\bar{q}^* = \bar{q}_s$, где \bar{q}_s — напряжение-аналог остаточных деформаций конструкции кузова вагона.

При рассмотрении работы устройств, схемы которых показаны на рис. 7.3, б и 7.4, а, не принимались во внимание переходные процессы зарядов конденсаторов в связи с тем, что время протекания этих процессов существенно меньше длительности исследуемых процессов. На приведенных схемах показаны только функциональные элементы и не показаны служебные цепи для разряда конденсаторов через контакты реле управления в исходном состоянии электронной модели.

В работах [29, 50] описаны другие варианты схем устройств, выполняющих аналогичные функции.

В тех случаях, когда необходимо моделировать нелинейные силовые характеристики фрикционных поглощающих аппаратов и плавный переход через предел упругости деформирования конструкций вагона, стандартные делители напряжений DH заменяются делителями напряжений, выполненными с использованием нелинейных полупроводниковых сопротивлений (НПС).

7.2.2. Соединение, оснащенное гидравлическими поглощающими аппаратами

Если устройства, моделирующие силовые характеристики соединений с фрикционными поглощающими аппаратами, удается сделать достаточно компактными, использующими всего один операционный усилитель, то схемы устройств, моделирующих соединения, включающие в себя гидрогазовые поглощающие аппараты, оказываются достаточно сложными. Тем не менее они представляют интерес, так как с их помощью удается исследовать особенности работы гидравлических поглощающих аппаратов при соударениях вагонов [7, 40].

На рис. 7.5 показана схема блока \bar{S} для моделирования соединения двух вагонов ($i = 1, 2$), в которое включен поглощающий аппарат ГА-500. Основой для построения схемы являются математические выражения, приведенные в п. 3.1.3. При этом положено $i = 2$, а буква i в индексе величин, относящихся к описанию гидравлического поглощающего аппарата, опущена.

Интеграторами электронной модели поездарабатываются напряжения U_1 и U_2 , являющиеся аналогами скорости движения вагонов 1 и 2. Далее напряжения будем обозначать теми же буквами, что и соответствующие физические величины. Входами устройства, моделирующего рассматриваемое соединение, являются кон-

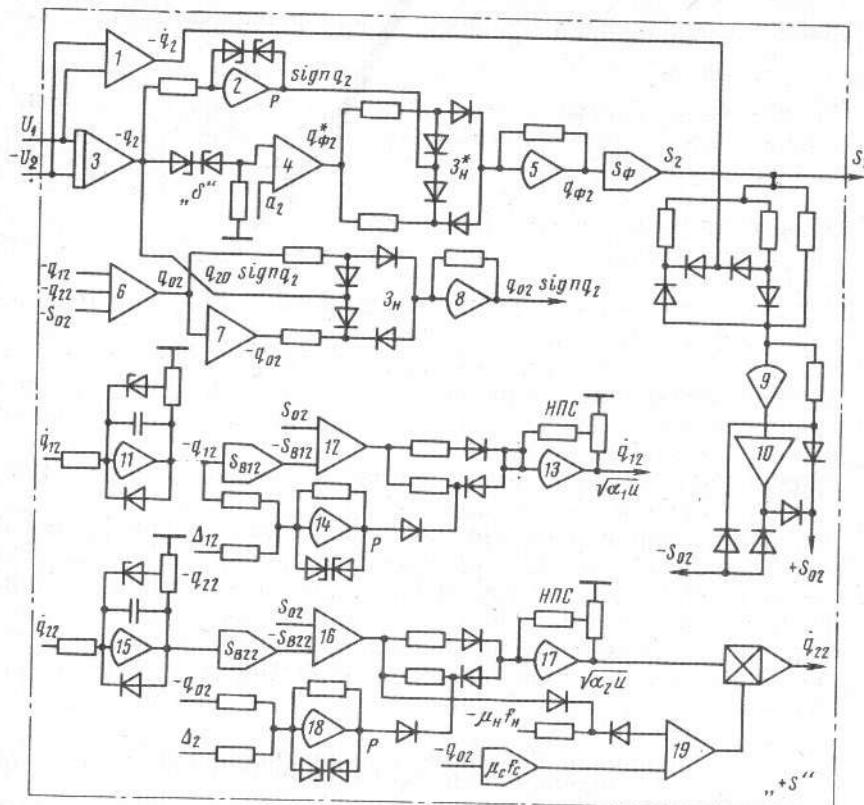


Рис. 7.5. Схема электронной модели работы междувагонного соединения с гидрогазовым поглощающим аппаратом ГА-500

такты, на которые подаются напряжения U_1 и $-U_2$, а выходом — контакт, с которого снимается напряжение S_2 , соответствующее силе в соединении вагонов 1 и 2. Интегратор 3 и выполняющие в основном функции интегрирования схемы с усилителями 11 и 15 вычисляют удлинения соединений и перемещения поршней в камерах гидрогазового поглощающего аппарата. Стабилитроны δ моделируют зону нечувствительности (зазор в соединении), а сумматор 4 вычисляет $q_{\phi 2}^*$ в соответствии с выражением (3.5). Усилитель 2 со стабилитронами в цепи обратной связи моделирует операцию $\text{sign } q_2$ (релейную функцию P). Напряжение с выхода с этого усилителя управляет диодной схемой 3_H^* на входе усилителя 5. При этом вычисляется величина $q_{\phi} \text{ sign } q_2$. По этой величине вычисляется сила S_2 с помощью блока S_{ϕ} , являющегося описанным выше устройством для моделирования работы фрикционного поглощающего аппарата. С выхода блока S_{ϕ} напряжение поступает на выход блока «+ S » и одновременно на вход диодной схемы, включенной во входной цепи усилителя 9. С выхода усилителя 9 напряжение

подаётся на вход инвертора 10. Усилители 9 и 10 вместе с диодами вырабатывают напряжения-аналоги величин $-S_{02}$ и $+S_{02}$ в соответствии с выражением (3.7). В цепи обратной связи интеграторов 11 и 15 включены стабилитроны, ограничивающие напряжение на выходах усилителей величинами, пропорциональными полным перемещениям поршней, и диоды, защищающие схему от возникновения напряжения противоположного знака. Функциональные преобразователи $S_{\text{вн}}$ реализуют вычисления в соответствии с формулой (3.13). Сумматоры 12 и 16 вычисляют силы гидравлического сопротивления. В цепях обратных связей усилителей 13 и 17 включены нелинейные полупроводниковые сопротивления (НПС), подобранные так, что на выходах этих усилителей вырабатывается напряжение, пропорциональное $\sqrt{\alpha_i u}$, где α — коэффициент пропорциональности; u — входное напряжение. Входные напряжения поступают с усилителей 12 и 16. При $u > 0$ сигналы проходят в любом случае, а при $u < 0$ сигналы управляются напряжениями с выходов усилителей 14 и 18, реализующими, как и усилитель 2, релейные характеристики с перебросом при $q_{12} = \Delta_{12}$ и $q_{02} = \Delta_2$. Если $q_{12} > \Delta_{12}$ или $q_{02} \geq \Delta_2$ и $u < 0$, напряжения на входах усилителей 13 и 17 не поступают. Таким образом, на выходе усилителя 13 вырабатывается напряжение, пропорциональное \dot{q}_{12} . При этом считается, что в выражении (3.11) коэффициент $\beta_{12} = \text{const}$.

В поглощающих аппаратах ГА-500 коэффициент гидравлического сопротивления при перетекании жидкости в предпоршневое пространство камеры высокого давления (поршень с индексом 2) меняется по мере перемещения плунжера вследствие изменения площади сечения дроссельных каналов в регулирующем стержне. В этом случае выражение (3.12) можно представить при $i = 2$ в виде

$$\dot{q}_{22} = [\mu_c f_c(q_{02}) + \mu_h f_h] \sqrt{C |S_{02} - S_{22}| \text{ sign}(S_{02} - S_{22})}, \quad (7.22)$$

где μ_c и $f_c(q_{02})$ — коэффициент расхода и площадь дросселирующих каналов в регулирующем стержне; μ_h и f_h — коэффициент расхода и площадь отверстий в плунжере, которые открыты, пока $S_{02} \geq S_{22}$, и закрываются ($f_h = 0$) при $S_{02} < S_{22}$; $C = \text{const}$.

Это реализуется диодной схемой, включенной на входе сумматора 19 и управляемой напряжением с выхода сумматора 16. Сумматор 19 формирует напряжение, пропорциональное $[\mu_c f_c(q_{02}) + \mu_h f_h]$, которое затем умножается блоком произведения на напряжение, вырабатываемое блоком $\sqrt{\alpha_2 u}$. Напряжение, пропорциональное $\mu_c f_c(q_{02})$, формируется функциональным преобразователем, а напряжение, пропорциональное $\mu_h f_h$, задается от внешнего источника.

Сумматор 6 формирует напряжение, пропорциональное перемещению плунжера. Напряжение с выхода интегратора 3 управляет работой диодной схемы 3_H , в результате чего на выходе усилителя 8 формируется напряжение, соответствующее по величине и знаку значениям $q_{02} \text{ sign } q_2$.

7.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ВАГОНЫ ПОЕЗДА

Внешние силы, действующие на локомотивы, отличаются от внешних сил, действующих на вагоны, в основном тем, что они могут быть силами тяги, осаживания или электрического торможения. Моделирование этих сил описано в п. 7.1. Упрощенно силу тяги можно моделировать нарастающим по закону $F(t) = F_0(1 - e^{-\gamma t})$ напряжением, вырабатываемым на выходе инерционного звена с постоянной времени $T = 1/\gamma$.

Внешние силы, действующие на вагоны (как и на локомотивы), определяются силами торможения и продольными составляющими сил тяжести при движении их по уклонам продольного профиля пути. При этом если продольные составляющие сил тяжести однозначно определяются массой вагона и уклоном, то реализация тормозных сил в известной мере оказывается случайной. Можно считать, что распространение волн разряда магистрали при пневматическом управлении тормозами происходит с постоянной скоростью c_t . В то же время запаздывание в появлении тормозящей силы по отношению к моменту начала разряда тормозной магистрали данного вагона является величиной случайной, зависящей от разброса характеристик воздухораспределителей, сил трения поршней о стенки цилиндров, а также от зазоров в рычажных передачах, температуры окружающей среды и других причин. Случайной величиной также является и уровень реализуемой тормозящей силы, зависящий как от перечисленных выше факторов, так и от индивидуальных характеристик тормозных колодок.

Если принять момент начала торможения за начало отсчета времени t , а расстояние i -го вагона (группы вагонов) поезда длиной L от конца обозначить x_i , то появление тормозных сил, действующих на i -й вагон (группу вагонов), будет происходить с запаздыванием на величину

$$t_i = (L - x_i)/c_t + \bar{\Delta}t_i + \Delta\bar{t}_i^0, \quad (7.23)$$

где $\Delta\bar{t}_i$ — среднее время запаздывания появления тормозной силы от момента начала разряда тормозной магистрали i -го вагона (группы вагонов), Δt_i — соответствующая Δt ; центрированная случайная величина.

В качестве устройства, моделирующего тормозные силы, может быть использована групповая тормозная станция, у которой тормозные цилиндры оборудованы потенциометрическими датчиками давления (либо все, либо цилиндры, соответствующие средним вагонам групп, заменяемых при моделировании одним твердым телом). На выходе потенциометрических датчиков вырабатывается напряжение, пропорциональное силе нажатия тормозных колодок на колеса, которое подается на вход нелинейного специализированного счетно-решающего устройства, осуществляющего преобразование входного напряжения в соответствии с зависимостью коэффициента трения от силы нажатия тормозной колодки. Получаемое

на выходе этого устройства напряжение умножается на напряжение, являющееся аналогом зависимости коэффициента трения колодок о колеса от скорости движения. На выходе блока произведения вырабатывается напряжение-аналог тормозной силы, действующей на вагон или группу вагонов. С помощью описанного устройства и групповой тормозной станции можно моделировать любые режимы торможения поезда при пневматическом и электропневматическом управлении тормозами вагонов.

Групповую тормозную станцию при необходимости можно заменить специальным многоканальным генератором, на выходах которого вырабатываются напряжения-аналоги сил нажатия тормозных колодок. При исследовании регулировочных торможений необходимо моделировать и отпуск тормозов. Фронт начала отпуска тормозов распространяется также от локомотива с некоторой постоянной скоростью $c_{\text{от}}$. Таким образом, специализированная аппаратура, позволяющая проводить исследования переходных режимов движения поездов как при остановочных торможениях, так и при регулировочных, должна обеспечить моделирование не только появления тормозных сил, но и их спада.

Рассмотрим один из возможных [37] вариантов реализации такой аппаратуры (рис. 7.6). Здесь моделирование распространения фронта волны разряда тормозной магистрали осуществляется регистром, выполненным из стандартных по схеме триггеров T , которые связаны между собой линиями задержки, собранными

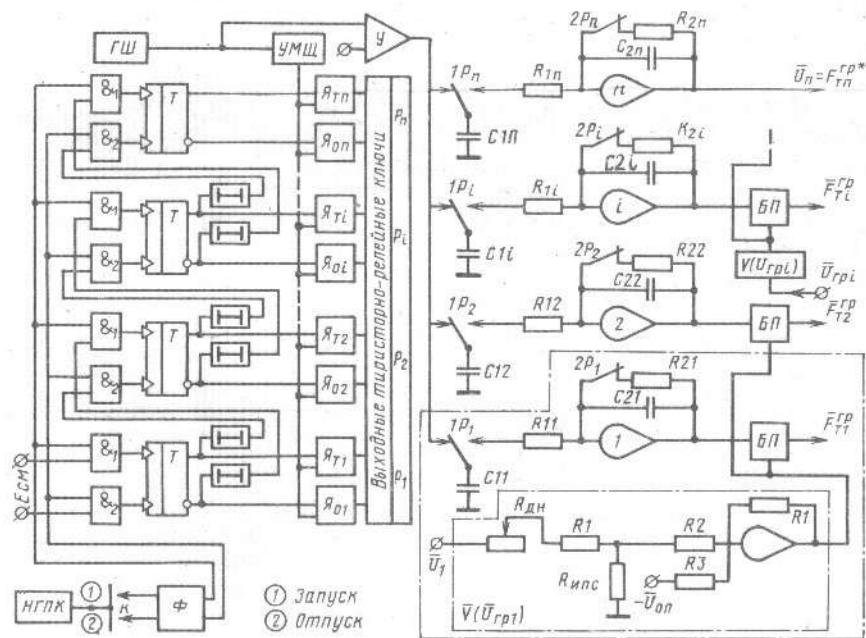


Рис. 7.6. Схема генератора напряжений-аналогов тормозных сил

из RC -цепочек. Импульсы с частотой f_1 , соответствующей скорости c_t , поступают от генератора НГПК через ключ k , находящийся в позиции ①, и формирователь Φ на схемы «И» запуска. Распространению волны разряда магистрали соответствует «волна» перехода триггеров регистра в единичное состояние. При переводе ключа k в положение ② и изменении частот со значения f_1 на значение f_2 (соответствует скорости распространения волны наполнения магистрали воздухом c_{ot}) подаются импульсы на схемы «И» отпуска. При этом триггеры последовательно, начиная с начала регистра, возвращаются в исходное (нулевое) состояние. «Волна» перехода триггеров регистра в нулевое состояние соответствует распространению волны наполнения магистрали воздухом. Напряжения с выходов триггеров поступают на ячейки запаздывания \bar{Y}_{ti} при моделировании процесса торможения и \bar{Y}_{oi} —при моделировании отпуска тормозов. Величина запаздывания управляет параметрами схемы ячейки и постоянным напряжением случайного уровня с выхода усилителя мощности УМШ. На вход усилителя УМШ подается напряжение от стандартного генератора шума ГШ. Разброс запаздываний устанавливается в соответствии с разбросом запаздываний начал роста или спада давлений в тормозных цилиндрах. Сдвинутые по времени импульсы с выходов ячеек \bar{Y}_{ti} включают стандартные тиристорно-релейные ключи P_i , а импульсы с выходов ячеек \bar{Y}_{oi} выключают их. Формирование напряжений-аналогов тормозных сил осуществляется очерченной штрихпунктирной линией частью схемы. На выходе усилителя U вырабатывается случайное напряжение $U_o = \bar{U}_o + \Delta U$. В моменты срабатывания реле тиристорно-релейных ключей контакты $1P_i$ ($i = 1, n$) отключают конденсаторы от выхода усилителя U (при этом конденсаторы оказываются заряженными до случайного напряжения U_{io} со средним значением \bar{U}_o) и подключают их на входы соответствующих формирующих схем. Одновременно контакты $2P_i$ отключают резисторы в цепях обратной связи формирующих усилителей. При этом на выходах формирующих усилителей напряжения будут изменяться в соответствии с выражениями:

$$U_{it} = \frac{C_{2i}}{C_{1i}} U_{io} [1 + e^{-\frac{1}{T_{1i}}(t - \bar{\tau}_i)}] \sigma_o(t - \bar{\tau}_i) \quad (7.24)$$

при моделировании торможений и

$$U_{iot} = U_{io}^* e^{-\frac{1}{T_{2i}}(t - \bar{\tau}_{2i})} \sigma_o(t - \bar{\tau}_{2i}) \quad (7.25)$$

при моделировании отпуска тормозов,

где $T_{1i} = C_{1i}R_{1i}$; $\bar{\tau}_i = (L - x_i)/\bar{c}_t + \Delta\bar{\tau}_i + \Delta\dot{\tau}_i$; $T_{2i} = C_{2i}R_{2i}$; \bar{c}_t , $\Delta\bar{\tau}_i$, $\Delta\dot{\tau}_i$ —машические параметры моделируемых тормозных сил; $\bar{\tau}_{2i}$ —время начала отпуска тормозов в i -м вагоне (группе вагонов).

С помощью резисторов R_{1i} и R_{2i} подбирают показатели степени нарастания или спада тормозных сил.

Тормозные силы описываются следующим выражением:

$$F_{ti} = A\bar{n}_i K_i(t) \frac{K_i(t) + B |v_i| + E_1}{K_i(t) + D |v_i| + E_2}, \quad (7.26)$$

где A , B , D , E_1 , E_2 —константы, зависящие от материала тормозных колодок; \bar{n}_i —число тормозных колодок в i -й группе вагонов, v_i —скорость движения, $K_i(t)$ —сила нажатия одной тормозной колодки в i -м вагоне (группе вагонов).

Так как с целью сокращения оборудования, необходимого для проведения моделирования, группы по несколько вагонов объединяются в одно тело и при этом предполагается, что скорость движения вагонов в пределах одной группы практически одинакова, то тормозную силу, действующую на рассматриваемую группу вагонов с номером i , можно представить как

$$F_{ti}^{gr} = \bar{V}_i F_{ti}^{gr*}; F_{ti}^{gr*} = \sum_{j=1}^{\bar{n}_i} A\bar{n}_{ij} K_{ij} \frac{K_{ij}(t) + B}{K_{ij}(t) + D}; \bar{V}_i = \frac{|v_i| + E_1}{|v_i| + E_2}, \quad (7.27)$$

где \bar{n}_i —число вагонов в i -й группе; j —номер вагона в группе.

Нарастание давления в тормозных цилиндрах, а следовательно, и нарастание силы нажатия тормозных колодок у существующих тормозных приборов происходит двумя ступенями и могут быть математически описаны

$$K_j(t) = \sum_{k=1}^2 K_{jk} [1 - e^{-\delta_{jk}(t - \tau_{jk})}] \sigma_0(t - \tau_{jk}), \quad (7.28)$$

где δ_{jk} —показатель степени нарастания ступени с номером k в вагоне с номером j ; τ_{jk} —время запаздывания начала нарастания ступени с номером k в вагоне с номером j ; K_{jk} —наибольшее значение ступени с номером k для силы нажатия тормозной колодки.

Подставив выражение (7.28) в (7.27), получим достаточно сложную ступенчатую, нарастающую до некоторого постоянного значения кривую зависимости $F_{ti}^{gr*}(t)$, которую аппроксимируем выражением

$$F_{ti}^{gr*} = F_{oi} [1 - e^{-\delta_i^*(t - \tau_i^*)}] \sigma_0(t - \tau_i^*), \quad (7.29)$$

где F_{oi} —наибольшая тормозная сила, действующая на группу вагонов с номером i ; δ_i^* —показатель степени нарастания тормозной силы; τ_i^* —запаздывание тормозной силы по отношению к моменту начала торможения.

На рис. 7.7, а показаны слагаемые функции F_{ti}^{gr*} , определяемой выражением (7.27) при $\bar{n}_i = 3$, сама функция F_{ti}^{gr*} (сплошные линии) и график аппроксимирующего выражения (7.29) (штриховая линия).

Аналогом выражения (7.29) является выражение (7.24). Таким образом, напряжения, вырабатываемые на выходах усилителей 1 и 2, (см. рис. 7.6), при соответствующем подборе параметров схемы являются аналогами функций (7.29).

Функция $V(v)$, представленная на рис. 7.7, б линиями 1 (для композиционных колодок) и 2 (для чугунных колодок), может модели-

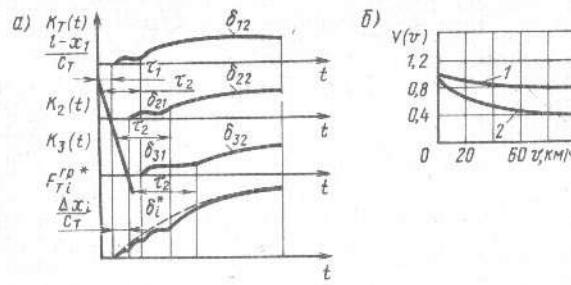


Рис. 7.7. Зависимости, положенные в основу при формировании тормозных сил

роваться устройством, состоящим из операционного усилителя, во входную цепь которого включен делитель с нелинейным полупроводниковым резистором (на рис. 7.6 очерчено штрихпунктирной линией). Напряжение с выхода этого операционного усилителя поступает на один из входов блока произведения БП, а на другой вход БП подается напряжение $U_{\text{тр}}$. На выходе блока произведения вырабатывается напряжение F_{tr}^* , являющееся аналогом тормозной силы.

Аналогичным образом моделируется функция F_{tr}^* при отпуске тормозов. На рис. 7.8 приведена принципиальная схема вентилей $\&_1$ и $\&_2$ (диоды D5–D8, резисторы R11, R12) и триггера на транзисторах T1, T2. Здесь E_c —напряжение смещения (+8 В); E_k —напряжение коллекторного питания (-50 В). Сброс триггера при необходимости осуществляется отключением смещения одного из транзисторов. Значками Σ показаны статические сигналы, а значками V —импульсные. При переключении триггера на вторичных обмотках импульсного трансформатора $I_{\text{тр}}$ вырабатываются импульсы, которые осуществляют изменение состояния ячейки $\&_1$ при переключении триггера в единичное состояние, а ячейки $\&_0$ —в нуле-

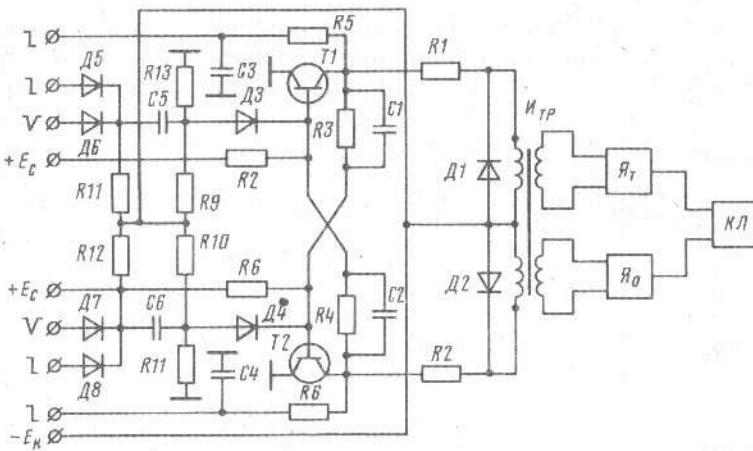


Рис. 7.8. Логическая схема генератора напряжений-аналогов тормозных сил

вое. При этом на выходах ячеек $\&_1$ и $\&_0$ появляются сдвинутые на случайный интервал времени импульсы, которые включают или выключают ключ KL . На рис. 7.9 показана схема и диаграммы, поясняющие работу ячейки запаздывания. Схема ячейки задержки сигнала $\&_1$, $\&_0$ на случайный детерминированный интервал времени, выполненная на базе неуправляемого переключающегося диода D (динистора типа КН102), приведена на рис. 7.9, а.

В исходном состоянии неуправляемый переключающийся диод (динистор) должен находиться в режиме «включено», а нагрузочный резистор R1 подбирается таким, чтобы нагрузочная прямая проходила через точку 1 (рис. 7.9, б). Входной отрицательный импульс, сформированный цепочкой $I_{\text{тр}}$ (импульсный трансформатор), D1 и R3, проходя через разделительный конденсатор, «выключает» динистор, и конденсатор C2 начинает заряжаться до напряжения «включения» динистора с постоянной времени $T_1 = C_2(R_1 + R_2)$. Блок, обозначенный буквами ГСН, есть генератор случайного напряжения постоянного тока. Как только динистор «включается», конденсатор C2 быстро разряжается через динистор с постоянной времени $T_2 = C_2(R_2 + R_{\text{дпр}})$ ($R_{\text{дпр}}$ —сопротивление динистора во включенном состоянии), на зажимах вторичной обмотки импульсного трансформатора $I_{\text{тр}}$ появляется двухполлярный дифференцированный импульс. Задержка выходного сигнала по отношению к входному, запускающему схему, может регулироваться напряжением питания. Зависимость времени задержки выходного импульса от уровня напряжения питания поясняет рис. 7.9, в. Осциллограммы изменения тормозных сил, полученные при моделировании процессов торможения в двух произвольно взятых решениях, приведены на рис. 7.10, из которых видно, что случайными являются как запаздывание, так и наибольшие напряжение-аналоги тормозных сил.

При моделировании продольных составляющих сил тяжести, возникающих при движении поезда по пути ломаного продольного профиля, каждый участок пути представляется дугой окружности в вертикальной плоскости.

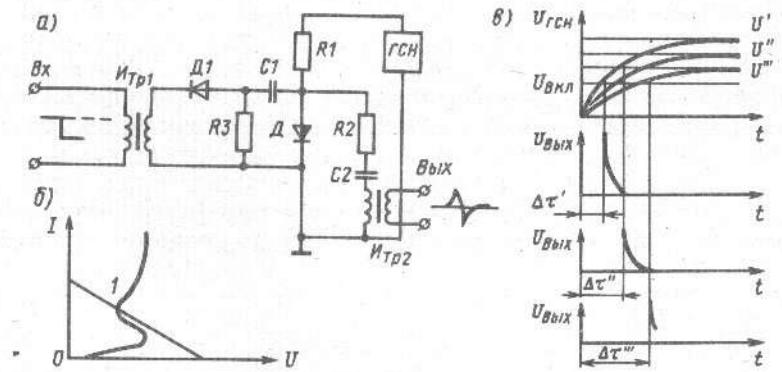


Рис. 7.9. Схема и диаграммы, поясняющие работу ячейки запаздывания в генераторе напряжений-аналогов тормозных сил

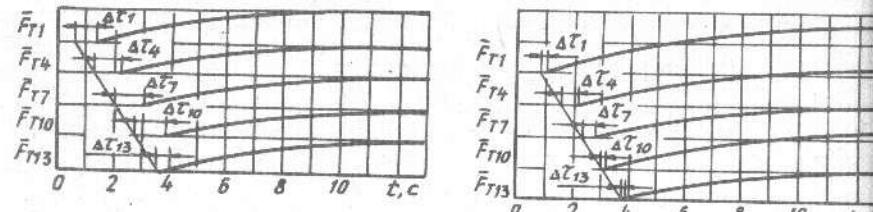


Рис. 7.10. Примеры процессов, формируемых генератором напряжений-аналогов тормозных сил

В таком случае продольную составляющую силы тяжести можно вычислить [7, 38] с помощью формулы

$$F_i = m_i g \sum_j R_j^{-1} [z_{ij} \sigma_0(z_{ij}) - z_{i,j+1} \sigma_0(z_{i,j+1})], \quad (7.30)$$

где $z_{ij} = x - x_j - \sum_{k=1}^{j-1} l_k$, $\sigma_0(z_{ij})$ – единичная функция Хевисайда, m_i – масса группы вагонов с номером i ; g – ускорение свободного падения; x – путь, пройденный локомотивом от начала отсчета, l_k – длина группы вагонов с номером k ; x_j – расстояние от начала отсчета до начала участка пути с номером j ; R_j – радиус кривизны кривой на участке с номером j ; R_j – принимается положительным для кривой, выпуклой вверх; для участка постоянного уклона $R_j^{-1} = 0$.

Далее предположим, что влиянием изменения скорости движения через перелом продольного профиля пути на уровни сил при переходном режиме можно пренебречь и считать на данном участке скорость равной v_0 . Тогда величины z_{ij} в выражении (7.30) можно представить в виде

$$z_{ij} = v_0(t - \tau_{i,j}), \quad (7.31)$$

где t – время движения от исходной точки, а $\tau_{i,j} = (x_j + \sum_{k=1}^{j-1} l_k)/v_0$ – моменты времени, в которые группа вагонов, имеющая номер i , переходит с участка продольного профиля с номером $j-1$ на участок с номером j .

На рис. 7.11 приведена блок-схема системы [38], формирующей электрические напряжения-аналоги сил, действующих на вагоны и локомотивы поезда при движении его с постоянной скоростью через перелом продольного профиля пути. Буквой G обозначен генератор, который вырабатывает знакопеременное изменяющееся напряжение-аналог внешней силы, возникающей при движении поезда по этому участку. Это напряжение непосредственно или через инверторы подается на цепочку блоков постоянного запаздывания, осуществляющих задержку сигнала на величину $2t$ (исключение составляет первый блок верхней цепочки), где t – время, в течение ко-

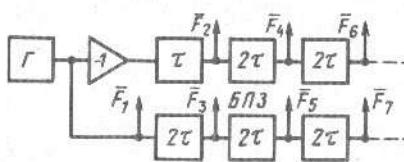
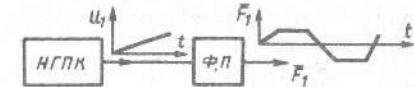


Рис. 7.11. Схема для формирования напряжений-аналогов продольных составляющих сил тяжести

Рис. 7.12. Схема генератора напряжения-аналога продольной составляющей силы тяжести



торого поезд проходит путь, равный длине вагонов, объединенных при моделировании в одну группу. Чередование знаков напряжений F_i обусловлено схемой модели поезда.

Из формул (7.30) и (7.31) видно, что внешняя сила F_i при движении поезда по переломам продольного профиля является кусочно-линейной функцией и ее можно реализовать с помощью генератора линейно изменяющегося напряжения НГПК, вырабатывающего напряжение, и стандартного функционального преобразователя ФП (рис. 7.12).

На выходе функционального преобразователя вырабатывается напряжение F_1 , являющееся аналогом продольной составляющей силы тяжести, действующей на первое тело модели поезда. График $F_1(t)$, приведенный на рис. 7.12, соответствует движению через продольный профиль типа «яма», образованный четырьмя дугами окружностей и двумя вставками постоянного уклона.

Глава 8. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

8.1. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ. ИЗМЕРИЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Во введении отмечалось, что основные цели экспериментов – формирование моделей изучаемых процессов, получение численных значений параметров и контроль результатов расчета.

Эти цели достигаются наиболее просто, если опыты проводятся с однородным поездом. Речь идет о поезде, составленном из одинаковых вагонов, загруженных до полной грузоподъемности одним и тем же грузом. Ясно, что у таких вагонов поглощающие аппараты и автотормоза (воздухораспределители, тормозные колодки) должны быть одного типа. С этой точки зрения число вагонов-лабораторий должно быть минимальным. В последнее время удается обходиться одним вагоном-лабораторией, размещенным в середине поезда. Вагоны-лаборатории и локомотивы следует оборудовать поглощающими аппаратами того же типа, что и вагоны поезда, автотормоза пассажирских вагонов-лабораторий выключать, а локомотивы оборудовать воздухораспределителями того же типа, что и вагоны поезда.

Для обеспечения однородности одного из основных параметров – зазора в упряжи – состав желательно формировать из новых вагонов. Зазор в упряжи у них составляет 30–50 мм, тогда как у вагонов эксплуатационного парка он находится в диапазоне 30–110 мм. Отметим, что у новых вагонов практически исключен

разрыв автосцепок при усилиях до 3 МН, тогда как у вагонов эксплуатационного парка при усилиях более 2 МН он весьма вероятен, что в опытном поезде может привести к аварийной ситуации. Поезд из новых вагонов в этом отношении безопасен.

Опытный поезд может быть как сухогрузным, так и наливным. В работе [7] показано, что число позиционных координат, описывающих конфигурацию исследуемой механической системы, соответствующей наливному поезду, по меньшей мере вдвое больше, чем в случае сухогрузного. Ясно, что задача идентификации параметров поезда по результатам опытов с наливным поездом сложнее, чем решение такой задачи в случае сухогрузного поезда. Поэтому опыты с наливным поездом, по-видимому, следует ставить лишь в том случае, когда интересуются специфическими параметрами, связанными с колебаниями жидкости в замкнутом объеме. Причем эти опыты следует проводить для контроля результатов теоретических исследований, предварительно оценив параметры системы на основе результатов стендовых испытаний и опытов по соударению вагонов. В тех случаях, когда опыты ставят с целью определения основных параметров поезда либо как контрольные для оценки новых элементов (поглощающих аппаратов, автотормозов, систем управления и т. п.), предпочтительнее экспериментировать с сухогрузными поездами. К тому же в этом случае уровень продольных сил при прочих равных условиях получается более высоким, чем в случае наливного поезда [7]. Как правило, опыты проводят с составом из полувагонов, загруженных инертным негигроскопичным грузом – щебнем, рудой и т. п. Наряду с традиционным размещением локомотивов в голове поезда рассматривается также случай рассредоточения локомотивов.

Перечень измеряемых величин обычно определяется целями экспериментов. Если опыты проводят для контроля результатов расчета, то должны быть прежде всего измерены продольные силы, возникающие между вагонами опытного поезда. В однородном опытном поезде сечения, в которых измеряются продольные силы, желательно размещать равномерно. На рис. 8.1 приведена схема размещения «измерительных сечений» (I–X) при проведении опытов с поездом массой примерно 10 тыс. т, состоявшем из 112 четырехосных полувагонов, двух электровозов серии ВЛ8 и одного вагона-лаборатории (ЦМВ), находившегося в середине состава (числа на рис. 8.1 – количество полувагонов). Поскольку опыты проводятся «челноком» (при езде в прямом и обратном направлениях), для удобства анализа их результатов измерительные сечения располагают симметрично относительно середины поезда. При расположе-

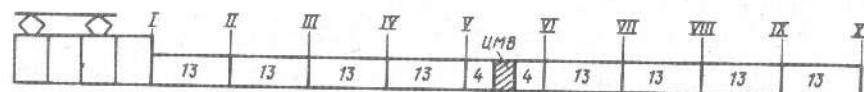


Рис. 8.1. Схема размещения измерительных сечений в опытном поезде
196

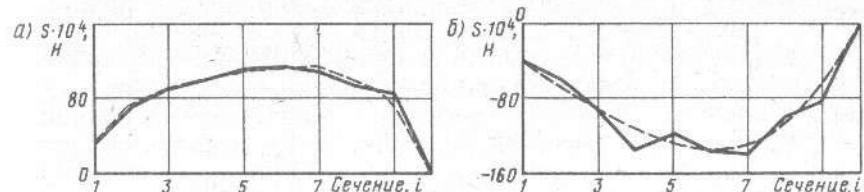


Рис. 8.2. Распределение наибольших сил вдоль поезда

ния вагона-лаборатории в середине поезда и симметричности размещения измерительных сечений обеспечивается рациональная коммутация измерительных цепей (с помощью многожильных кабелей), а также простота расстыковки длинносоставного поезда на случай размещения его на двух станционных путях.

Вопрос о выборе числа измерительных сечений связан с рассмотренным в работе [7] приемом понижения порядка системы дифференциальных уравнений, описывающей переходный режим движения поезда. Пользуясь этим приемом, нетрудно показать, что поезд из 117 экипажей (112 вагонов, один ЦМВ, два двухсекционных локомотива) можно моделировать системой материальных точек, каждая из которых представляет группу из 13 экипажей, т. е. понизить порядок в 9 раз. Действительно оказывается, что кривые распределения наибольших сил вдоль длины поезда для случаев, когда поезд представлен системами 117 и 9 материальных точек, припуске в ход и торможениях поезда близки друг другу (расхождения не превышают 15%). Таким образом, 10 измерительных сечений достаточно для оценки с приемлемой точностью кривой распределения продольных сил вдоль длины поезда. Косвенное свидетельство этого вывода – гладкость экспериментальных кривых распределения наибольших сил по длине поезда, показанных штриховыми линиями на рис. 8.2, где приведены такие распределения, полученные в опытах попуску в ход (рис. 8.2, а) и торможению (рис. 8.2, б) упомянутого поезда из 117 экипажей. [Здесь и далее на оси абсцисс – номера сечений (i).]

Если по результатам опытов необходимо оценить параметры поглощающих аппаратов автосцепки, то должны быть измерены ходы аппаратов. Для получения возможно большей выборки обычно их измеряют во всех тех сечениях, где измеряются продольные силы. Иногда, например при анализе работы фрикционных поглощающих аппаратов, параметры которых, как известно [7], подвержены наибольшему разбросу, в каждом сечении измеряют ходы обоих аппаратов.

Относительные скорости соударений вагонов в переходном режиме движения поезда можно оценивать по записям относительных продольных перемещений кузовов соседних вагонов.

Измерение и анализ продольных ускорений элементов хребтовых балок кузовов вагонов дают исследователю дополнительную информацию о характере процессов, протекающих при переходных

режимах движения поезда. Их величины сами по себе необходимы при выборе средств крепления и амортизации грузов. При измерении ускорений особенно существен частотный диапазон, в котором они отыскиваются. Важное место в организации и проведении опытов занимают измерения величин, необходимых для оценки внешних сил, действующих на поезд при переходных режимах движения. Без них нельзя произвести корректное сопоставление расчетных и опытных данных, необходимое в том случае, когда эксперимент ставят с целью контроля результатов расчета. Кроме того, эти данные позволяют судить о работоспособности исследуемых систем управления, в частности автотормозов, и определять их параметры.

Для оценки сил тяги обычно измеряют токи тяговых двигателей локомотивов. При проведении опытов предпочитают использовать электровозы. Если они располагаются одной группой, их соединяют по системе многих единиц, измеряя ток лишь в одной ветви цепи соединения двигателей. Если локомотивы не приспособлены для соединения по системе многих единиц (например, электровозы серии ВЛ8), их целесообразно соединить с помощью временного кабеля по специальной схеме. В случае рассредоточения локомотивов и использования на них автоматизированных систем управления тягой и автотормозами иногда приходится измерять ряд параметров, характеризующих работоспособность самих систем управления (давления воздуха, токи в цепях и т. п.).

Тормозные силы могут быть подсчитаны [7], если известны давления воздуха в тормозных цилиндрах. В длинносоставных поездах их необходимо измерять в большом числе сечений (до 10) ввиду существенной неоднородности вдоль длины поезда диаграмм наполнения тормозных цилиндров. Контроль правильности работы автотормозов в опытах по торможению осуществляется по измеренным давлениям в тормозной магистрали. По давлению в тормозной магистрали головного вагона контролируют степень разрядки магистрали при торможении, а по давлению в тормозной магистрали хвостового вагона – зарядку тормозной магистрали до требуемого уровня перед очередным опытом по торможению.

Тормозной путь и скорость движения оценивают по частоте вращения колесной пары вагона-лаборатории. Поскольку автогорючесы вагона-лаборатории выключены, проскальзывания измерительной колесной пары, а значит и погрешность оценки тормозного пути и скорости движения, сведены к минимуму.

Привязку к путям осуществляют посредством сигналов, записанных с помощью служебного канала магнитографа или осциллографической записи отметчика времени. Обозначения меток, как и содержание опытов, фиксируются в журнале испытаний и с помощью канала речевого сопровождения магнитографа.

Особое место, особенно при переходных режимах движения, занимают силы, действующие на колесные пары вагонов, движущихся в составах поездов большой массы. Измерение таких процессов су-

щественно для оценки безопасности с позиций схода с рельсов колесных пар вагонов (выжимание их или выдергивание).

Для теоретической оценки указанных сил [9] могут оказаться полезными сведения о сжатиях пружин, а также об относительных вертикальных и горизонтальных поперечных перемещениях точек крепления автосцепок к кузовам соседних вагонов. Еще более ценные данные для решения указанной задачи могут быть получены с помощью специальных устройств («лыж»), позволяющих измерять вертикальные и горизонтальные поперечные перемещения трех точек кузова вагона относительно рельсов. По этим величинам с помощью современных средств автоматизированной обработки легко вычислить функции изменения всех пяти позиционных обобщенных координат, определяющих положение кузова данного вагона. Интерес может представить также фото- и киносъемка, а также видеозапись взаимного размещения продольных осей соседних вагонов поезда. Отметим, что измерения сил и перемещений для оценки устойчивости колесных пар против схода с рельсов проводятся обычно на нескольких соседних вагонах опытного сцепа. Расчетами, выполненными по методике, которая изложена в работе [9], показано, что для указанных целей можно ограничиться изучением движения в составе поезда опытного сцепа из пяти–семи вагонов. При исследовании стационарных режимов движения [интенсивная тяга или рекуперативное (реостатное) торможение] опытный сцеп располагается в головной части поезда повышенной массы, а при исследовании переходных режимов движения, в частности при торможении, – в середине поезда. Наиболее опасным с рассматриваемой точки зрения является включение в составы поездов повышенной массы легких вагонов [9, 14, 30]. Поэтому для решения указанной задачи целесообразно экспериментировать с неоднородным поездом.

8.2. КОМПЛЕКС ИЗМЕРИТЕЛЬНО-РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ

Измерение и регистрация процессов при динамических испытаниях подвижного состава производятся с помощью комплекса аппаратуры, блок-схема которого представлена на рис. 8.3.

Продольные силы, действующие на вагоны, и силы, передающиеся на колесные пары отдельных вагонов поезда, измеряются методами тензометрии, которые, как известно, основаны на явлении изменения сопротивления тензорезисторов при их деформациях. Наиболее широко используются проволочные, фольговые и полупроводниковые (в основном кремниевые) тензорезисторы. Их наклеивают на исследуемый объект, и, следовательно, они деформируются вместе с исследуемым объектом. Одной из наиболее важных характеристик тензорезистора является коэффициент тензочувствительности K , определяемый как отношение относительного

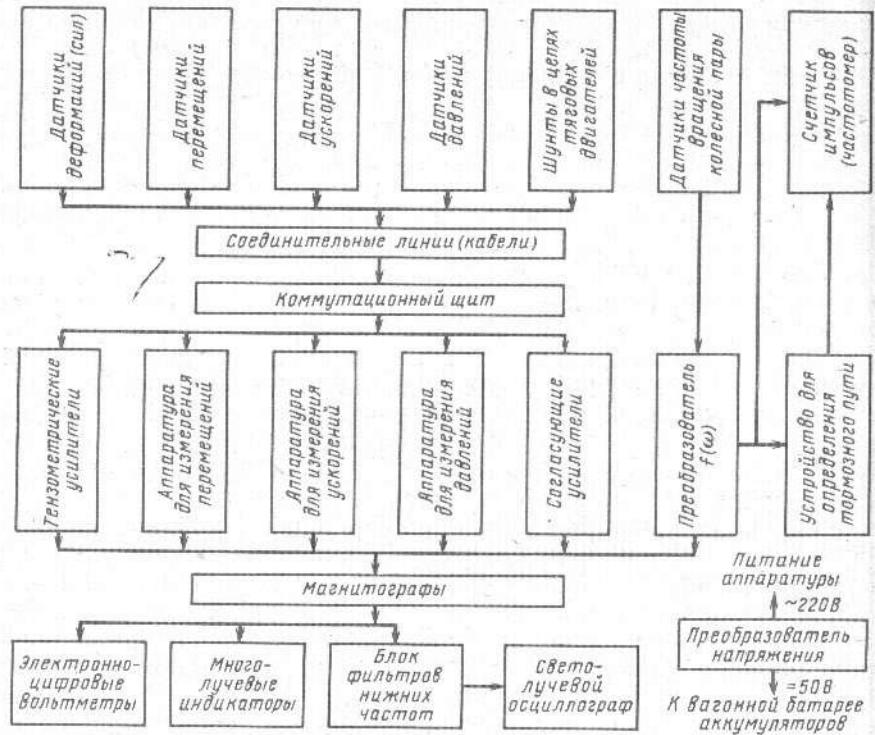


Рис. 8.3. Блок-схема измерительно-регистрирующего комплекса

изменения сопротивления тензорезистора к вызвавшей его относительной деформации. Эта величина различна для различных типов тензорезисторов, например для проволочных и фольговых $K = 2 \div 2,2$, для кремниевых $K = 100 \div 120$. Однако, решая вопрос о выборе тензорезисторов, следует учитывать еще ряд их характеристик (в частности, температурный коэффициент сопротивления материала тензорезисторов, температурный коэффициент тензочувствительности, допустимые наибольшие деформации).

Для измерения деформаций, как правило, используют мостовые схемы измерения, так как сопротивления тензорезисторов при деформациях весьма мало изменяются. Для достижения температурной компенсации тензорезисторы включают в два смежных плеча моста [52].

При работе с проволочными и фользовыми тензорезисторами, где коэффициент тензочувствительности мал, сигнал с выхода мостовой схемы необходимо усиливать до величины, удобной для измерения или регистрации. Усиление производится с помощью тензометрических усилителей, выполненных обычно таким образом, что один полумост находится непосредственно в усилителе, что позволяет уменьшить число проводов, соединяющих с усилителем из-

мерительную схему, размещенную на объекте исследования (в длинносоставном поезде на расстоянии до 1 км), а также производить балансировку моста резисторами, находящимися в усилителе.

По роду тока питания тензорезисторов тензометрические усилители подразделяются на две группы: усилители переменного тока и усилители постоянного тока. Наибольшее распространение получили усилители переменного тока, работающие на несущей частоте, например 8АНЧ-7М, ТА-5, УТС1-ВТ-12, ТУП-12, ТУП-12Н и др. В этих устройствах тензорезисторы питаются напряжением переменного тока, частота которого должна быть на порядок выше граничной частоты полосы пропускания усилителя.

В этом случае сопротивления тензорезисторов и соединительных линий являются комплексными. Реактивная составляющая появляется как результат реактивной асимметрии элементов моста, влияния паразитных емкостей и емкостей асимметрии соединительных линий. Эти величины особенно существенны в длинносоставном поезде.

Таким образом, при работе с усилителем переменного тока балансировку необходимо производить как по активной, так и по реактивной составляющей.

Используя работающую на достаточно высокой несущей частоте тензометрическую аппаратуру в сочетании с длинными измерительными цепями, что имеет место в случае длинносоставного поезда, необходимо учитывать полный импеданс системы. Для минимального ослабления чувствительности измерительного канала следует по возможности выбирать сопротивление тензорезисторов, близкое к волновому сопротивлению соединительного кабеля [21].

Развитие электроники, в том числе микроэлектроники, позволило создать тензометрические усилители постоянного тока, не уступающие по метрологическим параметрам усилителям переменного тока. В настоящее время получили распространение приборы типов ТУП-101, ПА-1, «Топаз-3», «Топаз-4» и др. К преимуществам усилителей постоянного тока можно отнести широкий диапазон рабочих частот (до нескольких десятков килогерц), отсутствие балансировки по реактивной составляющей. В значительной степени ослабляются требования к измерительным линиям (индуктивность, емкость, наибольшая длина) и во многих случаях отпадает необходимость в их экранировании. Все это особенно существенно при постановке опытов с длинносоставным поездом. Сравнительные характеристики некоторых тензометрических усилителей приведены в табл. 8.1.

При тензометрических измерениях особое внимание следует уделять сопротивлению изоляции между наклеенными тензорезисторами и поверхностью исследуемого объекта. Ориентировочно сопротивление изоляции можно рассчитать по следующей формуле:

$$R_{из} \geq R / (K \epsilon_{min}),$$

где R – сопротивление активного плеча полумоста, K – коэффициент тензочувствительности, ε_{\min} – минимальная измеряемая деформация, n – допустимый разбаланс моста за счет $R_{\text{из}}$, выраженный в долях разбаланса от ε_{\min} [57].

При измерениях на подвижном составе электрифицированных железных дорог, особенно в длинносоставных поездах, следует учитывать, что тяговые токи, проходящие по рельсовым цепям, создают значительную разность потенциалов между головной и хвостовой частями поезда (рис. 8.4). Поскольку средние точки всех измерительных полумостов, расположенных в различных сечениях состава, соединены между собой и с корпусом вагона-лаборатории, то низкое сопротивление изоляции тензорезистора может привести к появлению на выходе измерительной цепи ложного сигнала, пропорционального падению напряжения от тяговых токов в данной точке. Падение напряжения Δu на участке рельсовой цепи, вызванное тяговым током I_T , как известно, зависит от сопротивления цепи $R_{\text{р.ц}}$, пропорционального длине участка: $\Delta u = I_T R_{\text{р.ц}}$. Опыт показывает, что для надежного измерения сил и деформаций в длинносоставном поезде сопротивление изоляции измерительных цепей должно составлять не менее 100 МОм.

Высокие требования предъявляются и к соединительным линиям (кабелям). Для надежных измерений необходимо применять кабели с высоким и стабильным сопротивлением изоляции. Помимо экранировки, кабель должен иметь еще одну изоляционную оболочку для устранения погрешностей измерений, связанных с прохождением случайных токов по оплетке из-за неконтролируемых случайных заземлений. Оплетку кабеля нужно заземлять только в одном месте – у измерительной аппаратуры. Особое внимание этому необходимо уделять в случае длинносоставных поездов, когда длина кабеля от вагона-лаборатории до удаленного измерительного сечения достигает 1 км.

Другими перспективными преобразователями для измерений сил и деформаций являются магнитоупругие датчики. Принцип их работы основан на магнитоупругом эффекте, заключающемся в изменении магнитной проницаемости ферромагнитных материалов при деформациях. Коэффициент тензочувствительности таких преобразователей $K = 200 \div 300$ [16].

Датчики усилий, выполненные на основе магнитоупругих преобразователей, конструктивно сложнее тензорезисторных, однако к их достоинствам следует отнести высокую чувствительность и значительную мощность выходного сигнала, что позволяет в большинстве случаев отказаться от его усиления.

В лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТа при измерении продольных сил в поезде используются динамометры, которые выполнены на базе усиленных автосцепок, изготовленных Уральским вагоностроительным заводом имени Дзержинского.

На рис. 8.5, а, б приведены соответственно монтажная и электрическая схемы динамометрической автосцепки.

Таблица 8.1

Показатели	Значение показателей для тензометрических усилителей				
	УТ-4-1	УТС1-ВТ-12	ТУП-12-74	ТУП-12-74Н «Гопаз-3-01»	ПА-1
Число усилительных каналов	4	12	12	12	10
Наибольший коэффициент преобразования ($S_T = 2$), мА/е.о.д.	0,6	0,2	0,042	—	0,011
В/е.о.д.	—	—	—	0,042	—
Сопротивление тензорезисторов, Ом	200–400	100–400	100–200	100–200	100–400
Допустимый разброс сопротивления тензорезисторов, %	±1,0	±0,5	—	—	±1,0
Несущая частота, кГц	10	35	3	3	Постоянный ток
Диапазон рабочих частот, Гц	0–2000	0–7000	0–200	0–200	0–100 000
Наибольший выходной ток, мА	±100	±120	10	—	±10
Наибольшее выходное напряжение, В	—	—	—	±10	—
Сопротивление нагрузки, Ом	2,5	3,0	10	10 000	12–60
Нелинейность градуировочной характеристики, %	±2	±2	±3	±3	±0,1
Диапазон рабочих температур, °C	−40 \div +50	−18 \div +30	—	—	−10 \div +40
Питание:	127/220	220	24	24	10–15
напряжение, В	50	Постоянный ток			24
частота, Гц					Переменный или постоянный ток
Потребляемая мощность, Вт	70	600	30	30	19
Масса, кг	16	44	24	24	9,2
					3
					0,7

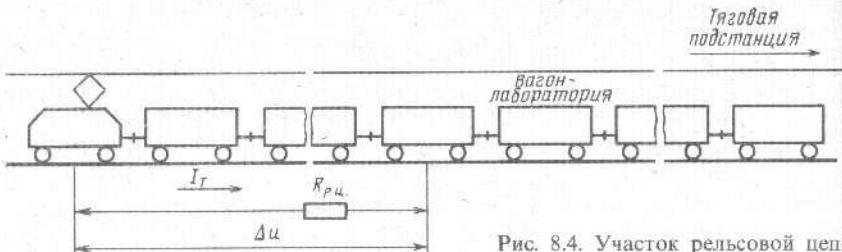


Рис. 8.4. Участок рельсовой цепи

При работе упряжного устройства хвостовик автосцепки в общем случае подвергается внецентренному растяжению (сжатию), но так как эксцентризитет приложения продольной силы по отношению к главным осям поперечного сечения может изменяться, а измеряемые деформации должны зависеть только от продольной силы, то влияние изгиба хвостовика должно быть устранено. Влияние изгиба в вертикальной продольной плоскости устраняется на克莱кой тензорезисторов вдоль нейтральной (для данного нагружения) оси. Влияние изгиба в горизонтальной поперечной плоскости устраняется включением в одно плечо моста тензорезисторов, испытывающих при данном нагружении деформации разных знаков. Компенсационные тензорезисторы располагают рядом с активными, но в перпендикулярном к ним направлении.

Активные и компенсационные тензорезисторы включаются в два смежных плеча измерительного полумоста (см. рис. 8.5, б), а выводы подключаются к штекерному разъему, установленному на тыльной части головки автосцепки.

Для защиты тензорезисторов от механических повреждений их наклеивают на специально подготовленные поверхности, предста-

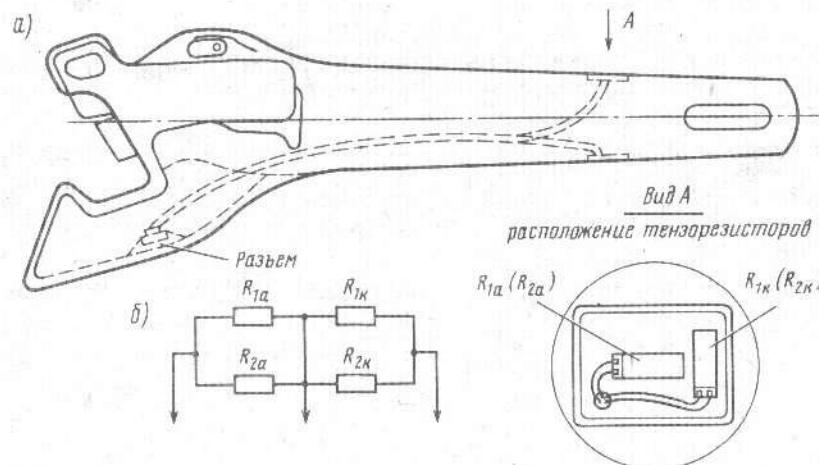


Рис. 8.5. Устройство динамометрической автосцепки:

R_{1a} , R_{2a} – активные тензорезисторы; R_{1k} , R_{2k} – компенсационные тензорезисторы

вляющие собой площадки, профрезерованные на глубину 2 мм и закрываемые сверху металлической крышкой.

Обычно динамометрические автосцепки оборудуют двумя комплектами датчиков (измерительных схем), что повышает эксплуатационную надежность и расширяет возможности проведения эксперимента.

Тарировка автосцепки производится с помощью разрывной машины и пресса на растяжение и сжатие нагрузками от 0 до 3 МН с интервалами 0,2 МН. Для крепления автосцепки в верхний захват разрывной машины устанавливается приспособление, в которое входит хвостовик автосцепки, а в нижнем крепится головка паровозной автосцепки, с которой соединяется динамометрическая автосцепка. На сжатие тарируют (рис. 8.6) две сцепленные автосцепки 2, к которым посредством клиньев 1 и дополнительных пластин 3 присоединены упорные плиты 4. Пластины 3 привариваются к плитам 4 и в них делаются отверстия для клиньев. Удобно использовать горизонтальный пресс, например пресс для запрессовки колесных пар.

В процессе тарировки регистрируют напряжение на выходе усилителя U_T , соответствующее известному усилию S_T , развиваемому разрывной машиной или прессом. После завершения цикла нагрузений производят разбалансировку моста шунтированием одного плеча резистором R_{sh} . При этом регистрируют соответствующую величину масштабного сигнала U_{sh} .

Далее определяют масштабный коэффициент:

$$a = \frac{U_{sh}}{U_T} S_T.$$

Удобно подобрать R_{sh} таким образом, чтобы $u_{sh} = (U_T)_{max}$.

Обычно тарировка автосцепок производится с соединительными кабелями небольшой длины, а при измерении сил в поезде между автосцепкой и усилителем прокладываются достаточно длинные кабели, сопротивление которых может достичь 50 Ом и более. Поэтому при прочих одинаковых условиях должно быть найдено соответствие между масштабным напряжением U_{sh} при малой (практически нулевой) и фактической длинами кабеля. Это соотношение определяется измерением напряжений U_{sh} для случаев, когда резистор R_{sh} подключается к измерительному мосту (рис. 8.7) на автос-

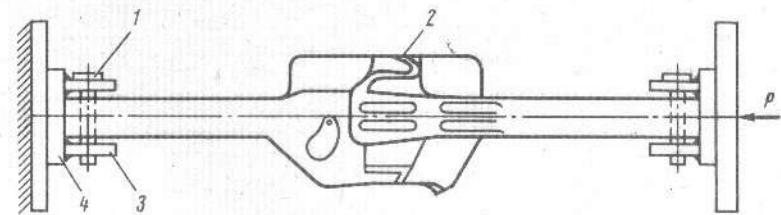


Рис. 8.6. Тарировка автосцепки-динамометра на сжатие

цепке 1 и на входе усилителя 2. Затем корректируется масштабный коэффициент. Поскольку $R_{\text{ш}} \gg R$ и $R_{\text{ш}} \gg R_{\text{каб}}$, исправленное значение масштабного коэффициента определяется как

$$a^* = U_{\text{ш}}^{\text{yc}} / U_{\text{ш}}^{\text{a}},$$

где $U_{\text{ш}}^{\text{yc}}$ – напряжение $U_{\text{ш}}$ при включении резистора $R_{\text{ш}}$ по схеме 2, а $U_{\text{ш}}^{\text{a}}$ по схеме 1.

Далее, пользуясь величиной a^* , в процессе экспериментов определяют усилия, возникающие в автосцепке. Пусть усилию S соответствует напряжение U , а шунтирующему резистору $R_{\text{ш}}$ – напряжение U_p , тогда

$$S = \frac{U}{U_p} a^*.$$

Вертикальные и горизонтальные поперечные силы, действующие на колесные пары, удобно определять по деформациям боковых рам тележки. Места наклейки тензорезисторов и ориентация их осей выбираются при этом таким образом, чтобы соответствующие деформации элементов рам, возникающие в результате действия измеряемых сил, были бы возможно большими. Надо иметь в виду, что тензорезисторы должны быть размещены и подключены таким образом, чтобы схемы для измерения горизонтальных сил слабо реагировали на изменения вертикальных сил и наоборот.

Размещение тензорезисторов на боковых рамках тележки ЦНИИ-ХЗ-О представлено на рис. 8.8. Здесь же изображены электрические схемы включения тензорезисторов (1–8, 1'–8') для измерения вертикальных и горизонтальных поперечных сил, действующих на колесную пару. Особенность схемы для измерения горизонтальных сил – включение в разные плечи полумоста тензорезисторов, расположенныхных на элементах, испытывающих деформации разных знаков. В этом случае чувствительность измерительной схемы повышается и отпадает необходимость в компенсационных тензорезисторах. Компенсационные тензорезисторы для схем измерения вертикальных сил наклеиваются в непосредственной близости от активных тензорезисторов в направлении, перпендикулярном продольной оси рамы. Иногда наклеиваются также тензорезисторы для измерения вертикальных сил, действующих на надрессорную балку тележки [15].

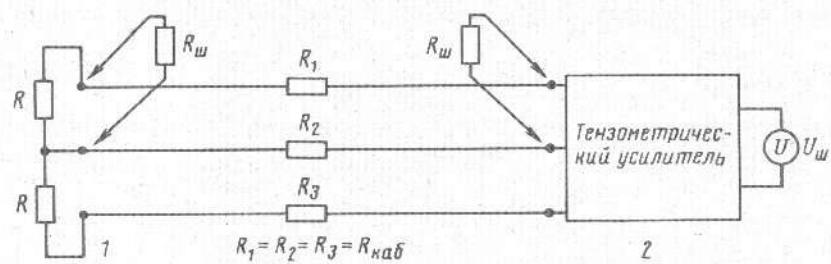


Рис. 8.7. Схема подключения разбаланса резистора $R_{\text{ш}}$

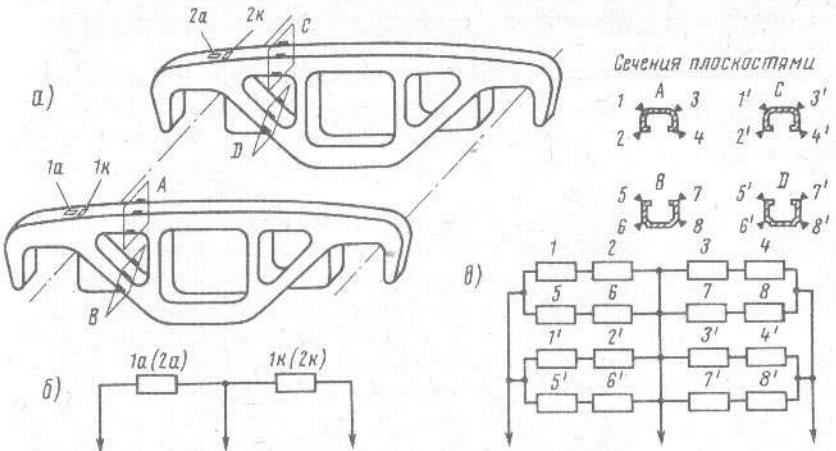


Рис. 8.8. Схемы измерения сил, действующих на колесную пару:
а – размещение тензорезисторов на боковых рамках тележки типа ЦНИИ-ХЗ-О; б – электрические схемы включения тензорезисторов для измерения вертикальных сил; в – то же горизонтальных поперечных сил

Указанный способ измерения вертикальных и горизонтальных сил позволяет исследовать динамические процессы непрерывно. Заметим, что использование тензометрических колесных пар [17] позволяет уточнить силы взаимодействия колеса и рельса, однако при этом информация может быть определена лишь в отдельные моменты времени (2–6 измерений за один оборот колесной пары).

Для измерения сжатия поглощающего аппарата автосцепки применяют различные датчики относительных перемещений. Из них наиболее распространены датчики, выполненные на основе резистивных преобразователей – реостатные и тензорезистивные. Реостатные датчики нашли широкое применение благодаря простоте конструкции. Как правило, они не требуют усилительной аппаратуры, хорошо согласуются с измерительными и регистрирующими приборами. Один из существенных недостатков этих датчиков состоит в потере их работоспособности при измерении быстроизменяющихся перемещений. Этот недостаток в полной мере относится и к реохордным датчикам, которые являются частным случаем реостатных. Для измерения сжатий поглощающих аппаратов, особенно пружинно-фрикционных, реостатные и реохордные датчики не всегда пригодны, так как большие скорости измеряемых перемещений приводят к отрыву токосъемника от дорожки. К недостаткам реостатных датчиков также можно отнести высокий уровень шумов в спектре сигнала из-за наличия значительного контактного сопротивления, обусловленного скачкообразным движением токосъемника по дорожке преобразователя. У большинства датчиков входным параметром является угловое перемещение, служащее источником дополнительной погрешности.

Другим широко распространенным видом преобразователей являются тензорезистивные, чувствительный элемент которых — жестко закрепленная у основания консольная балка, на которой наклеены тензорезисторы. С помощью таких преобразователей можно измерять лишь весьма малые перемещения. Причем верхний предел частотного диапазона измеряемых перемещений должен быть на порядок меньше собственной частоты колебаний подвижной части датчика. Довольно сложным в ряде случаев является корректное исключение с помощью механических устройств всех других перемещений, кроме измеряемого. Упомянутые трудности становятся значительными и часто практически непреодолимыми в случае необходимости измерения больших перемещений с использованием механических масштабных делителей. По этой причине тензорезистивные преобразователи не применяют для измерения сжатия поглощающих аппаратов.

Многолетний опыт измерения перемещений одних элементов подвижного состава относительно других дает основание считать наиболее приемлемыми взаимоиндукционные (трансформаторные) преобразователи. Они обладают высокой чувствительностью и достаточной линейностью. Их выходной сигнал в подавляющем большинстве случаев достаточен для регистрации без усиления. Эти преобразователи просты по конструкции, надежны и удобны в эксплуатации [42]. Активная часть датчика представляет собой катушку, состоящую из первичной (генераторной) и двух вторичных (измерительных) обмоток, выполненных рядовой намоткой. Длина активной части определяет пределы измерения. Первичная обмотка расположена по всей длине цилиндрического каркаса, выполненного из диэлектрика, каждая из вторичных обмоток занимает половину его длины. Внутри каркаса располагается подвижной ферромагнитный сердечник, длина которого равна длине активной части датчика. Электрическая схема датчика представлена на рис. 8.9. Э.д.с. E_{2a} и E_{2b} , наводимые во вторичных обмотках, являются функциями положения ферромагнитного сердечника. Если измерительные обмотки включить встречно, выходное напряжение преобразователя будет

$$E_2 = E_{2a} - E_{2b} = \omega W_2 (\Phi_a - \Phi_b) = \omega W_2 \left(\frac{F_1}{z_{ta}} - \frac{F_1}{z_{tb}} \right) = \frac{\omega W_2 F_1}{z_{ta} z_{tb}} (z_{tb} - z_{ta}),$$

где E_2 — суммарная э.д.с. во вторичных обмотках; E_{2a} и E_{2b} — э.д.с. во вторичных обмотках; ω — частота тока возбуждения; Φ_a и Φ_b — магнитные потоки вторичных обмоток; F_1 — м.д.с. первичной обмотки; z_{ta} и z_{tb} — полные сопротивления вторичных обмоток; W_2 — число витков вторичной обмотки.

Таким образом, выходное напряжение пропорционально разности сопротивлений вторичных обмоток, которые зависят от положения сердечника.

Магнитные потоки Φ_a и Φ_b являются функциями не только перемещения сердечника, но и его скорости. Это приводит к появлению дополнительной, так называемой генераторной э.д.с., вносящей погрешность в измерения. В случае синусоидального за-

кона перемещения эта погрешность γ определяется отношением наибольшей трансформаторной э.д.с. (зависящей только от положения сердечника) к наибольшей генераторной э.д.с. Можно показать [56], что $\gamma = \Omega/\omega$, где Ω — частота перемещения сердечника; ω — частота тока питания. Из этого следует, что для уменьшения погрешности от генераторной э.д.с. необходимо выбирать частоту тока питания исходя из требуемого рабочего частотного диапазона датчика. Выбрав $\omega = 10 - 15$ кГц, можно значительно уменьшить динамическую погрешность. К тому же применение повышенной частоты для питания датчика позволяет существенно уменьшить его габаритные размеры и массу.

Тарировка датчика производится путем перемещения сердечника на определенные величины с помощью специального шаблона.

Конструктивно датчик представляет собой каркас из стеклопластика, на котором размещены обмотки. Вдоль каркаса расположена монтажная плата с выпрямительными мостами и резисторами. Каркас с обмотками и платой помещен внутри цилиндрического корпуса, выполненного из алюминиевого сплава, который обеспечивает механическую прочность датчика, а также является экраном, предотвращающим искажение магнитного поля обмоток элементами крепления. Подвижным элементом датчика является цилиндрический стержень из стеклопластика, на одном конце которого находится пермаллоевый сердечник в виде полого цилиндра с продольной щелью. Другой конец стержня заканчивается устройством для крепления датчика к объекту. В узлах крепления датчика к объекту применены шаровые шарниры, предохраняющие датчик от повреждений в случаях, когда имеет место перемещение элементов объекта в плоскости, перпендикулярной его продольной оси.

Технические характеристики датчика приведены ниже:

Пределы измерения, мм	± 75
Напряжение питания, В	10
Частота тока питания, кГц	12
Чувствительность, мВ/мм	10
Нелинейность преобразования, %	5
Точность измерения, мм	0,3
Динамическая погрешность при $f_{\text{тр}} = 20$ Гц, %	0,16
Диапазон рабочих температур, °C	от -25 до +50
Выходное сопротивление, Ом	300
Потребляемая мощность, Вт	0,8

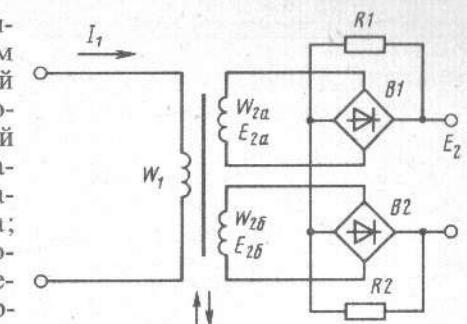


Рис. 8.9. Электрическая схема датчика перемещений:

W_1 , W_{2a} и W_{2b} — первичная и вторичные обмотки соответственно; $B1$, $B2$ — выпрямительные мосты; $R1$, $R2$ — нагрузочные резисторы

Габаритные размеры без элементов крепления, мм

$\varnothing 20 \times 210$

Длина стержня, мм

360

Масса датчика без элементов крепления, кг

0,06

Следует отметить, что упомянутый датчик является дальнейшей разработкой прибора, созданного сотрудниками ДИИТа В. Н. Захаровым и М. Е. Итиным. Он отличается усовершенствованной системой крепления к исследуемому объекту, что значительно повысило его прочность и надежность, расширен диапазон измерений, повышенна чувствительность, при его изготовлении применены современные материалы.

Рассмотренный взаимоиндукционный датчик перемещений является достаточно универсальным прибором. Он также используется для измерения прогибов пружинных комплектов рессорного подвешивания тележек и относительных продольных, вертикальных и горизонтальных (поперечных) перемещений торцевых балок кузовов в междугонном соединении.

Этот же датчик является основным элементом в устройствах для измерения перемещений точек вагона относительно рельсового пути, так называемых «лыж». Основной элемент «лыжи»—башмак, на котором укреплены два ролика, один из которых катится по верхней рабочей грани рельса, другой—по внутренней. Башмак жестко соединен с поводком. На другом конце поводка имеется шарнирное устройство. Два звена этого устройства работают только при горизонтальных, а другие два—только при вертикальных перемещениях. Шарнир соединен с крепежной трубкой, в которой расположено восстанавливающее устройство для прижатия башмака к рельсу. Элементы «лыжи» выполнены из тонкостенной стали для уменьшения инерционных нагрузок. Крепежная трубка неподвижно соединяется с той точкой вагона, движение которой исследуется, а поводок, прижатый к головке рельса, имеет возможность перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях относительно рельса. Датчики перемещений крепятся к звеням шарнира: один для измерения перемещений башмака в вертикальной, другой—в горизонтальной поперечной плоскостях. Башмак «лыжи» опирается на рельс в точке, удаленной от места контакта колеса с рельсом, т. е. практически на недеформированную часть рельса. Описанное устройство позволяет измерять перемещения отдельных точек вагонов относительно рельсов в диапазоне ± 150 мм.

Для согласования описанных датчиков перемещений с регистрирующей аппаратурой (выбор масштабов записи, установка «нулей») используется масштабный усилитель, разработанный и изготовленный в лаборатории динамики и прочности подвижного состава. Он представляет собой 12-канальный прибор, включающий в себя усилители постоянного тока, стабилизированный источник питания и устройство контроля выходных сигналов.

Электрическая схема канала масштабного усилителя приведена на рис. 8.10. Каждый канал усилителя дополнен активным фильтром

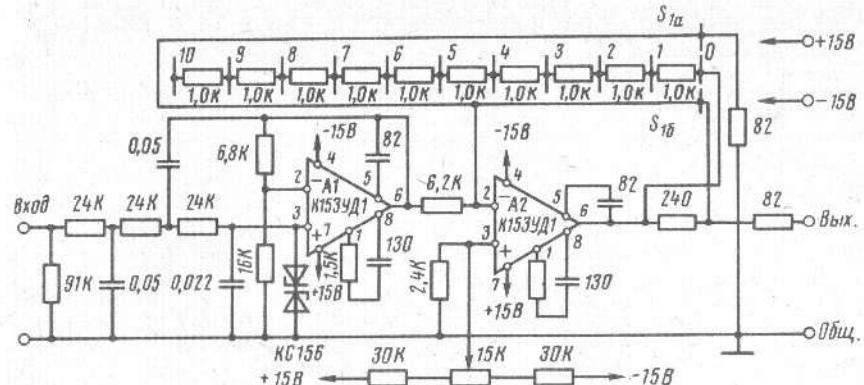


Рис. 8.10. Электрическая схема канала усилителя постоянного тока

тром нижних частот для исключения из спектра усиливаемых сигналов частот свыше 500 Гц (например, несущей частоты напряжения питания датчиков), а также переключателем для дискретного изменения коэффициента передачи в пределах от 1 до 10.

Указанный прибор нашел применение также в случаях, когда для регистрации измеряемых величин магнитографом требуется повысить входное напряжение, например при измерении динамических процессов весьма низкого уровня.

Ускорения могут быть измерены с помощью различной аппаратуры. При этом используются как генераторные, так и параметрические преобразователи [56]. Из генераторных преобразователей наиболее распространены пьезоэлектрические. Они просты, надежны, имеют малые габариты, их частотный и амплитудный диапазоны достаточно широки. Заметим, однако, что для этих преобразователей необходимы сложные согласующие усилители с высоким входным сопротивлением. Одним из представителей приборов этой группы является разработанная в Рижском филиале ВНИИВа аппаратура «Кристалл-ЗП», применяемая при экспериментальных исследованиях подвижного состава [20]. Существенным недостатком такой аппаратуры является невозможность измерения постоянных и инфразвуковых ускорений, что приводит к погрешности в определении ускорений, возникающих при ударе. Нижняя граница частотного диапазона такой аппаратуры для лучших образцов составляет 0,2 Гц. К недостаткам также следует отнести достаточно высокую чувствительность к импульсным перегрузкам, необходимость применения вибростойких кабелей ограниченной длины и невозможность статической тарировки.

В экспериментальных исследованиях по изучению динамики поезда предпочтительнее использовать акселерометры с параметрическими преобразователями [53]. Они позволяют измерять ускорения в частотном диапазоне от нуля, имеют достаточно высокую чувствительность во всем частотном диапазоне, малые габаритные размеры и массу.

Из числа параметрических преобразователей наибольшее распространение получили индуктивные и резистивные. Заметим, что серийно выпускаемая аппаратура не всегда удовлетворяет требованиям, предъявляемым к аппаратуре для измерений на подвижном составе. Так, известная аппаратура ВИ-6-ТН с индуктивным акселерометром ДУ-5 имеет низкую чувствительность. Кроме того, питание обмоток датчика напряжением прямоугольной формы приводит к появлению в измерительных цепях электрических помех, имеющих широкий спектр.

Широко применяются также акселерометры, выполненные на основе резистивных преобразователей. Известны датчики на основе реостатных преобразователей, работающие в диапазоне 0–5 Гц, например МП-66.

Применяются акселерометры АТ-2 с тензорезисторными проволочными преобразователями. Основным недостатком таких датчиков является относительно низкая чувствительность, что приводит к необходимости применять электронную усилительную аппаратуру, а также использовать для измерения экранированные кабели. Устранить эти недостатки можно применением полупроводниковых тензорезисторов. Использование последних позволяет получать выходной сигнал, в большинстве случаев достаточный для регистрации без дополнительного усиления [57].

В лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТА была разработана и изготовлена аппаратура, предназначенная для измерения ускорений на подвижном составе [43]. В состав аппаратуры входит комплект акселерометров, выполненных на основе полупроводниковых тензорезисторов, и блок согласования, дополненный активными фильтрами низких частот. Датчики представляют собой сейсмические системы с параметрическими резистивными преобразователями, в качестве которых использованы кремниевые тензорезисторы Ю-12, имеющие коэффициент тензочувствительности 90–110. Тензорезисторы наклеены на консольную балку равного сопротивления изгибу с массой на конце.

Компенсация температурного дрейфа нуля достигается включением тензорезисторов в два смежных плеча полумоста. К тому же наличие демпфирующей жидкости улучшает термостабильность датчика.

Требуемая амплитудно-частотная характеристика (рис. 8.11) достигается гидравлическим демпфированием колебаний сейсмической массы кремнийорганическими жидкостями типа ПМС, у которых температурный коэффициент вязкости значительно меньше, чем у минеральных масел. Следует отметить, что в том случае, когда интересуются низ-

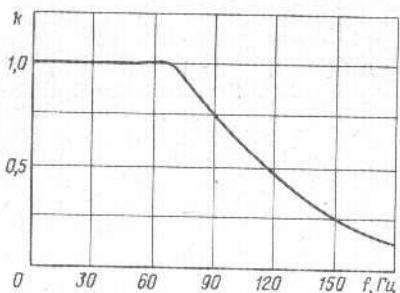


Рис. 8.11. Амплитудно-частотная характеристика датчика ускорений

кочастотной частью спектра, демпфирование имеет определенное преимущество перед электрической коррекцией. В экспериментальных исследованиях динамики поезда акселерометры с электрической коррекцией могут работать с перегрузками, что ускоряет выход их из строя, тогда как акселерометры с демпфированием мало чувствительны к составляющим ускорений в высокочастотной части спектра.

Конструктивно датчик (рис. 8.12) состоит из основания 4, на котором закреплен корпус 2. Внутри корпуса расположен держатель 8, в котором защемлена упругая консольная балка 6 равного сопротивления с сейсмической массой 5 на свободном конце. На балке наклеены тензорезисторы 7. Упоры 3 предназначены для ограничения деформации тензорезисторов в случае перегрузки. Заполнение датчика демпфирующей жидкостью производится через отверстия 1. Для компенсации температурного расширения жидкости предусмотрена специальная мембрана, вмонтированная в крышку корпуса.

Основные технические характеристики акселерометра представлены ниже:

Диапазон измеряемых ускорений, g	0,01–12
» » частот, Гц	0–63
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики, %	± 5
Неравномерность фазочастотной характеристики, %	± 3
Нелинейность амплитудной характеристики, %	± 3
Крутизна спада амплитудно-частотной характеристики за пределами рабочего диапазона, дБ/окт	12
Сопротивление плеча полумоста, кОм	$3,1 \pm 0,32$
Напряжение питания датчика, В	± 27
Чувствительность, мВ/ g	100 ± 20
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	от –10 до +40
Габаритные размеры, мм	$75 \times 55 \times 18$
Масса, кг	0,08

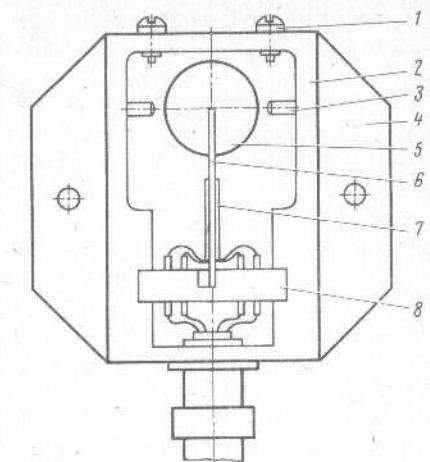


Рис. 8.12. Устройство датчика ускорений

Тарировка датчиков осуществляется сравнением с ускорением земного тяготения с помощью специального тарировочного устройства.

Для согласования выходных сигналов датчиков с регистрирующей аппаратурой разработано специальное устройство «Кремний-3», которое состоит из блока активных фильтров низких частот, стабилизированного блока питания, устройства балансировки акселерометров и стрелочного индикатора баланса. Полоса пропускания фильтров устанавливается в диапазоне от 4 до 500 Гц, дискретность установки — 4 Гц. Предусмотрена возможность усиления сигнала по напряжению в 2; 5 и 10 раз. Электрическая схема одного канала устройства представлена на рис. 8.13.

Аппаратура «Кремний-3» может работать как от сети переменного тока, так и от источника постоянного тока напряжением 27^{+3} В, импульсные помехи в цепях питания амплитудой ± 5 В практически не вносят искажений в измерения. Так как датчики питаются постоянным током, то аппаратура не вносит никаких помех в работу другой совместно работающей аппаратуры. По этой же причине не предъявляется жестких требований к длине и типу соединительных линий. Последнее особенно важно при экспериментальных исследованиях динамики длинносоставного поезда.

Входные и выходные цепи прибора защищены от перегрузок.

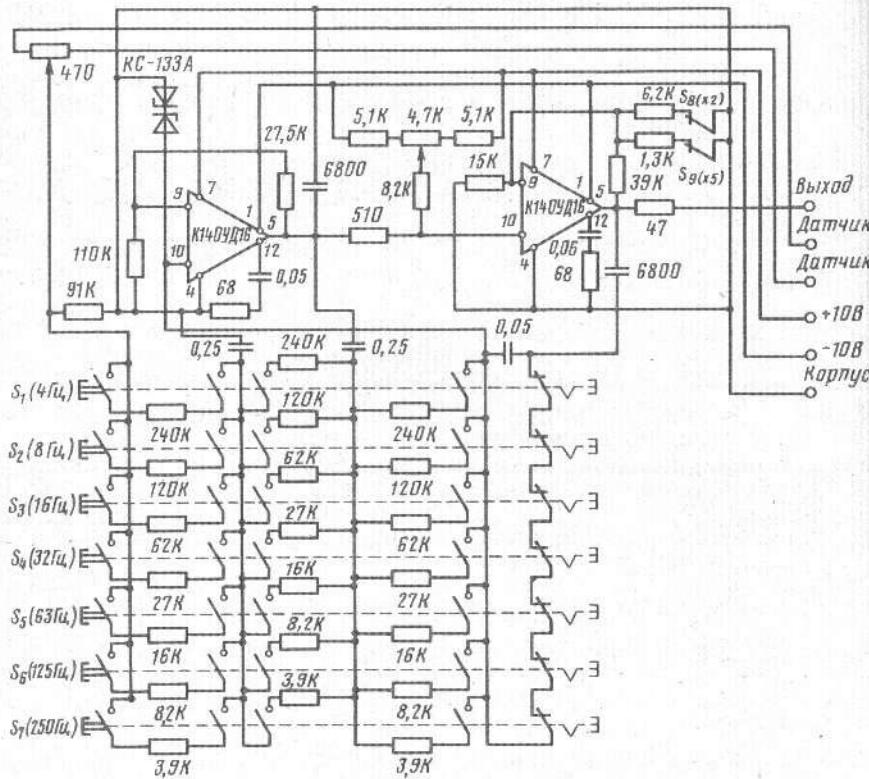


Рис. 8.13. Электрическая схема канала устройства «Кремний-3»

Предусмотрено автоматическое отключение устройства при перегрузках или замыканиях в цепях питания датчиков.

Отметим, что устройство «Кремний-3» используется не только для измерения ускорений, но и в обрабатывающих системах в качестве фильтров для коррекции спектральных характеристик исследуемых динамических процессов.

В табл. 8.2 представлены характеристики аппаратуры для измерения ускорений, которая нашла применение при исследовании динамики подвижного состава.

Для измерения давлений воздуха применяются датчики с преобразователями различных типов: емкостными, индуктивными, тензорезистивными, реостатными. Наиболее просты по конструкции датчики с реостатными преобразователями. Поэтому давление воздуха в тормозной магистрали и тормозных цилиндрах поезда удобно измерять с использованием этих датчиков, например серийных типа МД-10Т. Они позволяют измерять давление в диапазоне 0–10 МПа.

Датчик 1 (рис. 8.14) с дополнительными балансировочными резисторами $R1$ и $R2$ образует полумостовую схему, которая питается от стабилизированного источника питания 2. С помощью дополнительных резисторов устанавливается требуемый диапазон изменения выходных напряжений при заданных пределах изменения давления. Резисторы выбраны таким образом, что выходное напряжение изменяется от 0 до +1 В, если давление воздуха в тормозном цилиндре изменяется от 0 до 0,4 МПа, или давление в тормозной магистрали падает от зарядного ($\sim 0,62$ МПа) до наименьшего (например, 0,25 МПа).

Тарировка датчиков производится с помощью переносного гидравлического пресса с прецизионным манометром.

Измерение токов тяговых двигателей электровоза сводится к измерению падения напряжения на шунте, включенном в цепь заземленной шины тяговых двигателей. Однако в тех случаях, когда входные цепи измерительно-регистрирующей аппаратуры также имеют общую заземленную точку, напряжение, снимаемое с шунта электровоза, складывается с падением напряжения в рельсовой цепи, вызванным тяговыми токами. Величина этого напряжения может быть на несколько порядков выше, чем полезный сигнал. Для устранения этого явления следует предусмотреть гальваническое разделение цепи шунта электровоза и измерительно-регистрирующей аппаратуры. Примером устройства, реализующего это требование, может служить усилитель постоянного тока с гальваническим разделением входных и выходных цепей с помощью оптрана. Электрическая схема указанного устройства приведена на рис. 8.15. Применение такого усилителя позволяет при измерении напряжения на шунте электровоза не только исключить помехи, связанные с падением напряжения в рельсовой цепи, но и усилить измеряемое напряжение до уровня, удобного для регистрации.

В условиях экспериментальных исследований скорость движения поезда можно определять скоростемерами различной конструкции.

Таблица 8.2

Показатели	Значение показателей для аппаратуры		
	«Кристалл»	ВИ-6	«Кремний-3»
1	2	3	4
Вид преобразователя	Пьезоэлектрический	Индуктивный	Резистивный
Число каналов	9	6	12
Пределы измерения g	0,02–3000	0,1–40	0,01–12 (с датчиком А-4)
Частотный диапазон, Гц	0,2–16 000	0–200	0–63 (с датчиком А-4)
Нелинейность амплитудной характеристики, %	1,5	5	3
Нелинейность амплитудно-частотной характеристики, %	20 для $f < 2$ Гц	—	5
Нелинейность фазочастотной характеристики, %	5 для $f < 2$ Гц	—	5
Частоты среза, Гц	8–16 000 ступенями с отношением частот среза 2	30,200	4–500 ступенями с отношением частот среза 2
Способ установки частотного диапазона	Фильтром	—	Датчиком и фильтром
Устойчивость к импульсным перегрузкам	Неустойчив	Устойчив	Устойчив
Процессы, при которых допускается измерение ускорений	Стационарные	Стационарные и нестационарные	Батарея аккумуляторная или выпрямитель
Источник питания	Индивидуальная аккумуляторная батарея	Батарея аккумуляторная или выпрямитель	Батарея аккумуляторная выпрямитель или сеть переменного тока
Напряжение питания, В:			
постоянный ток	27 ± 10%	27 ± 10%	27 ^{+10%} _{-20%} /220 ^{+10%} _{-20%}
переменный ток	—	—	—
Чувствительность к помехам в цепях питания	Чувствителен	Малочувствителен	Практически нечувствителен
Требование к соединительным линиям (кабелям)	Требует применения вибростойких кабелей определенной длины	Длина кабеля ограничена	Любые типы и длина кабеля
Способ тарировки измерительно-регистрирующего тракта	К-сигнал	Сравнение с силой земного тяготения, К-сигнал	Чувствителен к магнитным полям
Чувствительность к электрическим и магнитным полям	Чувствителен к электрическим полям	Не чувствителен	—
Удельная потребляемая мощность, Вт/канал	1,95	11,7	1,6
Удельный объем, см ³ /канал	5000	1700	900
Удельная масса, кг/канал	2,8	0,82	0,7

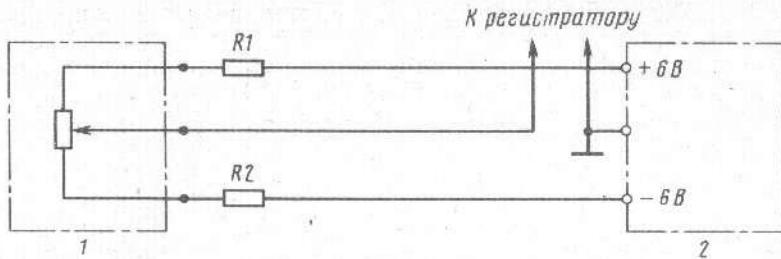


Рис. 8.14. Схема включения датчика давления МД-10Т

Многие из них базируются на основе использования тахогенераторов, преобразующих угловую скорость вращения колесной пары в напряжение электрического тока. Напряжение измеряется вольтметром, шкала которого проградуирована в единицах скорости. Точность применяемых тахогенераторов невысока. Поэтому мала и точность измерения скорости [56].

Для измерения скорости движения удобнее использовать частотный способ, который заключается в преобразовании скорости движения в пропорциональную ей частоту. Этот способ исключает погрешности, присущие тахогенераторному датчику скорости, так как частота определяется лишь угловой скоростью и конструкцией задающего устройства. Указанный способ базируется на использовании частотных датчиков угловой скорости и электронных цифровых частотомеров.

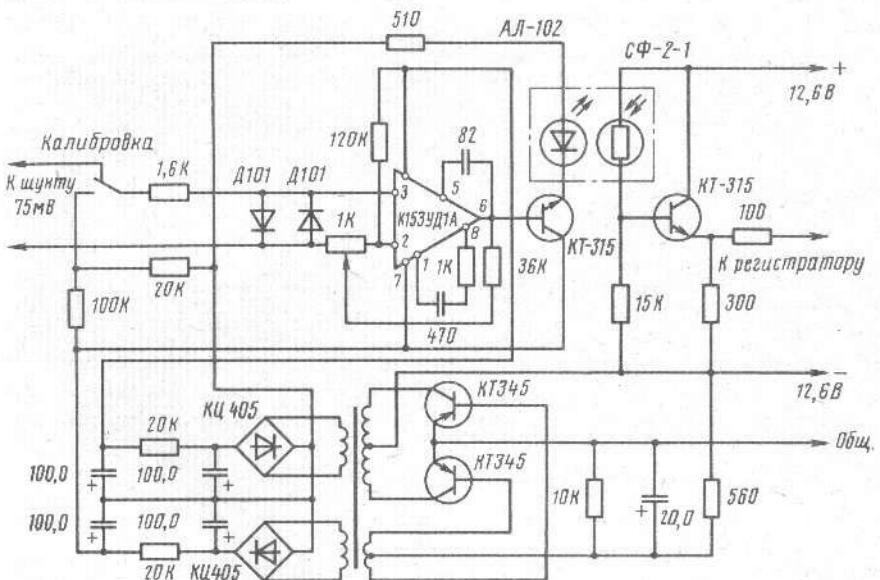


Рис. 8.15. Электрическая схема усилителя с гальваническим разделением входных и выходных цепей

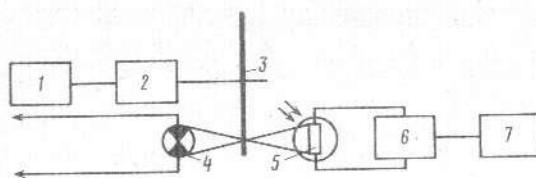


Рис. 8.16. Блок-схема скоростемера:
1—сельсин-датчик; 2—сельсин-приемник; 3—диск с отверстиями; 4—осветитель; 5—фотоэлектрический преобразователь; 6—формирователь импульсов; 7—электронно-цифровой частотометр

Так, в упомянутой лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТа создано и используется устройство, состоящее из фотоэлектрического преобразователя, освещенность рабочей поверхности которого модулируется вращающимся диском с отверстиями [42]. Количество отверстий определяется диаметром круга катания измерительной колесной пары и выбирается таким образом, чтобы частота следования импульсов численно равнялась измеряемой скорости движения (в км/ч).

При движении вагона диск посредством сельсина вращается синхронно с колесной парой, частота следования импульсов, генерируемых фотоэлектрическим преобразователем, измеряется частотометром, на цифровом табло которого индицируется число, равное измеряемой скорости.

Конструктивно устройство выполнено в виде сельсина, установленного на крышке буксового узла и механически связанного с осью колесной пары, а также размещенного внутри вагона-лаборатории преобразователя угловой скорости ω в частоту следования импульсов f . Блок-схема скоростемера представлена на рис. 8.16.

Количество импульсов на выходе преобразователя за определенный промежуток времени пропорционально пройденному пути, что используется при измерении тормозного пути. Последний равен расстоянию, пройденному поездом за время от момента сброса тяги до остановки.

Блок-схема устройства для определения тормозного пути представлена на рис. 8.17. Усиленное напряжение, пропорциональное току тяговых двигателей электровоза $U(I_t)$, поступает на вход дифференцирующего устройства 1. При торможении в момент сброса тягового тока на выходе устройства 1 формируется импульс, включающий левую половину триггера 2. Напряжение с триггера поступает на вход ключа 3 и открывает его для прохождения импульсов датчика оборотов колеса через делитель частоты 4 на вход счетчика числа $n(S)$ импульсов 5, в качестве которого используется цифровой частотомер-хронометр. Делитель частоты служит для установки коэффициента деления таким образом, чтобы количество импульсов соответствовало тормозному пути в метрах.

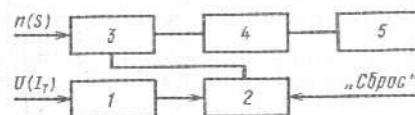


Рис. 8.17. Блок-схема устройства для определения тормозного пути

Коммутация датчиков, установленных в различных сечениях поезда, с аппаратурой, находящейся в вагоне-лаборатории, производится с помощью многожильных экранированных кабелей. Комплект кабелей включает в себя короткие (25 м) и длинные (100 м) кабели. Каждый кабель заканчивается с обеих сторон штекерными разъемами СШР60. Измерительные кабели изготовлены из серийно выпускаемых кабелей КЭРШ и КЭВШ с числом жил 19, 37 или 50. Каждая жила находится в отдельном экране, а все экранированные жилы — в изоляционной оболочке, которая в свою очередь защищена от механических повреждений стальной оплеткой.

Наличие кабелей различной длины и с различным числом жил позволяет оптимально составить кабельную цепь с учетом охвата всех измерительных сечений по длине поезда. Включение отдельных сечений в общую кабельную цепь производится с помощью тройников. Соединение каждого датчика в измерительном сечении с тройником обеспечивается специальным кабелем «пауком», представляющим собой группу кабелей с малым числом (3–4) жил, заканчивающихся с одной стороны разъемом типа СШР, а с другой — разъемами для подключения датчиков.

Кабели, соединяясь друг с другом, создают кабельные цепи необходимой длины (иногда до 1 км), одна из которых охватывает головную, другая — хвостовую часть поезда. Кабельные цепи подсоединяются к вводному щиту в вагоне-лаборатории. Щит служит для коммутации измерительных цепей датчиков в соответствии с конкретной схемой измерений. Общая схема коммутации для поезда, состоящего из 112 четырехосных полувагонов, изображена на рис. 8.18.

Рассмотрим теперь аппаратуру для регистрации измеряемых процессов.

Ранее отмечалось, что наиболее удобным способом регистрации опытных данных является точная магнитная запись, так как она допускает непосредственный ввод информации в ЭВМ и другие анализирующие и обрабатывающие устройства. Применение точной магнитной записи позволяет накапливать большое количество информации в компактном виде и многократно ее использовать, выделять наиболее информативные участки спектра, варьировать шкалу времени. Современные средства точной магнитной записи позволяют записывать измеряемые процессы с такой же точностью,

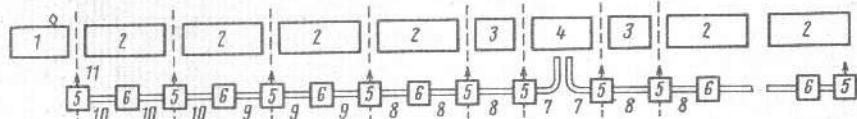


Рис. 8.18. Схема коммутации измерительных цепей в поезде:
1—локомотив; 2—группа, состоящая из 13 вагонов; 3—группа, состоящая из четырех вагонов; 4—вагон-лаборатория; 5—тройник; 6—кабельное соединение; 7—кабель 50-жильный 25-метровый; 8—кабель 50-жильный 100-метровый; 9—кабель 37-жильный 100-метровый; 10—кабель 19-жильный 100-метровый; 11—кабель «наук»

какую имеют и другие элементы: датчики, устройства обработки и др.

При экспериментальных исследованиях динамики поезда в качестве регистраторов используются магнитографы НО48, серийно выпускаемые отечественной промышленностью, а также магнитограф «Сигнал», разработанный и изготовленный в лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТа. Их технические характеристики приведены в табл. 8.3.

Отметим, что серийные магнитографы НО48 были модернизированы [11]. Опыт поездных испытаний показывает, что, кроме основных метрологических требований, предъявляемых к магнитографам, следует добавить еще и дополнительные: 1) необходимость оперативного контроля измерительно-регистрирующего тракта, например, путем визуального наблюдения записываемых процессов

Таблица 8.3

Показатели	Значение показателей для магнитографов	
	«Сигнал»	НО48
Число каналов	24	14
Из них служебных	2	1
Род записи	ЧИМ	ЧИМ
Наибольшая глубина модуляции, %	50	40
Входной сигнал канала ЧИМ для получения наибольшей глубины модуляции, мВ	От ± 10 до ± 3000 с дискретной регулировкой 10 ступенями	± 1000 или ± 3000
Удельное входное сопротивление канала ЧИМ, кОм/В	1000	Не менее 20
Выходное напряжение канала ЧИМ, В	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Выходное сопротивление канала, Ом	200	100
Скорость транспортирования магнитной ленты, см/с	19,05	4,76; 9,53; 19,05; 38,10
Верхняя граница частотного диапазона соответственно скорости движения магнитной ленты, кГц	1,0	0,5; 1,0; 2,0; 4,0
Динамический диапазон соответственно скорости движения магнитной ленты, дБ	40	38, 40, 41, 41
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики	0,5	2
Коэффициент нелинейных искажений, %	3	3
Коэффициент колебания скорости движения ленты, %	0,5	0,4
Тип магнитной ленты	И-4403-25	И-4403-25
Емкость катушки, м	515	750
Питание	220 В, 50 Гц	~ 220 В; 50 Гц; -27 В
Потребляемая мощность, Вт	250	300
Габаритные размеры блоков магнитографа, мм:		
лентопротяжный механизм		$630 \times 656 \times 465$
блок записи		$630 \times 338 \times 420$
» воспроизведения		$630 \times 338 \times 420$
Масса блоков магнитографа, кг:		
лентопротяжный механизм		80
блок записи		35
» воспроизведения		35

в любом режиме работы магнитографа; 2) возможность установки масштабов записи до начала регистрации; 3) необходимость калибровки, позволяющей оперативно записывать калибровочный сигнал на магнитную ленту; 4) необходимость записи сигналов, управляющих вводом информации в ЭВМ. В типовых магнитографах (НО36, НО48, НО56, НО57, НО62) эти дополнительные требования не были учтены, чем и была вызвана модернизация аппаратуры.

В типовых магнитографах записываемые процессы можно контролировать только в режиме записи. Чтобы обеспечить возможность контроля измерительно-регистрирующего тракта и подбор масштабов до начала записи, т. е. в режиме «Стоп», была разработана специальная система – «Сквозной тракт», которая позволяет подавать сигнал с модулятора на демодулятор, минуя головки записи и воспроизведения. Так как калибровочные данные должны записываться на магнитную ленту, то был изготовлен блок калибрующего устройства, обеспечивающий подачу на входы магнитографа калибровочного напряжения ± 1 В.

Для автоматизации ввода в ЭВМ создано устройство, позволявшее по одному из каналов, так называемому служебному, производить запись сигналов, управляющих вводом информации в машину. Эта запись ведется в виде цифрового кода, содержащего информацию об эксперименте – признак начала ввода, номер испытаний и номер опыта, скорость движения, информацию об устройстве пути в плане и профиле и т. д.

В случае использования измерительной аппаратуры, приспособленной для работы со светолучевыми осциллографами (т. е. с выходом по току), используется магнитограф «Сигнал» [42], позволяющий к тому же одновременно вести запись по 24 каналам, из которых 22 предназначены для записи процессов, а 2 являются служебными (для записи речевого сопровождения и сигналов для автоматизации ввода в ЭВМ). В магнитографе предусмотрены упомянутые ранее система оперативного контроля измерительно-регистрирующего тракта и калибровка.

Магнитограф состоит из двух устройств, аналогичных по конструкции: устройства записи и устройства воспроизведения. Блок-схема устройства записи представлена на рис. 8.19.

Так как в процессе испытаний, как правило, приходится вести запись одновременно на нескольких магнитографах, то для управления их работой была разработана система дистанционного управления с одного пульта.

Для визуального наблюдения, контроля и экспресс-обработки измеряемых процессов в ходе проведения опытов в состав измерительно-регистрирующего комплекса включены электронные цифровые вольтметры типа В7-27 и многолучевые индикаторы ИМ-789. С помощью цифровых вольтметров удобно с достаточно высокой точностью производить тарировку измерительных схем.

Оперативно контролировать и подвергать экспресс-обработке регистрируемые процессы позволяют индикаторы типа ИМ-789, модернизированные в лаборатории динамики и прочности подвиж-

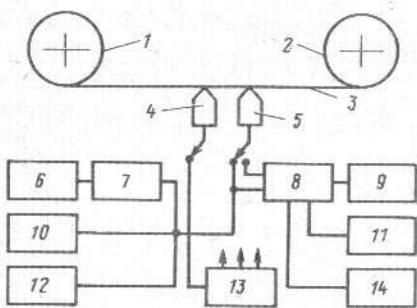


Рис. 8.19. Блок-схема магнитографа «Сигнал»:

1, 2—подающая и приемная катушки; 3—магнитная лента; 4—головка стирания; 5—блок универсальных головок; 6—входные делители; 7—блок модуляторов; 8—блок предварительных усилителей; 9—блок демодуляторов; 10—усилитель записи речевого сопровождения; 11—усилитель воспроизведения речевого сопровождения; 12—усилитель записи служебных сигналов; 13—блок питания; 14—усилитель воспроизведения служебных сигналов

ного состава ДИИТА с целью расширения их эксплуатационных возможностей для использования при экспериментальных исследованиях динамики поезда. В процессе модернизации увеличено число лучей индикатора до 14 путем увеличения числа усилителей и компараторов, существенно изменен блок развертки по оси времени, в результате чего практически до нуля уменьшено время обратного хода лучей. Это позволяет избежать потери информации при наблюдении. Структурная схема блока развертки приведена на рис. 8.20. Так как чувствительность каналов индикаторов калибрована и в приборе применена электронно-лучевая трубка с длительным послесвечением, то в процессе визуального наблюдения удобно производить экспресс-обработку экспериментов, в частности анализировать протекающие в поезде волновые процессы и определять наибольшие значения измеряемых величин. При необходимости сразу же после окончания опыта возможно повторно воспроизвести требуемый участок реализации для экспресс-анализа.

Качественный анализ измеряемых процессов удобно производить по осцилограммам. В связи с этим ряд опытов перезаписывается светолучевым осциллографом на бумажную ленту. Следует также отметить, что установки точной магнитной записи практически не искажают регистрируемые процессы при ударе по вагону-лаборатории, находящемуся в грузовом поезде, тогда как гальванометры осциллографа чувствительны к ускорениям вагона-лаборатории в «остром» переходном режиме, что искажает запись и затрудняет ее обработку. С этой точки зрения перезапись процес-

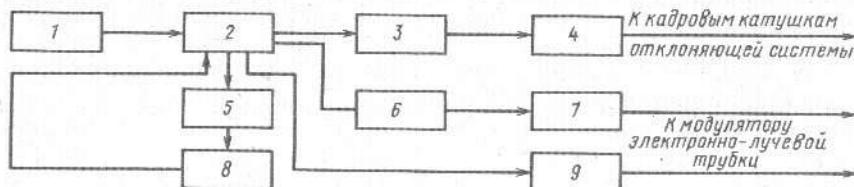


Рис. 8.20. Структурная схема блока развертки:

1—делитель напряжения; 2—интегратор; 3—согласующий усилитель; 4—усилитель мощности; 5—компаратор; 6—устройство синхронизации; 7—генератор меток времени; 8—схема разряда интегрирующей ёмкости; 9—схема гашения обратного хода луча

сов на бумагу в стационарных условиях позволяет получать более качественные осциллограммы.

Удобно использовать осциллограф НО10^M, позволяющий записывать до 30 процессов на ленту шириной 300 мм. Через специальное коммутационное устройство входы осциллографа подключаются к выходам магнитографов; в этом случае на одной осциллограмме могут быть записаны процессы с различных магнитографов. Сигналы к осциллографу поступают с блока воспроизведения магнитографа через фильтры низких частот, в качестве которых используется устройство «Кремний-3», описанное выше.

Перемещения вагонов поезда друг относительно друга, а также их отдельных элементов часто регистрируют с помощью **фотокиносъемки**. Применение этого метода позволяет визуально анализировать ряд явлений, возникающих в процессе проведения эксперимента. Использование для этих целей портативных видеомагнитофонов дает возможность значительно повысить эффективность этого метода, так как при этом может производиться оперативный просмотр записываемой информации как в процессе ее регистрации, так и сразу же после проведения записи.

При проведении экспериментальных исследований **видеозапись** производилась катушечным видеомагнитофоном «Электроника-590-видео», основные технические характеристики которого приведены ниже:

Параметры телевизионного изображения	625 строк, 50 полей
Способ записи телевизионного изображения	Наклонно-строчный ЧМ-сигнал
Носитель информации	Хромдиоксидная магнитная лента
Ширина магнитной ленты, мм	12,7
Время записи, воспроизведения, мин	45
Время перемотки, не более, мин	5
Скорость движения ленты, см/с	$16,32 \pm 2\%$
Разрешающая способность не менее, линий	250
Отношение видеосигнал-шум, не менее, дБ	40
Видеовход, В, размак	$1^{+0,4}_{-0,3}$ на нагрузке 75 Ом
Видеовыход, В, размак	$1 \pm 0,1$ на нагрузке 75 Ом
Габаритные размеры, мм	$422 \times 367 \times 198$
Напряжение питания, В	$220 \pm 10\%$
Частота, Гц	50
Потребляемая мощность, Вт	90
Масса, кг	15

Особенно ценным оказывается установление связи наблюдавшихся «картинок» с регистрируемыми процессами изменения сил, перемещений, ускорений и других величин.

Приборы, предназначенные для измерения и регистрации динамических процессов, предусматривают использование в качестве **источника электропитания** напряжение как постоянного (например, тензоусилители, виброизмерительная аппаратура, светолучевые осциллографы и т.д.), так и переменного тока (например, многолучевые индикаторы ИМ-789 и др.). При этом используются различные величины напряжений постоянного тока: 6, 12, 24, 27 В. К тому же эти напряжения могут быть различных полярностей, что в свою очередь ведет к тому, что у некоторых приборов должен быть заземлен «+», а у некоторых «-». Следовательно, такие приборы должны питаться от индивидуальных источников питания. Но в условиях вагона-лаборатории большое число аккумуляторных батарей иметь нецелесообразно, особенно если учесть проблему стабилизации напряжения питания.

Поэтому, как показал опыт, более рациональным способом электропитания приборов, входящих в измерительно-регистрирующий комплекс, является их питание от стабилизированного источника переменного тока промышленной частоты. При этом приборы с низковольтным питанием (тензоусилители ТУП-12Н, светолучевой осциллограф Н010^М и др.) включают через выпрямители, остальные приборы работают от источника переменного тока.

Для этой цели упомянутой лабораторией был специально разработан и изготовлен статический преобразователь, преобразующий напряжение постоянного тока вагонной батареи аккумуляторов в напряжение переменного тока [42]. Преобразователь состоит из стабилизированного по частоте генератора управляющих импульсов, коммутирующих вентилей, цепей гашения и силового трансформатора. Упрощенная схема преобразователя представлена на рис. 8.21. Генератор управляющих импульсов G_y предназначен для управления работой коммутирующих вентилей V_1 , V_2 и представляет собой термостабилизированный мультивибратор, нагрузкой которого является оконечный импульсный усилитель. В качестве коммутирующих вентилей применены тиристоры ВКУ-200. Гашение тиристоров производится коммутационными токами, возни-

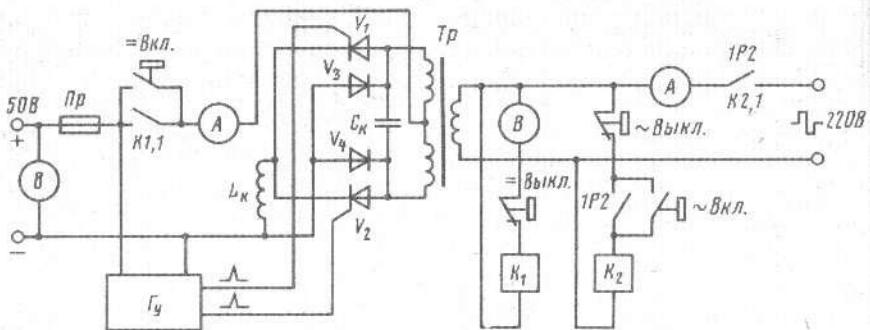


Рис. 8.21. Упрощенная схема статического преобразователя

кающими в результате перезаряда конденсатора C_k , включенного параллельно анодам. Напряжение переменного тока прямоугольной формы, полученное в результате коммутации, повышается до уровня 220 В силовым трансформатором Tr . Техническая характеристика преобразователя следующая:

Первичное напряжение, В	36–75 постоянного тока
Выходное напряжение, В	220, устанавливается с точностью до 2 В
Форма выходного напряжения	Прямоугольная
Номинальная мощность, кВт	2,5
К.п.д.	0,9
Габаритные размеры, мм	500 × 450 × 350
Масса, кг	90

Для повышения стабильности и улучшения коэффициента формы выходного напряжения преобразователь оснащен феррорезонансным стабилизатором напряжения С-09 мощностью 900 В·А.

Аппаратура, входящая в состав измерительно-регистрирующего комплекса, размещается в вагоне-лаборатории. При исследованиях переходных режимов движения на вагон в продольном направлении передаются значительные по величине ударные нагрузки. Для защиты от них аппаратуры создана система дополнительной амортизации (рис. 8.22), которая представляет собой пространственную стержневую конструкцию 1, совершающую на четырех подвесках 2 маятникового типа главным образом плоские колебания в продольной вертикальной плоскости вагона.

Период собственных колебаний системы составляет 3 с, что значительно выше длительности ударных возмущений.

Амплитуда колебаний системы ограничивается упругими ограничителями хода 3 и не превышает ±400 мм. Для гашения колебаний в продольном направлении используют пневматический демпфер 5, оптимальная степень демпфирования которого установлена подбором поперечного сечения дроссельного отверстия. Колебания в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях гасятся с помощью упругих резиновых элементов 4 и 6.

Созданный в лаборатории динамики и прочности подвижного состава измерительно-регистрирующий комплекс на протяжении ряда лет успешно используется для изучения динамики поезда [11].

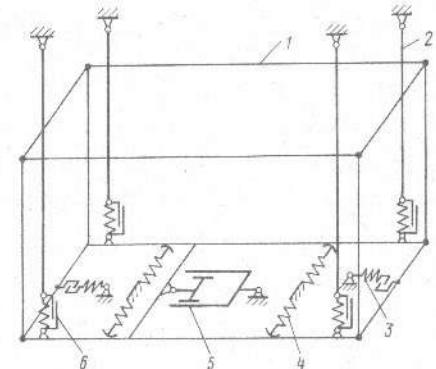


Рис. 8.22. Кинематическая схема системы дополнительной амортизации аппарата

8.3. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

Перед окончательным формированием опытного поезда целесообразно произвести приемочный осмотр, а также контрольное взвешивание представительной группы вагонов. Масса груза в остальных вагонах оценивается по величинам статических прогибов пружин рессорного подвешивания. Далее следует определить зазоры в упряжи [13]. Для этого весь поезд (или его часть) последовательно растягивается и сжимается малыми силами с помощью двух локомотивов, размещенных по концам сцепа (один из локомотивов тормозит, а другой развивает требуемую силу тяги и затем также тормозит). С помощью специальных приспособлений измеряют расстояния между торцовыми балками кузовов соседних вагонов, а также сжатие («ход») аппаратов. Зазор получается как разность расстояний между балками в растянутом и сжатом состояниях, из которой нужно вычесть сумму сжатий обоих аппаратов в обоих состояниях поезда. В длинносоставном поезде определение зазоров во всех соединениях – весьма трудоемкая операция. Однако при проведении опытов с эксплуатационным поездом она необходима для определения распределения зазоров вдоль поезда. В случае однородного поезда, состоящего из вагонов новой постройки, разброс зазоров, как отмечалось выше, мал и можно ограничиться определением среднего зазора. Он может быть найден осреднением результатов измерений зазоров в представительной выборке сечений. Результат может быть проектирован измерением перемещения локомотива, сжимающего и растягивающего поезд (или его часть), если при этом развиваются весьма малые силы (меньшие начальной затяжки поглощающих аппаратов), а поезд (или его часть) располагается на горизонтальном участке пути. В табл. 8.4 приведены средние зазоры в различных опытных поездах, составленных из четырехосных полурамочных вагонов новой постройки.

Длинносоставный поезд перед поездкой формируется из двух частей, размещенных на соседних путях станции. В конечном пункте локомотивы обгоняют без разъединения состава. Опытные поездки проводятся «челноком» на достаточно длинном участке пути (более 20–30 км).

Во время поездок выполняются опыты по пускам поезда в ход, торможениям и движению поезда на переломе продольного профиля пути. В специальных случаях изучаются стационарные режимы движения поезда при интенсивной тяге или рекуперативном (рекуперативном) торможении.

Таблица 8.4

Год проведения опытов	1970–1971	1972	1978	1979	1981
Число четырехосных вагонов в поезде	88	88	88	112	112
Средний зазор, мм	38,5	38	45	47	45

Трогание поезда, как правило, производится после остановочных торможений, отпуска и зарядки автотормозов. Поезд при этом чаще всего находится в сжатом состоянии. Если поезд остановлен на участке пути вышукового профиля, то к моменту пуска он оказывается растянутым. Иногда из-за характера профиля пути в длинносоставном поезде начальные деформации имеют разные знаки.

При трогании поезда прикладывается необходимая сила тяги в течение некоторого промежутка времени. Для этого рукоятку контроллера переводят в соответствующее положение, и она остается в этом положении в течение всего времени переходного процесса. При проведении опытов варьируют величиной приложенной силы тяги и временем ее набора. Для получения верхних границ усилий, а также для контроля результатов расчета проводят опыты по троганию поезда весьма большой силой. Ее величина определяется условиями трогания поезда повышенной массы в неблагоприятном случае (подшипники скольжения, зимний период). Время набора тяги при этом задают возможно меньшим. Так, при трогании поезда массой 10 тыс. т двумя электровозами ВЛ8 контроллер выводится на третью позицию примерно за 3 с. Заметим, что в случае необходимости штатную схему включения двигателей электровоза изменяют, обеспечивая возможность приложения силы тяги требуемого уровня практически мгновенно.

В опытных поездках исследуют как остановочные, так и регулировочные торможения. Остановочные торможения обычно включают торможения ступенью (разрядкой магистрали по 0,07 МПа), полные служебные (ПСТ) торможения (разрядкой магистрали на 0,18 МПа) и экстренные торможения. Разрядка магистрали при служебных торможениях производится V положением ручки крана машиниста № 394. Иногда для снижения продольных сил в поезде используют положение VA. Вообще программа опытов по торможению поезда большой массы должна принимать во внимание рекомендации, изложенные в работе [18].

Опыты, как правило, проводят лишь с поездами, оборудованными композиционными тормозными колодками, но для двух режимов включения воздухораспределителей: среднего и груженого. Заметим, что в условиях эксплуатации воздухораспределители груженых вагонов включены на средний режим работы, а в поезде могут быть вагоны, оборудованные как композиционными, так и чугунными тормозными колодками. В этом случае уровень продольных сил получается более низким, чем в опытном поезде.

При рассредоточении локомотивов исследуются те или иные системы управления тягой и тормозами соединенного поезда.

Наибольшими продольные усилия в поезде оказываются при торможениях с малыми начальными скоростями движения. Поэтому обычно начальные скорости движения v_0 изменяются в диапазоне 10–50 км/ч. Как показывают расчеты и многочисленные опыты, при использовании композиционных тормозных колодок наибольшие продольные силы в поезде слабо зависят от начальной скоро-

Таблица 8.5

Начальная скорость движения поезда, км/ч	Продольные усилия, $N \cdot 10^4$, возникающие в поезде при тор- можениях	
	полных служебных	экстренных
50	-130	-150
	-110	-120
30	-140	-150
	-120	-110
10	-140	-150
	-120	-110

Примечание. В числителе – наибольшие усилия, в знаменателе – средние.

сти движения в указанном диапазоне ее изменения. В табл. 8.5 приведены наибольшие и средние значения сил (10^4 Н) при полных служебных (ПСТ) и экстренных (ЭТ) торможениях.

Отмеченное обстоятельство позволяет сократить объем опытов. Вполне достаточно подробно исследовать торможения лишь при одной начальной скорости движения (например, 30 км/ч), а при скоростях 50 и 10 км/ч выполнить лишь отдельные опыты. Они позволяют, в частности, проконтролировать величину тормозных путей. Заметим, что последние подвержены значительно меньшему разбросу, нежели наибольшие продольные силы. Поэтому для оценки тормозных путей достаточно одного-двух опытов, тогда как для оценки наибольших сил требуется не менее 7–10 опытов при одной начальной скорости движения. Дополнительный путь сокращения числа опытов – сопоставление предварительно найденных расчетом и получаемых экспериментально данных. Как показывают многочисленные сопоставления, наибольшие расчетные силы должны быть близки к наибольшим средним значениям сил, измеренным в данной серии опытов.

Основная часть опытов посвящена торможениям растянутого состава. При этом сброс тяги и приведение в действие тормозов производятся практически одновременно. В этом случае зазоры в упряжи существенно влияют на ход переходного процесса. Если хотят исключить влияние зазоров, то поезд перед торможением предварительно сжимают, используя прямодействующий тормоз локомотива. При этом участок пути не должен содержать выпуклого перелома профиля со значительной алгебраической разностью уклонов. Заметим, что в опытах по торможению сжатого поезда получаются меньшими по сравнению с опытами по торможению растянутого поезда не только уровень сил, но и их дисперсия относительно средних для серии опытов. Превышение наибольших измеренных сил над наибольшими средними значениями для серии опытов по торможению сжатого состава составляет всего 5–10%, а по торможению растянутого – 25–35%. Это обстоятельство позволяет ограничиться малым числом опытов по торможению сжатого поезда (2–3 на каждый вариант).

Особый интерес представляет проведение опытов по регулировочным торможениям поезда, поскольку такой режим движения наиболее часто встречается в эксплуатации. При этом, как правило, выполняют торможения растянутого состава, т. е. сброс тяги и начало разрядки магистрали производят практически одновременно. Магистраль разрежают обычно на 0,07 МПа. После снижения ско-

рости на 5 км/ч осуществляют отпуск тормозов, по завершении которого набирают силу тяги. Таким образом, при регулировочных торможениях поезда вдоль него распространяются волны сжатия и растяжения, вызванные приведением в действие и отпуском тормозов, а также набором силы тяги. Поскольку опыты проводятся на реальном пути с профилем ломаного очертания, а скорость движения превышает 50 км/ч, вдоль поезда распространяются также волны сжатия и растяжения, вызванные переломами продольного профиля пути. В различных случаях имеют место наложения волн нагружения, вызванных торможением, отпуском, набором тяги и переломами профиля.

Это обстоятельство значительно увеличивает дисперсию результатов измерения, в частности продольных сил. Поэтому число опытов должно быть возможно большим, профиль пути более разнообразным, а участок пути большой протяженности.

Для сокращения числа опытов получаемые в ходе эксперимента наибольшие силы можно сопоставлять с их оценками, которые, как упомянуто в работе [7], равны сумме наибольших сил, измеренных при регулировочных торможениях, выполненных на участке пути горизонтального профиля (площадке), и наибольших сил, возникающих при движении поезда «на выбеге» по перелому профиля пути.

В связи с этим особое внимание должно быть уделено проведению опытов по регулировочным торможениям поезда на площадке. Важны также опыты, посвященные измерению сил в поезде, движущемся по участку пути, содержащему перелом профиля с известными параметрами. Особый интерес представляют те случаи, когда зазоры в упряжи существенно влияют на переходный режим движения поезда. Иногда опытный участок не позволяет поставить такие опыты, поскольку практически не содержит переломов профиля (например, Экспериментальное кольцо ВНИИЖТа на станции Щербинка) либо содержит малое число переломов, либо параметры имеющихся переломов не представительны с точки зрения их распространенности на сети дорог. Во всех этих случаях целесообразно пользоваться теоретическими оценками сил, возникающих на переломах профиля, которые могут быть получены, например, так, как рекомендует работа [7].

Специальные опыты по исследованию стационарных режимов движения поезда в условиях интенсивной тяги или рекуперативного (реостатного) торможения выполняют с целью оценки устойчивости против схода с рельсов колесных пар легких вагонов. Их проводят обычно на участках пути, расположенных в горной местности и содержащих крутые уклоны, кривые в плане малого радиуса (до 100 м) с переходными кривыми малой длины. При анализе исследуемых процессов, характеризующих колебания экипажей, существенным оказывается определение их нулевых значений (начала отсчета). В связи с этим особое внимание должно быть уделено регистрации измеряемых процессов при движении опытного сцепа по прямому участку пути в тех случаях, когда поезд, в котором сле-

дует сцеп, движется «на выбеге». Это же обстоятельство предъявляет особые требования к используемой аппаратуре. Нули процессов не должны изменяться на протяжении десятков минут. Это и ряд других обстоятельств обусловливают особую сложность проведения такого рода экспериментов.

В ходе опытов изменяют скорости движения и силу тяги или тормозную силу. Опыты проводят на участках пути различного устройства в плане – прямых и кривых различных радиусов [14, 30].

Заметим, что целенаправленному проведению опытов способствует использование монитора, позволяющего анализировать процессы в ходе опытов и подвергать их экспресс-обработке в самом вагоне-лаборатории.

8.4. ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

Наибольший интерес в экспериментальном исследовании переходных режимов движения поезда представляет качественный анализ осцилограмм внутренних и внешних сил, действующих на поезд как на механическую систему материальных точек. Этот анализ значительно упрощается, если все процессы изменения всех указанных сил записаны на ленте одного осциллографа. На рис. 8.23–8.25 помещены такие осцилограммы, зарегистрированные при изучении переходных режимов движения поезда массой 10 тыс. т, состоящего из 112 полуваагонов, одного вагона-лаборатории, находившегося в середине поезда, и двух электровозов ВЛ8. Осцилограммы на рис. 8.23 и 8.25 относятся к случаю, когда оба локомотива находились в голове поезда, а на рис. 8.24 – к случаю, когда один локомотив был в голове, а другой – в середине поезда (рядом с вагоном-лабораторией).

Приведенные ранее данные (см. рис. 8.1) дают представление о размещении измерительных сечений в поезде.

На осцилограммах, помещенных на рис. 8.23–8.25, S_i – продольные силы в измерительных сечениях, I_i – токи двигателей электровозов, P_{ci} и P_{mi} – давления воздуха соответственно в тормозных цилиндрах и в магистрали.

Как видно, во всех случаях процессы носят явно выраженный волновой характер. Так как в опытах, осцилограммы которых приводятся, зазоры существенно влияли на протекание переходных процессов, а вагоны были оборудованы пружинно-фрикционными поглощающими аппаратами, взаимодействия вагонов носили ударный характер, что хорошо видно по записям процессов изменения продольных

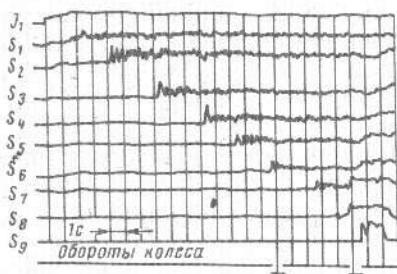


Рис. 8.23. Осциллограмма сил при трогании поезда

230

сил. Особый интерес представляет одновременный анализ внутренних (S_i) и внешних (I_i и P_{ci}) сил при торможении, а также во всех режимах движения поезда с рассредоточенными локомотивами. Заметим, что даже качественный анализ осциллограмм, выполненный квалифицированно, позволяет в ряде случаев получить рекомендации по совершенствованию систем управления поездом, в частности автотормозов.

В работе [7] описана методика обработки опытов по троганию растянутого поезда с целью получения «интегральных» параметров поезда как упруговязкого или упругого с гистерезисом стержня.

Количественная обработка осциллограмм продольных сил с целью определения их наибольших значений в каждом сечении обычно проводится вручную, с помощью ЭВМ или специальных устройств, измеряющих экстремальные значения величин. Проведение нулевых линий при ручной обработке не представляет трудностей, так как на ленте соседствуют осциллограммы опытов по троганию и торможению поезда со сбросом тяги, в ходе которых каждая продольная сила дважды проходит через нуль (при этом выбирается зазор в упряжи). Полученные в результате обработки осциллограмм наибольшие в каждом опыте значения сил представляются графически в виде точечных диаграмм распределения этих величин вдоль длины поезда, которые строятся для каждого режима движения. Ввиду симметрии размещения измерительных сечений наносят на один планшет результаты опытов, выполненных при езде в прямом и обратном направлениях. Примеры таких диаграмм приведены на рис. 8.26. Каждый опыт удобно отметить своим изображением на точечной диаграмме (см. буквы). Это упрощает проверку «подозрительных» точек и последующий анализ численных значений сил. Заметим, что на рис. 8.26 сплошные линии проходят через наибольшие, а штриховые – через средние значения сил для

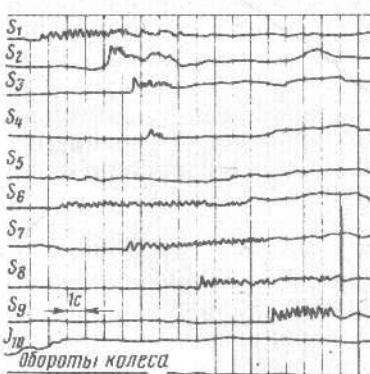


Рис. 8.24. Осциллограмма сил при трогании поезда (локомотивы в голове и середине)

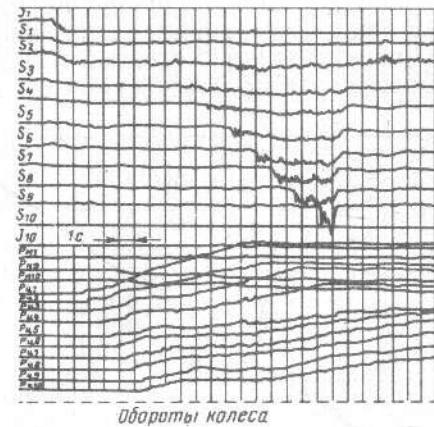


Рис. 8.25. Осциллограмма сил при торможении поезда (локомотивы в голове)

231

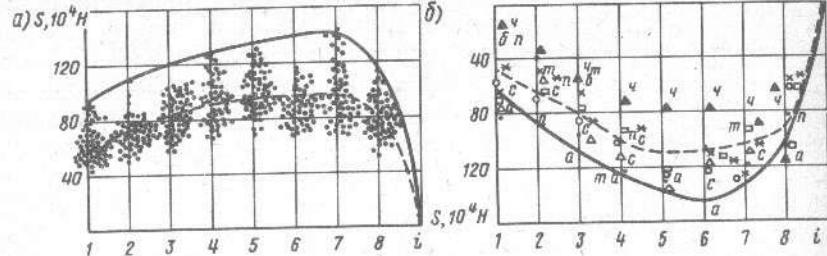


Рис. 8.26. Распределение наибольших сил вдоль поезда:
а – тягание; б – экстренные торможения ($v = 10 \text{ км/ч}$)

данного режима движения поезда. Наибольшие из средних значений сил в поезде должны примерно соответствовать результатам расчетов, а наибольшие измеренные значения сил следует сопоставлять с теми значениями сил, которые допускаются нормами расчета вагонов на прочность [47]. Последние допускают силы до 2–2,5 МН при пусках в ход и экстренных торможениях поезда, 1,5 МН – при полных служебных торможениях с малой начальной скоростью движения и 1 МН – при регулировочных торможениях и скорости движения более 50 км/ч. Результаты такого сопоставления обычно и интересуют практику.

Найденные наибольшие силы подвергают также статистической обработке по методике, изложенной в работе [7]. В результате такой обработки, выполняемой с помощью ЭВМ, получаются эмпирические функции распределения сил, а также зависимости приведенной силы [7] от показателя кривой усталости. На рис. 8.27 для примера помещены эмпирические функции распределения наибольших сил, а на рис. 8.28 – зависимости приведенной [7] силы \tilde{S} от показателя кривой усталости $\tilde{\tau}$. Оба рисунка относятся к упомянутому поезду массой 10 тыс. т.

Рассмотрены случаи размещения локомотивов в голове поезда. На рис. 8.27 и 8.28 линии 1 и 2 относятся к груженому режиму работы воздухораспределителей, а 3 и 4 – к среднему. Линии 1,3 соответствуют случаю, когда служебные торможения производились посредством V положения рукоятки крана машиниста, а линии 2,4 – положения VA.

Данные, полученные с помощью указанной статистической обработки, будут более полными, если принимать во внимание не только наибольшие измеренные в каждом опыте и каждом сечении значения сил, а и амплитуды всех циклов квазипериодических процессов изменения продольных

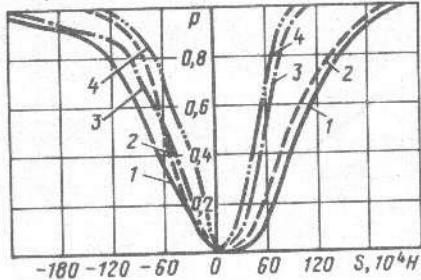


Рис. 8.27. Эмпирические функции распределения наибольших продольных сил при торможениях v

сил, возникающих при переходных режимах движения поезда. (Ясно, что одна из амплитуд в каждом случае совпадет с наибольшей измеренной силой.) Использование такого подхода при сопоставлении пружинно-фрикционных поглощающих аппаратов с гидрогазовыми или резино-металлическими, несомненно, рельефней выявит преимущества последних. Как видно из приведенных осцилограмм продольных сил, число циклов изменения этих процессов в случае пружинно-фрикционных аппаратов, как правило, велико. Определение их амплитуд вручную и последующий ввод в ЭВМ для статистической обработки оказываются трудоемким делом. В лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТа создана и функционирует полуавтоматическая установка, позволяющая, в частности, получать значения обрабатываемых процессов в виде информации, набитой на перфоленте, которую затем вводят в ЭВМ для статистической обработки по методике, изложенной в работе [7].

Записи сжатий аппаратов (их примеры ($\Delta_1 - \Delta_8$) приведены на рис. 8.29) используются для качественного описания работы аппаратов, а также для оценки их наибольших деформаций. Иногда, например в случае гидрогазовых аппаратов, несложной обработкой можно получить начальную скорость деформации связи $\dot{\Delta}_0$. На рис. 8.30 приведена в качестве примера диаграмма распределения вдоль длины поезда этой величины $\dot{\Delta}_0$ при тягании. Заметим здесь, что аналогичная обработка записей относительных продольных перемещений вагонов дает возможность оценить скорости

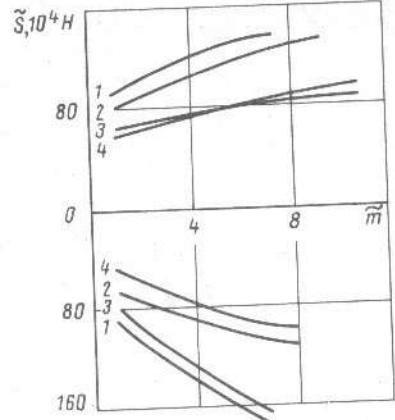


Рис. 8.28. Зависимость приведенной силы от показателя кривой усталости

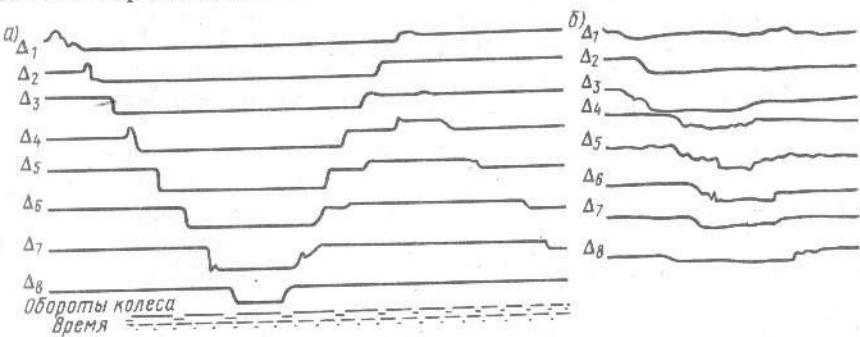


Рис. 8.29. Осциллографмы ходов поглощающих аппаратов:
а – гидрогазовых; б – пружинно-фрикционных

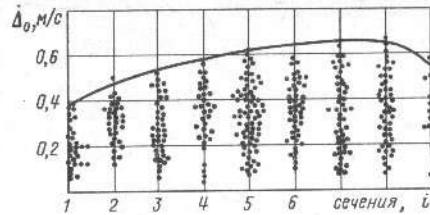


Рис. 8.30. Распределение вдоль поезда начальных скоростей деформаций аппаратов

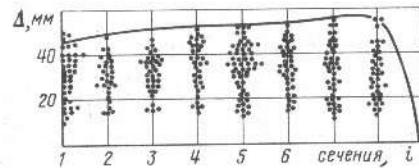


Рис. 8.31. Распределение вдоль поезда наибольших сжатий аппаратов

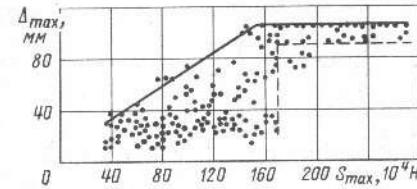


Рис. 8.32. Зависимость наибольших сжатий аппаратов от соответствующих наибольших сил

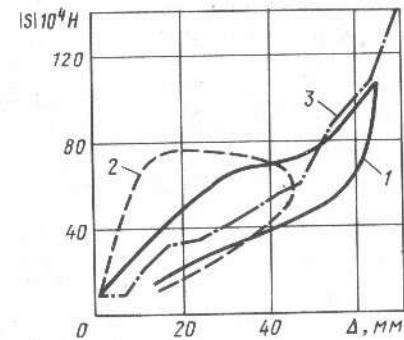


Рис. 8.33. Зависимость «сила–ход» гидрогазового аппарата:
1, 2 – при трогании поезда; 3 – при торможении

соударений экипажей при переходных режимах движения поезда.

Примеры диаграмм распределения вдоль длины поезда наибольших сжатий аппаратов ГА-100м при трогании поезда представлены на рис. 8.31. Определенный интерес представляют точечные диаграммы зависимости наибольших этих сжатий от соответствующих наибольших сил. На рис. 8.32 приведен пример такой зависимости для случаев поглощающих аппаратов Ш-2-В с ходом 105 мм. Как видно, при силах, больших 1,7 МН, все аппараты исчерпывали предельный ход (штриховые линии).

Большой интерес при анализе работы поглощающих аппаратов представляют зависимости «сила–ход», получаемые по текущим значениям сил и сжатий, измеренных при переходных режимах движения поезда. Построение указанных зависимостей по осциллограммам сил и сжатий весьма трудоемко и технически возможно лишь в случае аппаратов, у которых искомые зависимости достаточно гладкие. На рис. 8.33 приведены примеры указанных зависимостей для гидрогазовых аппаратов ГА-100м. Радикальный путь автоматизации получения таких зависимостей для аппаратов любого типа, в том числе для пружинно-фрикционных, – использование магнитограмм сил и ходов. Сигналы, соответствующие силе и ходу аппарата, подаются на входы электронно-лучевого осциллографа и с его экрана фотографируются искомые зависимости. На рис. 8.34 помещены примеры полученных таким образом зависимостей «сила–ход» для пружинно-фрикционных погло-

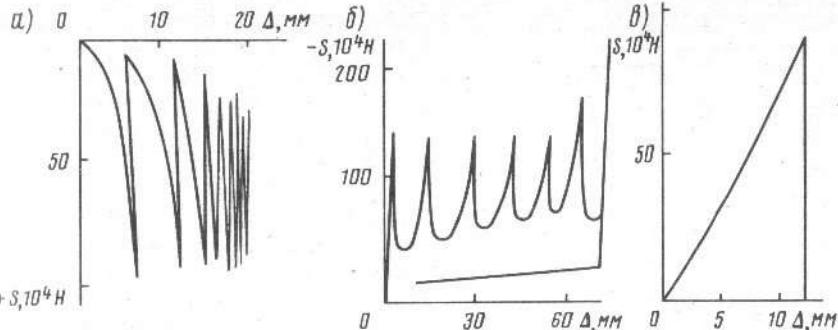


Рис. 8.34. Зависимость «сила–ход» пружинно-фрикционного аппарата:
а – при трогании поезда; б – при торможении поезда

щающих аппаратов Ш-5-ТО (рис. 8.34 а, б) и Ш-2-В (рис. 8.34, в). Эти зависимости могут быть обработаны с целью определения фактической энергоемкости аппарата в том или ином опыте для того или другого сечения поезда.

Определяя максимальные ускорения, требуется знать, в каком частотном диапазоне они измерены. Для разных частотных диапазонов введены разные нормы допустимых ускорений [47]. Поэтому обработка обычно подвергаются магнитограммы ускорений, записанные в требуемой полосе пропускания. Сигналы со стойки воспроизведения магнитографа через фильтры нижних частот подаются на экран монитора, с помощью которого определяются наибольшие значения. Варьируя шириной полосы пропускания фильтра в пределах полосы пропускания измерительного тракта, получаем максимальные ускорения для различных частотных диапазонов измерения ускорений. Заметим, что на практике чаще всего интересуются низкочастотными ускорениями. В этом случае для их определения можно использовать также цифровой пиковый вольтметр. При этом, однако, предварительно с помощью этого же прибора требуется определить по участку процесса, предшествующему возникновению ускорения, «паразитную» постоянную составляющую измеряемого сигнала, связанную с разбалансом канала измерения и регистрации, а затем вычесть эту составляющую из полученного наибольшего ускорения. Найденные наибольшие ускорения \ddot{x} наносят (в долях ускорения силы тяжести g) на точечные диаграммы распределения этих величин вдоль длины поезда. Пример такой диаграммы приведен на рис. 8.35. Так же, как и для сил [7], могут быть найдены эмпирические функции распределения ускорений. Их примеры приведены на рис. 8.36.

Современный подход к оценке влияния ускорений элементов вагонов на грузы – использование энергетических спектральных плотностей процессов [4]. Для их определения сигналы со стойки воспроизведения магнитографа через фильтры нижних частот, задающие требуемую полосу пропускания, подаются на аналого-циф-

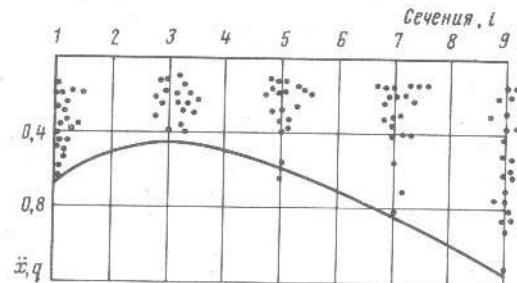


Рис. 8.35. Распределение вдоль поезда наибольших продольных ускорений при торможении состава

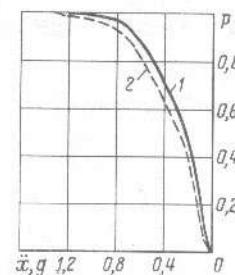


Рис. 8.36. Эмпирические функции распределения ускорений при торможениях для среднего (1) и груженого (2) режимов работы тормозов

ровые преобразователи, а затем вводятся в ЭВМ. Частота квантования процессов выбирается примерно в 10 раз большей частоты среза используемого фильтра. Вычисление энергетической спектральной плотности нестационарного процесса проводится на ЭВМ по программе, реализующей алгоритм быстрого преобразования Фурье (программа составлена на вычислительном центре Института технической механики АН УССР [51]). Поскольку объем выборки ограничен памятью машины и должен быть равен 2^n , где n – целое число, целесообразно для данной ЭВМ так выбирать частоту среза фильтра, чтобы длительность реализации примерно равнялась длительности исследуемого нестационарного процесса. На рис. 8.37 для примера показана энергетическая спектральная плотность ускорений, возникавших при торможении поезда массой 10 тыс. т. Заметим, что попутно по простой программе могут быть

получены эмпирические функции распределения текущих значений. На рис. 8.38 приведены в дифференциальной форме функции распределения текущих значений ускорений в центрированном и нормированном виде. (Рис. 8.38 относится к тому же опыту, что и рис. 8.37).

Аналогичной обработке с целью определения энергетических спектральных плотностей и функций распределения текущих значений обычно подвергают и процессы изменения продольных сил. На рис. 8.39 и 8.40 для примера представлены изменения указанных функций вдоль длины поезда. Они могут быть

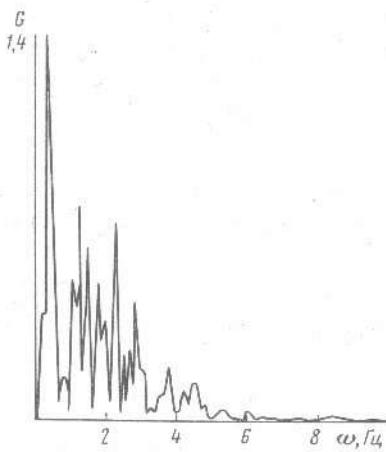


Рис. 8.37. Энергетическая спектральная плотность продольного ускорения

использованы при оценке надежности узлов конструкций вагонов, несущих продольные нагрузки.

Записи токов тяговых двигателей обрабатываются с целью определения сил тяги, прикладываемых к поезду при трогании его, наборе тяги и т. п. Для перехода от тока к силе тяги обычно используют участки записи, относящиеся к стационарному режиму движения поезда, когда продольная сила в головном сечении практически равна силе тяги локомотивов.

Записи давлений в тормозных цилиндрах обрабатываются с целью определения необходимых при теоретических расчетах параметров диаграмм наполнения тормозных цилиндров в различных сечениях поезда. При этом функции изменения давлений в цилиндрах подвергаются кусочно-линейной аппроксимации. При обработке осциллограмм это делается «вручную» и также «вручную» определяются координаты узловых точек. После умножения на масштаб получаем искомые параметры. Нужно отметить, однако, что такая обработка весьма трудоемка. Ее автоматизация возможна при использовании установок магнитной записи и ЭВМ. Сигнал с устройства воспроизведения магнитографа через фильтры низких частот (для устранения помех) и аналого-цифровой преобразователь поступает в ЭВМ. Поскольку давление воздуха в цилиндрах изменяется медленно, а потребная точность аппроксимации сравнительно низка, частота квантования сигнала может быть небольшой (10–20 Гц). С помощью ЭВМ по сравнительно простому алгоритму определяют координаты узловых точек аппроксимирующей кусочно-линейной функции, после чего начало координат переносят в точку, соответствующую концу этапа подвода тормозных колодок к колесам. Для примера в табл. 8.6 приводятся параметры диаграмм наполнения тормозных цилиндров при экстренном торможении поезда из 100 четырехосных вагонов, оборудованных воздухораспределителями № 483 (диаметр разрядного отверстия 0,9 мм) с главной частью № 466. Рис. 8.41 указывает существование введенных обозначений, средний по поезду параметр $K_3 = 1,82 \cdot 10^4$ Н.

Программа обработки на ЭВМ магнитограмм отметчика оберотов колеса включает вычисление и выдачу на печать начальной скорости, тормозного пути (он насчитывается с момента начала сброса тяги до остановки поезда), а также ординат кривых текущей скорости, текущего пути и скорости в функции пути. Вся эта информация представляет практический интерес.

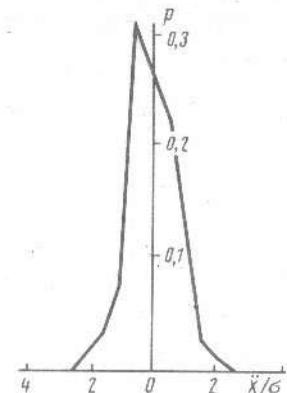


Рис. 8.38. Полигон распределения продольного ускорения

Записанные при переходных режимах движения поезда осциллограммы вертикальных и горизонтальных поперечных сил, действующих на колесные пары вагонов, обрабатываются таким образом, чтобы можно было построить точечные диаграммы зависимости наибольших этих величин от наибольшей продольной силы, измеренной в данном переходном процессе. Причем наибольшие значения сил, действующих на колесные пары, выбираются на тех участках осциллограмм этих процессов, которые отражают реакцию системы на воздействие переменных продольных сил. Также обрабатываются записи сжатий пружинных комплектов тележек, относительных вертикальных и горизонтальных поперечных перемещений торцовых брусьев соседних экипажей (точек прикрепления пары сцепленных автосцепок) и перемещений кузовов относительно рельсов. Обработка магнитограмм всех перечисленных процессов с помощью ЭВМ позволяет получить взаимные энергетические спектральные плотности продольной силы и сил, действующих на колесные пары, а также измеряемых перемещений.

При обработке опытов, записанных в стационарных режимах движения [установившаяся тяга или рекуперативное (реостатное)

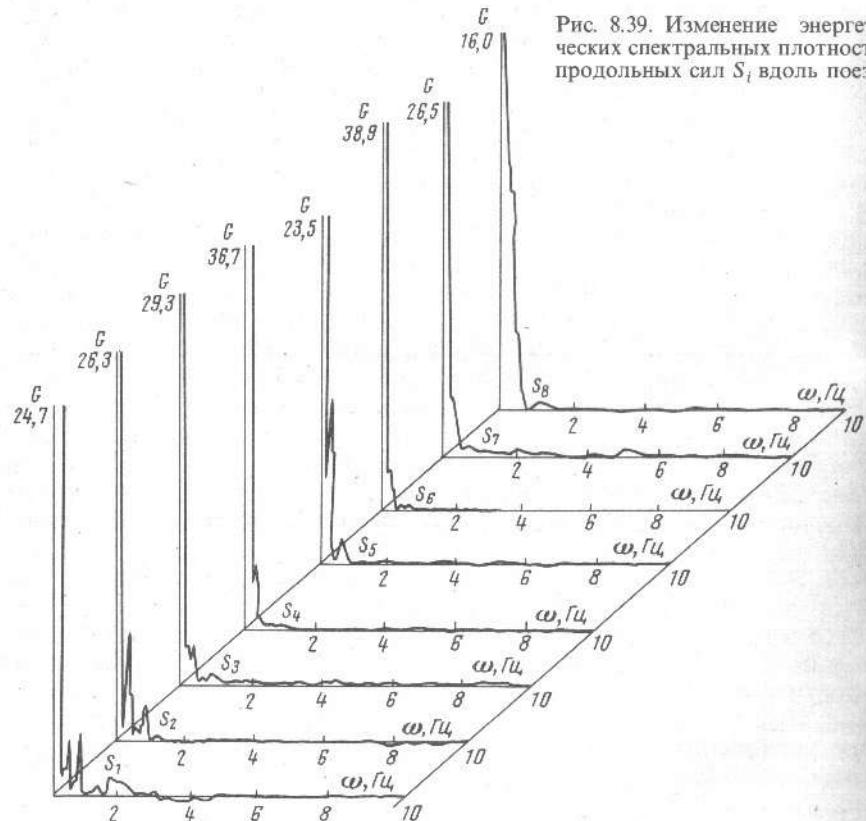
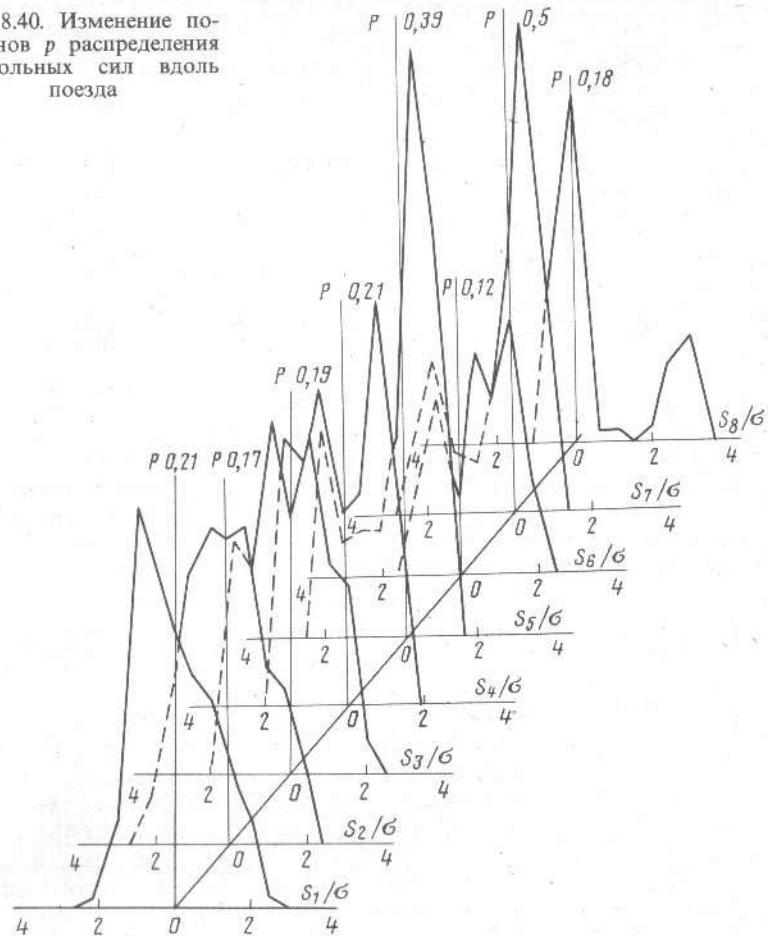


Рис. 8.39. Изменение энергетических спектральных плотностей продольных сил S_i вдоль поезда

Рис. 8.40. Изменение полигонов p распределения продольных сил вдоль поезда



торможение], представляет интерес получение постоянных составляющих измеряемых процессов и построение точечных диаграмм зависимостей этих составляющих от продольной силы. На рис. 8.42 приведены примеры таких зависимостей для случая движения по кривым радиусом 140–200 м.

При обработке магнитограмм исследуемых процессов сигнал с устройства воспроизведения магнитографа поступает в ЭВМ через фильтры нижних частот и аналого-цифровые преобразователи. Первоначально обрабатывают опыты, выполненные при движении вагонов по прямому участку пути в составе поезда, движущегося на выбеге. На ЭВМ вычисляют математические ожидания измеряемых в этих опытах процессов. При недостатке объема оперативной памяти ЭВМ для уточнения искомых величин за счет увеличения длительности реализации вычисление можно вести в реальном масштабе времени. Для этого вводимая информация представляется

Таблица 8.6

Номер сечения (i)	Интервалы времени, с			Нажатия, 10^4 Н		Номер сечения (i)	Интервалы времени, с			Нажатия, 10^4 Н	
	τ_1	τ_2	τ_3	K_1	K_2		τ_1	τ_2	τ_3	K_1	K_2
1	0	0	10,7	0	0	6	0,78	3,88	10,7	0,47	0,52
2	0,58	0	9,13	0,33	0,33	7	0,58	3,88	12,0	0,4	0,47
3	0,58	0	9,13	0,33	0,33	8	0,67	5,44	12,4	0,36	0,47
4	0,78	0	10,7	0,26	0,26	9	0,78	6,99	12,8	0,31	0,47
5	0,97	3,88	9,32	0,54	0,57	10	0,97	7,77	11,6	0,28	0,52

в целых числах, а программа составляется на языке команд. Во всех остальных видах обработки сначала производится смещение исследуемых процессов на величины найденных математических ожиданий. При этом исключаются «паразитные» постоянные составляющие, связанные с разбалансом каналов измерения и регистрации процессов. В результате статистической обработки измеренных сил и перемещений, выполняемой на ЭВМ по стандартным программам, получаются математические ожидания, дисперсии, эмпирические функции распределения в дифференциальной и интегральной формах, производится проверка функций распределения на нормальность, подбираются теоретические законы распределения и оцениваются квантили распределения, соответствующие заданным уровням вероятности. Производится оценка спектральных плотностей процессов в предположении их стационарности и эргодичности. Графики спектральных плотностей удобно получать с помощью графопостроителя, на вход которого сигнал с ЭВМ подается через цифро-аналоговый преобразователь. На рис. 8.43 для примера приведены нормированные спектральные плотности сжатий пружинного комплекта тележки одного из вагонов семивагонного порожнего сцепа, движавшегося в составе поезда массой около 3000 т в режимах интенсивной тяги при $v = 36$ км/ч, $S = 35 \cdot 10^4$ Н (линия 1) и на выбеге $v = 40,2$ км/ч, $S = 0$ (линия 2) [36]. Заметим, что дисперсии исследуемых процессов можно определить также с помощью простых аналоговых устройств.

По измеренным (с помощью «лыж») процессам изменения вертикальных Δ_i и горизонтальных δ_i перемещений трех точек кузова вагона ($i = 1,3$) вычисляют текущие позиционные координаты кузова как твердого тела: двух декартовых координат центра масс (подпрыгивания z , бокового относа y) и трех эйлеровых углов (галопирования ϕ , виляния ψ и боковой качки θ). Векторы

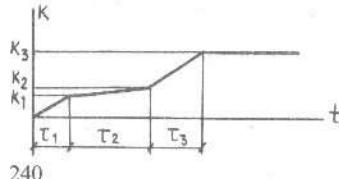
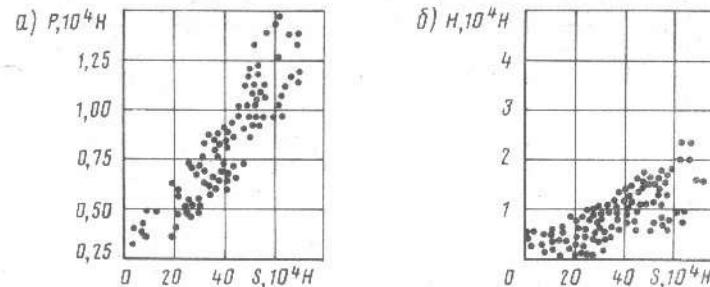


Рис. 8.41. Диаграмма изменения силы нажатия тормозной колодки на колесо

Рис. 8.42. Зависимость вертикальных P (а) и горизонтальных H (б) сил, действующих на колесную пару, от продольной силы

вертикальных $\bar{\Delta} = (\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3)'$ и горизонтальных поперечных $\bar{\delta} = (\delta_1, \delta_2, \delta_3)'$ перемещений связаны с векторами координат соответственно $V = (z, \phi, \theta)'$ и $\bar{U} = (y, \psi, \theta)'$ соотношениями

$$\bar{\Delta} = [A]V; \quad \bar{\delta} = [B]\bar{U},$$

где матрицы

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & l & b \\ 1 & -l & b \\ 1 & -l & -b \end{bmatrix}; \quad [B] = \begin{bmatrix} 1 & -l & -h \\ 1 & -l & -h \\ 1 & -l & h \end{bmatrix}$$

зависят от размеров, показанных на рис. 8.44. Ясно, что искомые координаты

$$V = [A]^{-1}\bar{\Delta}; \quad \bar{U} = [B]^{-1}\bar{\delta}.$$

Координата θ получается дважды, что позволяет контролировать результаты. При вводе в ЭВМ $\bar{\Delta}$ и $\bar{\delta}$ для увеличения длитель-

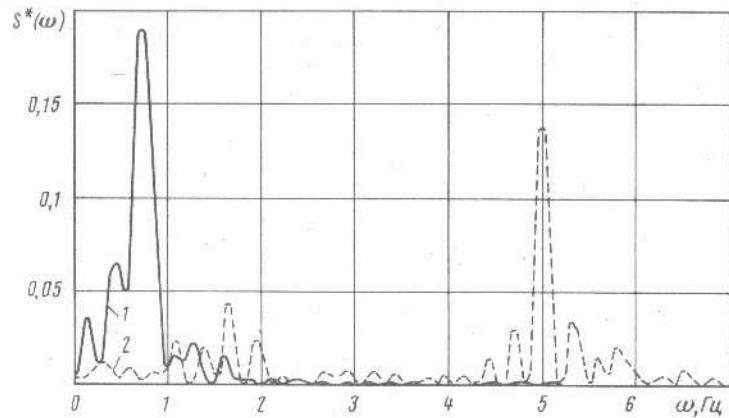


Рис. 8.43. Спектральные плотности сжатий пружинного комплекта тележки

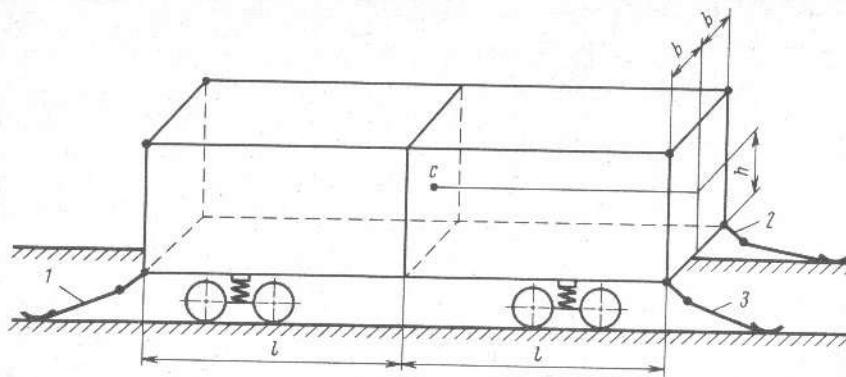


Рис. 8.44. Схема расположения «лыж»:
1, 2, 3 – «лыжи»

ности обрабатываемых реализаций может быть использован прием уплотнения – занесение трех чисел, относящихся к разным перемещениям и одному моменту времени, в одну ячейку [48]. Полученные процессы изменения позиционных координат могут быть изображены графически описанным выше способом с помощью графопостроителя, а также обработаны статистически, как и все исходные измеренные процессы. Могут быть построены также зависимости от продольной силы и скорости движения математических ожиданий и наибольших значений (соответствующих, например, 99,5%-ному квантилю), а также найдены спектральные плотности этих процессов.

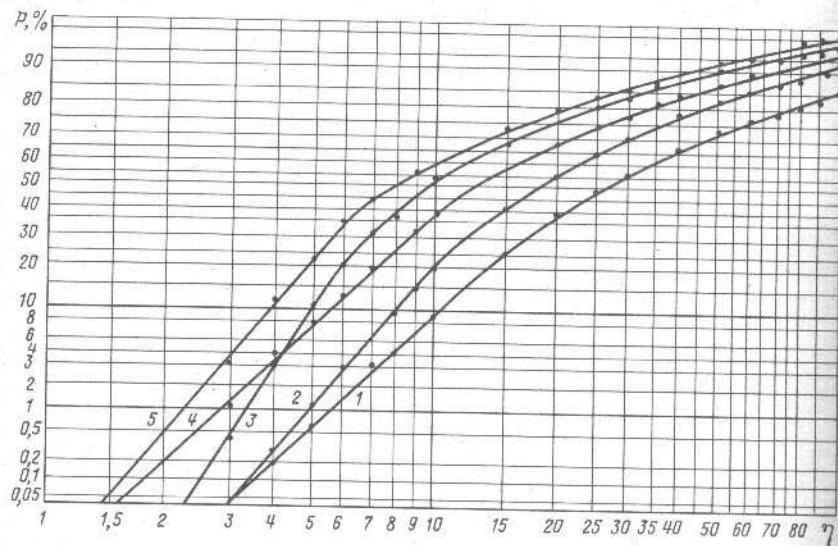


Рис. 8.45. Распределение коэффициентов η при различных скоростях движения v :
1, 2 – $v = 70 \text{ км/ч}$; 3 – $v = 75 \text{ км/ч}$; 4 – $v = 84 \text{ км/ч}$; 5 – $v = 88 \text{ км/ч}$

Важным параметром, характеризующим безопасность движения, является коэффициент запаса устойчивости против схода колесной пары с рельсов. Он вычисляется по предложенной М. Ф. Верриго [12] формуле, имеющей следующую структуру:

$$\eta = (\alpha P_1 + \beta P_2 + C)/H,$$

причем

$$\alpha = \begin{cases} A & \text{при } H > 0; \\ -B & \text{при } H \leq 0; \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} -B & \text{при } H > 0 \\ A & \text{при } H \leq 0 \end{cases},$$

где P_1 и P_2 – динамические добавки вертикальных сил, действующих на буксы колесной пары, H – горизонтальная попечная сила, действующая на эту колесную пару (причем полагается, что при $H > 0$ на рельс набегает колесо у буксы 1) A , B и C , параметры зависящие [12] от геометрических размеров колесной пары, ее массы и статической нагрузки на буксы.

Вычисление ординат процесса изменения коэффициента η производится на ЭВМ. Для увеличения длительности анализируемой реализации используют прием уплотнения – три числа, соответствующие значениям сил P_1 , P_2 и H , в один момент времени вводятся в одну ячейку памяти ЭВМ. Для вычисленного процесса изменения коэффициента запаса устойчивости против схода колесной пары с рельсов определяется эмпирическая функция распределения. Если считать, что это распределение логарифмически нормальное, то ее график можно построить на вероятностной логарифмически нормальной сетке и линейно экстраполировать в область минимальных вероятностей до пересечения с осью абсцисс (рис. 8.45). Таким образом находится коэффициент η_0 запаса устойчивости, принимаемый за меру безопасности движения [32]. Условие безопасности обычно берется в виде $\eta_0 \geq 1$, в ответственных случаях – в виде $\eta_0 \geq 1,5$. Далее строятся зависимости от скорости движения v и продольной силы S . На рис. 8.46 приведены примеры указанных зависимостей.

Отметим, что для вычисления логарифма коэффициента запаса устойчивости ($\ln \eta$) может быть использован и аналоговый способ, базирующийся на специализированной аналоговой установке [53]. Обработка материалов кинофотосъемки и видеозаписи взаимного размещения осей сцепа вагонов, движущихся в составах поездов большой массы, проводится путем привязки конкретных «карти-

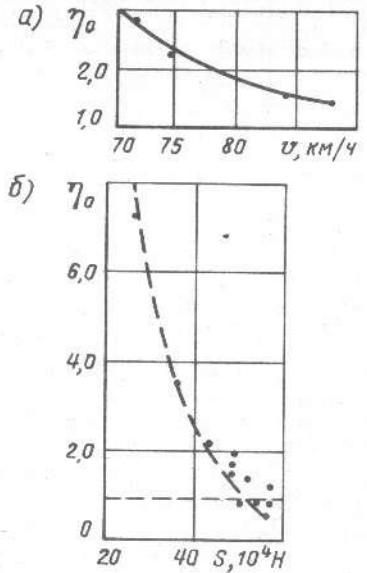


Рис. 8.46. Зависимости коэффициентов η_0 от скорости движения v (а) и продольной силы S (б)

нок» к участку, план и профиль которого известны, а также к продольной силе. Полученные данные подвергаются качественному анализу. В ряде случаев могут быть найдены взаимные углы поворота кузовов вагонов опытного сцепа.

8.5. КОМПЛЕКС ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ

Информация, полученная в процессе эксперимента, подвергается обработке как в вагоне-лаборатории (экспресс-обработка), так и в стационарных условиях.

Рассмотрим сначала комплекс аппаратуры, предназначенный для получения результатов обработки непосредственно в ходе эксперимента. Его блок-схема приведена на рис. 8.47.

С блока воспроизведения магнитографа (НО48 или «Сигнал») информация поступает на фильтры нижних частот, в качестве которых применяется устройство «Кремний-3», описанное в п. 8.3.

Далее, с помощью специализированных устройств можно определять дисперсию и экстремальные значения измеряемых величин, коэффициент запаса устойчивости колесной пары от схода с рельсов, силовые характеристики поглощающих аппаратов, а также производить анализ статистических распределений мгновенных значений исследуемых процессов.

Наибольшие значения исследуемых процессов удобно определять с помощью вольтметров, которые могут запоминать экстремальные значения.

При измерении напряжений величиной до 1 В, что соответствует уровню выходного сигнала магнитографа, практический интерес представляют устройства, выполненные на основе прецизионных аналоговых интегральных схем [1].

В лаборатории динамики и прочности подвижного состава для этой цели используются электронные цифровые вольтметры типа „Digitalvoltmeter-4027“ производства ГДР. Они представляют собой прецизионные измерительные приборы, укомплектованные цифровыми приставками типа 3500б, которые позволяют производить регистрацию результатов на бумажной ленте. При-

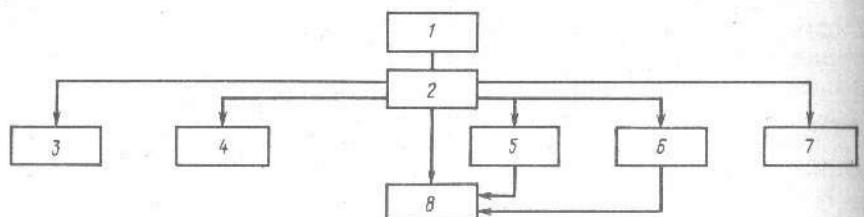


Рис. 8.47. Блок-схема комплекса, предназначенного для экспресс-обработки:
1—магнитограф; 2—блок фильтров нижних частот; 3—многолучевой индикатор; 4—устройство для определения характеристик «сила-ход»; 5—устройство для определения коэффициента запаса устойчивости колесной пары от схода с рельсов; 6—дисперсиометр; 7—амплитудный анализатор; 8—цифровые вольтметры

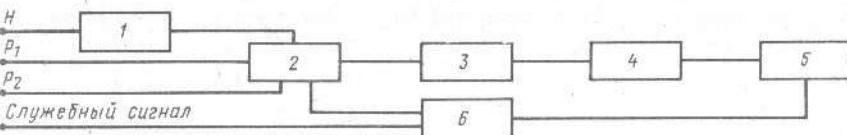


Рис. 8.48. Блок-схема устройства для определения коэффициента запаса устойчивости колесной пары от схода с рельсов:
1—блок коррекции; 2—блок определения и исключения паразитных составляющих; 3—логический элемент; 4—блок логарифмирования; 5—регистратор; 6—устройство управления

Боры предназначены для измерения как мгновенных, так и экстремальных значений напряжений в пределах 10 мкВ–1000 В в пяти диапазонах с погрешностью 0,01% измеряемой величины в режимах прямого измерения и запоминания; входное сопротивление прибора в диапазонах 0–0,3 и 0–3 В составляет 20 тыс. МОм, индикация результата пятиразрядная, быстродействие – до 50 измерений в 1 с.

Для определения коэффициента η запаса устойчивости колесной пары от схода с рельсов применяются различные устройства.

Ряд устройств для определения коэффициента η построен на основе аналоговой вычислительной техники [20, 23], однако недостатком таких устройств является невысокая точность, вызванная недостаточной компенсацией паразитных постоянных составляющих процессов изменения сил, которые действуют на колесную пару.

Этот недостаток в значительной степени устранен в устройстве, разработанном в лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТА [53]. Устройство реализует алгоритм:

$$\lg \eta = \lg \left| P_1 - \frac{B}{A} P_2 + \frac{C}{A} \right| - \lg |H| + \lg A \text{ при } H > 0;$$

$$\lg \eta = \lg \left| P_2 - \frac{B}{A} P_1 + \frac{C}{A} \right| - \lg |H| + \lg A \text{ при } H < 0,$$

где P_1 и P_2 — динамические добавки вертикальных сил, действующих на буксы колесной пары; H — горизонтальная поперечная сила, действующая на колесную пару; A , B и C — коэффициенты, зависящие от геометрических размеров и массы колесной пары, коэффициента трения скольжения и статических нагрузок на буксы колесных пар.

Блок-схема устройства приведена на рис. 8.48.

Корректирование возможной нелинейности преобразования горизонтальной поперечной силы в электрический сигнал производится блоком коррекции.

Для того чтобы исключить влияние паразитных постоянных составляющих сигналов, определяют средние значения процессов путем интегрирования реализаций, относящихся к случаям движения поезда на выбеге по прямым участкам пути. Затем эти значения вычитывают из полезного сигнала. Для этой цели предназначен блок определения и исключения паразитных составляющих. Скорректированные таким образом напряжения, соответствующие силам, действующим на колесную пару, поступают на блок логарифмирования

ния. Логическая часть алгоритма реализуется с помощью инвертора и диодных ключей. Напряжение, пропорциональное $\lg \eta$, далее регистрируется электронным цифровым вольтметром, работающим в режиме измерения пиковых значений. Подключение самописца к выходу логарифматора позволяет получить кривую изменения логарифма коэффициента устойчивости во времени. Устройство может быть реализовано как на базе блоков стандартной АВМ, так и на основе прецизионных аналоговых интегральных схем.

При экспериментальных исследованиях подвижного состава практический интерес представляет получение статистических характеристик исследуемых процессов непосредственно в ходе испытаний с помощью специализированных устройств. Достижения современной микроэлектроники дают возможность создать малогабаритные и экономичные устройства, позволяющие с достаточной степенью точности производить экспресс-анализ непосредственно в вагоне-лаборатории.

Для эргодического случайного процесса $X(t)$ оценка дисперсии D_X может быть найдена по его реализации длительностью T :

$$D_X = \frac{1}{T} \int_0^T [X(t) - m_x]^2 dt,$$

где m_x – математическое ожидание.

Блок-схема устройства, реализующего этот алгоритм, приведена на рис. 8.49. Входной сигнал $X(t)$ через центрирующее устройство 1 и масштабный усилитель 2 поступает на вход линейного детектора 3, далее на вход квадрирующего устройства 4 и, наконец, в усредняющее устройство 5, выходное напряжение которого выводится на измерительно-регистрирующий прибор 6. Центрирующее устройство предназначено для центрирования исследуемой реализации и представляет собой фильтр верхних частот с частотой среза $f_{ср} = 0,05$ Гц. Масштабный усилитель служит для усиления и масштабирования центрированного сигнала таким образом, чтобы область параболической характеристики квадрирующего устройства использовалась оптимально. Детектор предназначен для выделения модуля исследуемого сигнала. Важным узлом аналогового дисперсиометра является блок квадрирования. В разработанном устройстве для возвведения в квадрат использовались полевые транзисторы КП103И, у которых зависимость тока истока от напряжения затвора представляет собой кривую, близкую к параболе. Коэффициент передачи квадратора и степень приближения его характеристики к параболической форме устанавливались с помощью операционных усилителей типа К155УД1А.



Рис. 8.49. Блок-схема дисперсиометра

В качестве усредняющего устройства использован фильтр низких частот. Основная техническая характеристика прибора следующая:

Число каналов	9
Напряжение входного сигнала, В	± 1
Постоянная времени усредняющего устройства, с	18
Напряжение выходного сигнала, В	0–10
Частотный диапазон исследуемых процессов, Гц	0–500
Напряжение питания, В	± 15
Потребляемая мощность, Вт	10
Габаритные размеры, мм	$300 \times 300 \times 120$
Масса, кг	2

Измерение и регистрация значений дисперсии исследуемых процессов производится с помощью электронного цифрового вольтметра типа „Digitalvoltmeter-4027” с печатающей приставкой.

Силовые характеристики поглощающих аппаратов в графическом виде можно получить с помощью электронного осциллографа. Для этого записи продольной силы S и сжатия поглощающего аппарата Δ , воспроизведенные с магнитной ленты, подают на входы усилителей вертикального и горизонтального отклонения электронно-лучевого осциллографа, например, типа С1-19Б. Масштабы процессов устанавливают с помощью калибровочного напряжения, записанного на магнитную ленту во время эксперимента. Регистрацию зависимости $S(\Delta)$ производят фотографированием с экрана осциллографа. Помимо характеристики $S(\Delta)$, одновременно фотографируется также информация о данном опыте в виде цифровых обозначений (номер опыта – четырехразрядное число и номер сечения – двухразрядное). Индикация осуществляется группой одноразрядных индикаторов, выполненных на основе светодиодов. Электрическая схема индикации одного разряда представлена на рис. 8.50. Для индикации использован одноразрядный цифро-буквенный индикатор типа АЛС 335А, имеющий зеленое свечение. С помощью переключателя S устанавливается символ индикации (от 0 до 9). Дешифратор ($D_1 - D_{49}$) выполнен на диодах Д9В. Напряжение на устройство индикации подается от блока питания магнитографа. Информация об опыте (номер опыта и номер сечения) устанавливается оператором с помощью переключателей.

Анализ статистических распределений мгновенных значений исследуемых процессов производится типовым анализатором АИ-256-6. Результаты анализа представляются в цифровом виде с помощью цифропечатающего устройства.

Рассмотрим комплекс аппаратуры для обработки в стационарных условиях результатов измерений. Он базируется на использовании ЭЦВМ.

Комплекс, блок-схема которого представлена на рис. 8.51, предназначен для определения основных статистических характеристик, энергетических спектральных плотностей, а также ряда других па-

Таблица 8.7

Показатели	Значение показателей для преобразователей		
	Ф4881	Ф4891	Ф4892
1	2	3	4
Диапазон:			
входного напряжения, В	± 1	$\pm 10,235$	± 10
тока, мА	—	$\pm 5,117$	± 5
Дискретность, мВ	62,5	—	625
Основная относительная погрешность преобразования, %	$\pm [0,03 + \frac{X_k}{X} - 1] * + 0,02(\frac{X_k}{X} - 1) * + 0,06(\frac{X_k}{X} - 1) * + 0,02(\frac{X_k}{X} - 1) *$	$\pm [0,1 + \frac{X_k}{X} - 1] * + 0,02(\frac{X_k}{X} - 1) *$	$\pm [0,03 + \frac{X_k}{X} - 1] * + 0,02(\frac{X_k}{X} - 1) *$
Входное сопротивление при преобразовании, кОм:			
напряжения	1	10	1
тока	—	2	2
Разрешающая способность:			
по напряжению, мВ	—	2,5	—
» току, мкА	—	1,25	—
Продолжительность преобразования, мкс	100	200	1000
Выбор полярности			
Выходной код	Двоичный, потенциальный, параллельный		
Число разрядов кода	14	12	14
Продолжительность непрерывной работы без подстройки, ч	500	500	500
Продолжительность наработки на отказ, ч	3000	3000	3000
Напряжение питания, В	$220^{+10\%}_{-15\%}$	$220^{+10\%}_{-15\%}$	$220^{+10\%}_{-15\%}$
Частота питания переменного тока, Гц	50 ± 1	50 ± 1	50 ± 1
Потребляемая мощность, В·А	65	65	65
Габаритные размеры, мм	480 × 380 × 118	217 × 147,5 × 315	480 × 130 × 380
Масса, кг	12	6	12

* X – измеряемая величина; X_k – конечное значение измеренной величины.

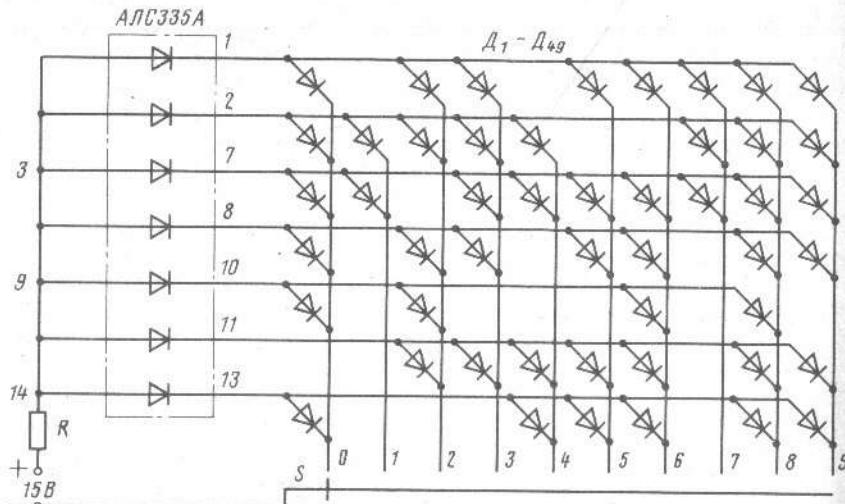


Рис. 8.50. Электрическая схема индикации (для одного разряда)

раметров динамических процессов, записанных на магнитной ленте и осциллографах.

Использование для обработки цифровой вычислительной техники предусматривает преобразование аналоговой информации, записанной магнитографами, в цифровой код, а также в ряде случаев обратное преобразование цифровой информации в аналоговую для последующего отображения ее графопостроителем. Для этих целей применяют аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые (ЦАП) преобразователи. Характеристики некоторых из них представлены в табл. 8.7 и 8.8.

В состав комплекса входят магнитограф, блок фильтров низких частот, многолучевой индикатор ИМ-789, цифроанalogовые и аналого-цифровые преобразователи, ЭЦВМ, графопостроитель.

Информация с выхода фильтров низких частот с помощью АЦП вводится в ЭЦВМ. В качестве АЦП используются приборы

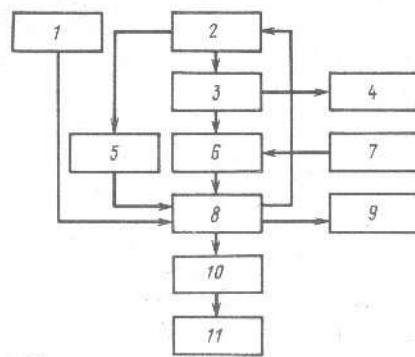


Рис. 8.51. Блок-схема комплекса для обработки информации в стационарных условиях:

1 – устройство «график-код»; 2 – магнитограф; 3 – блок фильтров низких частот; 4 – многолучевой индикатор; 5 – дешифратор служебных команд; 6 – аналого-цифровые преобразователи; 7 – генератор импульсов; 8 – ЭЦВМ; 9 – цифропечатающее устройство; 10 – цифроаналоговый преобразователь; 11 – графопостроитель.

типа Ф4880. Наличие в комплексе трех преобразователей позволяет производить синхронный ввод одновременно по трем каналам, что является необходимым для некоторых видов обработки, например для определения коэффициента запаса устойчивости колесной пары от схода с рельсов, взаимокорреляционного анализа и т. п.

Частота дискретизации непрерывного сигнала при вводе в ЭЦВМ устанавливается в зависимости от частотного диапазона обрабатываемых процессов. Для этой цели используется генератор импульсов, управляющий работой преобразователей. Применяемые в указанном комплексе аналого-цифровые преобразователи позволяют обрабатывать динамические процессы с частотами до 100 Гц, что в экспериментальных исследованиях динамики поезда, как пра-

вило, вполне достаточно. При необходимости расширения частотного диапазона можно воспользоваться изменением временного масштаба путем изменения скорости воспроизведения магнитограммы.

Служебная информация в виде цифрового кода, поступающая с выхода магнитографа непосредственно на вход ЭЦВМ, предназначена для управления вводом обрабатываемых процессов.

Результаты обработки выводятся на печать, а также на графопостроитель для представления их в графическом виде. Например, для этой цели удобно использовать двухкоординатный планшетный потенциометр ПДП4-002, подключаемый к ЭЦВМ с помощью ЦАП типа Ф4810/1.

Для обработки динамических процессов, записанных в виде осциллограмм, в лаборатории динамики и прочности подвижного состава ДИИТа создан полуавтоматический преобразователь «график-код», предназначенный для преобразования графической информации, записанной на осциллограммах, в цифровой код.

Таблица 8.8

Показатели	Значение показателей для преобразователей		
	Ф723/1	Ф4810/1	Ф4810/2
Диапазон выходных напряжений, В	0–10,235	±10,2375	±9,995
Основная погрешность, %	$\delta = \pm [0,15 + \frac{X_k}{X} - 1]^{*}$	$\delta = \pm [0,1 + 0,06(\frac{X_k}{X} - 1)]$	
Разрешающая способность (младший разряд), мВ	—	2,5	5
Продолжительность преобразования, мкс	100	20	20
Выходное сопротивление, Ом	0,5	1	1
Входной код	Двоичный параллельный	Двоично-десятичный параллельный	
Число разрядов	11	12	3,5
Запуск	Внешний	Внешний и следящий	режимы
Продолжительность безотказной работы, ч	1250	3000	3000
Продолжительность непрерывной работы без подстройки, ч	500	500	500
Напряжение питания, В	$220^{+10\%}_{-15\%}$	$220^{+10\%}_{-15\%}$	$220^{+10\%}_{-15\%}$
Частота питания переменного тока, Гц	50 ± 1	50 ± 1	50 ± 1
Потребляемая мощность, В·А	65	30	30
Габаритные размеры, мм	$217 \times 147,5 \times 315$		
Масса, кг	6		

X – измеряемая величина; X_k – конечное значение измеренной величины.

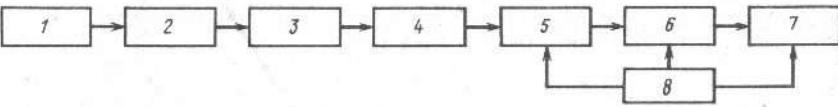


Рис. 8.52. Блок-схема устройства «график-код»:

1 – визирное устройство; 2 – сельсин-датчик; 3 – сельсин-приемник; 4 – датчик угла поворота; 5 – цифровой вольтметр; 6 – устройство согласования; 7 – перфоратор; 8 – устройство управления

Осциллограмма фиксируется на планшете. Вдоль осциллограммы перемещается рейка с укрепленным на ней устройством считывания, представляющим собой оптический визир, соединяющийся с сельсином-приемником. Сельсин-датчик, установленный в корпусе прибора, соединен с реохордным датчиком угла поворота. Таким образом, каждому значению ординаты на осциллограмме соответствует определенный угол поворота реохордного датчика, а следовательно, и определенное значение выходного напряжения. Это напряжение измеряется и преобразуется в цифровой код электронным цифровым вольтметром типа Ф200, а затем в виде кода регистрируется на бумажную ленту с помощью перфоратора ПЛУ-1. В случае амплитудной обработки оператор, перемещая рейку со считывающим устройством вдоль осциллограммы, совмещает визир с выбранным наибольшим значением кривой и производит пуск перфоратора. Количество считанных таким образом ординат фиксируется счетчиком. В случаях когда необходимо подготовить материалы для статистической обработки, т. е. определять текущие значения процессов через определенные промежутки времени, устройство может работать таким образом, что после каждого считывания визир автоматически перемещается по оси времени на определенный шаг, величина которого может изменяться в пределах 0,5–8 мм. Блок-схема устройства приведена на рис. 8.52.

Отметим, что разработаны устройства для преобразования графиков в цифровой код, работающие в автоматическом режиме. Однако эти устройства предъявляют весьма высокие требования к качеству осциллограмм. Так, например, при использовании устройства Ф018 необходимо, чтобы кривые на осциллограммах не пересекались и не соприкасались, расстояние между кривыми составляло не менее 1 мм, наклон линий не превышал 85°, линии должны быть тонкими и четкими, не допускается наличие на осциллограмме сетки времени, а также различных пятен и точек. Удовлетворить все эти требования в настоящее время трудно, так как на бумажную ленту шириной 300 мм стремится записать все основные измеряемые процессы, т. е. 23–25 линий, а запись, как правило, производится в условиях полевых испытаний. Поэтому эффективное использование устройств автоматической обработки осциллограмм при экспериментальных исследованиях динамики поезда оказывается затруднительным.

Полная же автоматизация обработки экспериментов, как отмечалось выше, возможна лишь на базе применения устройств магнитной записи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко А. Г., Коломбет Е. А., Стародуб Г. И. Применение прецизионных аналоговых интегральных схем. М.: Радио и связь, 1981, 224 с.
2. Астахов П. Н., Гребенюк П. Т., Скворцов А. И. Справочник по тяговым расчетам. М.: Транспорт, 1973, 116 с.
3. Бабушка И., Витасек Э., Прагер М. Численные процессы решения дифференциальных уравнений. М.: Мир, 1969. 275 с.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1974. 464 с.
5. Блохин Е. П., Белик Л. В., Маслеева Л. Г. Решение при помощи ЭВМ задачи о движении поезда как системы.—РЖ/ВНИИЖТ. Ж.-д. трансп., 1974, № 9, с. 4.
6. Блохин Е. П., Белик Л. В., Маслеева Л. Г. Об одном алгоритме численного решения задачи о движении поезда как многомассовой системы.—Тр. ДИИТ, 1979, вып. 205/26, с. 6–14.
7. Блохин Е. П., Манашкин Л. А. Динамика поезда (неstationарные продольные колебания). М.: Транспорт, 1982, 222 с.
8. Блохин Е. П., Маслеева Л. Г. О возможности понижения порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при возмущениях, распространяющихся вдоль его длины.—Тр. ДИИТ, 1978, вып. 199/25, с. 47–54.
9. Блохин Е. П., Стамблер Е. Л. К вопросу об устойчивости от схода с рельсов легковесных вагонов, движущихся в составах тяжеловесных поездов.—Тр. ДИИТ, 1973, вып. 143, с. 13–16.
10. Блохин Е. П., Стамблер Е. Л. Об уточнении модели междувагонного пружинно-фрикционного амортизатора удара.—Тр. МИИТ, 1979, вып. 643, с. 122–127.
11. Бойченко Т. Г., Михайленко В. М., Оптовец С. П. Комплекс измерительно-регистрирующей аппаратуры для исследования переходных процессов движения поездов.—РЖ/ВНИИЖТ. Ж.-д. трансп., 1979, № 5, с. 5.
12. Вериго М. Ф. Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава.—Тр. ВНИИЖТ, 1963, вып. 268, с. 5–63.
13. Вершинский С. В. Продольная динамика вагонов в грузовых поездах. М.: Трансжелдориздат, 1957. 263 с. (Труды ВНИИЖТ; Вып. 143).
14. Вершинский С. В. Устойчивость вагонов от выжимания продольными силами при торможении поезда.—Тр. ВНИИЖТ, 1970, вып. 425, с. 4–38.
15. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Челноков И. И. Динамика вагонов. М.: Транспорт, 1972. 303 с.
16. Гуманюк М. Н. Магнитоупругие силоизмерители. Киев: Техника, 1981. 183 с.
17. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов/Под ред. Н. Н. Кудрявцева. М.: Транспорт, 1977. 147 с. (Труды ВНИИЖТ; Вып. 572).
18. Иноземцев В. Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава. М.: Транспорт, 1979. 424 с.
19. Исследование движения одномерных многомассовых систем твердых тел с жесткими характеристиками соединений при пуске в ход/Н. И. Грановская, В. С. Клыщенко, В. А. Лазарян и др.—РЖ/ВНИИЖТ. Механика, 1979, № 1, с. 36.
20. Исследование динамики и прочности пассажирских вагонов/Под ред. С. И. Соколова. М.: Машиностроение, 1976. 223 с.
21. Итин М. Е., Манашкин Л. А. Зависимость чувствительности тензометрического измерительного канала от несущей частоты усилителя и от соединительной линии.—Измерительная техника, 1966, № 4, с. 35–37.
22. Кудрявцев Н. Н., Кудрявцев Л. А. Корреляционно-спектральный анализ вертикальных ускорений, зарегистрированных на боксе пассажирского вагона.—Вестник ВНИИЖТ, 1972, № 5, с. 16–20.
23. Кудрявцев Н. Н., Сасковец В. М. Автоматическое определение коэффициента запаса устойчивости колеса от схода с рельса с применением АВМ.—Вестник ВНИИЖТ, 1971, № 5, с. 1–4.
24. Лазарян В. А. Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава. М.: Трансжелдориздат, 1962. 219 с.
25. Лазарян В. А. О переходных режимах движения поездов.—Тр. ДИИТ, 1973, вып. 152, с. 3–43.
26. Лазарян В. А. Колебания железнодорожного состава.—В кн.: Колебания машин, конструкций и их элементов, т. 3/Под ред. Ф. М. Дименберга, В. С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1980, с. 398–433.
27. Лазарян В. А., Блохин Е. П. О математическом моделировании движения поезда по переломам продольного профиля пути.—Тр. МИИТ, 1974, вып. 444, с. 83–123.
28. Лазарян В. А., Блохин Е. П., Белик Л. В. О выборе численных методов интегрирования уравнений движения существенно нелинейных одномерных механических систем.—В кн.: Некоторые задачи механики скоростного транспорта. Киев, Наукова думка, 1970, с. 125–135.
29. Применение электронных моделей к исследованию переходных режимов движения одномерных систем/В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, А. В. Рыжов.—В кн.: Аналоговая и аналого-цифровая техника, вып. 4, М., Советское радио, 1971, с. 158–162.
30. Лазарян В. А., Блохин Е. П., Стамблер Е. Л. Движение легковесных вагонов в составах тяжеловесных поездов.—Тр. ДИИТ, 1968, вып. 76, с. 34–46.
31. Лазарян В. А., Богомаз Г. И., Хачапуридзе Н. М. О математических моделях для исследования неуставновившихся режимов движения наливных поездов.—В кн.: Колебания, прочность и устойчивость сложных механических систем. Киев, Наукова думка, 1979, с. 57–72.
32. Об одном возможном способе автоматизации обработки опытных данных при определении условий безопасного хода железнодорожных экипажей/В. А. Лазарян, М. Ф. Вериго, В. Ф. Ушаков, Е. Л. Стамблер.—Тр. ДИИТ, 1970, вып. 84, с. 15–19.
33. Лазарян В. А., Манашкин Л. А. О понижении порядка системы дифференциальных уравнений движения многомассовой цепочки твердых тел.—Прикладная механика, 1981, т. XVII, № 3, с. 122–128.
34. Лазарян В. А., Манашкин Л. А., Музыкин В. А. Исследование при помощи математических машин непрерывного действия процессов, происходящих при продольном соударении одномерных механических систем.—Тр. ДИИТ, 1967, вып. 72, с. 15–43.
35. Лазарян В. А., Рыжов А. В., Богомаз Г. И. Исследование при помощи ЭВМ пуска в ход наливных поездов.—Тр. ДИИТ, 1973, вып. 152, с. 44–57.
36. Лазарян В. А., Стамблер Е. Л. О моделях для исследования попечных колебаний поезда.—Тр. ДИИТ, 1970, вып. 84, с. 3–14.
37. Манашкин Л. А., Бондарев А. М. Электронное моделирование тормозных сил при статистических исследованиях переходных режимов движения поездов.—Тр. ДИИТ, 1976, вып. 182/22, с. 68–76.
38. Манашкин Л. А., Кедря М. М., Бондарев А. М. Исследование с помощью АВМ продольных сил в поезде при регулировочных торможениях и движении через перелом продольного профиля пути.—Тр. ДИИТ, 1978, вып. 199/25, с. 54–58.
39. Манашкин Л. А., Кедря М. М., Шумилин В. И. Электронное моделирование силовых характеристик междувагонных соединений с фрикционными поглощающими аппаратами.—Изв. вузов, Машиностроение, 1974, № 2, с. 135–138.
40. Манашкин Л. А., Юрченко А. В. Исследование гидропневматических амортизаторов удара с помощью электронного моделирования.—Вестник машиностроения, 1977, № 6, с. 7–11.

41. Маслесева Л. Г. Об алгоритме определения с помощью ЭЦВМ динамических усилий в поезде, управляемом с учетом заданной скорости движения.–Тр. ДИИТ, 1977, вып. 195/24, с. 54–56.
42. Михайленко В. М. Комплекс измерительно-регистрирующей аппаратуры для исследования динамических качеств подвижного состава в процессе длительной эксплуатации.–Тр. ДИИТ, 1980, вып. 210/27, с. 128–132.
43. Михайленко В. М., Оптовец С. П. Аппаратура для измерения ускорений при динамических испытаниях подвижного состава.–Тр. ДИИТ, 1977, вып. 195/24, с. 90–92.
44. Некоторые результаты экспериментальных исследований новых воздухораспределителей автотормозов в поезде весом 10 тысяч тонн/Е. П. Блохин, П. Т. Гребенюк, Е. Л. Стамблер и др.–Тр. ДИИТ, 1980, вып. 210/27, с. 14–17.
45. Неслуховский И. С. Цифровые дифференциальные анализаторы. М.: Физматгиз, 1963. 303 с.
46. Никольский Л. Н. Особенности ускоренных испытаний на надежность изделий со сложными отказами.–В кн.: Вопросы исследования надежности и динамики элементов транспортных машин и подвижного состава железных дорог. Тула, 1977, с. 3–11.
47. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ВНИИВ, ВНИИЖТ, 1983. 260 с.
48. Об экспериментальных исследованиях переходных режимов движения поездов с помощью современной аппаратуры/Е. П. Блохин, Е. Л. Стамблер, В. М. Михайленко и др.–Тр. ДИИТ, 1978, вып. 199/25, с. 64–70.
49. Правила тяговых расчетов для поездной работы/МПС СССР. М.: Транспорт, 1969. 320 с.
50. Разработка методики электронного моделирования продольных колебаний одномерного груза, закрепленного в вагоне, при переходных режимах движения поездов/В. А. Лазарян, Л. А. Манаушкин, А. В. Рыжов и др.–РЖ/ВИНТИ. Механика, 1974, № 1, с. 18.
51. Редько С. Ф., Ушаков В. Ф. Вычисление состоятельных оценок спектральных плотностей и корреляционных функций случайных процессов с использованием быстрого преобразования Фурье.–В кн.: Алгоритмы и программы для исследования на ЭЦВМ «Минск-32» случайных колебаний дискретных механических систем. Киев, 1972, с. 83–101.
52. Тензометрия в машиностроении: Справочное пособие/Под ред. Р. А. Маркова. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
53. А. с. 645178 (СССР). Устройство для определения коэффициента запаса устойчивости колесной пары транспортного средства/Авт. изобрет. М. Б. Кельрих, Л. А. Манаушкин, В. М. Михайленко и др.–Заявл. 13.09.76, № 2405705/18–24. Опубл. в Б. И., 1979, № 4, 175 с.
54. Ушаков В. Ф., Резников Л. М., Редько С. Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей. Киев: Наукова думка, 1982. 360 с.
55. Шадийн В. Определение величины сопротивления вагонов при трогании с места. Ж.-д. трансп., 1953, № 2, с. 73–79.
56. Электрические измерения неэлектрических величин/Под ред. П. В. Новицкого. Л.: Энергия, 1975. 576 с.
57. Эрлер В., Вальтер Л. Электрические измерения неэлектрических величин полупроводниковыми тензорезисторами. М.: Мир, 1974. 286 с.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Автосцепка динамометрическая** 204
 – Тарировка 205
- Автосцепки** – Вычисление сил с учетом скольжения клиньев фрикционных аппаратов 86
 – Вычисление усилий 56
- Автотормозное оборудование** – Оценка качества 145
- Адамса–Башфорта** формула 30
- Адамса–Мултона** формула 31
- Акселерометры** 211
- Алгоритмы** вычисления внутренних сил 47
 – вычисления сил в автосцепках 58
 – интегрирования дифференциальных уравнений 15
 – интегрирования с автоматическим выбором шага 31
 – модификации APPARAT2 51
 – модификации APPARAT7 80
 – подпрограммы SYLA 47
- Амортизатор гидрогазовый удара** – Вычисление сил 84
- Амортизаторы груза с кусочно-линейными характеристиками** – Вычисление сил 95, 96
 – упругие, упругофирикционные, упруговязкие – Вычисление продольных сил 92
- Аналиторы** 247
 – дифференциальные цифровые 177
- Аналог деформаций соединения** 181
- Аппаратура** «Кремний-3» 214
 – «Кристал» ЗП^а 211
 – для регистрации измеряемых процессов 219
 – для измерения ускорений – Характеристика 218
 – для измерения ускорений ДИИТА 212
 – измерительно-регистрирующая при экспериментальных исследованиях 199
- Аппараты поглощающие** – Зависимости «сила – ход» 234
 – Оценка качества 145

- Экспериментальная оценка параметров 197
- Аппараты поглощающие гидравлические** – Печать параметров 60 – Моделирование электронное 185
 – гидрогазовые – Вычисление скоростей перемещения поршней 56 – Вычисление усилия и скоростей перемещения поршней 64
 – с линейными силовыми характеристиками – Вычисление внутренних сил 47 – Учет влияния начальной загрузки 51
 – с линейными силовыми характеристиками 75
 – фрикционные – Моделирование электронное 181

Б

- Библиотека подпрограмм** – Рекомендации по расширению 150
- Библиотека программ** 7
 – Список входящих в нее программ 15
 – Хранение 148
- Блок вспомогательной модификации** AMORTORI 86
 – AMORTOR2 92
 – APPARAT1 48
 – APPARAT3 52
 – AHAPPARAT4 66
 – APPARAT5 72
 – VNESH3 109
 – VNESH4 111
 – подпрограммы YNTEGR 32
 – PROF 116
 – PRYNTR1 38
 – TVGA2 16
- Блок основной модификации** AMORTOR1 84
 – AMORTOR2 92
 – APPARAT1 47
 – APPARAT3 56
 – APPARAT4 64
 – APPARAT5 71
 – VNESH3 109

- VNESH4 110
- PRYNTR1 37
- PROFI 115
- подпрограммы YNTEGR 30
- Блок подпрограммы вспомогательный** 7
 - основной 7
- Блок-схема программы структурная** – Взаимосвязь с отдельными подпрограммами 8
- Обозначения 9
- функциональная – Организация работы 6,7 – Этапы решения уравнений движения поезда 6

B

- Вагоны** – Ввод и формирование параметров 8
- Вагоны-лаборатории** 195
- Видеомагнитофоны** 223
- Вольтметры** электронные цифровые 221, 244
- Вывод на печать промежуточных результатов** 37

G

- Генератор напряжения-аналог** продольной составляющей силы тяжести 195
- тормозных сил – Схема 189
- Грузы** – Оценка условий транспортировки 146
 - подвижные – Определение рациональных параметров устройств крепления к вагонам 146

D

- Датчики для измерения давления** 215
 - магнитоупругие 202
 - Датчик перемещения** – Схема электрическая 209
 - Тарировка 204
 - Техническая характеристика 20
 - Датчик ускорения** – Тарировка 213
 - Техническая характеристика 213
 - Устройство 213
 - Датчики относительных перемещений** 207
 - частотные 217
 - Двигатели тяговые** – Измерение токов 215
 - Движение** с заданной скоростью по переломам продольного профиля пути – Пример формирования исходных данных 150
 - Дешифратор** 247
- 256

- Диаграммы** наполнения тормозных цилиндров – Поиск рациональных параметров 145
- сил нажатия на тормозные колодки 154
 - точечные 232
 - ускорений 235
- Динамометры** 202
- Дисперсиометр** 246

З

- Зависимости** силы от деформации междувагонных соединений 52
- Задачи**, решаемые с помощью пакета прикладных программ 142
- Зазоры в упряжи** 195
 - средние в опытных поездах 226

И

- Имя** дополнительных точек входа в подпрограмму 11–14
 - модификации подпрограмм 11–14
 - подпрограммы 11–14
- Индикаторы** многолучевые 221
 - цифробуквенные 247
- Инструкция** по формированию программ 147
- Информация** выходная 158
 - числовая для расчетов – Группа 149
- Исследования экспериментальные** 195
 - Измерительно-регистрирующая аппаратура 199
 - Комплекс обрабатывающей аппаратуры 244
 - Обработка опытных данных 230
 - Оценка безопасности 138
 - Перечень измерительных величин 196
 - Привязка к пути 198
 - Проведение опытов 226
 - Роль 4
 - Источники электропитания 224

К

- Кабели** 202
 - коммутационные 219
- Классы задач** 144–146
- Колесные пары** – Оценка устойчивости при экспериментальных исследованиях 199
- Комплекс аппаратуры** для обработки в стационарных условиях 247
 - для экспресс-обработки 244
 - измерительно-регистрирующей 199
- Коэффициент деления** 218

- запаса устойчивости против схода колесной пары с рельсов 243 – Устройство для определения 245
- масштабный 205
- тензочувствительности магнитоупругих датчиков 202
- тензочувствительности тензорезистора 199
- Кусочно-линейная аппроксимация** силовой характеристики упруго-фрикционных поглощающих аппаратов при нагрузках 75

M

- Магнитная запись** 219
- Магнитографы** 220
- Метод** исследования экспериментальный 195
- Моделирование** аварийных режимов – Решаемые задачи и шифр программ 146
- Моделирование электронное** внешних сил 188
 - внутренних сил взаимодействия твердых тел 181
 - внутренних сил – Междувагонное соединение с гидравлическим поглощающим аппаратом 185
 - внутренних сил – Междувагонное соединение с фрикционным поглощающим аппаратом 181
- Модель электронная поезда** 4
 - Использование аналоговых счетно-решающих устройств 180
 - Масштабы 177
 - Определение 177
 - Основные соотношения. 178
 - Схема 179
 - Схема счетно-решающих устройств 182
 - Схема устройства для моделирования междувагонного соединения при учете упругопластических деформаций кузова 184
 - Принцип построения 176
 - Модель электронная работы междувагонного соединения с гидравлическим поглощающим аппаратом – Схема 186
- Модификация AMORTOR1** – Алгоритм 84
 - Идентификатор 85
 - Назначение 84
 - Текст 87–91
- Модификация AMORTOR2** – Алгоритм 92
 - Назначение 92
 - Обозначение идентификаторов 92
 - Текст 93

Модификация AMORTOR3 – Алгоритм 94

- Назначение 94
- Обозначение идентификаторов 94
- Текст 94

Модификация AMORTOR4 – Назначение 97

- Текст 97

Модификация APPARAT1 – Алгоритм 47

- Назначение 47, 48
- Соответствие величин и их идентификаторов 48
- Текст 49

Модификация APPARAT2 – Алгоритм 51

- Идентификаторы 54
- Назначение 51, 53
- Текст 54, 55

Модификация APPARAT3 – Алгоритм 56

- Идентификаторы 59
- Назначение 56, 58
- Параметры гидравлических аппаратов 59
- Текст 60–64

Модификация APPARAT4 – Алгоритм 65

- Идентификаторы переменных и параметров 67
- Назначение 64, 66
- Текст 67–70

Модификация APPARAT5 – Алгоритм 71

- Идентификаторы 72
- Назначение 71, 22
- Текст 73, 74

Модификация APPARAT6 – Алгоритм 75

- Идентификаторы 76
- Назначение 75
- Текст 77–79

Модификация APPARAT7 – Алгоритм 80

- Идентификаторы 80
- Назначение 80
- Порядок ввода идентификаторов 81
- Текст 81–83

Модификация FVOZM1 – Идентификаторы 99

- Назначение 99

Модификация FVOZM2 – Алгоритм 99

- Идентификаторы 100
- Текст 100

Модификация FVOZM3 – Идентификаторы 102

- Назначение 104

Модификация VVONU1 подпрограммы VVONU – Идентификаторы параметров и переменных 19

- Назначение 18
- Текст 19
- Модификация VVONU2** подпрограммы VVONU – Идентификаторы параметров и переменных 21
 - Назначение 20
 - Текст 21–23
- Модификация VNESH1** – Алгоритмы 103
 - Идентификаторы 105
 - Назначение 103
 - Текст 106, 107
- Модификация VNESH2** – Модуль вспомогательный 108
 - Назначение 108
 - Текст 108
- Модификация VNESH3** – Назначение 109
 - Текст 110
- Модификация VNESH4** – Идентификаторы 111
 - Назначение 110
 - Текст 111, 112
- Модификация PRUNTR1** – Назначение 37
 - Спецификации форматов 37
 - Список вводимых величин 37
 - Текст 38, 39
- Модификация PRUNTR2** – Назначение 39, 40
 - Порядок организации ввода информации 40
 - Пример организации печати результатов 40
 - Текст 41–44
- Модификация PROF1** – Алгоритм 115
 - Идентификаторы 117
 - Назначение 115
 - Порядок ввода исходной информации 117
 - Текст 118
- Модификация PROF2** – Назначение 119
 - Текст 120
- Модификация PROF3** – Назначение 122
 - Текст 122
- Модификация SOPR1** – Идентификаторы 113
 - Назначение 112
 - Текст 114
- Модификация SPRAV1** – Назначение 23
 - Соответствие параметров и переменных их идентификаторам 24
 - Структура массивов 24
 - Текст 24
- Модификация SPRAV2** – Идентификаторы параметров и переменных 26
 - Назначение 25
 - Структура массивов 26
 - Текст 27–29

- Уравнения вычисляемые 25
 - Модификация TORM1** – Идентификаторы 131
 - Назначение 129
 - Порядок ввода исходной информации 132
 - Размещение информации 132
 - Текст 133–135
 - Модификация TORM2** – Идентификаторы 137, 138
 - Назначение 136
 - Текст 138
 - Модификация TUGA1** – Алгоритм 123
 - Идентификаторы 124
 - Назначение 122
 - Порядок ввода параметров 122
 - Текст 124, 125
 - Модификация TUGA2** – Идентификаторы 126
 - Назначение 126
 - Текст 127
 - Модификация TUGA3** – Идентификаторы 127
 - Назначение 127
 - Текст 128
 - Модификация подпрограммы** – Имя 11–14
 - Монитор 230
- Н**
- Набор программ** 143
- О**
- Определение рациональных режимов** и способов управления движением поездов – Шифры программ и решаемые задачи 144
 - Основной блок модификации TUGA2** 126
 - Оператор COMMON** – Перечень COMMON-блоков 151
 - Оциллография** сил при торможении поезда 231
 - при трогании поезда 230
 - ходов поглощающих аппаратов 233
 - Оциллографы** – Анализ качественный 230
 - Обработка количественная 231
 - Оциллограф** электронно-лучевой 247
 - Оциллографы** 223
 - Оценка качества** автотормозного оборудования – Шифр программ и решаемые задачи 145
- П**
- Пакет прикладных программ** – Возможности 3
- Инструкции и рекомендации 142
 - Инструкции по формированию 147
 - Классы решаемых задач 142
 - Определение 8
 - Примеры формирования исходных данных 150
 - Структурная блок-схема 8
 - Структура и организация 6
 - Указания по подготовке исходных данных 149
 - Функциональная блок-схема 6, 7
 - Параметр** формальный 34
 - Перфокарты** – Последовательность расположения числового материала 155, 161, 162, 164, 169, 171
 - ввода подпрограмм 149
 - Плотности энергетические спектральные** продольных сил, 238, 239
 - процессов 235
 - сжатий пружинного комплекта тележек 241
 - ускорений 236
 - Поезд опытный** – Выбор 196
 - зазоры в упряжи 226
 - размещение измерительных сечений 196
 - Поезд** – Преобразование параметров в параметры «укороченной» механической системы 36
 - Поездки опытные** 226
 - Подпрограмма FOPM1** – Идентификаторы вводимых величин 35
 - Информация массивов 35
 - Назначение 34
 - Параметр формальный 34
 - Подпрограмма UNTEGR** – Назначение 30, 32
 - Порядок ввода параметров 32
 - Соответствие параметров их идентификаторам 32
 - Текст 33, 34
 - Подпрограмма MAX** – Назначение 45
 - Порядок выдачи информации 45
 - Соответствие величин и их идентификаторов 45
 - Текст 46
 - Подпрограмма MUNPOR** – Назначение 36
 - Параметр формальный 36
 - Текст 36
 - Подпрограмма PARVAG** – Назначение 17
 - Текст 18
 - Подпрограмма PRUNTR** 37, 39
 - Подпрограмма RKUT2** – Назначение 29
 - Соответствие параметров и их идентификаторов 30
 - Текст 30
 - Подпрограмма SULA** 42, 51, 56, 64, 71, 75, 80
 - SPRAV 23, 25
- VVONU 18, 20
- Подпрограммы** – Имя 11–14
- Набор для решения задачи 143
 - Назначение 9–14
 - Список 11–14
 - Структура 7
- Подпрограммы** для вычисления внешних сил 98 – См. также *модификации FVOZM, VNESH, PROF*
- для вычисления сил при торможении вагонов пневматическими тормозами 129
 - для вычисления сил при торможении локомотива электрическим тормозом – Алгоритм 139 – Идентификатор 140 – Назначение 139 – Текст 141
 - для вычисления сил сопротивления движению экипажей 112
 - для вычисления сил тяжести на уклонах продольного профиля пути 115, 119, 122
 - для вычисления силы тяжести 122
 - обработки результатов 34
 - организации процедуры интегрирования 29
 - подготовки данных 17, 18, 20, 23
 - расчета сил в автосцепках 47
 - расчета сил в амортизаторах грузов 84
 - Потенциометр** планштетный 250
 - Программа головная** 6
 - MAIN – Назначение 8, 15
 - Соответствие переменных и их идентификаторов 16
 - Текст 16, 17
 - Программы** – Варианты и шифры решаемых задач 147
 - Модификация 7
 - Формирование 148
 - Преобразователи** аналого-цифровые – Характеристика 249
 - взаимоиндукционные 208
 - генераторные 211
 - параметрические 211
 - тензорезистивные 208
 - цифро-аналоговые – Характеристики 250
 - Преобразователь** статический 224 – Характеристика 225
 - полуавтоматический «график-код» 250
 - Продольные составляющие сил тяжести** – Моделирование 183
 - Профиль** пути продольный 116
 - Ввод и формирование параметров 9
 - К примеру формирования исходных данных 152
 - Нормирование параметров 146
 - Оценка качества 146

P

- Размерность исходной информации** 149
 – результатов расчета 149
Режимы аварийные–Накопление остаточных деформаций 175
 – Моделирование 146
Режимы управления–Схема переключений 104
Рунге-Кутта метод 31

C

- Сечения измерительные**–Выбор числа 197
 – Размещение в поезде 196
Сила тяжести–Определение продольной составляющей 115
Силы внешние–Анализ качественный осциллограмм 230–Формирование 101
 – вызванные управлением движения 103
 – при ударении вагонов и сцепов 108
 – суммарные–Формирование на каждый экипаж поезда 98–Экспериментальное определение 198
Силы внутренние–Анализ качественный осциллограмм 230
 – в поезде наибольшие растягивающие и сжимающие 45
 – нажатия на тормозную колодку–Зависимость от времени 130–Формулы для вычисления 130
 – продольные в поезде–Экспериментальное определение 196
 – при трогании с места 109
 – при торможении–Определение 110
 – сопротивления движению–Вычисление 112
Силы тяги–Вычисление 123
 – Зависимость от скорости и времени движения локомотива 123
 – Моделирование 188
 – Экспериментальное определение 198
Силы тормозные–Вычисление 129
 – Моделирование 188
 – Экспериментальное определение 198
 – локомотива при экстренном торможении–Зависимость от скорости и времени 139
Символы шифра программы–Значение 143
Система дополнительной амортизации 225
Скоростемеры 215
Скорость движения–Оценка экспериментальных данных 198

Скорости относительные соударения вагонов–Экспериментальная оценка 197

- Соединения междувагонные**–Ввод и формирование параметров 9
 – Выбор наибольших растягивающих и сжимающих сил 45
 – Вычисление внутренних сил 47
 – Вычисление сил при аварийных режимах 71
 – Формирование параметров 48
 – Формирование параметров в «ускоренной системе» 53
Сопротивление изоляции измерительных цепей 202
Соударение сцепов вагонов–Пример задания исходных данных 163
 – аварийное–Пример формирования исходных данных и решение задачи 171
Станция групповая тормозная 188
Схема размещения измерительных сечений в опытном поезде 196
 – формирования поезда 159
 – измерения мостовая 200

T

- Тахогенератор** 217
Тензорезисторы 199
Торможение на горизонтальном участке пути поезда с локомотивами по концам–Пример формирования исходных данных 159
 – наливных поездов–Формирование исходных данных и решение задач 168
Тормозной путь–Оценка экспериментальная 198
 – Устройство для измерения 218
Точки дополнительные ввода в подпрограмму–Имя 11–14
Трансформаторные преобразователи–См. «Преобразователи взаимоиндукционные»

У

- Управление** печатью информации 39
Уравнения движения поезда дифференциальные–Функциональная блок-схема для их решения 25
 – дифференциальные, вычисляемые подпрограммой SPRAV 25
Усилители согласующие 211
 – тензометрические 200–Характеристика 203
Усилитель масштабный 210, 246
Ускорения наибольшие 45

– продольные элементов хребтовой балки–Экспериментальное определение 197

- Устройства** для определения коэффициента запаса устойчивости 245

Ф

- Фильтр** нижних частот 247
Формулы для вычисления силы тяжести 123
 – тормозных сил при электрическом торможении 140
Фотокиносъемки 223
Функции эмпирические распределения сил 232
 – ускорений 235, 236

X

- Характеристика силовая** кусочно-линеаризованная 182
 – упругоффрикционного соединения 66, 72

Характеристика тяговая локомотива 153

- Хевисайда функция** 65

Ц

- Цепи кабельные** 219

Ч

- Частотомеры** электронные угловые 217

Ш

- Шифр программы** 143

Э

- Экипаж**–формирование суммарной внешней силы 98, 99
Эксперимент–Основные цели 195

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Структура и организация пакета прикладных программ «Поезд»	
1.1. Функциональная блок-схема программ. Особенности структуры подпрограмм	6
1.2. Структурная блок-схема программы. Назначение отдельных подпрограмм	8
Глава 2. Алгоритмы и программы для организации интегрирования дифференциальных уравнений движения поезда. Обработка исходных данных и результатов вычислений	
2.1. Головная программа и некоторые подпрограммы подготовки данных	15
2.2. Подпрограммы организации процедуры интегрирования	29
2.3. Подпрограммы обработки результатов	34
Глава 3. Алгоритмы и подпрограммы для вычисления внутренних сил	
3.1. Подпрограммы расчета сил в автосцепках	47
3.2. Подпрограммы расчета сил в амортизаторах грузов	84
Глава 4. Алгоритмы и подпрограммы для вычисления внешних сил	
4.1. Подпрограммы для организации вычисления внешних сил	98
4.2. Подпрограммы для вычисления сил сопротивления движению экипажей и составляющих сил тяжести на уклонах продольного профиля пути	112
4.3. Подпрограммы для вычисления силы тяги	122
4.4. Подпрограммы для вычисления сил при торможении вагонов пневматическими тормозами	129
4.5. Подпрограммы для вычисления сил при торможении локомотива электрическим тормозом	139
Глава 5. Инструкции и рекомендации по использованию пакета прикладных программ «поезд»	
5.1. Классификация задач, решаемых с помощью пакета прикладных программ «поезд»	142
5.2. Инструкции по формированию программ	147
5.3. Указания по подготовке исходных данных	149
5.4. Некоторые рекомендации по расширению библиотеки подпрограмм	150
Глава 6. Примеры формирования исходных данных	
6.1. Движение с заданной скоростью по переломам продольного профиля пути	150
6.2. Торможение на горизонтальном участке пути поезда с локомотивами по концам	159
6.3. Соударение сцепов вагонов	163
6.4. Торможение наливных поездов	168
6.5. Аварийное соударение сцепов	171

Глава 7. Электронная модель поезда

7.1. Принцип построения. Основные соотношения. Блок-схема модели	176
7.2. Моделирование внутренних сил взаимодействия твердых тел	181
7.3. Моделирование внешних сил, действующих на вагоны поезда	188

Глава 8. Экспериментальный метод исследования

8.1. Объект исследований. Измеряемые величины	195
8.2. Комплекс измерительно-регистрирующей аппаратуры	199
8.3. Проведение опытов	226
8.4. Обработка опытных данных	230
8.5. Комплекс обрабатывающей аппаратуры	244
Список литературы	252

Введ

Гла

1.1. 1

1.2. 1

Гла

2.1. 1

2.2. 1

2.3. 1

Гла

3.1. 1

3.2. 1

Гла

4.1. 1

4.2. 1

1

4.3. 1

4.4. 1

4.5. 1

Евгений Петрович Блохин,
Лев Абрамович Манашкин,
Евгений Львович Стамблер,
Людмила Григорьевна Маслеева,
Виталий Михайлович Михайленко,
Наталья Иосифовна Грановская

РАСЧЕТЫ И ИСПЫТАНИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ

Гла

Переплет художника А. Е. Смирнова
Технический редактор О. И. Крайнова, Н. И. Перова
Корректор Р. И. Ледяева
ИБ 3266

5.1. 1

1

5.2. 1

5.3. 1

5.4. 1

Алфавитный указатель составила М. П. Сазонова

Гла

Сдано в набор 3.04.85. Подписано в печать 5.03.86. Т-01745.
Формат 60 × 90¹/₁₆. Бум. кн.-жур. № 2. Гарнитура литературная. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 16,5. Усл. кр.-отт. 16,5. Уч.-изд. л. 19,23. Тираж 2500 экз. Заказ 698. Цена 3 р. 20 к.
Изд. № 1-4 1/1 № 3117.

Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ», 103064, Москва, Басманный туп., ба

6.2. 1

1

6.3. 1

6.4. 1

6.5. 1

Набор и фотоформы изготовлены
в Можайском полиграфкомбинате Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93

Отпечатано в Московской типографии № 4
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
129041, Москва, Б. Переяславская ул., д. 46