

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

Кафедра «Локомотивы и локомотивное хозяйство»

БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТОРМОЗА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Часть 1

Методические указания
к выполнению курсового проекта
для студентов специальностей «Локомотивы», «Вагоны»

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2005

Цель работы. Курсовой проект по дисциплине "Автоматические тормоза подвижного состава" выполняется студентами IV курса специальности "Локомотивы" и "Вагоны" с целью закрепления знаний в области расчетов сил, действующих на колодку в зависимости от вида торможения и технического состояния тормозных приборов и рычажной передачи вагона, сил сопротивления движению поезда в зависимости от типа вагонов и их загрузки, тормозных сил, действующих на поезд при торможении, расчета длины тормозного пути и времени торможения при различных способах расчетов.

В процессе выполнения курсового проекта студенты должны использовать знания конструкции тормозного оборудования подвижного состава, уметь выполнить сравнительный анализ точности различных методов тормозных расчетов.

Задание на курсовую работу

Каждый студент должен выполнять работу в соответствии с выданным заданием.

Задание, выданное студенту специальности "Локомотивы" для выполнения курсового проекта по дисциплине "Автоматические тормоза подвижного состава" и задание на выполнение курсовой работы по дисциплине "Теория локомотивной тяги", взаимосвязаны. В соответствующих местах данных методических указаний об этом будет сказано дополнительно.

Индивидуальное задание к курсовому проекту по "Автоматическим тормозам подвижного состава" содержит следующие данные.

1. Характеристики вагонов, аналогичные представленным в табл. 1 в качестве примера.

Таблица 1

Номер группы вагонов	Тип вагона, модель	Доля вагонов в составе по весу α	Вес вагона брутто q , тс	Выход штока тормозного цилиндра l , мм	Тип тормозных колодок
1	2	3	4	5	6
1-я группа	Полувагон 12-532	0,12	33,0	150	Чугунные
2-я группа	Хоппер 19-X752	0,39	80,0	150	Чугунные
3-я группа	Хоппер 19-X752	0,06	46,0	150	Чугунные
4-я группа	Полувагон 12-532	0,22	66,0	150	Композиционные
5-я группа	Хоппер 19-X752	0,21	24,0	150	Композиционные
Итого	—	1,00	—	—	—

Примечания:

а) далее эта таблица дополняется необходимыми данными (столбцами) каждым студентом самостоятельно (см. продолжение табл. 1);

б) тара вагона $q_{\text{тара}}$ (графа 7) и длина вагона l_v (графа 8) выбираются студентом на основании данных альбома-справочника [13] в соответствии с типом и моделью вагонов, указанных в задании;

в) осевые нагрузки $q_{\text{о Netto}}$ (графа 9) и $q_{\text{о Brutto}}$ (графа 10) рассчитываются студентом по формулам (17) и (18) настоящих методических указаний;

г) режимы силового торможения (графа 11) выбираются в соответствии с данными графы 9 в зависимости от осевой загрузки вагона $q_{\text{о Netto}}$ и указаний пункта 4.3.2.2, раздела II Инструкции [3], приведенных в табл. 3 настоящих методических указаний;

д) количество вагонов N_v различного типа и модели и количество осей вагонов n_v данной группы (графа 12) определяются в соответствии с рекомендациями пункта 1.1.4 и формул (24) и (25) методических указаний;

е) действительное нажатие на колодку K_d (графа 13), расчетное нажатие на колодку K_p (графа 14) и суммарное расчетное нажатие тормозных колодок $\sum K_p$ (графа 15) определяются в зависимости от типа тормозных колодок, передаточного числа рычажной передачи и режима силового торможения для каждой группы вагонов, указанных в задании, отдельно (построчно);

ж) в строке "Итого" в графе 12 приводится расчет общего количества вагонов в составе $\sum N_v$ и общего количества осей в составе $\sum n_v$, в графе 15 указывается суммарное расчетное нажатие чугунных $\sum K_{p,ч}$ (в числителе) и композиционных $\sum K_{p,к}$ (в знаменателе) тормозных колодок (в составе всего).

Продолжение табл. 1 (1а)

Тара вагона $q_{тара, тс}$	Длина вагона по осям автоцепки $l_v, мм$	Осевая нагрузка (нетто) $q_{0нетто, тс/ось}$	Осевая нагрузка (брутто) $q_{0брутто, тс/ось}$	Режим силового торможения	Кол-во вагонов осей $\frac{N_v}{n_v}$	Действительное нажатие на колодку $K_0, тс/кол.$	Расчетное нажатие на колодку $K_p, тс/кол.$	Сумма расчетных нажатий $\sum K_p, тс$
7	8	9	10	11	12	13	14	15
-	-	-	-	-	$\frac{\sum N_v}{\sum n_v}$	-	-	$\frac{\sum K_{p,ч}}{\sum K_{p,к}}$

2. Характеристика рычажной передачи (размеры плеч рычагов рычажной передачи); например, для четырехосных вагонов длины плеч могут быть заданы такими:

Размеры плеч рычагов, мм			
а	б	в	г
260	400	400	160
195	465		

Примечание. В числителе – для чугунных тормозных колодок, в знаменателе – для композиционных.

3. Тип тормозного цилиндра (в примере – тормозной цилиндр усл. № 188Б).

Характеристики тормозного цилиндра определяются из справочника по тормозам [12]:

диаметр тормозного цилиндра $d_{т.ц}$, мм (в примере $d_{т.ц} = 14''(355,6 мм)$;

усилие предварительного натяга внутренней (оттормаживающей) пружины тормозного цилиндра $F_{пр}$, кгс (в примере $F_{пр} = 150...159$ кгс);

жесткость оттормаживающей пружины $Ж$, кгс/см (в примере $Ж = 6,54$ кгс/см).

4. Тип локомотива (в примере – тепловоз М62, 1 секция).

5. Величина расчетного подъема i_p , ‰ (студенты специальности "Локомотивы" величину расчетного подъема для определения веса состава выбирают самостоятельно на основании профиля и плана линии, приведенного в задании на курсовую работу по "Теории локомотивной тяги").

В примере $i_p = 6,8^0/00$ (с учетом дополнительного сопротивления от кривых w_r).

Путь в задании может быть дан либо звеньевой, либо бесстыковой (в примере путь звеньевой).

Разделы курсового проекта

1. Определение длины тормозного пути и времени торможения поезда при экстренном торможении способом ПТР (по интервалам скорости).

1.1. Определение основного удельного сопротивления движению: состава (вагонов) w_0'' ;

локомотива при движении в режиме рабочего хода (в режиме тяги) w_0' ;

основного удельного сопротивления движению поезда при рабочем ходе локомотива w_0 ;

локомотива при движении в режиме холостого хода (выбега) w_x' ;

основного удельного сопротивления движению поезда при холостом ходе локомотива w ;

1.1.1. Определение осевой нагрузки (брутто) $q_{обрутто}$ и осевой нагрузки (нетто) $q_{онетто}$ для каждой группы вагонов.

1.1.2. Определение веса состава Q .

1.1.3. Определение количества вагонов $\sum N_{ва}$ и количества осей вагонов $\sum n_{ва}$ для различных групп вагонов, указанных в задании.

1.1.4. Определение длины состава и поезда l_c и l_n .

1.2. Определение режимов силового торможения воздухораспределителей для всех групп вагонов, указанных в задании, в зависимости от типа тормозных колодок и осевой нагрузки (нетто) $q_{0\text{нетто}}$.

1.3. Определение давления в тормозных цилиндрах $P_{т.ц}$ при различных режимах силового торможения (груженом, среднем, порожнем).

1.4. Определение усилий на штоках тормозных цилиндров $F_{шт}$ при различных режимах силового торможения (груженом, среднем, порожнем).

1.5. Определение передаточного числа рычажной передачи n для различных типов тормозных колодок (чугунных, композиционных).

1.6. Расчет действительного нажатия на колодку K_d для всех групп вагонов (в зависимости от типа колодок, передаточного числа рычажной передачи и режима силового торможения).

1.7. Пересчет действительного нажатия тормозных колодок K_d в расчетное (условное) K_p .

1.8. Определение суммарного расчетного нажатия тормозных колодок $\sum K_{p.ч}$ и $\sum K_{p.к}$ и расчетного коэффициента нажатия грузового поезда $\vartheta_{p.ч}$ и $\vartheta_{p.к}$ для колодок различного типа.

1.9. Определение расчетного коэффициента трения тормозных колодок различного типа:

чугунных $\varphi_{кр.ч}$;

композиционных $\varphi_{кр.к}$.

1.10. Определение удельной расчетной тормозной силы, действующей на грузовой поезд при экстренном торможении,

$$b_t = b_{т.ч} + b_{т.к}.$$

1.11. Спрямление продольного профиля пути способом ПТР (приближенно, без проверки на возможность спрямления).

1.12. Определение времени подготовки тормозов к действию t_n .

1.13. Определение пути подготовки тормозов к действию S_n .

1.14. Расчет тормозного пути способом ПТР (по интервалам скорости) $S_t = S_n + \sum \Delta S_d$.

1.15. Определение полного времени торможения поезда $t = t_n + \sum \Delta t_d$.

1.16. Заполнение справки формы ВУ-45.

2. Расчет длины тормозного пути и времени торможения методом численного интегрирования по интервалам времени.

2.1. Расчет тягового профиля с учетом длины и массы поезда.

2.1.1. Определение длины поезда $l_n = \sum_1^N l_v N_v + l_{\text{л}}$.

2.1.2. Определение средних (мгновенных) значений уклонов $i_{\text{ср}}$, действующих на поезд.

2.1.3. Определение величины расчетных значений уклонов i_p , действующих на поезд.

2.2. Определение расчетного тормозного коэффициента (коэффициента силы нажатия тормозных колодок) поезда: чугунных $\vartheta_{\text{р.ч}}$ и композиционных $\vartheta_{\text{р.к}}$ – в зависимости от интервалов времени Δt для состава заданной длины $l_{\text{состава}}$:

$$\vartheta_{\text{р.к}} = f(\Delta t; l_{\text{состава}}); \vartheta_{\text{р.ч}} = f(\Delta t; l_{\text{состава}}).$$

2.3. Определение длины тормозного пути S_T по интервалам времени Δt .

3. Определение длины тормозного пути по номограммам.

4. Сравнительный анализ результатов расчетов по определению длины тормозного пути различными способами:

способом ПТР (по интервалам времени);

аналитическим способом по интервалам времени;

по номограммам;

графическим способом для студентов специальности "Локомотивы".

Список рекомендуемой литературы

1. *Правила тяговых расчетов для поездной работы.* – М.: Транспорт, 1985.

2. *Инструкция по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог.* ЦТ-ЦВ-ЦЛ-ВНИИЖТ/277. Утв. 16.05.1994. – М.: Транспорт, 1998.

3. *Инструкция по ремонту тормозного оборудования вагонов.* ЦВ-ЦЛ-292. Утв. 23.09.1994. – М.: Транспорт, 1995.

4. *Казаринов В. М., Иноземцев В. Г., Ясенцев В. Ф.* Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов. – М.: Транспорт, 1968.

5. Казаринов В. М., Гребенюк П. Т., Клыков Е. В. Методы тормозных расчетов. — М.: ВИПО МПС, 1962.
6. Гребенюк П. Т., Клыков Е. В. Тормозные расчеты подвижного состава. — М.: Транспорт, 1969.
7. Иноземцев В. Г., Гребенюк П. Т. Нормы и методы расчета автотормозов. — М.: Транспорт, 1971.
8. Астахов П. Н., Гребенюк П. Т., Скворцова А. И. Справочник по тяговым расчетам. — М.: Транспорт, 1973.
9. Гребенюк П. Т., Долганов А. Н., Скворцова А. И. Тяговые расчеты: Справочник. — М.: Транспорт, 1987.
10. Крылов В. И., Перов А. Н., Озолин А. К. Справочник по тормозам. — М.: Транспорт, 1965.
11. Справочник по тормозам / В. И. Крылов, А. Н. Перов, А. К. Озолин, Н. Н. Климов — М.: Транспорт, 1975.
12. Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава: Справочник / В. И. Крылов, В. В. Крылов, В. Н. Ефремов, П. Т. Демускин. — М.: Транспорт, 1989.
13. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР: Альбом-справочник / Глав. упр. ваг. хоз-ва МПС СССР. — М.: Транспорт, 1989.
14. Деев В. В., Ильин Г. А., Афонин Г. С. Тяга поездов. — М.: Транспорт, 1987.

Порядок выполнения работы

1. Определение длины тормозного пути и времени торможения способом ПТР (по интервалам скорости).

1.1. Определение основного удельного сопротивления состава, локомотива при движении в режиме выбега (на холостом ходу) и поезда.

На звеньевом пути основное сопротивление движению подвижного состава складывается из следующих видов сопротивления:

- от трения в подшипниках;
- от качения колес по рельсам;
- от скольжения колес по рельсам;
- от ударов на стыках и других неровностях пути, от колебаний подвижного состава;
- воздушной среды.

В практике тяговых и тормозных расчетов основное удельное сопротивление подвижного состава определяется по формулам или графикам, полученным по данным специально организованных эксплуатационных и паспортных испытаний подвижного состава.

Для определения основного удельного сопротивления грузовых вагонов приняты формулы, определяющие зависимость основного удельного сопротивления движению w_0'' от типа вагона, типа рельсового основания, скорости движения поезда V и осевой нагрузки — q_0 ($q_{\text{обруто}}$). Эти формулы приводятся в Правилах тяговых расчетов для поездной работы [1] (в дальнейшем — ПТР).

Основное удельное сопротивление движению 4-осных грузовых вагонов на подшипниках качения (роликовых подшипниках) и вагонов рефрижераторных поездов (в составе поезда) следует определять по формулам, кгс/т,

при $q_0 > 6 \text{ т/ось}$

$$w_0'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1V + 0,0025V^2}{q_0}; \quad (1)$$

при $q_0 \leq 6 \text{ т/ось}$

$$w_0'' = 1,0 + 0,044 + 0,00024V^2; \quad (2)$$

на бесстыковом пути при $q_0 > 6 \text{ т/ось}$

$$w_0 = 0,7 + \frac{3 + 0,09V + 0,002V^2}{q_0}; \quad (3)$$

при $q_0 \leq 6 \text{ т/ось}$

$$w_0'' = 1,0 + 0,042V + 0,00016V^2. \quad (4)$$

Внимание! В указанных формулах основного удельного сопротивления вагонов q_0 — осевая нагрузка вагона **брутто**, то есть общий вес вагона (тары и груза), приходящийся на одну ось вагона в тоннах (тс/ось); q_0 ($q_{\text{обруто}}$) определяется по формуле (18).

Основное удельное сопротивление тепловозов в режиме выбега (холостого хода) w'_x определяется:

для тепловозов, прошедших паспортные испытания, — по графикам, представленным на рис. 5.24 ПТР [1], или по данным [8, табл. 11];

для тепловозов, не прошедших паспортных испытаний, основное удельное сопротивление движению в режиме выбега определяется по формулам, кгс/т:

на звеньевом пути

$$w'_x = 2,4 + 0,011V + 0,00035V^2; \quad (5)$$

на бесстыковом пути

$$w'_x = 2,4 + 0,009V + 0,00035V^2. \quad (6)$$

Основное удельное сопротивление состава (вагонов) удобнее определять по формуле вида, кгс/т,

$$w''_0 = a + bV + cV^2, \quad (7)$$

где коэффициенты a , b и c определяются для каждого конкретного состава (в соответствии с заданием, приведенным в табл. 1, и данными, полученными в продолжении табл. 1 каждым студентом самостоятельно).

Коэффициент a включает в себя все коэффициенты формул основного сопротивления движению подвижного состава (вагонов), не имеющих при себе скорости движения V , с учетом доли содержания вагонов данной группы в составе по весу α_n ,

$$a = \left(0,7 + \frac{3,0}{q_{01}}\right)\alpha_1 + \left(0,7 + \frac{3,0}{q_{02}}\right)\alpha_2 + \dots + \left(0,7 + \frac{3,0}{q_{0n}}\right)\alpha_n, \quad (8)$$

здесь n — количество групп вагонов в составе (в примере задания $n = 5$).

Если все вагоны в составе имеют осевые нагрузки $q_{0\text{брутто}} > 6 \text{ т/ось}$, то сопротивление движению 4-осных вагонов на роликовых подшипниках определяется на звеньевом пути по формуле (1), на бесстыковом пути по формуле (3). Если в составе имеются группы вагонов с осевой нагрузкой $q_{0\text{брутто}} \leq 6 \text{ т/ось}$, то сопротивление движению таких вагонов определяется по формулам (2) и (4).

Тогда для варианта, указанного в примере (табл. 1), коэффициент a определится из выражения:

$$a = \left(0,7 + \frac{3,0}{q_{01}}\right)\alpha_1 + \left(0,7 + \frac{3,0}{q_{02}}\right)\alpha_2 + \dots + 1,0\alpha_n. \quad (9)$$

Примечание. Значение коэффициента a определять с точностью до 0,001.

Коэффициент b включает в себя коэффициенты сопротивления движению вагонов различных групп, входящих в состав поезда, имеющие при себе скорость движения V в первой степени, с учетом доли содержания вагонов данного типа в составе по весу α_n . Для состава из 4-осных вагонов на роликовых подшипниках на звеньевом пути, сопротивление движению которых определяется по формуле (1), коэффициент b вычисляется по выражению:

$$b = \frac{0,1}{q_{01}} \alpha_1 + \frac{0,1}{q_{02}} \alpha_2 + \dots + \frac{0,1}{q_{0n}} \alpha_n. \quad (10)$$

По такому выражению определяется коэффициент b для состава, в котором все вагоны имеют осевую нагрузку $q_{\text{обруто}} > 6 \text{ тс/ось}$. Если же в составе имеются вагоны с осевой нагрузкой $q_{\text{обруто}} \leq 6 \text{ тс/ось}$ (как указано в примере), то коэффициент b определится из выражения:

$$b = \frac{0,1}{q_{01}} \alpha_1 + \frac{0,1}{q_{02}} \alpha_2 + \dots + 0,044 \alpha_n. \quad (11)$$

Примечание. Значение коэффициента b определять с точностью до 0,00001.

Коэффициент c включает в себя все коэффициенты отдельных групп вагонов, имеющие при себе скорость в квадрате (V^2), с учетом доли вагонов в составе по весу. Для состава, в котором все вагоны имеют осевые нагрузки $q_{\text{обруто}} > 6 \text{ тс/ось}$, коэффициент c определяется из выражения:

$$c = \frac{0,0025}{q_{01}} \alpha_1 + \frac{0,0025}{q_{02}} \alpha_2 + \dots + \frac{0,0025}{q_{0n}} \alpha_n, \quad (12)$$

если в составе имеются вагоны с осевой нагрузкой $q_{\text{обруто}} \leq 6 \text{ тс/ось}$, то коэффициент c определится (как в примере расчетов) по выражению:

$$c = \frac{0,0025}{q_{01}} \alpha_1 + \frac{0,0025}{q_{02}} \alpha_2 + \dots + 0,00024 \alpha_n. \quad (13)$$

Примечание. Значение коэффициента c определять с точностью до 0,0000001.

Данные расчетов по определению основного удельного сопротивления состава $w_0'' = f(V)$, локомотива при движении в режиме холостого хода (на выбеге) $w_x' = f(V)$ и рабочего хода (в режиме тяги) $w_0' = f(V)$, поезда при движении локомотива в режиме холостого хода (выбега) $w = f(V)$ и рабочего хода $w_0 = f(V)$ рекомендуется представить в виде таблицы (см. табл. 2).

Таблица 2

V , км/ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
w_0'' , кгс/т										
W_0'' , кгс										
w_x' , кгс/т										
W_x' , кгс										
W , кгс										
w , кгс/т										
w_0' , кгс/т										
W_0' , кгс										
W_0' , кгс										
w_0 , кгс/т										

w_0'' – удельное основное сопротивление состава, кгс/т, определяется по формуле (7);

W_0'' – полное основное сопротивление состава, кгс, определяется по формуле:

$$W_0'' = w_0'' \cdot Q; \quad (14)$$

w_x' – удельное основное сопротивление локомотива при холостом ходе, кгс/т, определяется по графикам ПТР либо по формулам (5) или (6);

W_x' – полное основное сопротивление локомотива при холостом ходе, кгс, определяется по формуле:

$$W_x' = w_x' \cdot P; \quad (15)$$

W – полное основное сопротивление поезда при холостом ходе локомотива, кгс, определяется по формуле:

$$W = W_0'' + W_x';$$

w – удельное основное сопротивление поезда при холостом ходе локомотива, кгс/т, определяется по формуле:

$$w = \frac{W}{Q + P}, \quad (16)$$

здесь P – расчетный вес локомотива, т, принимается по данным ПТР;

Q – расчетный вес состава, т, определяется в соответствии с рекомендациями п. 1.1.2 по формуле (19).

Примечание. Студенты специальности "Локомотивы" определяют вес состава в курсовой работе по дисциплине "Теория локомотивной тяги".

Для использования в дальнейшем в курсовом проекте по дисциплине "Автоматические тормоза подвижного состава", а для студентов специальности "Локомотивы" – и для использования в курсовой работе по дисциплине "Теория локомотивной тяги" – следует построить график в масштабах:

скорость – $1 \text{ км/ч} = 2 \text{ мм}$;

удельные силы – $1 \text{ кгс/т} = 50 \text{ мм}$,

на который наносят кривые основного удельного сопротивления движению:

локомотива в режиме тяги (рабочего хода) $w'_0 = f(V)$, формулы (20) и (21);

локомотива в режиме выбега (холостого хода) $w'_x = f(V)$, формулы (5) и (6);

состава (вагонов) $w''_0 = f(V)$, формула (7);

поезда при движении локомотива на выбеге $w = f(V)$, формула (16);

поезда при движении локомотива в режиме тяги $w_0 = f(V)$, кгс/т, где

$$w_0 = \frac{w''_0 \cdot Q + w'_0 \cdot P}{P + Q}. \quad (16a)$$

Примечание. Студенты специальности "Вагоны" рассчитывают значение w_0 только для одного значения скорости V_p .

Студенты специальности "Локомотивы" ведут расчет основного сопротивления движения поезда при рабочем ходе локомотива w_0 в курсовой работе по "Теории локомотивной тяги".

1.1.1. Определение осевой нагрузки для каждой группы вагонов (для заполнение табл. 1 задания, определения основного сопротивления движению состава, веса состава и выбора режима силового торможения).

Каждый студент должен самостоятельно заполнить графы 7–15 табл. 1 задания.

Данные граф 7 и 8 выбираются из альбома-справочника [13] в соответствии с типом и моделью вагона,

Осевая нагрузка нетто (графа 9) $q_{0\text{нетто}}$ определяется по формуле, тс/ось:

$$q_{0\text{нетто}} = \frac{q_{\text{брутто}} + q_{\text{тары}}}{n_v}. \quad (17)$$

Осевая нагрузка брутто (графа 10) $q_{\text{брутто}}$ определяется по формуле, тс/ось:

$$q_{\text{брутто}} = \frac{q_{\text{брутто}}}{n_{\text{в}}}, \quad (18)$$

здесь $n_{\text{в}}$ — количество осей одного вагона данной группы.

Полученные значения $q_{\text{брутто}}$ (графа 10 табл. 1а) используются при определении основного удельного сопротивления состава (вагонов), а значения $q_{\text{нетто}}$ (графа 9 табл. 1а) — при выборе режимов силового торможения.

Примечание. $q_{\text{нетто}}$ и $q_{\text{брутто}}$ определяются для каждой группы вагонов.

Графа 11 заполняется студентами в соответствии с Инструкцией по тормозам [3], по данным табл. 3, приведенной ниже, и данным расчетов по формуле (8) осевой нагрузки нетто (графа 9 задания).

1.1.2. Определение расчетного веса состава.

На основании расчетного веса состава определяется количество вагонов различных групп, длина состава и поезда, количество тормозных колодок в каждой группе вагонов, суммарная сила нажатия тормозных колодок и т. д.

Расчетный вес состава с учетом запаса кинетической энергии определяется студентами специальности "Локомотивы" в курсовой работе по дисциплине "Теория локомотивной тяги".

В данном проекте на основании заданного типа локомотива и продольного профиля и плана линии студенты специальности "Локомотивы" самостоятельно выбирают расчетный подъем (подъем, который будет определять вес поезда на участке).

Студенты специальности "Вагоны" величину расчетного подъема принимают по заданию на курсовой проект и вес состава определяют из предположения, что расчетный подъем является затяжным, то есть таким, в конце которого скорость движения поезда устанавливается равной расчетной скорости для данного типа локомотива.

Вес состава для затяжного подъема определяется по формуле, т:

$$Q = \frac{F_{\text{к.р}} - P(w'_0 + i_p)}{w_0'' + i_p}, \quad (19)$$

где Q — расчетный вес состава, т;

$F_{\text{к.р}}$ — расчетное значение касательной силы тяги локомотива, кгс;

P – расчетный вес локомотива, т;

w'_0 – основное удельное сопротивление локомотива в режиме тяги (рабочего хода) при расчетной скорости движения, кгс/т.

Основное удельное сопротивление движению локомотива в режиме тяги (рабочего хода) определяется:

для тепловозов, прошедших паспортные испытания, – по графикам рис. 5.22 ПТР;

для локомотивов, не прошедших паспортные испытания, – по формулам ПТР, кгс/т:

для звеньев пути

$$w'_0 = 1,9 + 0,01V + 0,0003V^2; \quad (20)$$

б) для бесстыкового пути

$$w'_0 = 1,9 + 0,008V + 0,00025V^2; \quad (21)$$

w''_0 – основное удельное сопротивление вагонов при расчетной скорости движения, кгс/т, определяется по формуле (7);

i_p – величина расчетного подъема, ‰ (с учетом сопротивления от кривых, располагающихся на расчетном подъеме),

$$i_p = i + w_r, \quad (22)$$

где i – величина подъема, для которого определяется вес состава, ‰;

w_r – сопротивление от кривых на этом подъеме, ‰ (кгс/т).

Если на расчетном подъеме располагается кривая длиной более 500 метров ($S_{кр} \geq 500$ м), то сопротивление от кривой приводится по формуле, кгс/т:

$$w_r = \frac{700}{R}. \quad (23)$$

При наличии нескольких кривых на расчетном подъеме сопротивление от кривых определяется по формуле, кгс/т:

$$w_r = \frac{700}{S_3} \cdot \sum_1^n \frac{S_{крн}}{R_n}, \quad (23a)$$

где R_n – радиус соответствующей кривой, м;

$S_{крн}$ – длина соответствующей кривой, располагающейся на данном элементе профиля, м;

S_3 – длина элемента профиля, к которому приводится сопротивление кривой, м.

Примечание. Из значений, полученных по формулам (23) и (23а), в формулы (19) и (22) для определения веса состава подставляют наибольшее значение сопротивления от кривых W_r .

Полученный вес грузового состава округляется (в соответствии с пунктом 1.1.2. ПТР) до 50 тонн в ближайшую сторону.

1.1.3. Определение количества вагонов и количества осей вагонов различных групп в составе.

Так как в расчетах количество вагонов необходимо округлять до целого, то для получения меньшей суммарной погрешности расчеты начинаются с наиболее тяжелых вагонов по мере убывания их веса.

Определение количества вагонов с 1-й по $(n-1)$ -ю группу в составе:

$$N_{в1} = \frac{Q \cdot \alpha_1}{q_1}; N_{в2} = \frac{Q \cdot \alpha_2}{q_2}; \dots N_{в(n-1)} = \frac{Q \cdot \alpha_{(n-1)}}{q_{(n-1)}} \quad (24)$$

(округлять до целого вагона).

С целью уменьшения погрешности из-за ранее выполненных округлений до целого вагона при подсчете количества вагонов в каждой из групп количество вагонов последней группы определяется по выражению:

$$N_{вn} = \frac{Q - (N_{в1} \cdot q_1 + N_{в2} \cdot q_2 + \dots + N_{в(n-1)} \cdot q_{(n-1)})}{q_n} \approx \dots \quad (25)$$

(округлять до целого вагона),

где $N_{в1}, N_{в2}, \dots, N_{в(n-1)}$ – целое количество вагонов соответствующих групп;

$q_1, q_2, \dots, q_{(n-1)}$ – вес вагона брутто соответствующей группы (принимается по заданию).

Окончательный (уточненный через количество вагонов в составе) вес состава определяется из выражения:

$$Q = N_{в1} \cdot q_1 + N_{в2} \cdot q_2 + \dots + N_{вn} \cdot q_n \approx \dots \quad (26)$$

(определяется с точностью до 1 тонны).

1.1.4. Определение длины состава l_c и поезда l_n .

Длина состава определяется по выражению, м:

$$l_c = N_{в1} \cdot l_{в1} + N_{в2} \cdot l_{в2} + \dots + N_{вn} \cdot l_{вn}, \quad (27)$$

где $l_{в1}, l_{в2}, \dots, l_{вn}$ – длина вагона соответствующей группы (соответствующего типа и модели), определяется по данным альбома-справочника [13];

$N_{в1}, N_{в2}, \dots, N_{вn}$ – количество вагонов соответствующей группы.

Длина поезда определяется по выражению, м:

$$l_n = l_c + l_n, \quad (28)$$

где l_n – длина локомотива, м, определяется по данным табл. 12 ПТР [1].

1.2. Определение режимов работы воздухораспределителей (режимов силового торможения) для всех групп вагонов, указанных в задании.

Режим силового торможения выбирается в соответствии с типом тормозных колодок и осевой загрузкой ($q_{снетто}$), которая рассчитывается по формуле (17) для каждой группы вагонов задания и указывается в графе 9 табл. 1. Для выбора режима силового торможения используются нормативы, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Режим работы	Давление в тормозном цилиндре $P_{т.ц}$, кгс/см ²	Загрузка $q_{0нетто}$ при колодках	
		чугунных	композиционных
Порожний (П)	1,4–1,8	≤ 3 тс/ось	≤ 6 тс/ось
Средний (С)	2,8–3,3	От 3 до 6 тс/ось (включительно)	Свыше 6 тс/ось
Груженный (Г)	3,9–4,5	Свыше 6 тс/ось	Свыше 10 тс/ось (зимой, на спусках > 18 ‰)

Примечание. В соответствии с п. 4.3.2.2 Инструкции [3] при выпуске воздухораспределителей грузовых вагонов из ремонта воздухораспределитель должен обеспечить давление в тормозных цилиндрах (при отсутствии авторегулятора выхода штоков), равное указанному в графе 2 табл. 3.

1.3. Определение давления в тормозных цилиндрах $P_{т.ц}$ при различных режимах силового торможения.

Давление в тормозном цилиндре $P_{т.ц}$ для трехорганного воздухораспределителя усл. № 270-005 и усл. № 483 определяется по выражению, кгс/см²:

$$p_{т.ц} = \frac{h_{ур} (ж_б + ж_м) + F_0}{S_{ур}}, \quad (29)$$

где $h_{ур}$ — ход уравнительного поршня, см; принимаем $h_{ур} = 17,0 \text{ мм} = 1,70 \text{ см}$;

$ж_б$ — жесткость большой пружины, кгс/т; принимаем $ж_б = 8,4 \text{ кгс/т}$;

$ж_м$ — жесткость малой пружины, кгс/т; принимаем $ж_м = 32,7 \text{ кгс/т}$;

F_0 — усилие предварительного сжатия большой пружины, кгс; принимаем $F_0 = 16,0 \text{ кгс}$;

$S_{ур}$ — площадь уравнительного поршня, см^2 ,

$$S_{ур} = \frac{\pi d_{ур}^2}{4}, \quad (30)$$

здесь $d_{ур}$ — диаметр уравнительного поршня, см; принимаем $d_{ур} = 50 \text{ мм} = 5,0 \text{ см}$.

При **груженом** режиме силового торможения малая и большая пружины действуют совместно, тогда давление в тормозном цилиндре $p_{т.ц}^r$ определяется по формуле (29), кгс/см^2 :

$$p_{т.ц}^r = \frac{h_{ур} (ж_б + ж_м) + F_0}{S_{ур}}. \quad (29a)$$

При **среднем** режиме силового торможения большая пружина действует полностью, малая — с усилием, равным половине от полного своего действия, тогда давление в тормозном цилиндре $p_{т.ц}^c$ определяется по формуле (31), кгс/см^2 :

$$p_{т.ц}^c = \frac{h_{ур} (ж_б + 0,5 ж_м) + F_0}{S_{ур}}. \quad (31)$$

При **порожном** режиме силового торможения большая пружина действует полностью, а малая пружина не действует (выключена), тогда давление в тормозном цилиндре $p_{т.ц}^c$ определяется по формуле (32), кгс/см^2 :

$$p_{т.ц}^c = \frac{h_{ур} \cdot ж_б + F_0}{S_{ур}}. \quad (32)$$

1.4. Определение усилий на штоках тормозных цилиндров $F_{шт}$ при различных режимах силового торможения.

Усилие на штоке тормозного цилиндра определяется из выражения, кгс:

$$F_{шт} = \frac{\pi d_{т.ц}^2}{4} \cdot p_{т.ц} \cdot \eta_{т.ц} - F_1, \quad (33)$$

где $d_{т.ц}$ – диаметр тормозного цилиндра, см;

$p_{т.ц}$ – давление в тормозном цилиндре при соответствующем режиме силового торможения (груженом, среднем, порожнем), кгс/см²;

$\eta_{т.ц}$ – коэффициент полезного действия тормозного цилиндра;

F_1 – усилие внутренней оттормаживающей пружины тормозного цилиндра, кгс; определяется из выражения:

$$F_1 = F_{пр} + l_{шт} \cdot ж, \quad (34)$$

где $F_{пр}$ – усилие предварительного сжатия внутренней оттормаживающей пружины тормозного цилиндра, кгс;

$ж$ – жесткость внутренней оттормаживающей пружины, кгс/см²;

$l_{шт}$ – выход штока тормозного цилиндра, см.

1.5. Определение передаточного числа рычажной передачи n для различных типов тормозных колодок, типа и модели вагона.

Для расчета передаточного числа рычажной передачи различных типов вагонов и локомотивов n можно воспользоваться схемами, представленными в справочниках по тормозам [10], [11], [12] или Инструкции [3].

Определение передаточного числа рычажной передачи произведено на примере тормозной рычажной передачи 4-осного грузового вагона без автоматического регулятора выхода штоков тормозных цилиндров, схема которой представлена на рисунке. Размеры плеч рычагов даются в задании или определяются по данным табл. 9 и 10 Инструкции [3] в зависимости от типа и модели вагона.

Суммарное нажатие всех тормозных колодок вагона определяется по формуле, кгс:

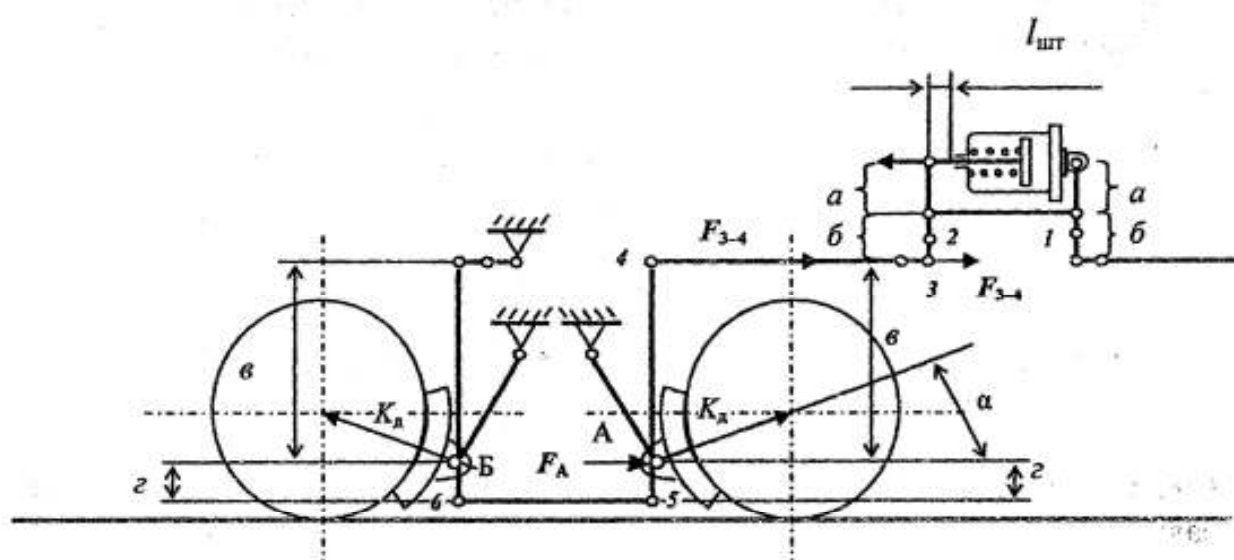
$$\sum K_d = F_{шт} \cdot n \cdot \eta_{рл}, \quad (35)$$

где $\sum K_d$ – суммарное нажатие всех тормозных колодок на колеса вагона, кгс;

$F_{шт}$ – усилие на штоке тормозного цилиндра, кгс;

n – передаточное число рычажной передачи;

$\eta_{рл}$ – коэффициент полезного действия (КПД) тормозной рычажной передачи.



КПД тормозной рычажной передачи зависит от конструкции передачи, в расчетах он принимается равным:

для 4-осных грузовых вагонов с односторонним торможением	0,95
для 4-осных вагонов-хопперов	0,80
для 4-осных пассажирских вагонов с двухсторонним торможением	0,90
для 8-осных вагонов с одним тормозным цилиндром	0,80
для 6-осных вагонов (оси с односторонним торможением)	0,90
для 6-осных вагонов (оси с двухсторонним торможением)	0,80

Для локомотивов с односторонним торможением:

при действии усилия от одного тормозного цилиндра на две оси	0,95
при действии усилия одного тормозного цилиндра на три оси	0,90

Для локомотивов с двухсторонним торможением:

при действии усилия тормозного цилиндра на одну ось	0,90
при действии усилия тормозного цилиндра на две оси	0,85
при действии усилия тормозного цилиндра на три оси	0,80
КПД тормозного цилиндра принимается равным	0,98

КПД ручного и стояночного тормоза составляет 0,5–0,7 от КПД автоматического тормоза в зависимости от конструкции червяка, винта и зубчатой передачи. Сила, приложенная к рукоятке ручного (стояночного) тормоза принимается равной 30 кг.

Формула для определения передаточного числа тормозной рычажной передачи выводится следующим образом (см. рисунок): сила, действующая на штоке поршня тормозного цилиндра $F_{шт}$, передается при по-

мощи главного рычага на тягу 3-4 с изменением по величине пропорционально отношению плеч этого рычага. Сумма моментов относительно точки 2 $\sum M_2$ составит:

$$\sum M_2 = 0, \quad F_{шт} \cdot a = F_{3-4} \cdot b,$$

откуда

$$F_{3-4} = F_{шт} \frac{a}{b}.$$

Сумма моментов относительно точки 5 $\sum M_5$ составит:

$$\sum M_5 = 0; \quad F_{3-4} \cdot (\vartheta + z) = F_A \cdot z,$$

откуда сила F_A , действующая на триангель или балку пары колодок, будет равна:

$$F_A = F_{3-4} \frac{(\vartheta + z)}{z}, \quad \text{тогда} \quad F_A = F_{шт} \frac{a}{b} \cdot \frac{(\vartheta + z)}{z}.$$

Сила F_A образует угол α с направлением радиуса, проходящего через центр колеса и середину колодки, то есть с направлением нормального давления колодки K_d . Чтобы узнать величину этого давления, надо силу F_A умножить на косинус угла α ($\cos \alpha$), т. е.:

$$2K_d = F_{шт} \frac{a}{b} \cdot \frac{(\vartheta + z)}{z} \cdot \cos \alpha. \quad (36)$$

Это сила нажатия только одной пары колодок. Рычажная передача вагона сконструирована так, что создается одинаковое нажатие на все колодки. На рисунке видно, что средние точки главных рычагов у тормозного цилиндра и средние точки вторичных рычагов у колесных пар связаны между собой затяжками 1, 2, 5 и 6, а так как все указанные парные рычаги имеют одинаковые отношения плеч, то силы, действующие на концах вторичных рычагов, такие же, как и на концах первичных рычагов. Отсюда получается полное равенство распределения сил на все пары колодок. Следовательно, чтобы найти из выражения (36) сумму сил нажатия всех колодок, число которых обозначим m_k , надо это выражение умножить на m_k . Тогда получим:

$$\sum K_d = \frac{m_k}{2} \cdot F_{шт} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{(\vartheta + z)}{z} \cdot \cos \alpha. \quad (37)$$

Передаточное число рычажной передачи n равно отношению суммы сил нажатий колодок $\sum K_d$ к усилию по штоку тормозного цилиндра $F_{шт}$:

$$n = \frac{\sum K_d}{F_{шт}} = \frac{m_k}{2} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{(e+z)}{z} \cdot \cos \alpha. \quad (38)$$

Передаточное число рычажной передачи рассчитано без учета потерь на трение в шарнирных соединениях.

Обычно в конструкции рычажной передачи грузового вагона $\alpha = 10^\circ$. Тогда $\cos 10^\circ = 0,9846429$.

Передаточное число рычажной передачи n рассчитывается отдельно для чугунных $n_{ч}$ и композиционных n_k колодок в соответствии с заданными размерами плеч рычагов.

1.6. Расчет действительного нажатия на колодку K_d для всех групп вагонов (в зависимости от типа колодок, передаточного числа тормозной рычажной передачи и режима силового торможения).

Действительная сила нажатия на тормозную колодку с учетом потерь на трение в шарнирных соединениях

$$K_d = \frac{1}{1000 \cdot m_k} \cdot \left(\frac{\pi d_{т.ц}^2}{4} \cdot p_{т.ц} \cdot \eta_{т.ц} - F_1 - F_2 - F_3 \right) \cdot n \cdot \eta_{р.п}, \quad (39)$$

где m_k — число тормозных колодок, на которые действует усилие от одного тормозного цилиндра;

$d_{т.ц}$ — диаметр тормозного цилиндра, см;

$p_{т.ц}$ — расчетное давление в тормозном цилиндре кгс/см²;

$\eta_{т.ц}$ — КПД тормозного цилиндра;

F_1 — усилие внутренней отпускной пружины тормозного цилиндра, кгс;

F_2 — усилие наружной отпускной пружины, приведенное к штоку тормозного цилиндра, кгс;

F_3 — усилие пружины автоматического регулятора рычажной передачи (регулятора выхода штока тормозного цилиндра), приведенное к штоку тормозного цилиндра, кгс;

n — передаточное число рычажной передачи от одного тормозного цилиндра;

$\eta_{р.п}$ — КПД рычажной передачи.

Примечание. В схеме, изображенной на рисунке, отсутствуют:

наружная отпускная пружина ($F_2 = 0$);

автоматический регулятор выхода штока тормозного цилиндра и, соответственно, его пружина ($F_3 = 0$).

Тогда после замены в выражении (39) в соответствии с (33) получим:

$$K_d = \frac{1}{1000 \cdot m_k} \cdot F_{шт} \cdot n \cdot \eta_{р.п}. \quad (40)$$

Действительные силы нажатия на тормозную колодку рассчитываются для различных передаточных чисел n тормозной рычажной передачи – для чугунных $n_{ч}$ и композиционных $n_{к}$ тормозных колодок (в соответствии с данными графы 6 табл. 1 и результатов расчетов по формуле (38)) и различных усилиях на штоке тормозного цилиндра $F_{шт}$, которые, в свою очередь, зависят от давления в тормозных цилиндрах $P_{т.ц}$ при различных режимах силового торможения (в соответствии с данными графы 11 табл. 1 и результатов расчетов по формулам (29а), (31) и (32)) для всех групп вагонов, приведенных в задании.

1.7. Пересчет действительного нажатия тормозных колодок K_d в расчетное (условное) K_p .

Полная действительная тормозная сила от одной колодки определяется по формуле, тс:

$$B_t = \phi_d \cdot K_d, \quad (41)$$

для поезда в целом:

$$B_t = \phi_{d1} \cdot \sum K_{d1} + \phi_{d2} \cdot \sum K_{d2} + \dots + \phi_{kдп} \cdot \sum K_{дп}, \quad (42)$$

где $\sum K_{дп}$ – суммарное действительное нажатие колодок одной n -й группы, тс;

$\phi_{кдп}$ – действительный коэффициент трения колодок данного типа и определенного нажатия.

Действительный коэффициент трения $\phi_{кд}$ для различных типов тормозных колодок определяется эмпирическим путем. Он зависит от типа колодок, скорости движения и удельного нажатия на колодку j , кгс/см². Так как в эксплуатации применяются колодки стандартных (одинаковых) размеров, то принято считать действительный коэффициент трения зависящим от нажатия на колодку K_d .

Подсчитать по этим величинам тормозную силу поезда, составленного из большого количества вагонов различных типов с различными нажатиями, очень затруднительно и громоздко. Поэтому тормозная сила поезда определяется методом приведения условным способом, при котором

действительные величины $\varphi_{\text{кд}}$ и $K_{\text{д}}$ заменяются условными, так называемыми расчетными $\varphi_{\text{к.р}}$ и $K_{\text{р}}$. При этом должно выполняться условие:

$$\varphi_{\text{кд}} \cdot K_{\text{д}} = \varphi_{\text{к.р}} \cdot K_{\text{р}}, \quad (43)$$

т. е. тормозная сила, полученная расчетом по действительным величинам, должна быть равна тормозной силе, полученной через расчетные (условные) величины.

Вместо переменной величины $K_{\text{д}}$ берут постоянную. Для стандартных чугунных тормозных колодок принимают среднее значение $K_{\text{дч}}^{\text{ср}} = 2,7$ тс/колодку. Тогда, подставляя это значение в формулу действительного коэффициента трения стандартных чугунных колодок

$$\varphi_{\text{кдч}} = 0,6 \frac{16K_{\text{дч}} + 100}{80K_{\text{дч}} + 100} \cdot \frac{V + 100}{5V + 100}, \quad (44)$$

получим формулу для определения значений расчетного коэффициента трения стандартных чугунных колодок:

$$\varphi_{\text{кдч}} = 0,6 \frac{16 \cdot 2,7 + 100}{80 \cdot 2,7 + 100} \cdot \frac{V + 100}{5V + 100} = 0,27 \cdot \frac{V + 100}{5V + 100}. \quad (45)$$

Действительный коэффициент трения композиционных тормозных колодок

$$\varphi_{\text{кдк}} = 0,44 \cdot \frac{K + 20}{4K + 20} \cdot \frac{V + 150}{2V + 150}. \quad (46)$$

При средней силе нажатия на композиционную колодку $K_{\text{дк}}^{\text{ср}} = 1,6$ тс/колодку расчетный коэффициент трения для композиционных колодок

$$\varphi_{\text{кдк}} = 0,44 \cdot \frac{1,6 + 20}{41,6 + 20} \cdot \frac{V + 150}{2V + 150} = 0,36 \cdot \frac{V + 150}{2V + 150}. \quad (47)$$

Расчетную силу нажатия стандартной чугунной тормозной колодки определяют по формуле:

$$K_{\text{рч}} = 2,22 \cdot K_{\text{дч}} \cdot \frac{16K_{\text{дч}} + 100}{80K_{\text{дч}} + 100}. \quad (48)$$

Для композиционных тормозных колодок

$$K_{\text{рк}} = 1,22 \cdot K_{\text{дк}} \cdot \frac{K_{\text{дк}} + 20}{4K_{\text{дк}} + 20}. \quad (49)$$

В инструкциях МПС и нормативах по тормозам указаны расчетные силы нажатия тормозных колодок, а не действительные. Поэтому, пользуясь данными инструкций и указаний МПС для решения тормозных задач, необходимо применять только расчетный коэффициент трения колодок.

1.8. Определение суммарного расчетного нажатия тормозных колодок $\sum K_p$ и расчетного коэффициента нажатия поезда ϑ_p для колодок различного типа.

Для расчета удельной тормозной силы поезда $b_{тр}$, имеющего чугунные и композиционные колодки, необходимо рассчитывать тормозную силу отдельно для чугунных $b_{трч}$ и композиционных $b_{трк}$ колодок:

$$b = b_{трч} + b_{трк}, \quad (50)$$

где $b_{трч} = 1000 \cdot \vartheta_{рч} \cdot \varphi_{крч}$; $b_{трк} = 1000 \cdot \vartheta_{рк} \cdot \varphi_{крк}$.

Для грузовых поездов расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок для обычных расчетов (на перспективу) определяется без учета тормозов и веса локомотива. Для решения задач конкретного свойства (в курсовом проекте рассматривается именно такой вариант) тормоза и вес локомотива необходимо учитывать.

Тогда для чугунных тормозных колодок, тс/т,

$$\vartheta_{рч} = \frac{\sum K_{рч}^{лок} + \sum K_{рч}^{ваг}}{P + Q};$$

для композиционных тормозных колодок, тс/т,

$$\vartheta_{рк} = \frac{\sum K_{рк}^{ваг}}{P + Q}.$$

1.9. Расчет удельной тормозной силы, действующей на грузовой поезд при экстренном торможении.

Для расчета удельной тормозной силы поезда $b_{тр}$, имеющего чугунные и композиционные колодки, необходимо рассчитывать тормозную силу отдельно для чугунных $b_{трч}$ и композиционных $b_{трк}$ колодок:

$$b_{тр} = b_{трч} + b_{трк},$$

где $b_{трч} = 1000 \cdot \vartheta_{рч} \cdot \varphi_{крч}$ и $b_{трк} = 1000 \cdot \vartheta_{рк} \cdot \varphi_{крк}$.

Расчетные коэффициенты трения чугунных $\varphi_{крч}$ и композиционных $\varphi_{крк}$ тормозных колодок определяются по формулам:

$$\varphi_{крч} = 0,27 \frac{V + 100}{5V + 100};$$

$$\varphi_{крк} = 0,36 \frac{V + 150}{2V + 150}.$$

**Безопасность движения поездов и автоматические тормоза
подвижного состава**

Ч. 1

Методические указания

Составители Афонин Г.С., Барщенков В.Н., Иванов В.Н.

Редактор и корректор *Н. В. Фролова*
Технический редактор *М. С. Савастеева*
Компьютерная верстка *М. С. Савастеева*

План 2003 г., № 49

Подписано в печать с оригинал-макета 18.03.05.
Формат 60×84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,6. Уч.-изд. л. 1,6. Тираж 200.
Заказ 37/ Цена 38 р.
Петербургский государственный университет путей сообщения.
190031, СПб., Московский пр., 9.
Типография ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.