

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой
«ТЯГОВЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ»

Протокол № ____ от _____ 201__ г.

Автор: _____

**ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Динамика электроподвижного состава

Уровень ВО: *Специалитет*

Форма обучения: *Заочная*

Курс: *5*

Специальность/Направление: *23.05.03 Подвижной состав железных
дорог (ПСС)*

Специализация/Профиль/Магистерская программа: *(ПЭ) Электрический
транспорт железных дорог*

Москва

Составил: к.т.н., профессор Рамлов В.А.

Рецензент: к.т.н., профессор Бородин А. П.

Задание на контрольную работу

Контрольная работа посвящена **оценке безопасности движения экипажа в кривой и сравнению условий движения при наличии и отсутствии возвышения наружного рельса**. Объектом расчетов является унифицированная тележка моторного вагона, чертеж которой приведен на рис.1.

Безопасность обеспечивается в том случае, если система действующих на экипаж сил не нарушает устойчивости движения и не ведет к высоким напряжениям в конструкциях экипажа и пути. Величины сил зависят от скорости движения, следовательно, для обеспечения безопасности необходимо определить максимально допустимую скорость. В этом и состоит цель работы.

ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Работа оформляется в виде чертежей и расчетной записки с учетом требований ЕСКД (ГОСТ 2.105-68). Можно использовать школьную тетрадь.

Записка выполняется на одной стороне листа. С правой стороны листа оставляются поля шириной 25-30 мм.

2. В расчетной записке нужно написать заголовок, т.е. наименование работы, отражающее ее содержание, и выписать из таблиц 1 и 2 в рекомендованном порядке исходные данные, которые соответствуют варианту задания.

3. Записка оформляется в соответствии с программой. Все расчетные операции и графические построения, обязательные при выполнении работ, имеют нумерацию соответственно шагу.

Ни в коем случае не следует переписывать текст пояснений или выдержки из литературных источников. Пояснения к выполненным расчетам или построениям формулируйте самостоятельно как можно короче и яснее.

4. Программа разделена на отдельные шаги, которые имеют сквозную нумерацию. В записке достаточно указать только номер шага и его заголовок и далее вести требуемый расчет. Записывается наименование рассчитываемой величины, расчетная формула в общем виде, после чего через знак равенства - численные значения входящих в неё величин и результат. **Значения символов** и числовых коэффициентов, входящих в формулы, расшифрованы в задании. В записке их повторять не обязательно, но **нужно уметь объяснить их на зачете по контрольной работе**. Если на основании расчетной формулы заполняется таблица или графа (строка) таблицы, то записывается формула в общем виде, и затем один раз приводятся ее численное выражение и результат с указанием значения параметра, для которого результат получен.

Пример записи расчетной операции

2. Вертикальная статическая нагрузка.

2.1. Масса вагона

$$m_B = m_K + 4 m_{HP} + 4 m_D + 2 m_P = 48 + 4 \cdot 2,25 + 4 \cdot 2,2 + 2,4 = 73,8 \text{ т.}$$

2.2. Статическое нажатие от оси на рельсы

$$2P_{cm} = \frac{m_g}{4} g = \frac{73,8 \cdot 10}{4} = 184,5 \text{ кН.}$$

5. Все графики и расчетные схемы следует выполнять карандашом на миллиметровой бумаге. Для удобства построения и пользования графиками координатные оси нужно проводить по жирным линиям миллиметровой сетки. Расчетные точки, через которые проводятся линии графика, должны быть отмечены на кривых.

Для графических построений важен правильный выбор масштабов, поэтому рекомендуется пользоваться нормальным рядом масштабов: 0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 5,0; 10,0 единиц/мм и т.д.

6. Все таблицы и рисунки должны иметь сквозную порядковую нумерацию.

Рисунки и таблицы размещаются после ссылки на них в тексте работы или на следующей странице, если они выполнены на отдельных листах.

7. Все расчеты выполняются с точностью до четырёх значащих цифр (например, 24.56, или 0.2456). Расчеты выполняются в системе единиц СИ, т.е. масса измеряется в кг (т), сила – в Н (кН), напряжения – в Па (МПа), размеры – в м (мм), скорость – в м/с и км/ч.

8. Ошибки, отмеченные рецензентом, должны быть исправлены аккуратно. Для исправлений можно использовать обратную (чистую) сторону предыдущего листа. При большом количестве исправлений на одной странице ее нужно переписать и вклеить вслед за страницей с замечаниями рецензента. Нельзя заклеивать или вырвать станицы с ошибочными расчетами.

9. Исходные данные выбираются из таблиц согласно Вашему шифру. Например, если Ваш шифр 00-ЭПС-4942, то последние цифры разряда – 42, сумма двух последних цифр – 6.

Варианты по цифрам двух последних разрядов шифра

Радиус кривой ρ , м		425	375	325	275	225
Возвышение наружного рельса h , м		0,05	0,05	0,1	0,1	0,15
Масса кузова m_k , т	Высота ц.т. $h_{ск}$, м	Последние цифры шифра				
46	1,65	01	02	03	04	05
42	1,6	06	07	08	09	10
44	1,6	11	12	13	14	15
46	1,6	16	17	18	19	20
48	1,45	21	22	23	24	25
50	1,45	26	27	28	29	30
42	1,8	31	32	33	34	35
44	1,8	36	37	38	39	40
46	1,5	41	42	43	44	45
48	1,5	46	47	48	49	50
50	1,45	51	552	53	54	55
50	1,45	56	57	58	59	60
48	1,55	61	62	63	64	65
42	1,55	66	67	68	69	70
44	1,7	71	72	73	74	75
46	1,7	76	77	78	79	80
50	1,5	81	82	83	84	85
48	1,5	86	87	88	89	90
42	1,75	91	92	93	94	95
44	1,75	96	97	98	99	00

Таблица 2

Варианты по сумме цифр двух последних разрядов шифра

Сумма двух последних цифр	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
База тележки $2a$, м	18	17	16	15	14	13	12	11	10	
Заданная скорость движения V_3 , км/ч	2,35	2,4	2,45	2,5	2,55	2,6	2,65	2,7	2,75	2,8
	65	62	60	57	55	52	50	48	45	43

Исходные данные

Радиус кривой	ρ , м
Возвышение наружного рельса	h , м
Масса кузова вагона с пассажирами	m_k , т
Высота центра масс кузова над уровнем осей колесных пар	h_{ck} , м
База тележки	$2a$, м
Заданная скорость движения	V , км/ч

Исходные данные, общие для всех вариантов

Масса неподрессоренных частей в расчете на одну колесную пару	$m_{нп} = 2,25$ т
Масса рамы тележки	$m_p = 4$ т
Масса тягового двигателя	$m_d = 2,2$ т
Коэффициент трения скольжения колес относительно рельсов	$f = 0,25$
Диаметр бандажей колесной пары	$D_b = 1,05$ м
Расстояние между кругами катания колес	$2s = 1,6$ м
Высота центра масс поддрессоренных частей тележки над уровнем осей колесных пар	$h_{ct} = 0,15$ м

ВВЕДЕНИЕ

Для облегчения усвоения теоретического материала, предлагаемого студенту в пояснениях к заданию, а затем и использования его для решения поставленной задачи, необходимо вспомнить основные законы механики и основные понятия раздела «Механика» из курса физики и из курса теоретической механики, такие как сила, масса, момент силы, равновесие системы сил.

Кроме этого Вам необходимо изучить конструкцию экипажа, разобраться во взаимодействии колес и рельсов и произвести ряд подготовительных расчетов.

Для всего диапазона эксплуатационных скоростей строят графики сил, действующих на вагон. Центробежная сила создает опрокидывающий момент в поперечной плоскости, перераспределяющий вертикальную нагрузку от колес на наружный и внутренний рельсы, что при большой скорости может привести к опрокидыванию экипажа. Поперечные силы между набегавшим колесом и головкой рельса отжимают рельс и уширяют колею, а также могут вызвать поперечное смещение рельсошпальной решетки. Кроме того, возникает опасность выкатывания гребня колеса на рельс (сход с рельсов).

Для каждой из перечисленных причин нарушения безопасности существует максимальная допустимая скорость и наименьшая из них принимается как разрешенная для движения в заданной кривой. **Вам необходимо определить скорость, при которой не нарушается комфорт для пассажиров и не возникает опасность схода с рельсов.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ПОРЯДОК РАСЧЕТА

1.Конструкция тележки

Ознакомьтесь с конструкцией тележки, используя чертеж и краткое описание.

Унифицированная тележка моторных вагонов электропоездов – двухосная, челюстная, с двухступенчатым рессорным подвешиванием (рис.1,2). В буксовом и центральном подвешивании использованы винтовые цилиндрические пружины и гасители колебаний: фрикционные в первой и гидравлические – во второй ступени.

Рама тележки сварная, Н-образной формы. Боковина сварена из двух штампованных профилей и усилена в средней части накладками. К боковинам приварены литые буксовые направляющие со съемными наличниками из антифрикционного чугуна.

На поперечной балке, сваренной из двух штампованных элементов, крепятся тяговые двигатели и подвешиваются редукторы. Места сварки боковых и поперечных балок усилены накладками.

Рама тележки через пружины опирается на балансиры, подвешенные к корпусу буксы. С крышкой буксы соединен поводок фрикционного гасителя колебаний, закрепленного на боковине.

Центральное подвешивание, развязывающее кузов и раму тележки в поперечной вертикальной плоскости, состоит из надрессорного шкворневого бруса, четырех комплектов двухрядных винтовых пружин, двух поддонов для установки этих пружин, четырех двойных подвесок для подвешивания поддонов на боковинах рамы и наклонных гидравлических амортизаторов. Благодаря наклону, амортизаторы гасят как вертикальные, так и поперечные колебания надрессорного строения.

Для передачи сил тяги и торможения шкворневой брус связан с рамой тележки двумя поводками с резино-металлическими элементами.

Каждая колесная пара моторной тележки посредством зубчатого редуктора и резинокордовой муфты связана со своим тяговым двигателем. Жесткий корпус редуктора сохраняет централь (межцентровое расстояние) зубчатой пары; одним концом он опирается через подшипники на ось колесной пары; а другим концом с помощью специального устройства подвешен к кронштейну поперечной балки. Подвеска воспринимает вес и реактивную нагрузку при работе тягового двигателя.

Тяговый двигатель имеет опорно-рамное подвешивание. Остов двигателя уступами в нижней части устанавливается на опоры поперечной балки, а приливы в верхней части остова служат для расклинивания их с выступами балки, чтобы обеспечить плотное прилегание остова двигателя к поперечной балке.

Упругая резинокордовая муфта служит для передачи момента от вала неподвижно закрепленного на раме тягового двигателя на вал малой шестерни ограниченно подвижного редуктора. Одновременно она снижает динамические нагрузки в приводе, благодаря гибкости ее упругой оболочки.

Основные размеры рамы тележки

Расстояние между осями пружин буксового подвешивания	$l_{\pi} =$
0,66 м	
Расстояние между осями двух половин	
центральной поперечной балки	$2l_{\pi} = 0,67 \text{ м}$
Расстояние между точками крепления люлечных подвесок	$2l_{\pi} = 0,89 \text{ м}$
Длина боковины рамы	$2l = 1,67 +$
2а	
Расстояние между осями боковин рамы	$2b = 2,13 \text{ м}$
Расстояние между точками крепления поводков	$2b_{\pi} = 2,76 \text{ м}$
Расстояние от оси боковины до уровня осей колесных пар	$z_o = 0,32 \text{ м}$
Расстояние от оси боковины до плоскости крепления поводков	$z_{\pi} = 0,34 \text{ м.}$

Оформление шага

1.1. Чертеж (Ваш рис.1) вклейте в записку. На главном виде и виде сверху цветным карандашом покажите положение осей координат.

Покажите на чертеже перечисленные в описании основные размеры тележки и ее базу 2а, соответствующую варианту.

2.Вертикальная статическая нагрузка

Рама тележки находится под действием собственного веса элементов рамы, представляемого равномерно распределенной нагрузкой интенсивности q ; веса кузова и элементов центрального подвешивания; веса и крутящего момента от консольно закрепленных тяговых двигателей; реакций рессорных подвесок.

Вес кузова и надрессорных шкворневых балок центрального подвешивания P_k приложен к раме в местах крепления люлечных подвесок. Величина сил P_k при одинаковой для всех вариантов массе тележек зависит от загрузки вагона. Тяговый двигатель, вес которого P_d , подвешен на поперечной балке рамы тележки.

Перечисленные нагрузки уравниваются опорными реакциями пружин пружин при буксового о подвешивания. Нагрузка от оси на рельсы

$2P_{ст,кН}$ определяется как

$$2P_{cm} = \frac{m_{\epsilon}}{4} g, \quad (1)$$

Здесь и далее для упрощения расчетов примите $g = 10 \text{ м/с}^2$.

В дальнейшем мы будем использовать величину половины массы вагона, т.к. наши задачи учитывают движение одной тележки с присоединенной к ней массой кузова.

Оформление шага

(см. пример в разделе «Оформление контрольной работы»)

2.1 Рассчитайте массу вагона $m_{\text{в}}$, т как сумму масс отдельных частей.

2.2. Рассчитайте статическое нажатие от оси на рельсы $2P_{\text{ст}}$, кН.

3. Система сил, действующих на тележку при движении в кривой

При входе в кривую на переднее наружное колесо со стороны наружного рельса начинает действовать направляющее усилие Y_1 , которое понуждает экипаж двигаться по окружности вокруг центра кривой О. Экипаж, двигавшийся с линейной скоростью V , начинает вращаться вокруг точки О с угловой скоростью

$$\omega = \frac{V}{3,6\rho} \quad , \quad (2)$$

где ρ - радиус вращения. т.е. перпендикуляр, опущенный из центра кривой на продольную ось экипажа. Основание перпендикуляра – точка Ω (рис.3) называется полюсом поворота.

Абсолютная скорость $V_{\text{абс}}$ любой точки тележки, в частности центра переднего внутреннего колеса А, направлена перпендикулярно радиусу, проведенному из центра О в данную точку, и равна по величине

$$V_{\text{абс}}^A = \omega \rho_A. \quad (3)$$

(Вспомните сложное движение точки из раздела «Кинематика» курса Теоретической механики).

Величины и направления абсолютных скоростей всех точек тележки будут различны. Для дальнейших рассуждений и расчетов удобно представить абсолютную скорость каждой точки как сумму переносной и относительной скоростей. Нам известны величина и направление скорости

V в точке Ω . Тогда можно выразить абсолютную скорость точки A V_{abs}^A как векторную сумму переносной скорости $V_{пер}^A = V$ в точке Ω и относительной скорости точки A во вращательном движении ее вокруг точки Ω .

$$V_{отн}^A = \omega r, \quad (4)$$

где $r = \sqrt{s^2 + x_A^2}$ - радиус поворота точки A относительно точки Ω .

Все точки тележки, в том числе и центры колес, имеют переносную скорость, равную V . Тележка движется по рельсам, и перемещение ее вдоль продольной оси со скоростью V осуществляется за счет качения колес. Вторая составляющая абсолютной скорости – относительная скорость – по своему направлению не совпадает с плоскостью круга катания. А это означает, что движение колеса в этом направлении осуществляется за счет проскальзывания.

Таким образом, абсолютную скорость каждого колеса можно представить как векторную сумму скорости вращения и скорости скольжения во вращательном движении вокруг полюса Ω .

Качение колес не сопровождается заметным сопротивлением, в то время как проскальзывание колес по рельсам во вращательном движении тележки вокруг полюса Ω сопровождается действием в опорных точках колес сил трения $F_{тр}$, препятствующих проскальзыванию.

Задачу о силах, действующих на тележку при движении в кривой, рассматривают с рядом упрощений. Так коэффициенты трения под всеми колесами приняты одинаковыми и постоянными; учитывают только горизонтальную составляющую силы трения, определяемую вертикальной нагрузкой на колесо.

Направления и величины внешних сил, приложенных к тележке, определяют ее положение относительно рельсов. При невысоких скоростях и соответственно небольших значениях центробежной силы C действие момента сил трения может заставить тележку двигаться по кривой в положении *наибольшего перекоса*, т.е. задняя колесная пара касается

гребнем колеса головки рельса внутренней нити. Полюс максимально удален от центра тележки; полюсное расстояние рассчитывается по формуле

$$x_{\text{снп}} = \frac{\Delta \rho 10^{-3}}{2a}, \quad (5)$$

где ρ - заданный радиус кривой, м;

Δ - суммарный зазор для колесной пары в кривой заданного радиуса, мм.

Для $\rho > 350$ м, $\Delta = 1520 - 1506 = 14$ мм;

для $\rho = 349 - 300$ м, $\Delta = 1530 - 1506 = 24$ мм;

для $\rho < 299$ м, $\Delta = 1540 - 1506 = 29$ мм.

Здесь расстояние 1506 мм – поперечный размер колесной пары, включающий расстояние между бандажами и толщину гребней.

С ростом скорости (и величин центробежной и направляющей сил C и Y_1) тележка будет стремиться к *хордовой установке*, т.е. задняя колесная пара пройдя через *промежуточные положения*, при определенной скорости прижмется к наружному рельсу.

В этом случае полюс окажется точно посередине экипажа, а полюсное расстояние $x_c = 0$.

При промежуточной установке тележки ($0 < x_c < x_{\text{снп}}$) ее равновесие под действием рассмотренной системы сил в проекции на горизонтальную плоскость выражается двумя уравнениями, а именно: уравнением суммы проекций всех сил на поперечную ось $\sum Y = 0$ и уравнением моментов относительно полюса $\sum M_{\Omega} = 0$:

$$Y_1 - C_p - 2 f \Pi_{\text{ст}} \cos \alpha_1 \pm 2 f \Pi_{\text{ст}} \cos \alpha_2 = 0, \quad (6)$$

$$Y_1 x_1 - C_p x_c - 2 f \Pi_{\text{ст}} \sqrt{x_1^2 + s^2} - 2 f \Pi_{\text{ст}} \sqrt{x_2^2 + s^2} = 0,$$

где для кривой без возвышения наружного рельса ($h = 0$)

$$C_p = C = \frac{m_{\epsilon}}{2} \cdot \frac{V^2}{\rho 3,6^2} \quad (7)$$

В кривой с возвышением h расчетное значение

$$C_p = C - \frac{m_e}{2} \cdot \frac{gh}{2S} \quad (8)$$

Y_1 – направляющее усилие первой по ходу колесной пары, кН;

$f = 0,25$ – коэффициент трения между колесом и рельсом;

$f P_{\text{ст}} \cos \alpha_i$ – проекция силы трения на ось y ;

x_1 и x_2 – расстояния от полюса поворота до осей колесных пар, м;

$f P_{\text{ст}} \sqrt{x_i^2 + S^2}$ – момент силы трения относительно полюса поворота, кНм, считают положительным при направлении по ходу часовой стрелки;

$s = 0,8$ м – половина расчетного расстояния между кругами катания колес.

В крайних положениях при упоре гребней колес задней колесной пары в наружный или внутренний рельсы система сил дополняется направляющей силой Y_2 . При хордовой установке тележки направление сил Y_1 и Y_2 одинаковое, при положении наибольшего перекоса сила Y_2 приложена к задней колесной паре со стороны внутреннего рельса и направлена от центра кривой.

Как правило, в реальных условиях тележка моторного вагона не достигает перекосного положения, поэтому мы в дальнейшем будем использовать систему уравнений (6).

Оформление шага

- 3.1. Запишите систему уравнений сил, действующих на тележку в кривой (6).
- 3.2. Рассчитайте полюсное расстояние при наибольшем перекосе (5).
- 3.3. Изобразите по примеру рис.2 тележку в кривой в положении наибольшего перекоса для значения $X_{\text{снп}}$ и соответствующую ему систему сил.

Соблюдение масштаба линейных размеров обязательно. У колёсной пары расстояние между кругами катания колес $2s = 1,6$ м.

4. Построение зависимостей сил от скорости движения

Два уравнения $\sum Y = 0$ и $\sum M = 0$ содержат три неизвестных: направляющее усилие Y_1 , центробежную силу C и в неявном виде абсциссу полюса вращения x .

Для решения системы заранее задаются рядом значений одного из неизвестных, а значения двух других определяют из уравнений.

При ручном расчете или при использовании простых калькуляторов решение системы уравнений удобно выполнить в форме табл.3 при заданных положениях тележки (т.е. заданной величине полюсного расстояния x_c). Система решается относительно неизвестных Y_1 и C . При определенной величине C легко найти значение скорости движения в кривой заданного радиуса. Из выражения

$$C_p = \frac{m_e}{2} \left(\frac{V^2}{3,6^2 \rho} - g \frac{h}{2S} \right) \quad (9)$$

определяют скорость движения в кривой с возвышением

$$V_e = 7,95 \sqrt{\rho \left(\frac{C}{2\Pi_{cm}} + \frac{h}{S} \right)}, \text{ км/ч.} \quad (10)$$

В кривой без возвышения, т.е. при $h = 0$

$$V = 7,95 \sqrt{\rho \left(\frac{C}{2\Pi_{cm}} \right)}, \text{ км/ч.} \quad (11)$$

Таблица 3

Решение системы уравнений

№	Расчетная величина	Значение для заданного x				
1	$x_c, \text{ м}$	0	0,8	1,3	1,6	1,8
2	x_1					
3	$\sqrt{x_1^2 + S^2}$					

4	$\cos \alpha_1,$					
5	x_2					
6	$\sqrt{x_2^2 + S^2}$					
7	$\sum \sqrt{x_i^2 + S^2}$					
8	$\sum \cos \alpha_i = \cos \alpha_1 + \cos \alpha_2$					
9	$x_c \sum \cos \alpha_i$					
10	$A = \sum \sqrt{x_i^2 + S^2} - x_c \sum \cos \alpha_i$					
11	$V_1 = \frac{2 f \Pi_{cm}}{a} A_2$					
12	$2f \Pi_{ct} \sum \cos \alpha_i$					
13	$C_p = Y_1 - 2f \Pi_{ct} \sum \cos \alpha_i$					
14	$V = 7,95 \sqrt{\rho \frac{C}{2 \Pi_{cm}}}$					
15	$V_B = 7,95 \sqrt{\rho \left(\frac{C}{2 \Pi_{cm}} + \frac{h}{S} \right)}$					

Если при расчете для очередного значения x_c (например, для $x_c = 1,6$ м) получится отрицательное значение C и мнимое значение V , дальнейший расчет потеряет смысл. В этом случае следует задаться другим, меньшим значением x_c (например $x_c = 1,5$ м) и вновь провести расчет. Если скорость окажется равной (или близкой) к нулю при $x_c < x_{снп}$, значит, даже при остановке тележка не занимает положение наибольшего перекоса.

Оформление шага

- 4.1. Подготовьте таблицу по типу табл.3 и проведите вычисления. Последний столбец Вашего расчета должен соответствовать скорости V не более 10 км/ч. Всего столбцов должно быть не менее четырех.
- 4.2. Вычертите в одной системе координат графики $Y_1(V)$, $x_c(V)$, $C(V)$, сплошными линиями, графики $Y_1(V_B)$, $x_c(V_B)$, $C(V_B)$ – пунктирными линиями.

5. Боковое усилие между колесом и рельсом в кривой

Система действующих на экипаж сил в проекции на горизонтальную плоскость (см. рис.2) показывает, что от наружного рельса на переднее набегающее колесо действуют направляющая сила Y_1 и сила трения $F_{тр}$. Если пренебречь изменением вертикальных нагрузок, можно считать, что поперечная составляющая силы трения между колесом и рельсом

$$F_{тр}^y = f P_{ст} \cos \alpha_1 \quad (12)$$

Тогда суммарное боковое воздействие между рельсом и передним направляющим колесом

$$Y_{бок} = Y_1 - F_{тр}^y. \quad (13)$$

Боковая сила $Y_{бок}$ определяет безопасность движения по сходу колеса с рельса, по отжатию головки рельса и по сдвиге рельсошпальной решётки. т

Оформление шага

5.1. Рассчитайте $Y_{бок}$ для значений x_c , использованных Вами на шаге 4. Расчет удобно сделать в виде таблицы 4.

Таблица 4.

Боковое усилие $Y_{бок}$

x_c	0	0,8	1,3	
$\cos \alpha_1$				
Y_1				
$F_{тр}^y$				
$Y_{бок}$				

5.2. Постройте в одной системе координат графики $Y_{бок}(V)$, $Y_{бок}(V_B)$ для движения в кривых без возвышения и с возвышением наружного рельса.

6. Критерии безопасности движения в кривой по СХОДУ КОЛЕСА С РЕЛЬСА

При отсутствии или незначительной величине боковой силы колесо контактирует с головкой рельса своей поверхностью катания. Если поперечное усилие достаточно велико, то колесо контактирует с рельсом в точке на поверхности гребня у его основания. При одноточечном контакте картина сил представляется в соответствии с рис.3. В точке контакта возникает нормальная реакция N . Горизонтальная составляющая этой силы N_y направляет движение колесной пары в кривой, а вертикальная составляющая N_z заставляет колесо перемещаться вверх по рельсу.

Под действием вертикальной весовой нагрузки Π колесо соскальзывает вниз, но вследствие прижатия колес к рельсу силой N в точке контакта действует сила трения, препятствующая этому движению,

$$T = N f \quad (14)$$

Выкатывание колеса на рельс будет невозможно, если сумма вертикальных составляющих N_z и T_z сил N и T в точке контакта не превысит силу Π , прижимающую колесо к рельсу.

Для того, чтобы обеспечить невозможность выкатывания гребня колеса на головку рельса, вводят коэффициент запаса устойчивости движения экипажа $\eta = 1,5$, т.е. допустимое значение суммы выталкивающих сил снижают по сравнению с Π в 1,5 раза.

Тогда условие безопасности движения по устойчивости против схода в рельсов запишется как

$$N_z + T_z \leq \frac{\Pi}{1,5} \approx 0,67 \Pi . \quad (15)$$

Величину суммы $N_z + T_z$ можно найти через горизонтальные составляющие сил из уравнения равновесия проекций сил в точке контакта

$$N_z = N_y \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} , \quad (16)$$

$$T_z = T \sin \beta = N f \sin \beta = N_y f \quad (17)$$

Здесь β - угол наклона гребня в точке контакта.

Сумма сил N_y и T_y представляет собой боковое воздействие рельса на колесо

$$Y_{\text{бок}} = N_y - T_y, \quad (18)$$

Выразив T_y через N_y ,

$$T_y = T \cos \beta - N f \cos \beta = \frac{N_y}{\sin \beta} f \cos \beta = \frac{N_y f}{\operatorname{tg} \beta} \quad (19)$$

определим N_y через $Y_{\text{бок}}$:

$$Y_{\text{бок}} = N_y - N_y \frac{f}{\operatorname{tg} \beta} \quad (20)$$

$$N_y = \frac{Y_{\text{бок}}}{1 - \frac{f}{\operatorname{tg} \beta}} \quad (21)$$

подставим значения N_z и T_z , выражаемые через $Y_{\text{бок}}$,

$$N_z = \frac{Y_{\text{бок}}}{\operatorname{tg} \beta - f}, \quad (22)$$

$$T_z = Y_{\text{бок}} \frac{f \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta - f}. \quad (23)$$

в уравнение безопасности:

$$Y_{\text{бок}} \frac{1 + f \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta - f} \leq 0,67 \Pi. \quad (24)$$

Для угла наклона гребня $\beta = 60^\circ$, $\operatorname{tg} \beta = 1,73$ условие безопасности после подстановки всех коэффициентов запишется так:

$$Y_{\text{бок}} \leq 0,69 \Pi. \quad (25)$$

Оформление шага

6.1. Запишите исходное (15), развёрнутое (24) и расчетное (25) выражения критерия безопасности по подъему гребня колеса на рельс $Y_{\text{бок}}$ и рассчитайте допустимое значение $Y_{\text{бок}}$ для Вашего варианта.

6.2. На графиках $Y_{\text{бок}}(V)$, $Y_{\text{бок}}(V_B)$ для движения в кривых без возвышения и с возвышением наружного рельса отметьте соответствующие точки, а на оси скоростей укажите допустимые скорости $V_{\text{п}}$ и $V_{\text{пв}}$. Сравните их с заданной скоростью и сделайте вывод о её допустимости.

7. Критерий комфортабельности по поперечному ускорению.

Центробежная сила, действующая на пассажира при движении поезда в кривой, нарушает равновесие силы тяжести и нормальной реакции пола или сиденья. Необходимость искать дополнительную опору, дополнительное напряжение мышц и реакция вестибулярного аппарата на поперечное ускорение вызывают неприятные ощущения у человека. По полученным ранее значениям C можно рассчитать ускорение

$$a = C / \frac{m_g}{2} \quad (26)$$

По условию физиологического воздействия величина поперечного ускорения не должна превышать

$$a \leq [a_{\text{max}}] = 0,7 \text{ м/с}^2. \quad (27)$$

Движение с заданной скоростью может оказаться недопустимым.

Оформление шага

7.1. Используя выражение (26), рассчитайте для полученных на шаге 4 значений C соответствующие значения центростремительного ускорения a .

Таблица 10

Центростремительное ускорение

x_c	0	0,8	1,3	
-------	---	-----	-----	--

C				
$a = C / \frac{m_g}{2}$				

7.2. На рис. с графиками $Y_{\text{бок}}(V)$ и $Y_{\text{бок}}(V_v)$ постройте графики $a(V)$ и $a(V_v)$ и покажите на них в соответствии с условием (27) максимально допустимые скорости по условию комфортабельности V_a и V_{av} . Сравните их с заданной скоростью и сделайте вывод о её допустимости.

Литература

1. Механическая часть тягового подвижного состава. (под ред. И.В.Бирюкова. – М. Транспорт, 2013).
2. Электропоезд ЭР9М. Руководство по эксплуатации, или инструкционные книги по другим сериям электропоездов.