

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

---

**14/29/2**

**Одобрено кафедрой  
«Нетяговый подвижной  
состав»**

**Утверждено деканом  
факультета  
«Транспортные средства»**

## **ДИНАМИКА ВАГОНОВ**

**Рабочая программа  
и задания на контрольные работы № 1 и 2  
с методическими указаниями  
для студентов V курса  
специальности  
190302 ВАГОНЫ (В)**

**РОАТ**

**Москва – 2010**

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и на основании примерной учебной программы данной дисциплины, составленной в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки инженера путей сообщения по специальности 190302 Вагоны (В).

С о с т а в и т е л и : д-р техн. наук, доц. К.А. Сергеев,  
канд. техн. наук, доц. А.П. Бомбардилов

Р е ц е н з е н т — ст. преп. О.Ю. Кривич

## 1. ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

*Цель изучения дисциплины* состоит в развитии практического и аналитического мышления будущих инженеров, умении математически моделировать сложные динамические процессы, происходящие в движущемся вагоне и поезде, возможности привить глубокое понимание того, что изучение и применение в практике основ динамики позволяет непрерывно совершенствовать перевозочный процесс и, главным образом, его технические средства — подвижной состав.

В дисциплине «Динамика вагонов» излагаются методы теоретического и экспериментального определения условий безопасного и плавного движения вагонов по железнодорожным путям в составах большой массы и с высокими скоростями, величин динамических сил взаимодействия вагонов между собой и с железнодорожным путем, необходимых при проектировании новых и модернизации вагонов для расчета на прочность, устойчивость и надежность, установления критериев оценки их динамических качеств.

На выводах дисциплины основываются положения норм расчета и проектирования вагонов — основного документа, определяющего техническую политику в области вагоностроения и эксплуатации вагонов.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Изучив дисциплину, студент должен:**

2.1. *Знать и уметь использовать* дифференциальные уравнения применительно к описанию колебаний системы вагон-путь.

2.2. *Владеть* методами теоретического и экспериментального исследования нагрузок, действующих на вагон при его движении.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего часов	Курс — V
Общая трудоемкость дисциплины	110	
Аудиторные занятия:	16	
Лекции	8	
Практические занятия	—	
Лабораторный практикум	8	
Самостоятельная работа:	64	
Контрольные работы	30	2
Вид итогового контроля		Зачет, экзамен

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п\п	Раздел дисциплины	Лекции, ч	Лабораторный практикум, ч
1	Вагон и железнодорожный путь — единая динамическая система	2	2
2	Колебания вагона с одинарным рес-сорным подвешиванием	4	4
3	Динамическое взаимодействие ко-лес с рельсами	2	2

#### 4.2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

##### Раздел 1

#### ВАГОН И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ — ЕДИНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

##### *1.1. Цель и задачи исследования системы*

Роль процессов колебаний в динамике подвижного состава и необходимость их ограничений из условий обеспечения устойчивости движения, плавности хода, снижения сил взаимодействия вагона и железнодорожного пути: динамических напря-

жений, износов деталей и узлов, повышения надежности оборудования различных узлов и соединений вагона [1; 2; 3; 4; 5].

### ***1.2. Основные элементы системы***

Вагон. Характеристики вагона с грузом как системы физических (твердых, упругих, вязких, упруго-вязких и жидких) тел и связей между ними. Обрессоренные и необрессоренные части вагона. Характеристики кузова, рам тележек и других частей как твердых тел, их массы, моменты инерции, положение центра массы при нагрузках кузова различными грузами. Линейные размеры вагона, определяющие его динамические свойства.

Виды связей между частями вагона: жесткие, упругие, их классификация, влияние на конфигурацию системы. Силовые характеристики (линейные и нелинейные) упругих, упруго-фрикционных и упруго-вязких связей: рессор, пружин, торсионов, гасителей колебаний.

Железнодорожный путь, динамические характеристики верхнего строения пути. Упругость в вертикальном и горизонтальном (поперечном) направлениях, величины масс пути, участвующих в процессах взаимодействия пути и подвижного состава, силы неупругого сопротивления железнодорожного пути [1; 2; 3; 4; 5].

### ***1.3. Источники силовых и кинематических возмущений системы «вагон-путь»***

Природа сил взаимодействия вагона и пути. Источники кинематических возмущений, связанных с конструкцией верхнего строения пути. Причины образования упругих и остаточных деформаций рельсового пути в вертикальном и поперечном (горизонтальном) направлениях. Вид неровностей (длинные и короткие, изолированные и периодические) величина и законы их повторения. Детерминированные и случайные неровности. Стыковые соединения и крестовины. Кинематические возмущения, определяемые конструкцией и состоянием колесной пары вагона. Движение колесной пары без учета скольжения колес по рельсам в прямом и криволинейном участке пути.

Движение колесной пары и тележки с учетом скольжения колес по рельсам в прямом и криволинейном участке пути. Упругое скольжение и связь с ним касательных сил в контакте колес с рельсами. Длина волн извилистого движения. Критические скорости движения колесной пары и тележки. Понятие устойчивости извилистого движения.

Неравномерный прокат, выбоины (ползуны) на поверхности катания колеса, эксцентricность круга катания по отношению к шейке оси, дисбаланс колесных пар, как источник кинематических и силовых возмущений колебаний колес на упругом пути.

Нормы содержания и требования к колесным парам вагонов в зависимости от скорости движения [1; 2; 3; 4; 5].

#### *1.4. Расчетные методы системы «вагон-путь»*

Принципы построения расчетных моделей в зависимости от целей исследования.

Выбор и обоснование основных параметров, числа степеней свободы модели и принятые допущения. Виды колебаний. Возможность использования упрощенных (усеченных) моделей в изучении сложных задач динамики вагонов. Составление уравнений на основе аналитической механики (принцип Даламбера и уравнение Лагранжа второго рода) в декартовых и обобщенных координатах. Методы решения дифференциальных уравнений. Роль аналитических методов в качественном и количественном анализе динамики системы «вагон-путь». Применение вычислительных машин, их возможности по углублению и ускорению процесса исследования динамики вагона. Критерии оценки достоверности теоретических исследований — лабораторные и поездные испытания [1; 2; 3; 4; 5].

## **Раздел 2**

### **КОЛЕБАНИЯ ВАГОНА С ОДИНАРНЫМ РЕССОРНЫМ ПОДВЕШИВАНИЕМ**

Расчетная модель и ее параметры. Особенности систем одинарного рессорного подвешивания. Основные виды и класси-

фикация колебаний кузова и тележек, их номенклатура. Оси колебаний. Обоснование возможности применения усеченных расчетных схем для изучения колебаний кузова на рессорах 4-, 6- и 8-осных вагонов.

Собственные колебания. Дифференциальные уравнения собственных колебаний вагона, методы их решения. Частоты и формы колебаний. Влияние сил неупругого сопротивления рессор на процессы колебания вагона. Частные случаи процессов колебания вагонов в зависимости от симметрии расположения груза в вагоне (плоские колебания в продольной, поперечной и горизонтальной плоскостях вагона).

Вынужденные колебания. Системы дифференциальных уравнений колебаний вагона с учетом возмущающего действия различных неровностей на пути и колесных парах, а также извилистого движения отдельных колесных пар и тележек. Решение этих уравнений. Установившиеся, переходные и случайные виды вынужденных колебаний. Влияние базы вагона и базы тележки, в том числе 6—8-осных вагонов, на характер возмущающего влияния неровностей на пути. Влияние сил неупругого сопротивления на снижение амплитуд колебаний вагонов в резонансном режиме движения. Частные случаи вынужденных колебаний вагона в зависимости от расположения груза в кузове. Определение критических скоростей движения применительно к отдельным видам колебаний. Подпрыгивание и галопирование, боковая качка, влияние и их оценка в заданных интервалах конструкционных и эксплуатационных скоростей. Определение оптимальных параметров гасителей колебаний и их рационального расположения в системе рессорного подвешивания. Определение коэффициента динамики для отдельных узлов вагона и пути их снижения. Динамические поглотители вертикальных колебаний кузова вагона на рессорах.

Оценка устойчивости движения вагона. Меры подавления колебаний влияния вагонов, предназначенных для высокоскоростного движения. Оценка динамических качеств вагона: безопасности и плавности его хода [1; 2; 4; 5].

## Раздел 3

### ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕС С РЕЛЬСАМИ

#### *3.1. Движение колеса по рельсу с короткими периодическими и изолированными неровностями*

Характеристики неровностей на поверхностях катания колес и рельсов. Условия безотрывного движения колеса по рельсу. Зависимость сил взаимодействия колес с рельсами от жесткости пути, колес и скорости движения по этим неровностям. Динамическая оценка дефектов рельсового пути и поверхности катания колес. Движение колеса по неравноупругому рельсу. Динамические силы, возникающие при движении колес с дисбалансом. Допускаемые величины дисбаланса для колес скоростных вагонов.

#### *3.2. Движение вагона по криволинейным участкам железнодорожного пути*

Взаимодействие колеса и рельса в горизонтальном(боковом) направлении при входе вагона в криволинейные участки пути и влияние неправильности рихтовки пути. Особенности взаимодействия при входе вагонов в стрелочные переводы. Горизонтальные силы динамического взаимодействия колес с крестовинами. Допускаемые скорости движения вагона по стрелочным кривым. Влияние норм содержания колесных пар и элементов стрелочного перевода на условия безопасности движения. Расчет сил взаимодействия колес и рельсов (направляющих и рамных сил) при установившемся движении вагона в круговой кривой.

#### *3.3. Особенности воздействия на путь многоосных вагонов*

Расчет вертикальных прогибов и изгибающих моментов от сил динамического давления колес на головку рельса. Напряжения изгиба в подошве рельса, силы давления рельса на шпалы, напряжения в основной площадке земляного полотна

в зависимости от числа колесных пар в тележке и расстояний между ними [1; 2; 4; 5].

Устойчивость вагона. Элементы общей теории устойчивости механических систем и ведущая роль отечественных ученых в ее создании. Анализ условий, способствующих вкатыванию колеса гребнем на головку рельса при малых и больших скоростях движения вагонов. Обоснование рациональных профилей головки рельса и поверхностей катания колес и гребней.

Поперечная устойчивость и валкость кузова на рессорах. Метацентр, понятие и определение его месторасположения. Оценка безопасности движения по опрокидыванию вагона под действием поперечных сил. Влияние характеристик рессорного подвешивания на поперечную устойчивость вагона. Выбор параметров систем горизонтального поперечного подрессоривания из условий плавности хода и поперечной устойчивости. Устойчивость вагона в поезде при действии на него продольных растягивающих и сжимающих сил. Устойчивость его против стаскивания с рельсов при тяге поезда в кривом участке пути. Виды установок вагонов в поезде: понятие о критических силах прямолинейной (соосной) формы равновесия вагонов в сжатом составе. Расчетное определение коэффициента запаса устойчивости вагона против выжимания продольными сжимающими силами и стаскивания с рельсов растягивающими силами в кривом участке пути.

Динамические качества хода вагона: воздействие перегрузок на конструкцию, пассажиров и перевозимые грузы

Критерий оценки динамических качеств вагона: безопасность движения в смысле устойчивости против схода, динамические силы и плавность хода. Допустимый уровень колебаний вагона, исходя из физиологических и гигиенических норм. Оценка плавности хода и ее обеспечение при проектировании вагона. Влияние колебаний вагона на перевозимые грузы.

Шум в пассажирских вагонах. Шум, как неупорядоченное сочетание звуков, представляющих собой высокочастотные механические колебания среды. Влияние шума на организм человека. Источники шума при движении вагона в работе оборудования, вентиляции и установок кондиционирования воздуха

вагонов. Системы оценки уровня и способы измерения шума. Децибелы, фонны. Меры по уменьшению шума: изоляция, отражатели, резиновые прокладки и их расчет. Нормы по ограничению шума [1; 2; 3; 4; 5].

Продольная динамика вагонов в поезде и при маневровых соударениях. Составление расчетной схемы для поезда как дискретной одномерной системы масс, соединенных нелинейными связями (с учетом люфтов: трения и т.п.), и как упругого призматического стержня. Составление систем расчетных уравнений и метод их решения. Качественные рассмотрения продольных колебаний поезда. Виды продольного взаимодействия вагонов при торможении и трогании поезда. Влияние неоднородности поезда на величины продольных сил. Расчет сил соударения вагонов в процессе маневровой работы на станциях и сортировочных горках.

Выбор и обоснование расчетных растягивающих и сжимающих усилий с учетом перспективы роста массы и длины поезда, мощности локомотивов и скорости движения, особенности динамики составных поездов. Рекомендации по выбору параметров поглощающих аппаратов [1; 2; 4;5].

### 4.3. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ п\п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	1	Определение динамических параметров экипажной части грузового вагона
2	1	Исследование колебаний простейших систем
3	2	Составление дифференциальных уравнений для решения задач колебаний вагонов
4	1–3	Ознакомление с приборами, применяемыми в динамических испытаниях вагонов
5	1–3	Математическое моделирование задач колебаний вагонов

## 5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Тема	Часы
Устойчивость вагона	18
Динамические качества хода вагона	12
Шум в пассажирских вагонах	12
Продольная динамика вагонов в поезде	22

На V курсе студент выполняет две контрольные работы в виде пояснительной записки объемом до 50 страниц каждая. Требования к оформлению и исполнению контрольных работ приведены в разделе 8.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

#### *Основная*

1. Сергеев К. А., Чернова Т.Г., Готаулин В.В. Динамика вагонов: Конспект лекций. Ч. 1. — М.: РГОТУПС, 2003.

#### *Дополнительная*

1. Соколов М.М., Хусидов В.Д., Минкин Ю.Г. Динамическая нагруженность вагона. — М.: Транспорт, 1981.

2. Блохин Е.П., Манашкин Л.А. Динамика поезда. — М.: Транспорт, 1982.

3. Вериго М.Ф. Динамика вагонов. Конспект лекций для студентов-заочников специальности «Вагоностроение и вагонное хозяйство». — М.: ВЗИИТ, 1971.

4. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагонов. — М.: Транспорт, 1991.

5. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. — М.: Транспорт, 1986.

## 6.2. СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Компьютерные программы и видеофильмы кафедры «Нетяго-  
вый подвижной состав».

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ДИНАМИКА ВАГОНОВ»

Изучение дисциплины базируется на использовании специального лабораторного оборудования, стендов, наглядных пособий, имеющихся в распоряжении кафедры «Нетяго-  
вый подвижной состав», включая оборудование, имеющееся в филиалах МИИТ.

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ПОДГОТОВКЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

### Контрольная работа № 1

#### Расчет динамических характеристик вагона

Раздел 1. Составление дифференциальных уравнений колебания кузова на рессорах. Определение собственных частот колебаний подпрыгивания, галопирования и боковой качки вагона.

Раздел 2. Расчет параметров гасителей колебаний.

Раздел 3. Проверка отсутствия «валкости» кузова вагона.

Раздел 4. Составление дифференциального уравнения вынужденных колебаний подпрыгивания вагона при движении его по регулярным неровностям пути. Нахождение аналитического выражения, описывающего процесс вынужденных колебаний подпрыгивания вагона.

#### *Контрольный вопрос*

На основе изучения рекомендованной литературы (см. перечень, приведенный в конце методических указаний) дать ответ на вопрос:

Почему вагон и железнодорожный путь следует рассматривать как единую механическую систему?

## Контрольная работа № 2

### Расчет динамических сил, действующих на вагон

Раздел 1. Расчеты динамических боковых и рамных сил при вписывании вагона в кривые участки пути.

Раздел 2. Расчет наибольших боковых и рамных сил, возникающих при извилистом движении вагона в прямых участках пути и при входе его в кривую.

Раздел 3. Расчет наибольших сил инерции необрессоренных масс вагона при проходе колесом стыка и движении колеса с ползуном на поверхности катания.

#### *Контрольный вопрос*

По каким основным показателям оценивается воздействие вагонов на железнодорожный путь? Укажите допускаемые величины этих показателей.

#### **Исходные данные и правила выбора варианта исходных данных**

Исходные данные для выполнения контрольных работ приведены в таблице 1. Она содержит 50 вариантов. Выбор варианта производится по учебному шифру студента.

Если в шифре последние две цифры от 01 до 50, то выбирать следует вариант, номер которого совпадает с последними двумя цифрами. Например, при шифрах 96-В-1; 96-В-15; 96-В-1537; 96-В-40 и т.д. следует разрабатывать варианты соответственно 1, 15, 37, 40 и т.д.

Если в шифре последние две цифры от 51 до 00, выбирать следует номер варианта, который совпадает с цифрой, которая получается, если из двузначного числа в окончании шифра вычесть 50. Например, студенты, имеющие шифр 96-В-67; 96-В-458; 96-В-300; 96-В-270 и т.д., разрабатывают варианты соответственно 17, 8, 50, 20 и т.д.

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Выполнение контрольных работ помогает усвоению студентами теоретических сведений курса и умению применять их для практических расчетов.

Выполнению каждой части задания должны предшествовать изучение теоретических разделов курса и самопроверка студента по контрольным вопросам, содержащимся в конспекте лекций курса «Динамика вагонов» [1]. Ниже будут указываться те или иные материалы (номера лекций, глав, параграфов и т.п.) в разных источниках, которые имеют прямое отношение к поставленным задачам. Однако обращаем внимание на то, что для их понимания следует изучить последовательно все предшествующие им главы курса. В исходных данных задания содержатся указания о том, какой тип вагона и тележки принять в расчет. Конструктивные данные этих типов вагонов и тележек можно найти в прил. А и Б. Часть необходимых для расчетов данных (общих для всех вариантов) приведена в прил. В и Г.

Обращаем внимание на необходимость контролировать размерности входящих в расчет величин и в конце каждого вычисления проставлять размерность получаемой величины.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 1

При составлении дифференциальных уравнений собственных колебаний вагона используют общие сведения из теоретической механики (раздел «Динамика»). На основе использования принципа Даламбера получены дифференциальные уравнения собственных колебаний подпрыгивания, галопирования и боковой качки кузова вагона.

Величины, необходимые для выполнения расчетов, приведены в исходных данных настоящего задания. Следует обратить внимание на то, что в этих расчет вес кузова вагона определяют по формуле

$$G = G_{\text{тар}} + \alpha G_{\text{гр}} - 2G_{\text{тел}}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{тар}}$  — тара вагона;

$G_{\text{гр}}$  — грузоподъемность вагона;

$\alpha$  — доля использования грузоподъемности вагона;

$G_{\text{тел}}$  — вес тележки.

Круговые частоты собственных колебаний вагона  $V_{\text{подпр}}$ ,  $V_{\text{гал}}$ ,  $V_{\text{бок. кач}}$ , определяют по формулам:

$$V_{\text{подпр}} = \sqrt{\frac{g}{f_{\text{ст}}}}, \quad (2)$$

$$V_{\text{гал}} = \sqrt{\frac{2C_1(l_1^2 + l_2^2) - Gh}{I_y}}, \quad (3)$$

$$V_{\text{бок. кач}} = \sqrt{\frac{4C_1 \cdot b^2 - Gh}{I_x}}. \quad (4)$$

По круговым частотам следует определить соответствующие им линейные частоты (см. формулу 5)

$$V = 2\pi V^*, \quad (5)$$

где  $V^*$  — линейная частота колебаний.

По исходным данным рассчитывают коэффициент сопротивления вязкого трения гидравлического гасителя колебаний  $\beta$  по формуле

$$\beta = \frac{h\sqrt{mc}}{z_0}. \quad (6)$$

Массу  $m$  в формуле (6) определяют по формуле

$$m = \frac{P}{g}.$$

Затем для гасителей колебаний с постоянной силой сухого трения необходимо определить величину этой силы трения  $F = N\mu$ , используя формулу (7), а так же по формуле (8),

$$\pi hc = 2N\mu, \quad (7)$$

где  $N = \text{const}$  — нажатие в трущейся паре;

$\mu$  — коэффициент трения материалов этой пары.

$$\beta_y = \frac{2N\mu}{\pi v z_0}. \quad (8)$$

Для гасителя с линейно зависящим от прогиба нажатием трущихся поверхностей элементов фрикционного аппарата следует определить параметр трения  $f = k\mu$ , используя формулу (9) и условие коэффициента вязкого сопротивления по формуле (10). В этой формуле  $c$  представляет собой общую жесткость всех рессор вагона. Для гидравлических гасителей расчет заканчивается определением величины  $\beta$

$$k\mu = \frac{\pi h}{z_0}, \quad (9)$$

$$\beta_y = \frac{k\mu c}{\pi v}. \quad (10)$$

Проверку рессорного подвешивания на отсутствие «валкости» кузова следует производить на основе формул (11) и (12). Определяют высоту метacentра вагона и достаточность превышения высоты метacentра над положением центра тяжести вагона.

$$h_m = \frac{b^2}{f_{\text{ст}}}, \quad (11)$$

$$\frac{b^2}{f_{\text{ст}}} \geq h_{\text{ц}} + 2,0 \text{ м.} \quad (12)$$

В четвертом разделе первой части задания выводят дифференциальное уравнение вынужденных колебаний простейшей системы. Решение дифференциального уравнения является аналитическим выражением процесса вынужденных колебаний подпрыгивания вагона при движении его по регулярным неровностям вида  $z = h \cos \omega t$  (формула (13)).

Как известно это решение имеет вид

$$z = \frac{v^2 h}{v^2 - \omega^2} (\cos \omega t - \cos vt) = \frac{v^2 h}{v^2 - \omega^2} (\Phi_1 - \cos vt), \quad (13)$$

где  $\omega = \frac{2\pi u}{l_{\text{н}}}$ ;

$u$  — скорость движения вагона;

$l_{\text{н}}$  — длина периода неровностей;

$2h$  — высота неровности;

$v$  — круговая частота собственных колебаний;

$\Phi_1 = \cos \omega t$ .

Для колеса вагона номер  $i$  (считая первым колесо, идущее впереди) возмущающие функции имеют вид

$$\Phi_i = \cos \left( \omega t - \frac{2\pi l_i}{l_{\text{н}}} \right),$$

где  $\omega = \frac{2\pi u}{l_{\text{н}}}$ ;

$u$  — скорость движения вагона;

$l_{\text{н}}$  — длина периода неровностей;

$l_i$  — расстояние от первого до  $i$ -го колеса.

Тогда амплитуда вынужденных колебаний подпрыгивания кузова вагона будет иметь вид

$$z = \frac{v^2 h}{v^2 - \omega^2} \left\{ \sum_1^{i=n} \cos \left( \omega t - \frac{2\pi l_i}{l_n} \right) - \cos vt \right\}. \quad (14)$$

Следует получить выражение для  $z$  с численными параметрами для заданного вагона при его движении. Построить график уравнения (14) при  $0 \leq t \leq 2$  с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 2

Наибольшие боковые силы возникают тогда, когда при движении вагона возникает наибольшее допустимое непогашенное ускорение на вагон ( $[a_{\text{неп}}]_{\text{max}} = 0,7 \text{ м/с}^2$ ). Это возможно при минимально допустимом для этой кривой возвышении наружного рельса. Его следует определить в мм, используя формулу

$$h_{\text{min}} = 12,5 \frac{v_{\text{max}}^2}{R} - 115 \geq 0. \quad (15)$$

Подсчитанную таким образом величину  $h_{\text{min}}$  следует округлить до ближайшего числа, кратного пяти. Величина действующей на одну тележку поперечной горизонтальной силы (суммы центробежной, центростремительной сил и ветровой нагрузки)

$$H_{\text{бр}} = 0,5[ma_{\text{неп}} + H_{\text{в}}] = \alpha_1 G, \quad (16)$$

где  $m$  — масса вагона;

$a_{\text{неп}}$  — непогашенное поперечное ускорение;

$H_{\text{в}}$  — сила ветра, действующая на вагон и направленная поперек пути.

$$\alpha_1 = \frac{0,5a_{\text{неп}}}{g} + \frac{0,5P_{\text{в}} \cdot F_{\text{в}}}{G} = 0,0407 + \frac{25F_{\text{в}}}{G}. \quad (17)$$

На наших железных дорогах допускается  $a_{\text{неп}}$ , измеренное на раме тележки, не более  $0,7 \text{ м/с}^2$ . За счет наклона кузова на рес-

сорох оно больше и близко к  $0,8 \text{ м/с}^2$ . Принимая  $a_{\text{неп}} = 0,8 \text{ м/с}^2$ , получим

$$H_{\text{бр}} = 0,0407G + 250F_{\text{в}}. \quad (18)$$

Здесь  $G$  — вес вагона брутто, Н;

$g$  — ускорение свободного падения ( $9,81 \text{ м/с}^2$ );

$P_{\text{в}}$  — удельное давление ветра на  $1 \text{ м}^2$  площади боковой поверхности вагона, принятое здесь равным  $500 \text{ Н/м}^2$ ;

$F_{\text{в}}$  — площадь боковой проекции вагона на продольную плоскость его симметрии,  $\text{м}^2$  (прил. А).

При действии на вагон продольных сил  $S$  (рис. 1), которые могут возникнуть, например, при рекуперативном торможении поезда, на шкворень тележки действует дополнительная поперечная горизонтальная сила  $H_{\text{торм}}$ . Как видно из рисунка, приближенно она равна

$$H_{\text{торм}} = S \sin \psi = S \psi. \quad (19)$$

В первом приближении наибольший угол  $\psi$  можно определить по формуле

$$\psi = \frac{2k}{R}. \quad (20)$$

Общее усилие на шкворень в этом случае

$$H_{\text{брт}}^0 = 0,0407G + 25F_{\text{в}} + S \frac{2k}{R}. \quad (21)$$

Здесь  $S$  — продольное усилие в поезде, Н;

$2k$  — расстояние между клиновыми отверстиями автоцепок (см. прил. А).

Поскольку в своем движении по кривой тележка непрерывно вращается вокруг полюса поворота (точка 0 на рис. 2), то обрзующийся от силы (рис. 1)  $H_{\text{брт}}^0$  момент относительно точки 0 уравновешивается поперечными силами трения колес по рельсам и направляющим усилием  $Y$  (давление гребня набегающего



Положение центра поворота (точки 0) в общем случае находится методом попыток. Для двухосной тележки инженер П.Г. Проскурнев разработал график для определения расстояния от шкворня до точки 0 в зависимости от отношения  $H_{\text{брт}}^0 / 4F_{\text{тр}}$ . Зная  $H_{\text{брт}}^0 / 4F_{\text{тр}}$  можно по графику (рис. 3) найти величину  $a$ .

Из рис. 2 видно, что:

$$\left. \begin{aligned} \cos \beta_1 &= \frac{(l_{\text{т}} - a)}{\sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + (l_{\text{т}} - a)^2}} \\ \cos \alpha_1 &= \frac{(l_{\text{т}} + a)}{\sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + (l_{\text{т}} + a)^2}} \end{aligned} \right\} . \quad (24)$$

Здесь  $s_1 = 1,6$  м — расстояние между осями рельсов;

$l_{\text{т}}$  — база тележки.

Получив величины  $\cos \beta_1$ ,  $\cos \alpha_1$ ,  $F_{\text{тр}}$ ,  $H_{\text{брт}}^0$  необходимо определить направляющее усилие  $У$ .

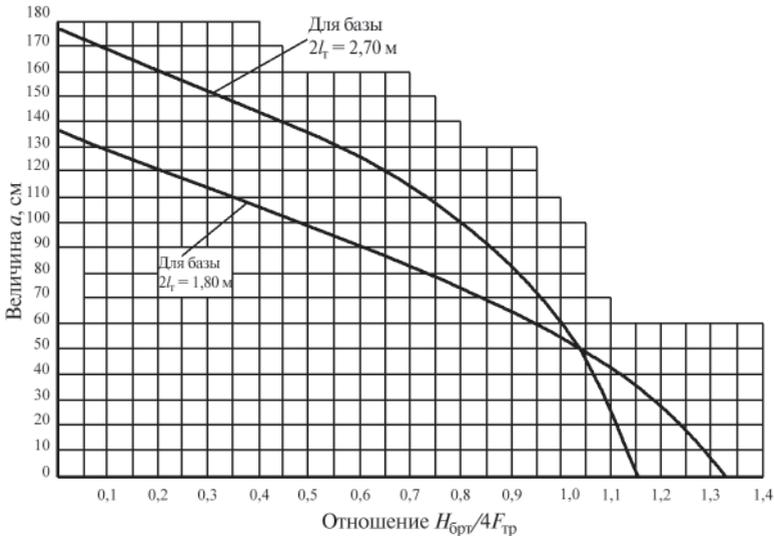


Рис. 3

Боковая сила определяется из уравнения

$$Y' = Y - H_1, \quad (25)$$

а рамная сила

$$Y_p = Y - 2H_1, \quad (26)$$

где  $H_1 = F_{тр} \cos \alpha_1$ .

Для расчета наибольшей величины боковой силы  $Y$  при извилистом движении вагона в прямом участке пути может быть использована формула (27), а рамную силу  $Y_p$  можно определить по формуле

$$Y'_{\max} = \frac{v\Delta\sqrt{I_0c}}{na^2} + 3\varphi P, \quad (27)$$

$$Y_p = Y' - P\mu, \quad (28)$$

для определения  $Y'$  при входе вагона в кривые участки пути следует пользоваться формулой (29).

В этой формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{4,5 \frac{\Delta_1^2}{c_{\text{пер}}}}$$

$$Y'_{\max} = \frac{v \operatorname{tg} \alpha \sqrt{I_0c}}{a} + 3\varphi P. \quad (29)$$

При этом необходимо вычислить максимальный зазор между гребнями колес и рельсами. Он может быть равным  $2\Delta_1 = 40$  мм. Параметр переходной кривой  $C_{\text{пер}}$  следует рассчитывать по заданному радиусу  $R$  круговой кривой и  $l$  — длине переходной кривой. Эту величину следует округлить до ближайшего числа, кратного  $5000 \text{ м}^2$ .

$$C_{\text{пер}} = lR. \quad (30)$$

Для определения наибольшей величины сил инерции необрессоренных масс, возникающих при движении колеса радиуса  $R_k$ , см, с ползуном длиной  $a$ , см, или прохождении стыка, в котором рельсы при прогибе образуют угол  $\gamma$ , следует воспользоваться формулой (31). Необходимо предварительно определить скорость удара колес по рельсу. Она равна для первого случая:

$$(P_H)_{\max} = v_k \sqrt{c_k \cdot m_n}; \quad (31)$$

$$v_k = v_1 \frac{a}{R_k}; \quad (32)$$

для второго случая:

$$v_k = v_1 \operatorname{tg} \gamma \approx v_1 \gamma. \quad (33)$$

Здесь  $v_1$  — скорость движения колеса по рельсу.

### ***Требования к оформлению контрольной работы***

Контрольная работа должна быть оформлена на бумаге формата А4 в виде пояснительной записки и иллюстрирована схемами, поясняющими вывод дифференциальных уравнений, вписывание подвижного состава, определение высоты метацентра вагона, расчеты въезда гребня бандажа на рельс и определение дополнительных вертикальных и рамных сил, когда на вагон действуют продольные силы.

Пояснительная записка должна быть написана разборчиво, без исправлений и помарок. Она должна содержать исходные данные, все расчеты (включая и промежуточные вычисления), краткие пояснения решения основных вопросов и ответов на контрольные вопросы. Переписывание какого-либо текста из учебников, учебных пособий и методических указаний не допускается. В конце каждого раздела должно быть приведено краткое заключение по результатам выполненных расчетов.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В е р и г о М.Ф. Динамика вагонов. Конспект лекций для студентов-заочников специальности «Вагоностроение и вагонное хозяйство». — М.: ВЗИИТ, 1971.
2. В е р и г о М.Ф., К о г а н А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. — М.: Транспорт, 1986.
3. В е р ш и н с к и й С.А., Д а н и л о в В.Н., Х у с и д о в В.Д. Динамика вагонов. — М.: Транспорт, 1991.

Конструктивные данные 4-осных вагонов, принятых в вариантах на контрольную работу

Параметры	Типы вагонов							
	крытый с объемом кузова 90 м <sup>3</sup>	крытый с объемом кузова 120 м <sup>3</sup>	хоппер грузоподъемностью 50 т	полувагон	платформа	изогермический	цистерна с объемом котла 50 м <sup>3</sup>	цистерна с объемом котла 60 м <sup>3</sup>
Условный номер типа вагона в задании	1	2	3	4	5	6	7	8
Тара вагона $G_{\text{тара}}$ , т	21,9	22,7	21	22,2	21,4	32	21,4	22,7
Грузоподъемность $G_{\text{гр}}$ , т	62,0	62,0	50,0	63,0	62,0	50,0	50,0	60,0
База вагона $L$ , м	9,83	10,0	5,81	8,66	9,72	12,13	7,12	7,12
Длина вагона $L_{\text{в}}$ , м	14,73	14,73	10,03	13,92	14,62	18,074	12,02	12,02
Боковая поверхность кузова вагона (площадь ветрового «паруса») $F$ , м <sup>2</sup>	39,5	50	25	30	32	59	27	31
Высота центра ветровой поверхности кузова относительно центра колес $h_{\text{в}}$ , м	1,93	2,2	1,87	1,8	1,7	1,7	2,11	2,22

**Сведения по конструктивным параметрам тележек вагонов,  
принятых в вариантах задания на контрольную работу**

Параметры	Условное обозначение типа тележек в задании
	1
База тележки $l_m$ , м	1,80
Вес тележки $G_{\text{тел}}$ , кН	45,70
Вес необрессоренных частей, приходящихся на колесо, $q$ , Н	9,75
Наибольший прогиб рессорного комплекта $Z_{\text{max}}$ , мм	46,0
Жесткость одного рессорного комплекта $c_1$ , кН/м	10000
Полярный момент инерции тележки, от- носительно вертикальной оси, проходящей через центр $I_0$ , Н·м·с <sup>2</sup>	$0,595 \cdot 10^5$

В задании тип гасителя колебаний обозначен условными но-  
мерами:

а) гаситель с постоянной силой трения ( $F_{\text{гас}} = -F_{\text{тр}} \text{sign}Z$ ) —  
тип 1;

б) гаситель с силой трения, пропорциональной прогибу рес-  
сор ( $F_{\text{гас}} = -k\varphi cz \text{sign} Z$ ) — тип 2;

в) гидравлический гаситель ( $F_{\text{гас}} = -\beta Z$ ) — тип 3.

Приложение В

**Коэффициенты динамических добавок вертикальных сил**

Скорость, км/ч	Для цистерн на тележках	Для вагонов остальных типов на тележках
	ЦНИИ-ХЗ	ЦНИИ-ХЗ
50	0,3/0,15	0,27/0,09
60	0,4/0,2	0,4/0,22
80	0,59/0,29	0,59/0,32
100	0,72/0,36	0,72/0,37

Примечания: 1. В числителе приведены коэффициенты динамической добавки  $K_{до}$ , а в знаменателе  $K_{ок}$  — вызванные боковой качкой.

2. Для промежуточных скоростей движения  $K_{до}$  и  $K_{ок}$  находятся интерполяцией.

3. ЦНИИ-ХЗ соответствует типу 1.

Приложение Г

**Конструктивные сведения по вагонам и параметрам их взаимодействия с путем, общие для всех вариантов задания на контрольную работу**

1. Диаметр колес по кругу катания  $D = 950$  мм.
2. Диаметр шейки оси колесной пары  $d = 130$  мм.
3. Расстояние между осями головок рельсов  $2s = 1\ 600$  мм.
4. Угол наклона гребня бандажа к оси колесной пары  $\beta = 60^\circ$ .
5. Коэффициент трения колеса и гребня колеса и рельса  $\mu = 0,25$ .
6. Контактная вертикальная жесткость колеса и рельса  $C_k = 5 \cdot 10^8$  Н/м.

## Исходные данные

Наименование данных	Номера вариантов				
	1	2	3	4	5
Условный тип вагона (см. прил. А)	1	1	2	2	3
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	1	2	2	2	1
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	100	100	100	100	100
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{тг}$ , м	1,9	1,8	2,2	2,1	1,87
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верха рессор и направленной:					
а) параллельно оси пути $I_x$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	37,7	37,7	46,4	46,4	28,5
б) перпендикулярно оси пути $I_y$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	150,7	150,7	168	168	74
Скорость движения вагона $v$ , км/ч	100	100	80	100	80
Длина периода неровностей пути $l_{нр}$ , см	300	350	460	280	320
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	0,8	0,6	0,55	0,7	0,9
Радиус круговой кривой $R$ , м	300	400	500	600	700
Длина переходной кривой $l_{пер}$ , м	67	75	90	125	129
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекатывании колеса через стык $\gamma$ , рад	0,03	0,025	0,02	0,023	0,033
Длина ползуна на колесе $a$ , мм	22	18	24	27	29
Масса пути, взаимодействующая с колесом при уларе ползуна $m_{тг}$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	0,15	0,13	0,11	0,15	0,17
Боковая жесткость пути $c_{тг}$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	23	20	19	22	18
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	250	300	400	220	500
Разность высот автостопков у соседних вагонов $\Delta h_{ст}$ , мм	80	80	70	60	100

Продолжение табл. 1

Наименование данных	Номера вариантов									
	6	7	8	9	10					
Условный тип вагона (см. прил. А)	3	4	4	5	5					
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1					
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	1	2	2	1	2					
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	100	100	100	100	100					
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{ц}$ , м	1,87	1,7	1,7	1,7	1,7					
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верха рессор и направленной:										
а) параллельно оси пути $I_x$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	28,5	21,6	21,6	27,5	27,5					
б) перпендикулярно оси пути $I_y$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	73,8	117,7	117,7	142	142					
Скорость движения вагона $v$ , км/ч	100	100	100	100	100					
Длина периода неровностей пути $l_{нр}$ , см	500	580	650	750	600					
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	0,6	0,2	0,4	1,3	1,3					
Радиус круговой кривой $R$ , м	800	800	600	500	1000					
Длина переходной кривой $l_{пер}$ , м	131	112,5	100	120	120					
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекатывании колеса через стык $\gamma$ , рад	0,022	0,031	0,015	0,01	0,012					
Длина ползуна на колесе $a$ , мм	31	18	22	24	27					
Масса пути, взаимодействующая с колесом при ударе ползуна $m_{п}$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	0,13	0,15	0,13	0,11	0,13					
Боковая жесткость пути $c$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	19,5	25	21	19,2	19,7					
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	200	250	200	250	300					
Разность высот автосцепок у соседних вагонов $\Delta h_{ат}$ , мм	100	65	60	60	60					

Наименование данных	Номера вариантов				
	11	12	13	14	15
Условный тип вагона (см. прил. А)	6	6	7	7	8
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	3	3	1	2	2
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	75	80	100	100	100
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{гп}$ , м	1,75	1,60	2,1	2,0	2,22
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верха рессор и направленной:					
а) параллельно оси пути $I_x$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	27	28	18	22	31
б) перпендикулярно оси пути $I_y$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	155	170	60	66	90
Скорость движения вагона $v$ , км/ч	60	80	90	50	90
Длина периода неровностей пути $l_{пн}$ , см	530	480	730	620	390
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	1,0	0,9	1,0	1,3	0,7
Радиус круговой кривой $R$ , м	900	350	450	650	750
Длина переходной кривой $l_{пер}$ , м	100	100	100	115	120
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекаtywании колеса через стык $\gamma$ , рад.	0,015	0,017	0,012	0,01	0,02
Длина ползуна на колесе $a$ , мм	29	31	18	22	24
Масса пути, взаимодействующая с колесом при ударе ползуна $m_{п}$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	0,09	0,1	0,11	0,09	0,13
Боковая жесткость пути $c$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	18	18,5	19	17,8	22,5
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	350	200	250	300	350
Разность высот автосцепок у соседних вагонов $\Delta h_{ат}$ , мм	60	70	70	70	70

Продолжение табл. 1

Наименование данных	Номера вариантов						
	16	17	18	19	20	21	22
Условный тип вагона (см. прил. А)	1	1	2	2	3		
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1		
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	2	1	1	1	2		
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	65	50	70	55	90		
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{гр}$ , м	1,5	1,3	1,45	1,35	1,5		
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верха рессор и направленной:							
а) параллельно оси пути $I_{\parallel}$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	20	18	30	22	26		
б) перпендикулярно оси пути $I_{\perp}$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	103	80	115	120	68		
Скорость движения вагона $v$ , км/ч	100	70	50	60	90		
Длина периода неровностей пути $l_{пн}$ , см	610	270	340	570	780		
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	1,0	0,9	0,7	0,8	0,95		
Радиус круговой кривой $R$ , м	850	850	650	550	950		
Длина переходной кривой $l_{пер}$ , м	141	141	115	109	126		
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекатывании колеса через стык $\gamma$ , рад	0,018	0,017	0,01	0,015	0,014		
Длина полузна на колесе $a$ , мм	27	31	31	18	20		
Масса пути, взаимодействующая с колесом при ударе полузна $m_{п}$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	0,13	0,11	0,09	0,09	0,13		
Боковая жесткость пути $c$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	21,5	19,3	18,8	19,1	23		
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	400	200	250	300	350		
Разность высот автосцепок у соседних вагонов $\Delta h_{ат}$ , мм	70	75	75	75	75		

Наименование данных	Номера вариантов				
	21	22	23	24	25
Условный тип вагона (см. прил. А)	2	4	4	5	5
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	3	1	3	1	3
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	80	60	55	40	30
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{гп}$ , м	1,75	1,3	1,25	1,15	1,05
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верха рессор и направленной:					
а) параллельно оси пути $I_x$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	22,5	14	13	12	9
б) перпендикулярно оси пути $I_y$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	65	100	92	60	55
Скорость движения вагона $v$ , км/ч	80	100	100	90	90
Длина периода неровностей пути $I_p$ , см	190	490	500	600	625
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	0,8	0,9	0,75	0,8	0,1
Радиус круговой кривой $R$ , м	450	550	650	750	850
Длина переходной кривой $l_{пер}$ , м	100	109	100	100	100
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекатывании колеса через стык $\gamma$ , рад	0,015	0,02	0,025	0,016	0,017
Длина ползуна на колесе $a$ , мм	22	24	27	29	31
Масса пути, взаимодействующая с колесом при ударе ползуна $m_n$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	0,11	0,13	0,15	0,13	0,13
Боковая жесткость пути $c_{н}$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	18,5	22	27	24	23,5
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	400	250	200	250	300
Разность высот автосцепок у соседних вагонов $\Delta h_s$ , мм	75	75	80	80	80

Продолжение табл. 1

Наименование данных	Номера вариантов					
	26	27	28	29	30	
Условный тип вагона (см. прил. А)	6	6	7	7	8	
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1	
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	3	1	3	2	3	
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	40	50	70	60	80	
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{цт}$ , м	1,2	1,25	1,80	1,70	2,0	
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верха рессор и направленной:						
а) параллельно оси пути $I_{\text{пр}}$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	16	18	19	18	35	
б) перпендикулярно оси пути $I_{\text{п}}$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	95	110	65	58	100	
Скорость движения вагона $v$ , км/ч	70	100	60	70	90	
Длина периода неровностей пути $l_{\text{п}}$ , см	625	1250	1250	400	1250	
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	0,8	0,6	1,2	0,5	1,3	
Радиус круговой кривой $R$ , м	900	500	350	250	850	
Длина переходной кривой $l_{\text{пер}}$ , м	100	120	128	60	105	
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекатывании колеса через стык $\gamma$ , рад	0,02	0,021	0,03	0,03	0,019	
Длина полузуна на колесе $a$ , мм	18	20	22	24	27	
Масса пути, взаимодействующая с колесом при ударе полузуна $m_{\text{п}}$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	0,10	0,11	0,11	0,09	0,13	
Боковая жесткость пути $c$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	19,7	18,9	19,9	19,1	21,3	
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	350	400	150	200	250	
Разность высот автосцепок у соседних вагонов $\Delta h_{\text{ав}}$ , мм	80	80	85	85	85	

Наименование данных	Номера вариантов				
	31	32	33	34	35
Условный тип вагона (см. прил. А)	1	2	2	2	3
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	3	3	2	3	1
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	0	0	0	0	0
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{гр}$ , м	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верхнего рессор и направленной:					
а) параллельно оси пути $I_x$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	8	8	9,5	9,5	5,9
б) перпендикулярно оси пути $I_y$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	30	30	34	34	14,9
Скорость движения вагона $V$ , км/ч	75	85	80	90	50
Длина периода неровностей пути $l_{нр}$ , см	430	500	625	625	1250
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	0,8	0,6	0,7	0,6	0,95
Радиус круговой кривой $R$ , м	400	500	600	700	800
Длина переходной кривой $l_{пер}$ , м	112,5	60	75	85	75
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекатывании колеса через стык $\gamma$ , рад	0,011	0,013	0,014	0,018	0,021
Длина ползуна на колесе $a$ , мм	29	31	18	20	22
Масса пути, взаимодействующая с колесом при ударе ползуна $m$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	0,10	0,11	0,13	0,13	0,09
Боковая жесткость пути $c_{н}$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	19,5	20,3	23,7	25	28,9
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	300	350	400	150	200
Разность высот автосцепок у соседних вагонов $\Delta M_s$ , мм	85	90	90	100	100

Наименование данных	Номера вариантов						
	36	37	38	39	40		
Условный тип вагона (см. прил. А)	3	4	4	5	5		
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1		
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	2	3	3	2	2		
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	0	0	0	0	0		
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{ц.м}$	1,1	0,80	0,80	0,75	0,75		
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верха рессор и направленной: а) параллельно оси пути $I_x$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup> б) перпендикулярно оси пути $I_y$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	5,9	4,3	4,3	5,6	5,6		
Скорость движения вагона $v$ , км/ч	14,9	23	23	28	28		
Длина периода неровностей пути $T_{п.р}$ , см	60	80	70	80	90		
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	1250	1000	1250	625	830		
Радиус круговой кривой $R$ , м	1,0	0,2	0,8	0,8	0,7		
Длина переходной кривой $l_{пер}$ , м	900	1000	500	300	700		
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекатывании колеса через стык $\gamma$ , рад	50	60	90	60	107		
Длина ползуна на колесе $a$ , мм	0,024	0,029	0,031	0,017	0,019		
Масса пути, взаимодействующая с колесом при ударе ползуна $m_{п.н}$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	24	27	29	31	20		
Боковая жесткость пути $c_{п.н}$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	0,09	0,13	0,11	0,13	0,13		
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	19,1	22,8	20	26	22,1		
Разность высот автосцепок у соседних вагонов $\Delta h_{п.н}$ , мм	250	300	350	400	400		
	100	100	100	100	90		

Наименование данных	Номера вариантов				
	41	42	43	44	45
Условный тип вагона (см. прил. А)	6	6	7	7	8
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	2	2	3	3	2
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	0	0	0	0	0
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{гр}$ , м	1,0	1,0	1,20	1,25	1,25
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верхнего рессора и направленной:					
а) параллельно оси пути $I_{\text{п}}$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	5,4	5,4	3,7	3,7	6,4
б) перпендикулярно оси пути $I_{\text{р}}$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	32	32	12,5	12,5	17,9
Скорость движения вагона $v$ , км/ч	75	100	100	100	100
Длина периода неровностей пути $l_{\text{п}}$ , см	350	625	625	416	1250
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	0,4	0,8	0,6	0,4	0,7
Радиус круговой кривой $R$ , м	300	400	500	600	700
Длина переходной кривой $l_{\text{пер}}$ , м	60	50	120	150	150
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекатывании колеса через стык $\gamma$ , рад	0,05	0,08	0,09	0,021	0,030
Длина ползуна на колесе $a$ , мм	22	18	24	31	27
Масса пути, взаимодействующая с колесом при ударе ползуна $m_{\text{п}}$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	0,11	0,13	0,15	0,11	0,09
Боковая жесткость пути $c_{\text{п}}$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	19,8	23,2	27	20,4	17,6
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	350	300	250	200	350
Разность высот автосцепок у соседних вагонов $\Delta H_{\text{с}}$ , мм	75	70	70	80	80

Наименование данных	Номера вариантов				
	46	47	48	49	50
Условный тип вагона (см. прил. А)	1	2	3	4	5
Условный номер типа тележки (см. прил. Б)	1	1	1	1	1
Условный номер гасителя колебаний (см. прил. Б)	2	2	2	2	2
Использование грузоподъемности вагона $\alpha$ , %	75	85	75	65	60
Высота центра тяжести кузова с грузом над уровнем рессорного подвешивания $h_{ц}$ , м	1,6	1,85	1,45	1,3	1,7
Момент инерции вагона с грузом относительно оси, проходящей в плоскости верха рессор и направленной:					
а) параллельно оси пути $I_x$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	32	36	25	16,5	19,6
б) перпендикулярно оси пути $I_y$ , Н м с <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	125	140	65	88	99
Скорость движения вагона $v$ , км/ч	90	75	60	50	80
Длина периода неровностей пути $l_{п}$ , см	816	1250	500	1250	625
Амплитуда неровностей пути $h$ , см	0,8	0,9	0,95	1,2	0,8
Радиус круговой кривой $R$ , м	800	800	600	500	900
Длина переходной кривой $l_{пер}$ , м	150	131	125	150	134
Угол, образуемый концами рельсов в стыке при перекатывании колеса через стык $\gamma$ , рад	0,022	0,030	0,025	0,026	0,027
Длина полузна на колесе $a$ , мм	18	31	24	27	21
Масса пути, взаимодействующая с колесом при ударе полузна $m_{п}$ , Н с/м·10 <sup>3</sup>	0,11	0,09	0,09	0,10	0,13
Боковая жесткость пути $c$ , 10 <sup>6</sup> Н/м	19,9	14,2	15,1	10,7	23,8
Величина сжимающего продольного усилия в поезде $S$ , кН	300	250	200	350	400
Разность высот автосцепок у соседних вагонов $\Delta h_{ст}$ , мм	75	70	65	65	65

# ДИНАМИКА ВАГОНОВ

Рабочая программа  
и задание на контрольные работы № 1 и 2  
с методическими указаниями

Редактор *В.К. Тихонычева*  
Компьютерная верстка *О.А. Денисова*

*Переиздание*

---

Тип. зак.	Изд. зак. 275	Тираж 700 экз.
Подписано в печать 26.01.10	Гарнитура NewtonС	
Усл. печ. л. 2,5		Формат 60×90 <sub>1/16</sub>

---

Редакционный отдел  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2