

ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

РЕБЕНЮК
ОЛГАНОВ
ВОРЦОВА

П.Т.Г.
АН.Д.
А.И.С.К.

·ТРАНСПОРТ·

П. Т. ГРЕБЕНЮК
А. Н. ДОЛГАНОВ
А. И. СКВОРЦОВА

ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

Под редакцией
д-ра техн. наук П. Т. ГРЕБЕНЮКА

СТРАВОУТ



Сканировал
Вячеслав Михел
Aka PatriotRR



МОСКВА "ТРАНСПОРТ" 1987

Гребенюк П. Т., Долганов А. Н., Скворцова А. И.
Тяговые расчеты: Справочник. / Под ред. П. Т. Гребенюка. — М.: Транспорт, 1987. — 272 с.

Изложены способы и методики тяговых и тормозных расчетов подвижного состава железных дорог. В виде формул, таблиц и номограмм приведены основные расчетные нормативы, используемые при тяговых расчетах в поездной работе. Даны разъяснения к расчетам и примеры их выполнения.

Справочник предназначен для инженерио-технических работников, связанных с эксплуатацией и проектированием железных дорог, и может быть полезен учащимся техникумов и студентам вузов.

Ил. 125, табл. 95, библиогр. 24 назв.

Справочник написали: д-р техн. наук **П. Т. Гребенюк** — главы 2 и 3, канд. техн. наук **А. Н. Долганов** — главу 1, инж. **А. И. Скворцова** — главы 4 и 5.

Рецензент **В. Т. Созаев**

Заведующий редакцией **В. К. Терехов**

Редакторы **А. В. Корольков, В. Е. Мельников**

Справочник

ПЕТР ТИМОФЕЕВИЧ ГРЕБЕНЮК,
АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ ДОЛГАНОВ,
АЛЛА ИВАНОВНА СКВОРЦОВА

ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

Указатель терминов составили **П. Т. Гребенюк, В. Е. Мельников**
Технический редактор **М. И. Ройтман, Т. А. Захарова**
Корректор-вычитчик **В. Н. Яговкина**
Корректор **В. А. Луценко**
ИБ № 3395

Сдано в набор 22.12.86. Подписано в печать 08.06.87. Т-13734
Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Высокая печать.
Усл. печ. л. 14,28. Усл. кр.-отт. 14,28. Уч.-изд. л. 17,13. Тираж 16 000 экз.
Заказ 2298 Цена 1 р. 30 к. Изд. № 1—2—1/№ 3438
Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ»,
103064, Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
129041, Москва, Б. Переславская, 46

Тяговые расчеты — важная составная часть науки о тяге поездов. Методы тяговых расчетов включают комплекс способов и приемов определения массы состава, скорости движения и времени хода по перегону, расхода топлива, воды и электрической энергии на тягу, решение тормозных задач. К основным нормам для тяговых расчетов относятся: данные для определения сопротивления движению подвижного состава, силы нажатия тормозных колодок, тормозные пути, коэффициент трения тормозных колодок, коэффициент сцепления колес локомотивов и вагонов с рельсами при тяге и торможении, конструкционные и допустимые скорости движения, расчетные значения силы тяги и скорости локомотивов на подъеме, силы тяги при трогании с места, допустимые значения продольных усилий при различных режимах тяги и торможения, ограничивающие токи и предельные температуры электрических машин электровозов и тепловозов. Эти нормы зависят от типов подвижного состава, их конструкции и условий эксплуатации.

Фундаментальные исследования подвижного состава на русских железных дорогах выполнили А. П. Бородин, М. В. Гололобов, В. И. Лопушинский, Н. П. Петрои, А. О. Чечотт, Ю. В. Ломоносов, Г. В. Лебедев, А. И. Липец и другие. Большой вклад в развитие тяги поездов внесли советские ученые А. М. Бабичков, В. Ф. Егорченко, В. М. Казаринов, О. Н. Исаакян, П. А. Гурский, П. Н. Астахов и другие.

Теория тяговых расчетов излагается в курсах тяги поездов, а методы расчетов и относящиеся к ним нормы определяются Правилами тяговых расчетов для поездной работы (ПТР).

Правила тяговых расчетов являются одним из основных документов на железнодорожном транспорте, содержащим нормы для тяговых расчетов при поездной работе. Эти нормы обязательны для эксплуатируемых и вновь строящихся железных дорог. ПТР как методическое и регламентирующее руководство особенно важно для железных дорог СССР, имеющих большую протяженность сети, разнообразность подвижного состава, разнообразие условий эксплуатации. Первые ПТР были изданы Министерством путей сообщения в 1917 г. и затем периодически пересматривались и обновлялись с учетом изменений, которые происходили в подвижном составе и в условиях эксплуатации железных дорог.

Справочник предназначен облегчить труд тем, кто занимается тяговыми расчетами. Он начинается с изложения основных изменений и дополнений, включенных в ПТР издания 1985 г. Справочник содержит нормативные материалы действующих Правил тяговых расчетов. При этом все нормативы, помимо их краткого формульного изложения, представлены в удобном для практического пользования виде (таблицами, графиками и номограммами). Так, основное

удельное сопротивление грузовых и пассажирских вагонов дано в таблицах для скоростей движения, кратных 10 км/ч, и при всех практически встречающихся в эксплуатации значениях массы, приходящейся на одну ось. Также достаточно подробно и дифференцированно представлены расчетные данные по сопротивлению движению локомотивов, электро- и дизель-поездов, по различным видам дополнительных сопротивлений, по нормам для тяговых и тормозных расчетов и т. д.

Многие из приведенных в Справочнике нормативов сопровождаются необходимыми пояснениями, практическими расчетами и примерами. Особенно много примеров приведено в разделах, касающихся выбора массы грузовых поездов и тормозных расчетов подвижного состава.

Помимо официальных нормативов, заимствованных из ПТР, в Справочнике приведены опытные и расчетные материалы, не вошедшие по тем или иным причинам в Правила, но представляющие несомненный интерес для лиц, связанных с тяговыми расчетами. К этим материалам относятся: значения сопротивления троганию с места одиночных вагонов, сопротивление троганию после кратковременных стоянок и в начальный период движения, тормозные расчеты по нормам Международного союза железных дорог (МСЖД), методика расчета продольных усилий в тяжеловесных поездах с использованием ЭВМ.

По сравнению с изданием 1973 г. настоящий Справочник значительно дополнен и переработан с учетом положений и рекомендаций, содержащихся в новых ПТР. Общее построение Справочника не изменилось. Некоторые пункты по сопротивлению движению даны в изложении П. Н. Астахова.

Авторы весьма признательны канд. техн. наук В. Т. Созаеву за ценные замечания, высказанные им при рецензировании рукописи.

Действующие ныне Правила тяговых расчетов для поездной работы (ПТР), которые являются одним из основных документов, регламентирующих работу железных дорог, изданы в 1985 г. [1].

Необходимость переработки этого документа связана с тем, что со времени предыдущего издания (1969 г.) произошли существенные изменения в техническом оснащении железных дорог, в условиях их эксплуатации и степени использования технических средств. За это время на железных дорогах начали эксплуатировать новые серии электровозов, тепловозов и электропоездов. Исчезли из эксплуатации двухосные вагоны, все большее применение получают восьмиосные полувагоны и цистерны, увеличилось число специализированных рефрижераторных поездов. На сети железных дорог существенно увеличилась протяженность комплексно реконструированного пути, где вместо звеньевых укладывается бесстыковой путь, в известной мере уменьшающий сопротивление движению поездов.

В последние годы Всесоюзным научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) проведены паспортные испытания некоторых серийных типов тягового подвижного состава, в результате которых получены их уточненные характеристики [2—4]. На основе обширных исследований в области тормозной техники и анализа данных по проверке тормозной эффективности новых видов подвижного состава получен ряд дополнительных данных, касающихся тормозных нормативов и порядка выполнения тормозных расчетов.

Накопился опыт эксплуатации электрической и тепловозной тяги, в том числе на линиях особо неблагоприятными климатическими условиями и на линиях с высокой степенью заполнения пропускной способностью. При несоответствии технических возможностей локомотивов реальным условиям их использования увеличивается вероятность отказа локомотива в пути следования с последующим сбоем движения, уменьшающим провозную способность участков эксплуатации тем больше, чем выше интенсивность движения. Отмеченные обстоятельства, а также предложения работников железных дорог, главных управлений движения и локомотивного хозяйства МПС и транспортных вузов составили основу для разработки новых ПТР.

В ПТР включены все необходимые для тяговых расчетов характеристики нового тягового подвижного состава — электровозов ВЛ10, ВЛ10у, ВЛ11, ВЛ60^{кп}, ВЛ80^т, ВЛ80^р, ВЛ80^с, ВЛ82, ВЛ82^м, ЧС2^т, ЧС4^т; электропоездов ЭР22, ЭР22В; тепловозов ТЭМ2, ЧМЭЗ, М62, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М, 2ТЭ116, ТЭП70, ТГ16— и уточнены некоторые характеристики основных типов подвижного состава. При построении тяговых характеристик и установлении расчетных режимов по силе тяги и скорости локомотивов учтены результаты

многочисленных экспериментальных исследований, в том числе касающихся оценки ограничения силы тяги по сцеплению, которые выполнялись в последние годы на Экспериментальном кольце ВНИИЖТа и на многих дорогах сети. Обобщение этих исследований и анализ опыта работы локомотивов в эксплуатации с поездами установленного веса позволили обосновать и ввести в ПТР формулу определения расчетного коэффициента сцепления для электровозов ВЛ10, ВЛ11, ВЛ10У, ВЛ82 и ВЛ82М, откорректировать и дать новую формулу определения расчетного коэффициента сцепления для электровозов переменного тока ВЛ60, ВЛ60Р, ВЛ80*, ВЛ80Г, ВЛ80Р и ВЛ80С, а также привести расчетные формулы определения коэффициентов сцепления при электрическом торможении.

В результате специальных исследований условий токосяема на коллекторе тяговых двигателей расширена область характеристик рекуперативного торможения электровозов, что позволяет повысить эффективность электрического торможения.

В предыдущих изданиях ПТР расчетный коэффициент сцепления для тепловозов определялся по формуле, которая была получена на основании результатов эксплуатационных испытаний электровозов постоянного тока. Такая рекомендация не вызывала особых расхождений между результатами расчетов и действительной эксплуатацией, так как благодаря наличию некоторого запаса сцепного веса у сравнительно маломощных тепловозов не существовало проблемы ограничения силы тяги по сцеплению при работе этих тепловозов в режимах, близких к расчетным. Когда же на транспорт стали поступать тепловозы мощностью 2200 кВт в секции и по мере повышения интенсивности использования тепловозов, в эксплуатации стало обнаруживаться несоответствие упомянутой формулы действительным возможностям тепловозов. Отмеченное обстоятельство привело к необходимости организации производства широких экспериментальных исследований, специально посвященных оценке тяговых качеств тепловозов. Для разработки рекомендаций по расчетному коэффициенту сцепления для тепловозов были использованы результаты испытаний тепловозов ТЭ10, 2ТЭ10Л, ТЭ109, 2ТЭ116, проведенных на девяти железных дорогах в прямых и кривых участках пути и на Экспериментальном кольце ВНИИЖТа. Кроме того, для этой цели использованы материалы ранее проведенных испытаний тепловозов ТЭ1, ТЭ2, ТЭ3, ТЭМ2 и др. Обобщение всех материалов позволило в новые ПТР рекомендовать две формулы для определения расчетного коэффициента сцепления — одну для тепловозов ТЭ10 и 2ТЭ10Л и вторую для остальных серий тепловозов грузового парка.

В ПТР приведена также новая формула, определяющая зависимость коэффициента сцепления от радиуса кривой для тепловозов, которой следует пользоваться в расчетах при наличии на расчетном подъеме кривых радиусом менее 800 м.

Существующая в настоящее время система эксплуатации локомотивов предполагает использование их на удлиненных тяговых плечах, при которых существенно реже производят экипировку или дозаправку тепловозов топливом и песком. Опыт эксплуатации показывает, что за пробег между очередными заправками на тепловозах песок расходуется почти полностью, а топлива в большом числе случаев в топливных баках остается существенно менее половины. При таких расходах в такой же мере уменьшается сцепной вес тепловоза, а следовательно, и его сила тяги, ограниченная сцеплением колес с рельсами. В условиях, когда тепловозы работают в режимах, близ-

ких к ограничению по сцеплению, отмеченный фактор становится важным и его следует учитывать в расчетах. Если до последнего времени сцепной вес тепловозов приравнивался служебному весу локомотива, определяемому при $2/3$ запасов расходуемых материалов, то в новых ПТР сцепной вес тепловозов, используемый в тяговых расчетах, определен при $1/3$ запасов топлива и песка.

В разделе «Соппротивление движению подвижного состава» приведена расчетная формула для определения основного удельного сопротивления движению восьмиосных вагонов. Опытами проведенными с рефрижераторными поездами, было установлено, что их сопротивление движению следует определять по формуле для груженых четырехосных вагонов на роликовых подшипниках, что отражено в ПТР.

Как уже отмечалось, на бесстыковом пути заметно уменьшается сопротивление движению подвижного состава. Согласно экспериментальным исследованиям это уменьшение в зависимости от скорости движения и нагрузки от колесной пары на рельсы находится в пределах 4—16 %. Расчеты показывают, что на бесстыковом пути могут быть получены либо повышение скорости движения на 2—3 %, либо экономия в расходе топлива или электроэнергии на тягу поездов на 3 — 4 %. Учитывая это, признано целесообразным в ПТР привести расчетные формулы для определения удельного сопротивления движению всех видов подвижного состава как на звеньевом, так и на бесстыковом пути. При этом, поскольку в ПТР издания 1969 г. для электропоездов ЭР9 и дизель-поездов были приведены формулы, полученные в результате опытов на бесстыковом пути, в новых ПТР сделан соответствующий пересчет при выводе расчетных формул, относящихся к этим поездам на звеньевом пути. Все эти формулы для электропоездов приведены к нормальной составности, а для дизель-поездов даны в зависимости от числа моторных и прицепных вагонов в поезде.

Исследованиями загрузки и режимов работы локомотивов на ряде дорог в различные периоды года было установлено, что на участках, где систематически наблюдаются особо неблагоприятные погодные условия, характеризующиеся низкой температурой наружного воздуха и повышенными скоростями ветров, ранее установленные веса поездов часто не могут быть реализованы локомотивами без снижения надежности их работы, влияющей на устойчивость движения поездов на целом направлении. Поскольку содержащиеся в ПТР основные расчетные нормативы соответствуют некоторым усредненным условиям, для исключения случаев отмеченных нарушений в новых ПТР помещен ряд указаний, выполнение которых будет способствовать более полному учету местных условий эксплуатации.

С этой целью в разделе «Соппротивление движению подвижного состава» приведен порядок учета дополнительного сопротивления движению поезда от ветровой нагрузки при скоростях ветра от 6 до 30 м/с, подготовленный на основе исследований, выполненных с натурными поездами и на моделях в аэродинамической трубе.

В общих указаниях ПТР отмечено, что на тех участках, где климатические условия значительно изменяются в зависимости от времени года, расчетная масса состава определяется как для летнего, так и для зимнего периодов. С этой же целью в зимний период при неудовлетворительных условиях сцепления в зависимости от особенностей участка в ПТР предусмотрена возможность уменьшения расчетных коэффициентов сцепления локомотивов в соответствии с данными опытных поездок, но не более чем на 15% от установленных

норм. Время, в течение которого действуют уменьшенные нормы расчетного коэффициента сцепления локомотивов и, мера уменьшения коэффициента сцепления устанавливаются начальником дороги по согласованию с МПС.

Правила впервые устанавливают обязательность проверки массы составов, рассчитанной согласно приведенным в них нормам, в опытных поездках в соответствии с действующими для этой цели инструктивными указаниями. В новых ПТР в отличие от предыдущих даны дополнительные указания о порядке корректировки расчетных сил тяги и сил тяги локомотивов при трогании с места для случаев, когда необходимо учитывать уменьшение расчетного коэффициента сцепления в крутых кривых.

За последние годы в связи с необходимостью увеличения массы поездов расширилась сфера применения кратной тяги и подталкивания. Поскольку при кратной тяге возрастают суммарные тяговые усилия в голове поезда, то для предупреждения разрыва грузовых поездов необходима проверка этих усилий из условий прочности автосцепок. На основе обобщения результатов исследований продольной динамики тяжеловесных поездов новыми ПТР установлены максимально допустимые продольные усилия на автосцепке при трогании с места и при движении по труднейшему подъему. При больших продольных усилиях в поезде во время подталкивания или же при больших тормозных усилиях локомотивов, находящихся в голове поезда, при электрическом торможении возникает опасность выжимания вагонов, особенно если они мало загружены. Для обеспечения устойчивости вагонов от выжимания в ПТР приведены допустимые наибольшие продольные сжимающие силы в зависимости от типа и степени загрузки вагонов, находящихся в поезде.

Существенно откорректированы главы, относящиеся к тормозным расчетам. Для удобства пользования Правилами все материалы, связанные с тормозными расчетами, объединены в одну главу. По результатам исследований тормозной эффективности нового подвижного состава в ПТР уточнены расчетные силы нажатия тормозных колодок, в том числе при использовании композиционных колодок. Уменьшено значение расчетного тормозного коэффициента с 0,8 до 0,6 его полного значения для пассажирских, электропоездов и дизель-поездов при остановках на станциях и раздельных пунктах, предусмотренных графиком движения, что соответствует реальным режимам торможения, используемым при остановках на станциях. Приведены расчетные нормативы, необходимые при решении задач регулировочного торможения для поддержания заданной скорости движения грузовых и пассажирских поездов.

В связи с увеличением длины грузовых поездов приведена формула для определения времени подготовки тормозов к действию в грузовых поездах длиной более 300 осей. Несколько увеличено также время подготовки к действию тормозов грузовых локомотивов, так как при их многосекционном использовании время наполнения тормозных цилиндров увеличивается.

Для выполнения более точных тормозных расчетов по интервалам времени методом численного интегрирования в ПТР приведены необходимые исходные данные, касающиеся пассажирских и грузовых поездов при экстренном, полном служебном и ступенчатом торможениях.

В ПТР включена формула для определения тормозной силы локомотива при удержании остановившегося поезда на станции, имеющей спуск, вспомогательным тормозом локомотива.

В разделах электрической и тепловозной тяги внесены некоторые уточнения и изменения в методику расчета нагревания тяговых электрических машин, связанные с выходом ГОСТ 2582—81. Этим стандартом предусмотрены нормы допустимого превышения температуры обмоток тяговых электрических машин над температурой наружного воздуха при максимальной температуре наружного воздуха не выше 40 °С. В связи с этим в ПТР приведены упомянутые нормы для различных классов изоляции обмоток и даны указания о том, что если максимальная температура наружного воздуха, определенная по данным метеорологических станций как средняя многолетняя, будет выше 40 °С, то допустимые превышения температур обмоток уменьшаются на столько же градусов.

Введена проверка нагревания тяговых электрических машин и для зимнего периода, когда при применении снегозащиты в системе вентиляции уменьшается расход воздуха, поступающего на охлаждение. В связи с тем что тепловые характеристики тяговых электродвигателей, приведенные в ПТР, соответствуют наружной температуре 25 °С, а расчетные температуры наружного воздуха могут иметь иное значение, потребовалось ввести корректировку результатов расчетов проверки нагревания тяговых двигателей, для чего в ПТР указаны соответствующие коэффициенты приведения.

В опыте эксплуатации тепловозов нередко случал, когда из-за ограничения скорости движения по состоянию пути локомотив вынужден работать на промежуточных позициях контроллера, при которых с уменьшением частоты вращения вала дизеля уменьшается количество воздуха, поступающего на охлаждение обмоток электрических машин. Для таких случаев значение превышения температуры обмоток над температурой охлаждающего воздуха, указанное в тепловых характеристиках тяговых электрических машин, должно уменьшаться в соответствии с приведенным в ПТР поправочным коэффициентом.

В разделе «Тяговые расчеты для железных дорог узкой колеи» приведены новые данные, касающиеся локомотивов и вагонов колеи 1067 мм.

Начиная с предыдущего выпуска, в ПТР включался раздел, относящийся к использованию вычислительной техники в тяговых расчетах. В настоящее время вычислительные центры дорог оснащаются более совершенными ЭВМ, имеющими значительно большие возможности. Подробные инструкции, определяющие правила подготовки информации и порядок расчетов на ЭВМ, будут прилагаться к программе тяговых расчетов. Поэтому в новых ПТР изложены лишь основные положения методики тяговых расчетов и состав исходной информации. При подготовке информации об участках сети и о подвижном составе учтены все изменения и новые положения, содержащиеся в основных разделах ПТР. В характеристике программы расчетов на ЭВМ изменен порядок выбора режима ведения поездов, предусматривающий использование частичных характеристик локомотивов, что полнее отвечает реальным условиям эксплуатации. В целом Правила тяговых расчетов для поездной работы, как и ранее создававшиеся, ориентируют на высокую степень использования подвижного состава, они являются документом, который активно способствует повышению провозной способности железных дорог и, следовательно, выполнению возрастающих объемов перевозок.

В настоящем Справочнике (приложение 3) приведены тяговые характеристики электровозов ВЛ85, ЧС200, ЧС6, ЧС7, электропоезда ЭР200, тепловоза 2ТЭ121, не вошедшие в ПТР издания 1985 г.

1. СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

1.1. Основное удельное сопротивление движению

Расчетные формулы для определения основного удельного сопротивления движению (кгс/т) подвижного состава выведены на основе результатов экспериментальных исследований, проведенных в среднеэксплуатационных условиях при температуре наружного воздуха в диапазоне от -10 до $+20$ °С и скоростях ветра, не превышающих 5 м/с [5—7].

Грузовые вагоны. Основное удельное сопротивление движению четырехосных вагонов на подшипниках скольжения и шестиосных вагонов на роликовых подшипниках при массе, приходящейся на ось колесной пары q_0 , более 6 т определяют:

а) на звеньевом пути по формуле

$$w_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \quad (1.1)$$

или по табл. 1.1;

б) на бесстыковом пути по формуле

$$w_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,08v + 0,002v^2}{q_0} \quad (1.2)$$

или по табл. 1.2.

Основное удельное сопротивление движению четырехосных вагонов на роликовых подшипниках и вагонов рефрижераторных поездов ($q_0 > 6$ т) определяют:

а) на звеньевом пути по формуле

$$w_0'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \quad (1.3)$$

или по табл. 1.3;

б) на бесстыковом пути по формуле

$$w_0'' = 0,7 + \frac{3 + 0,09v + 0,002v^2}{q_0} \quad (1.4)$$

или по табл. 1.4.

Основное удельное сопротивление движению восьмиосных вагонов на роликовых подшипниках определяют:

а) на звеньевом пути по формуле

$$w_0'' = 0,7 + \frac{6 + 0,038v + 0,0021v^2}{q_0} \quad (1.5)$$

или по табл. 1.5;

**Т а б л и ц а 1.1. Значения ω'' (кгс/т),
подсчитанные по формуле (1.1)**

$q_0, \text{ т}$	$v, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
7	2,02	2,27	2,59	2,99	3,45	3,99	4,59	5,27	6,02	6,84	7,74	8,70
8	1,86	2,08	2,36	2,70	3,11	3,58	4,11	4,70	5,36	6,08	6,86	7,71
9	1,73	1,91	2,17	2,48	2,84	2,96	3,73	4,26	4,84	5,48	6,17	6,92
10	1,62	1,80	2,03	2,30	2,63	3,00	3,43	3,90	4,42	5,00	5,63	6,30
11	1,54	1,70	1,91	2,16	2,45	2,79	3,18	3,61	4,09	4,61	5,17	5,79
12	1,47	1,62	1,81	2,03	2,31	2,62	2,97	3,37	3,80	4,29	4,80	5,36
13	1,42	1,55	1,72	1,94	2,19	2,47	2,80	3,18	3,57	4,01	4,49	5,01
14	1,36	1,48	1,64	1,84	2,07	2,34	2,64	2,98	3,35	3,76	4,21	4,69
15	1,32	1,43	1,58	1,77	1,98	2,23	2,52	2,84	3,19	3,57	3,99	4,44
16	1,28	1,39	1,53	1,70	1,90	2,13	2,39	2,69	3,02	3,38	3,78	4,19
17	1,25	1,35	1,48	1,66	1,83	2,05	2,30	2,58	2,89	3,23	3,60	4,00
18	1,21	1,31	1,43	1,58	1,77	1,97	2,21	2,48	2,76	3,09	3,44	3,81
19	1,18	1,28	1,40	1,54	1,72	1,91	2,14	2,39	2,66	2,97	3,30	3,66
20	1,16	1,25	1,36	1,50	1,66	1,85	2,06	2,30	2,56	2,85	3,16	3,50
21	1,14	1,22	1,33	1,46	1,62	1,80	1,99	2,23	2,48	2,76	3,05	3,37
22	1,12	1,20	1,30	1,42	1,57	1,74	1,93	2,15	2,39	2,65	2,93	3,24
23	1,10	1,18	1,28	1,40	1,54	1,70	1,88	2,09	2,32	2,57	2,84	3,13
24	1,09	1,16	1,25	1,37	1,50	1,66	1,84	2,03	2,25	2,49	2,75	3,03
25	1,07	1,14	1,23	1,34	1,47	1,62	1,79	1,98	2,19	2,42	2,67	2,94

**Т а б л и ц а 1.2. Значения ω'' (кгс/т),
подсчитанные по формуле (1.2)**

$q_0, \text{ т}$	$v, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
7	1,99	2,19	2,44	2,76	3,13	3,56	4,04	4,59	5,19	5,84	6,56	7,33
8	1,83	2,00	2,23	2,50	2,83	3,20	3,63	4,10	4,63	5,20	5,83	6,50
9	1,70	1,86	2,06	2,30	2,59	2,92	3,30	3,72	4,19	4,70	5,26	5,86
10	1,60	1,74	1,92	2,14	2,40	2,70	3,04	3,42	3,84	4,30	4,80	5,34
11	1,52	1,65	1,81	2,01	2,25	2,52	2,83	3,17	3,55	3,97	4,43	4,92
12	1,45	1,57	1,72	1,90	2,12	2,37	2,65	2,97	3,32	3,70	4,12	4,57
13	1,39	1,50	1,64	1,81	2,01	2,24	2,50	2,79	3,19	3,47	3,85	4,27
14	1,34	1,44	1,57	1,73	1,91	2,13	2,37	2,64	2,94	3,27	3,63	4,01
15	1,30	1,39	1,51	1,66	1,83	2,03	2,26	2,51	2,79	3,10	3,43	3,79
16	1,26	1,35	1,46	1,60	1,76	1,95	2,16	2,40	2,66	2,95	3,26	3,60
17	1,23	1,31	1,42	1,55	1,70	1,88	2,08	2,30	2,55	2,82	3,11	3,43
18	1,20	1,28	1,38	1,50	1,64	1,81	2,00	2,21	2,44	2,70	2,98	3,28
19	1,17	1,25	1,34	1,46	1,59	1,75	1,93	2,13	2,35	2,59	2,86	3,14
20	1,15	1,22	1,31	1,42	1,55	1,70	1,87	2,06	2,27	2,50	2,75	3,02
21	1,13	1,20	1,28	1,39	1,51	1,65	1,81	2,00	2,20	2,41	2,65	2,91
22	1,11	1,17	1,25	1,35	1,47	1,61	1,76	1,94	2,13	2,34	2,56	2,81
23	1,09	1,15	1,23	1,33	1,44	1,57	1,72	1,88	2,07	2,27	2,48	2,72
24	1,08	1,13	1,21	1,30	1,41	1,53	1,68	1,83	2,01	2,20	2,41	2,63
25	1,06	1,12	1,19	1,28	1,38	1,50	1,64	1,79	1,96	2,14	2,34	2,56

Т а б л и ц а 1.3. Значения ω'' (кгс/т),
подсчитанные по формуле (1.3)

q_0, τ	$v, \text{км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
7	1,31	1,56	1,88	2,27	2,74	3,27	3,88	4,56	5,31	6,13	7,02	7,99
8	1,23	1,46	1,74	2,08	2,49	2,96	3,49	4,08	4,74	5,46	6,24	7,09
9	1,17	1,37	1,62	1,92	2,28	2,70	3,17	3,70	4,28	4,92	5,62	6,37
10	1,12	1,30	1,53	1,80	2,13	2,50	2,93	3,40	3,92	4,50	5,13	5,80
11	1,08	1,24	1,45	1,70	1,99	2,33	2,72	3,15	3,63	4,15	4,72	5,33
12	1,05	1,20	1,39	1,61	1,89	2,20	2,55	2,95	3,38	3,86	4,38	4,94
13	1,03	1,16	1,33	1,54	1,80	2,08	2,41	2,79	3,18	3,68	4,10	4,62
14	1,00	1,12	1,28	1,48	1,71	1,98	2,28	2,62	3,00	3,40	3,86	4,33
15	0,99	1,10	1,25	1,43	1,65	1,90	2,19	2,50	2,86	3,24	3,66	4,11
16	0,97	1,08	1,22	1,38	1,59	1,83	2,10	2,39	2,72	3,07	3,47	3,88
17	0,96	1,06	1,19	1,35	1,54	1,76	2,01	2,29	2,60	2,94	3,31	3,71
18	0,94	1,04	1,16	1,32	1,50	1,71	1,94	2,21	2,49	2,82	3,17	3,54
19	0,92	1,02	1,14	1,28	1,46	1,65	1,88	2,13	2,41	2,71	3,04	3,40
20	0,91	1,00	1,11	1,25	1,41	1,60	1,81	2,05	2,31	2,60	2,91	3,25
21	0,90	0,99	1,09	1,22	1,38	1,56	1,76	1,99	2,24	2,52	2,81	3,13
22	0,89	0,98	1,08	1,20	1,35	1,52	1,71	1,93	2,17	2,43	2,71	3,02
23	0,88	0,96	1,06	1,18	1,32	1,48	1,67	1,87	2,10	2,35	2,62	2,92
24	0,88	0,95	1,04	1,16	1,29	1,45	1,63	1,83	2,04	2,28	2,54	2,83
25	0,87	0,94	1,03	1,14	1,27	1,42	1,59	1,78	1,99	2,22	2,47	2,74

Т а б л и ц а 1.4. Значения ω'' (кгс/т),
подсчитанные по формуле (1.4)

q_0, τ	$v, \text{км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
7	1,29	1,50	1,77	2,10	2,49	2,93	3,43	3,99	4,60	5,27	6,00	6,79
8	1,21	1,40	1,64	1,93	2,26	2,65	3,09	3,58	4,11	4,70	5,34	6,03
9	1,16	1,32	1,53	1,79	2,09	2,43	2,82	3,26	3,73	4,26	4,82	5,43
10	1,11	1,26	1,45	1,68	1,95	2,26	2,61	3,00	3,43	3,90	4,41	4,96
11	1,07	1,21	1,38	1,59	1,84	2,12	2,44	2,79	3,18	3,61	4,07	4,57
12	1,04	1,17	1,33	1,52	1,74	2,00	2,29	2,62	2,98	3,37	3,79	4,25
13	1,02	1,13	1,28	1,45	1,66	1,90	2,17	2,47	2,80	3,16	3,55	3,98
14	0,99	1,10	1,24	1,40	1,59	1,81	2,06	2,34	2,65	2,99	3,35	3,74
15	0,97	1,07	1,20	1,35	1,53	1,74	1,97	2,23	2,52	2,83	3,17	3,54
16	0,96	1,05	1,17	1,31	1,48	1,68	1,89	2,14	2,41	2,70	3,02	3,36
17	0,94	1,03	1,14	1,28	1,44	1,62	1,82	2,05	2,31	2,58	2,88	3,21
18	0,93	1,01	1,12	1,24	1,39	1,57	1,76	1,98	2,22	2,48	2,76	3,07
19	0,92	0,99	1,09	1,22	1,36	1,52	1,71	1,91	2,14	2,38	2,65	2,94
20	0,91	0,98	1,08	1,19	1,33	1,48	1,66	1,85	2,07	2,30	2,56	2,83
21	0,90	0,97	1,06	1,17	1,30	1,44	1,61	1,80	2,00	2,22	2,47	2,73
22	0,89	0,95	1,04	1,15	1,27	1,41	1,57	1,75	1,94	2,15	2,39	2,64
23	0,88	0,94	1,03	1,13	1,24	1,38	1,53	1,70	1,89	2,09	2,31	2,55
24	0,87	0,93	1,01	1,11	1,22	1,35	1,50	1,66	1,84	2,03	2,25	2,48
25	0,86	0,92	1,00	1,09	1,20	1,32	1,46	1,62	1,79	1,98	2,18	2,40

**Т а б л и ц а 1.5. Значения ω_0'' (кгс/т),
подсчитанные по формуле (1.5)**

q_0, τ	$v, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
7	1,64	1,79	1,99	2,25	2,58	2,96	3,41	3,91	4,48	5,10	5,78	6,53
8	1,52	1,65	1,83	2,06	2,34	2,68	3,07	3,51	4,00	4,55	5,15	5,80
9	1,42	1,54	1,70	1,91	2,16	2,46	2,81	3,20	3,69	4,12	4,65	5,23
10	1,36	1,46	1,60	1,79	2,02	2,28	2,60	2,95	3,34	3,78	4,26	4,78
11	1,30	1,39	1,52	1,69	1,90	2,14	2,42	2,74	3,10	3,50	3,94	4,41
12	1,25	1,33	1,45	1,61	1,80	2,02	2,28	2,57	2,90	3,27	3,67	4,10
13	1,21	1,28	1,39	1,54	1,71	1,92	2,16	2,43	2,73	3,07	3,44	3,84
14	1,17	1,24	1,35	1,48	1,64	1,83	2,05	2,31	2,59	2,90	3,24	3,61
15	1,14	1,21	1,30	1,43	1,58	1,76	1,96	2,20	2,46	2,75	3,07	3,42
16	1,11	1,18	1,26	1,38	1,52	1,69	1,88	2,11	2,35	2,63	2,92	3,25
17	1,09	1,15	1,23	1,34	1,47	1,63	1,81	2,02	2,25	2,51	2,79	3,10
18	1,07	1,12	1,20	1,30	1,43	1,58	1,75	1,95	2,17	2,41	2,68	2,97
19	1,05	1,10	1,18	1,27	1,39	1,53	1,70	1,88	2,09	2,32	2,57	2,85
20	1,03	1,08	1,15	1,24	1,36	1,49	1,65	1,82	2,02	2,24	2,48	2,74
21	1,01	1,06	1,13	1,22	1,33	1,45	1,60	1,77	1,96	2,17	2,39	2,64
22	1,00	1,05	1,11	1,19	1,30	1,42	1,56	1,72	1,90	2,10	2,32	2,55
23	0,99	1,03	1,09	1,17	1,27	1,39	1,52	1,68	1,85	2,04	2,25	2,47
24	0,97	1,02	1,08	1,15	1,25	1,36	1,49	1,64	1,80	1,98	2,18	2,40
25	0,96	1,00	1,06	1,14	1,23	1,33	1,46	1,60	1,76	1,93	2,12	2,33

**Т а б л и ц а 1.6. Значения ω_0'' (кгс/т),
подсчитанные по формуле (1.6)**

q_0, τ	$v, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
7	1,62	1,73	1,89	2,09	2,35	2,65	3,01	3,41	3,86	4,36	4,90	5,50
8	1,50	1,60	1,74	1,92	2,14	2,41	2,72	3,07	3,46	3,90	4,38	4,90
9	1,41	1,50	1,62	1,78	1,98	2,22	2,49	2,81	3,16	3,54	3,97	4,43
10	1,34	1,42	1,53	1,68	1,86	2,07	2,32	2,60	2,91	3,26	3,64	4,06
11	1,28	1,35	1,46	1,59	1,75	1,94	2,17	2,42	2,71	3,03	3,38	3,75
12	1,24	1,30	1,39	1,51	1,66	1,84	2,05	2,28	2,54	2,83	3,15	3,50
13	1,19	1,25	1,34	1,45	1,59	1,75	1,94	2,16	2,40	2,67	2,96	3,28
14	1,16	1,21	1,29	1,40	1,53	1,68	1,85	2,05	2,28	2,53	2,80	3,10
15	1,13	1,18	1,25	1,35	1,47	1,61	1,78	1,96	2,17	2,41	2,66	2,94
16	1,10	1,15	1,22	1,31	1,42	1,56	1,71	1,89	2,08	2,30	2,54	2,80
17	1,08	1,12	1,19	1,27	1,38	1,50	1,65	1,82	2,00	2,21	2,43	2,68
18	1,06	1,10	1,16	1,24	1,34	1,46	1,60	1,75	1,93	2,12	2,34	2,57
19	1,04	1,08	1,14	1,21	1,31	1,42	1,55	1,70	1,86	2,05	2,25	2,47
20	1,02	1,06	1,12	1,19	1,28	1,38	1,51	1,65	1,81	1,98	2,17	2,38
21	1,01	1,04	1,10	1,16	1,25	1,35	1,47	1,60	1,75	1,92	2,10	2,30
22	0,99	1,03	1,08	1,14	1,23	1,32	1,43	1,56	1,71	1,86	2,04	2,23
23	0,98	1,01	1,06	1,12	1,20	1,29	1,40	1,52	1,66	1,81	1,98	2,16
24	0,97	1,00	1,05	1,11	1,18	1,27	1,37	1,49	1,62	1,77	1,93	2,10
25	0,96	0,99	1,03	1,09	1,16	1,25	1,35	1,46	1,58	1,72	1,88	2,04

б) на бесстыковом пути по формуле

$$\omega_0'' = 0,7 + \frac{6 + 0,026v + 0,0017v^2}{q_0} \quad (1.6)$$

или по табл. 1.6.

Основное удельное сопротивление движению порожних четырехосных вагонов на подшипниках скольжения ($q_0 \leq 6$ т) определяют.

а) на звеньевом пути по формуле

$$\omega_0'' = 1,5 + 0,045v + 0,00027v^2 \quad (1.7)$$

или по табл. 1.7;

б) на бесстыковом пути по формуле

$$\omega_0'' = 1,5 + 0,042v + 0,00018v^2 \quad (1.8)$$

или по табл. 1.7.

Основное удельное сопротивление движению порожних четырех- и шестисосных вагонов на роликовых подшипниках ($q_0 \leq 6$ т) определяют.

а) на звеньевом пути по формуле

$$\omega_0'' = 1,0 + 0,044v + 0,00024v^2 \quad (1.9)$$

или по табл. 1.7;

б) на бесстыковом пути по формуле

$$\omega_0'' = 1,0 + 0,042v + 0,00016v^2 \quad (1.10)$$

или по табл. 1.7.

Из приведенных таблиц при необходимости можно получить значения ω_0'' для промежуточных значений v и q_0 , используя при этом метод интерполяции. Так, например, для грузовых четырехосных вагонов на подшипниках скольжения (см. табл. 1.1) при $q_0 = 17,5$ т и $v = 50$ км/ч значение $\omega_0'' = (1,83 + 1,77)/2 = 1,80$ кгс/т; для четырехосных вагонов на роликовых подшипниках (см. табл. 1.3) при $q_0 = 17,5$ т и $v = 55$ км/ч значение $\omega_0'' = (1,54 + 1,76 + 1,50 + 1,71)/4 = 1,63$ кгс/т; для порожних четырехосных вагонов на роликовых подшипниках на бесстыковом пути [см. табл. 1.7, формула (1.10)] при $v = 55$ км/ч значение $\omega_0'' = (3,50 + 4,10)/2 = 3,80$ кгс/т.

Для определения по таблицам значений ω_0'' при любых скоростях движения (не кратных 5) и массе, приходящейся на одну ось (не кратной 0,5), также используют интерполяцию, как это приведено ниже.

Т а б л и ц а 1.7. Значения ω_0'' (кгс/т),
подсчитанные по формулам (1.7) — (1.10)

Фор- мула	v, км/ч											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
(1.7)	1,98	2,51	3,09	3,73	4,43	5,17	5,97	6,83	7,74	8,70	9,72	10,79
(1.8)	1,94	2,41	2,92	3,47	4,05	4,67	5,32	6,01	6,74	7,50	8,30	9,13
(1.9)	1,46	1,98	2,54	3,14	3,80	4,50	5,26	6,06	6,90	7,80	8,74	9,74
(1.10)	1,44	1,90	2,40	2,94	3,50	4,10	4,72	5,38	6,08	6,80	7,56	8,34

Пример. Определить значение ω_0'' четырехосных вагонов на подшипниках скольжения на звеньевом пути при $q_0 = 21,0$ т и $v = 43$ км/ч.

Решение. По табл. 1.1 для $q_0 = 21,0$ т и $v = 40$ км/ч значение $\omega_0'' = 1,46$ кгс/т, а для $v = 50$ км/ч $\omega_0'' = 1,62$ кгс/т. При повышении скорости с 40 до 50 км/ч значение ω_0'' увеличилось на $1,62 - 1,46 = 0,16$ кгс/т, т. е. 0,016 на 1 км/ч или на $0,016 \cdot 3 = 0,048 \approx 0,05$ на 3 км/ч. Следовательно, при $v = 43$ км/ч значение

$$\omega_0'' = 1,46 + 0,05 = 1,51 \text{ кгс/т.}$$

Пример. Определить значение ω_0'' четырехосных вагонов на роликовых подшипниках на бесстыковом пути при $v = 70$ км/ч и $q_0 = 13,7$ т.

Решение. По табл. 1.4 для $v = 70$ км/ч и $q_0 = 13,0$ т находим $\omega_0'' = 2,17$ кгс/т, а для $q_0 = 14,0$ т $\omega_0'' = 2,06$ кгс/т. При повышении массы, приходящейся на ось, с 13 до 14 т значение ω_0'' уменьшилось на $2,17 - 2,06 = 0,11$ кгс/т. Повышение же q_0 на 0,7 т вызовет уменьшение ω_0'' на $0,11 \cdot 0,7 = 0,077 \approx 0,08$ кгс/т. Следовательно, при $v = 70$ км/ч и $q_0 = 13,7$ т значение $\omega_0'' = 2,17 + 0,08 = 2,25$ кгс/т.

Основное удельное сопротивление движению состава, состоящего из вагонов различных типов, определяют по формуле

$$\omega_0'' = \alpha_c \omega_{04c}'' + \alpha_p \omega_{04p}'' + \beta \omega_{06}'' + \gamma \omega_{08}'', \quad (1.11)$$

где $\alpha_c, \alpha_p, \beta, \gamma$ — соответственно доли четырехосных вагонов на подшипниках скольжения и роликовых подшипниках, шести- и восьмиосных вагонов в составе по массе $\alpha_c + \alpha_p + \beta + \gamma = 1$;

$\omega_{04c}'', \omega_{04p}'', \omega_{06}'', \omega_{08}''$ — основные удельные сопротивления движению соответственно четырехосных (на подшипниках скольжения и роликовых подшипниках), шести- и восьмиосных вагонов.

В смешанных составах среднюю массу вагонов, приходящуюся на одну ось, для каждого типа вагонов определяют отдельно по формулам:

$$q_{04c} = \frac{Q_{4c}}{n_{4c}}; \quad q_{04p} = \frac{Q_{4p}}{n_{4p}}; \quad (1.12)$$

$$q_{06} = \frac{Q_6}{n_6}; \quad q_{08} = \frac{Q_8}{n_8}, \quad (1.13)$$

где $q_{04c}, q_{04p}, q_{06}, q_{08}$ — средние значения массы, приходящейся на одну ось соответственно четырехосных (на подшипниках скольжения и роликовых подшипниках), шести- и восьмиосных вагонов (среднее значение массы смешанного состава, приходящейся на ось, $q_0 = q_{04c}\alpha_c + q_{04p}\alpha_p + q_{06}\beta + q_{08}\gamma$;

Q_{4c}, Q_{4p}, Q_6, Q_8 — массы части состава соответственно из четырехосных (на подшипниках скольжения и роликовых подшипниках), шести- и восьмиосных вагонов, т (общая масса состава $Q = Q_{4c} + Q_{4p} + Q_6 + Q_8$);

n_{4c}, n_{4p}, n_8, n_8 — общее количество осей в частях состава соответственно из четырехосных (на подшипниках скольжения и роликовых подшипниках), шести- и восьмиосных вагонов (общее количество осей смешанного состава $n = n_{4c} + n_{4p} + n_8 + n_8$).

Пример. Определить основное удельное сопротивление движению смешанного состава при скорости 70 км/ч при движении по звеньевому пути. Состав поезда состоит из 20 четырехосных вагонов на подшипниках скольжения с общей массой $Q_{4c} = 1280$ т, 25 четырехосных вагонов на роликовых подшипниках с общей массой $Q_{4p} = 1800$ т и 10 восьмиосных вагонов с общей массой $Q_8 = 1600$ т; общая масса состава $Q = 4680$ т.

Решение. Определим относительные по массе доли состава, состоящие из однотипных вагонов:

$$\alpha_c = 1280/4680 = 0,273, \quad \alpha_p = 1800/4680 = 0,385;$$

$$\gamma = 1600/4680 = 0,342.$$

Определим среднюю массу вагонов, приходящуюся на одну ось, для каждой части состава из однотипных вагонов:

$$q_{04c} = 1280/20 \cdot 4 = 16,0 \text{ т}; \quad q_{04p} = 1800/25 \cdot 4 = 18,0 \text{ т};$$

$$q_{08} = 1600/10 \cdot 8 = 20,0 \text{ т}.$$

По табл. 1.1 для четырехосных вагонов на подшипниках скольжения при $v = 70$ км/ч и $q_{04c} = 16$ т находим $\omega''_{04c} = 2,39$ кгс/т. По табл. 1.3 для четырехосных вагонов на роликовых подшипниках при $v = 70$ км/ч и $q_{04p} = 18$ т находим $\omega''_{04p} = 1,94$ кгс/т; по табл. 1.5 для восьмиосных вагонов на звеньевом пути при $v = 70$ км/ч и $q_{08} = 20$ т находим $\omega''_{08} = 1,65$ кгс/т. Теперь по формуле (1.11) можно найти основное удельное сопротивление движению всего смешанного состава:

$$\omega''_0 = 0,273 \cdot 2,39 + 0,385 \cdot 1,94 + 0,342 \cdot 1,65 = 1,96 \text{ кгс/т}.$$

Пассажирские вагоны. Основное удельное сопротивление движению цельнометаллических вагонов на роликовых подшипниках (для скоростей движения до 160 км/ч) определяют:

а) на звеньевом пути по формуле

$$\omega''_0 = 0,7 + \frac{8 + 0,18v + 0,003v^2}{q_0} \quad (1.14)$$

или по табл. 1.8;

б) на бесстыковом пути по формуле

$$\omega''_0 = 0,7 + \frac{8 + 0,16v + 0,0023v^2}{q_0} \quad (1.15)$$

или по табл. 1.9.

Локомотивы. Основное удельное сопротивление движению электровозов и тепловозов в режиме тяги ω'_0 и на холостом ходу ω_x определяют

а) на звеньевом пути по формулам:

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2; \quad (1.16)$$

$$\omega_x = 2,4 + 0,011v + 0,00035v^2 \quad (1.17)$$

или по табл. 1.10;

**Т а б л и ц а 1.8. Значения ω_0'' (кгс/т),
подсчитанные по формуле (1.12)**

v, км/ч	q ₀ , т								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
20	1,98	1,87	1,77	1,69	1,62	1,55	1,51	1,45	1,41
30	2,31	2,17	2,05	1,93	1,85	1,77	1,71	1,65	1,59
40	2,70	2,52	2,37	2,24	2,12	2,03	1,95	1,87	1,81
50	3,15	2,93	2,74	2,59	2,45	2,33	2,23	2,14	2,06
60	3,66	3,39	3,17	2,98	2,81	2,67	2,56	2,45	2,34
70	4,23	3,92	3,64	3,42	3,22	3,05	2,91	2,77	2,66
80	4,86	4,49	4,17	3,91	3,67	3,47	3,30	3,15	3,01
90	5,55	5,11	4,74	4,42	4,17	3,93	3,72	3,55	3,39
100	6,30	5,80	5,37	5,00	4,70	4,43	4,21	4,00	3,81
110	7,11	6,53	6,03	5,64	5,27	4,97	4,71	4,47	4,26
120	7,98	7,32	6,77	6,31	5,90	5,55	5,25	4,98	4,74
130	8,91	8,16	7,55	7,00	6,56	6,17	5,83	5,53	5,26
140	9,90	9,07	8,37	7,78	7,27	6,83	6,45	6,11	5,82
150	10,95	10,03	9,24	8,59	8,02	7,53	7,11	6,74	6,39
160	12,06	11,04	10,17	9,44	8,81	8,26	7,80	7,39	7,00

б) на бесстыковом пути по формулам:

$$\omega_0' = 1,9 + 0,008v + 0,00025v^2; \quad (1.18)$$

$$\omega_x = 2,4 + 0,009v + 0,00035v^2 \quad (1.19)$$

или по табл. 1.10.

**Т а б л и ц а 1.9. Значения ω_0'' (кгс/т),
подсчитанные по формуле (1.13)**

v, км/ч	q ₀ , т								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
20	1,91	1,80	1,71	1,63	1,57	1,51	1,46	1,41	1,37
30	2,19	2,05	1,94	1,84	1,76	1,69	1,63	1,57	1,53
40	2,51	2,34	2,21	2,09	1,99	1,91	1,83	1,76	1,70
50	2,88	2,68	2,51	2,37	2,25	2,15	2,06	1,98	1,91
60	3,29	3,05	2,86	2,69	2,55	2,43	2,32	2,22	2,14
70	3,75	3,47	3,24	3,04	2,88	2,73	2,60	2,49	2,39
80	4,25	3,93	3,66	3,43	3,24	3,07	2,92	2,79	2,67
90	4,80	4,43	4,12	3,86	3,63	3,44	3,26	3,11	2,98
100	5,40	4,97	4,62	4,32	4,06	3,83	3,64	3,46	3,31
110	6,04	5,56	5,15	4,81	4,52	4,26	4,04	3,84	3,67
120	6,73	6,18	5,73	5,34	5,01	4,72	4,47	4,25	4,05
130	7,47	6,85	6,34	5,91	5,53	5,21	4,93	4,68	4,46
140	8,25	7,56	6,99	6,51	6,09	5,73	5,42	5,14	4,89
150	9,08	8,31	7,68	7,14	6,68	6,28	5,93	5,63	5,35
160	9,95	9,11	8,41	7,81	7,31	6,87	6,48	6,14	5,84

Таблица 1.10. Значения w'_0 и w_x (кгс/т),
подсчитанные по формулам (1.14) — (1.17)

v, км/ч	Звеньевой путь		Бесстыковой путь		v, км/ч	Звеньевой путь		Бесстыковой путь	
	w'_0	w_x	w'_0	w_x		w'_0	w_x	w'_0	w_x
10	2,03	2,54	2,00	2,52	90	5,23	6,23	4,64	6,05
20	2,22	2,76	2,16	2,72	100	5,90	7,00	5,20	6,80
30	2,47	3,05	2,30	2,98	110	6,63	7,85	5,81	7,64
40	2,78	3,40	2,62	3,32	120	7,42	8,76	6,46	8,53
50	3,15	3,83	2,92	3,73	130	8,27	9,75	7,17	9,48
60	3,58	4,32	3,28	4,20	140	9,18	10,80	7,92	10,51
70	4,07	4,89	3,68	4,75	150	10,15	11,93	8,73	11,61
80	4,62	5,52	4,14	5,36	160	11,18	13,12	9,58	12,80

Электропоезда и дизель-поезда. Основное удельное сопротивление движению электропоездов ЭР1, ЭР2 и ЭР9 в режиме тяги w'_0 и на холостом ходу w_x определяют:

а) на звеньевом пути по формулам:

$$w'_0 = 1,1 + 0,012v + 0,000267v^2; \quad (1.20)$$

$$w_x = 1,24 + 0,020v + 0,000267v^2 \quad (1.21)$$

или по табл. 1.11;

Таблица 1.11. Значения w'_0 и w_x (кгс/т),
подсчитанные по формулам (1.20) — (1.35)

Формула	v, км/ч												
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
(1.20)	1,25	1,45	1,70	2,01	2,37	2,78	3,25	3,77	4,34	4,97	5,65	6,38	7,17
(1.21)	1,47	1,75	2,08	2,47	2,91	3,40	3,95	4,55	5,20	5,91	6,67	7,48	8,35
(1.24)	1,24	1,44	1,68	1,97	2,32	2,71	3,15	3,64	4,18	4,77	5,41	6,10	6,83
(1.25)	1,42	1,68	1,98	2,34	2,74	3,19	3,69	4,24	4,84	5,49	6,19	6,94	7,73
(1.28)	2,30	2,32	2,44	2,64	2,93	3,30	3,76	4,30	—	—	—	—	—
(1.29)	2,58	2,57	2,67	2,87	3,18	3,59	4,11	4,73	—	—	—	—	—
(1.32)	0,91	1,23	1,57	1,93	2,30	2,69	3,09	3,51	3,95	4,40	4,87	5,35	5,85
(1.33)	1,32	1,59	1,91	2,27	2,68	3,13	3,63	4,17	4,76	5,40	6,08	6,81	7,59
(1.22)	1,22	1,39	1,60	1,86	2,17	2,52	2,91	3,35	3,84	4,37	4,95	5,57	6,24
(1.23)	1,44	1,69	1,98	2,32	2,71	3,14	3,61	4,13	4,70	5,31	5,97	6,67	7,42
(1.26)	1,22	1,38	1,59	1,83	2,12	2,45	2,81	3,22	3,68	4,17	4,70	5,28	5,9
(1.27)	1,40	1,62	1,95	2,19	2,54	2,93	3,35	3,82	4,34	4,89	5,48	6,12	6,80
(1.30)	2,29	2,30	2,38	2,54	2,78	3,08	3,46	3,92	—	—	—	—	—
(1.31)	2,58	2,55	2,61	2,77	3,03	3,37	3,81	4,35	—	—	—	—	—
(1.34)	0,87	1,16	1,46	1,76	2,08	2,40	2,74	3,08	3,44	3,80	4,18	4,56	4,96
(1.35)	1,29	1,52	1,79	2,10	2,45	2,84	3,27	3,74	4,25	4,80	5,39	6,02	6,69

б) на бесстыковом пути по формулам:

$$w'_0 = 1,1 + 0,01v + 0,000227v^2; \quad (1.22)$$

$$w_x = 1,24 + 0,018v + 0,000227v^2 \quad (1.23)$$

или по табл. 11.1.

Основное удельное сопротивление движению электропоездов ЭР22 в режиме тяги w'_0 и на холостом ходу w_x определяют:

а) на звеньевом пути по формулам:

$$w'_0 = 1,1 + 0,012v + 0,000247v^2; \quad (1.24)$$

$$w_x = 1,22 + 0,018v + 0,000247v^2 \quad (1.25)$$

или по табл. 1.11;

б) на бесстыковом пути по формулам:

$$w'_0 = 1,1 + 0,01v + 0,000207v^2; \quad (1.26)$$

$$w_x = 1,22 + 0,016v + 0,000207v^2 \quad (1.27)$$

или по табл. 1.11.

Основное удельное сопротивление движению электропоездов СР₃ в режиме тяги w'_0 и на холостом ходу w_x определяют:

а) на звеньевом пути по формулам:

$$w'_0 = 2,35 - 0,01v + 0,00043v^2; \quad (1.28)$$

$$w_x = 2,7 - 0,017v + 0,00053v^2 \quad (1.29)$$

или по табл. 1.11;

б) на бесстыковом пути по формулам:

$$w'_0 = 2,35 - 0,01v + 0,00037v^2; \quad (1.30)$$

$$w_x = 2,7 - 0,017v + 0,00047v^2 \quad (1.31)$$

или по табл. 1.11.

Основное удельное сопротивление движению электропоездов других серий в режиме тяги w'_0 и на холостом ходу w_x определяют:

а) на звеньевом пути по формулам:

$$w'_0 = 0,6 + 0,03v + 0,00008v^2; \quad (1.32)$$

$$w_x = 1,1 + 0,02v + 0,00023v^2 \quad (1.33)$$

или по табл. 1.11;

б) на бесстыковом пути по формулам:

$$w'_0 = 0,6 + 0,027v + 0,00005v^2; \quad (1.34)$$

$$w_x = 1,1 + 0,017v + 0,0002v^2 \quad (1.35)$$

или по табл. 1.11.

Основное удельное сопротивление движению дизель-поездов ДР1, Д1 и Д в режиме тяги w'_0 и на холостом ходу w_x определяют:

а) на звеньевом пути по формулам:

$$w'_0 = 1,1 + 0,012v + \left(0,000217 + \frac{0,000461}{m_{\text{дп}}} \right) v^2 \quad (1.36)$$

где $m_{\text{дп}}$ — общее число вагонов в дизель-поезде;

$$w_x = w'_0 + w_a. \quad (1.37)$$

Т а б л и ц а 1.12. Значения ψ'_0 и ψ_x (кгс/т) для звеньев пути, подсчитанные по формулам (1.36) — (1.38)

Поезд серий	Составность ¹	Значение	v, км/ч											
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
ДР1, Д1	М+2П+М	w'_0	1,25	1,47	1,76	2,11	2,53	3,02	3,57	4,19	4,87	5,62	6,44	7,32
		w_x	1,56	1,85	2,21	2,63	3,12	3,68	4,30	4,99	5,79	6,56	7,45	8,40
	М+4П+М	w'_0	1,25	1,46	1,72	2,05	2,43	2,88	3,38	3,94	4,56	5,24	5,98	6,77
		w_x	1,45	1,71	2,02	2,39	2,82	3,32	3,86	4,47	5,14	5,86	6,65	7,49
Д	М+П+М	w'_0	1,26	1,49	1,79	2,17	2,63	3,16	3,76	4,43	5,19	6,01	7,03	8,00
		w_x	1,67	1,99	2,38	2,85	3,41	4,03	4,72	5,49	6,34	7,25	8,37	9,43

¹ М, П — соответственно моторный и прицепной вагоны.

¹ М, П — соответственно моторный и прицепной вагоны.

Т а б л и ц а 1.13. Значения ψ'_0 и ψ_x (кгс/т) для бесстыкового пути, подсчитанные по формулам (1.37), (1.38), (1.39)

Поезд серий	Составность ¹	Значение	v, км/ч											
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
ДР1, Д1	М+2П+М	w'_0	1,23	1,41	1,65	1,95	2,31	2,72	3,18	3,71	4,29	4,92	5,62	6,36
		w_x	1,54	1,79	2,10	2,47	2,90	3,38	3,91	4,51	5,21	5,86	6,69	7,44
	М+4П+М	w'_0	1,22	1,40	1,62	1,89	2,21	2,58	2,99	3,46	3,98	4,54	5,15	5,81
		w_x	1,42	1,65	1,92	2,23	2,60	3,02	3,47	3,99	4,56	5,16	5,82	6,53
Д	М+П+М	w'_0	1,23	1,43	1,69	2,01	2,40	2,86	3,37	3,95	4,60	5,31	6,08	6,92
		w_x	1,64	1,93	2,28	2,69	3,18	3,73	4,33	5,01	5,75	6,55	7,42	8,35

¹ М, П — соответственно моторный и прицепной вагоны.

¹ М, П — соответственно моторный и прицепной вагоны.

Удельное сопротивление движению от трения в силовой трансмиссии w_3 определяется по формуле

$$w_3 = (0,47 + 0,014v) \frac{m_m^*}{m_{дп}}, \quad (1.38)$$

где m_m — число моторных вагонов в дизель-поезде;
б) на бесстыковом пути по формуле

$$w'_0 = 1,1 + 0,01v + \left(0,000167 + \frac{0,000461}{m_{дп}} \right) v^2; \quad (1.39)$$

w_x определяют по формулам (1.37), (1.38).

Значения w'_0 и w_x дизель-поездов, подсчитанные по указанным формулам применительно к четырех- и шестивагонным дизель-поездам ДР1, Д1 и трехвагонному дизель-поезду Д на звеньевом и бесстыковом пути, приведены соответственно в табл. 1.12 и 1.13.

1.2. Дополнительное удельное сопротивление движению

Сопротивление от уклона пути. Дополнительное удельное сопротивление движению (кгс/т) от уклона (подъема или спуска) для всех видов подвижного состава численно принимают равным значению промилле (‰) подъема (со знаком плюс) или спуска (со знаком минус) действительного или спрямленного участка пути, т. е.

$$w_i \text{ [кгс/т]} = \pm i \text{ [‰]}. \quad (1.40)$$

Сопротивление от кривизны пути¹. Дополнительное удельное сопротивление движению от кривой на эксплуатируемых железных дорогах для всех видов подвижного состава определяют по формулам:

а) при длине поезда менее или равной длине кривой

$$w_r = \frac{700}{R} \quad (1.41)$$

или

$$w_r = 12,2 \frac{\alpha^\circ}{s_{кр}}, \quad (1.42)$$

где α° — центральный угол кривой, град;

б) при длине поезда $l_{п}$ более длины кривой $s_{кр}$

$$w_r = \frac{700}{R} \frac{s_{кр}}{l_{п}} \quad (1.43)$$

или

$$w_r = 12,2 \frac{\alpha^\circ}{l_{п}}. \quad (1.44)$$

* В ПТР опечатка (должно быть 0,014).

¹ Сохранен в изложении П. Н. Астахова (см. Справочник по тяговым расчетам. М.: Транспорт, 1973. 256 с.).

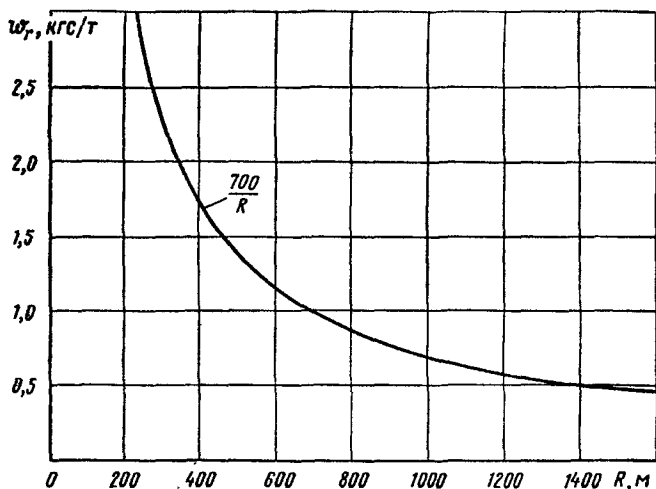


Рис. 1.1. Дополнительное удельное сопротивление движению от кривизны пути по формуле (1.41)

Значения дополнительного удельного сопротивления движению от кривизны пути, подсчитанные по формулам (1.41) и (1.42), приведены на рис. 1.1 и 1.2.

Дополнительное удельное сопротивление движению от кривой при расчетах, требующих повышенной точности, а также при проектировании железных дорог для всех видов подвижного состава разрешается определять по формулам:

а) при длине поезда менее или равной длине кривой

$$w_r = \frac{200}{R} + 1,5\tau_k \quad (1.45)$$

или

$$w_r = 3,5 \frac{\alpha^\circ}{s_{кр}} + 1,5\tau_k; \quad (1.46)$$

б) при длине поезда более длины кривой

$$w_r = \left(\frac{200}{R} + 1,5\tau_k \right) \frac{s_{кр}}{l_{п}} \quad (1.47)$$

или

$$w_r = \left(3,5 \frac{\alpha^\circ}{s_{кр}} + 1,5\tau_k \right) \frac{s_{кр}}{l_{п}}, \quad (1.48)$$

где τ_k — непогашенное ускорение в кривой, м/с^2 .

Значение τ_k задается как норматив или определяется по формуле

$$\tau_k = \frac{v^2}{13R} - \frac{h}{s_k} g, \quad (1.49)$$

где h — возвышение наружного рельса, мм;

s_k — расстояние между кругами катания колес подвижного состава, мм (для колеи 1520 мм $s_k = 1600$ мм);

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.

Формула (1.45) представлена графически на рис. 1.3 при различных значениях τ_k и R . Там же для сравнения штриховыми линиями нанесены значения w_r по упрощенной формуле (1.41) при $R = 300$ м (верхняя линия) и $R = 1200$ м (нижняя линия). Сравнение показывает, что при малых радиусах кривой формула (1.41) дает преимущественно завышенные значения w_r , а при больших радиусах — заниженные значения w_r .

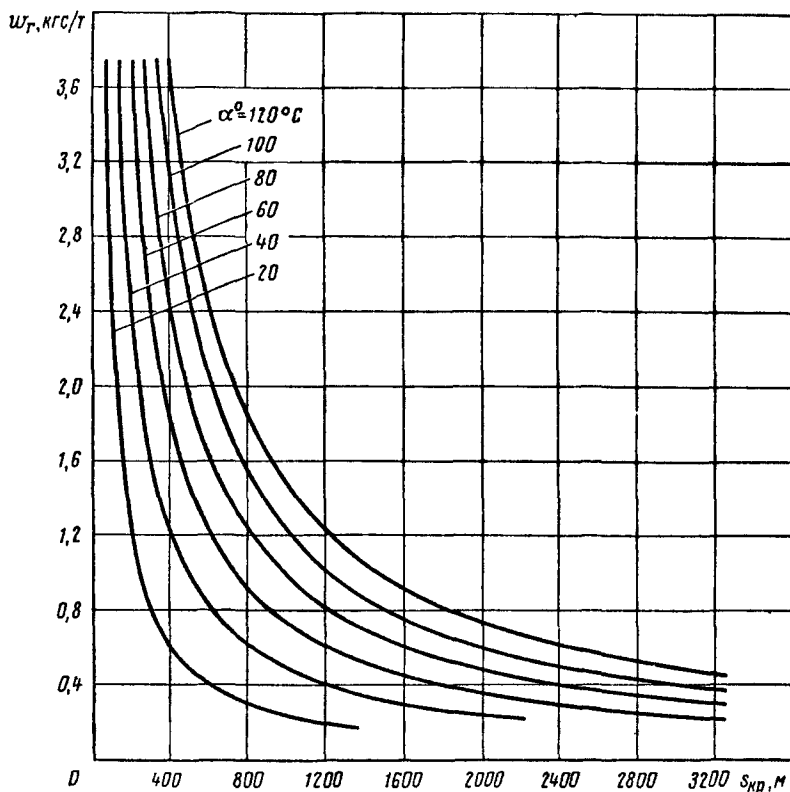


Рис. 1.2. Дополнительное удельное сопротивление движению от кривизны пути по формуле (1.42)

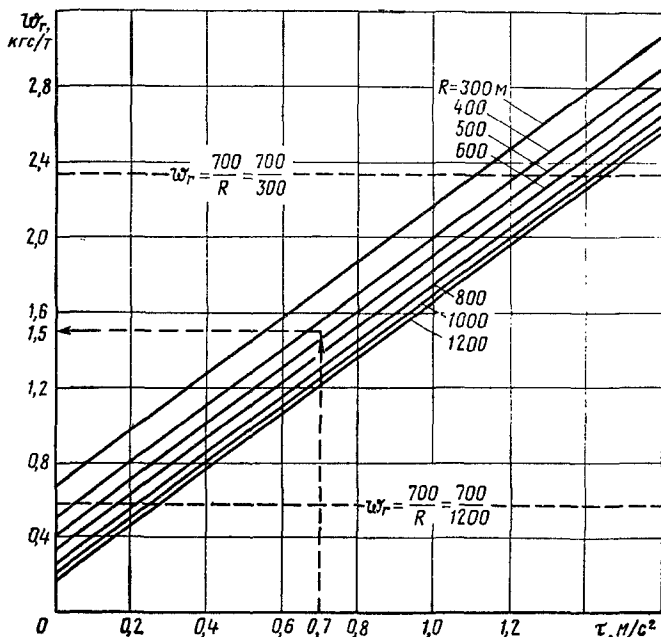


Рис. 1.3. Дополнительное удельное сопротивление движению от кривизны пути по формуле (1.45)

В тех случаях, когда τ_k не задается в виде норматива, а определяется по формуле (1.49), расчетная формула (1.45) приобретает вид.

$$w_r = \frac{200}{R} + 1,5 \left| \frac{v^2}{13R} - \frac{h}{s_k} g \right| = \frac{200}{R} + 1,5 \left| \frac{v^2}{13R} - 0,0061h \right|. \quad (1.50)$$

Значения w_r , подсчитанные по формуле (1.50) при $s_k = 1600$ мм и возвышениях наружного рельса $h = 20, 40, 60, 80$ и 100 мм, в графической форме представлены на рис. 1.4, которые позволяют для заданных R , v и h быстро и с достаточной точностью определить дополнительное удельное сопротивление движению от кривизны пути.

Пример. Определить дополнительное удельное сопротивление движению от кривой $R = 450$ м при условии, что значение непогашенного ускорения $\tau_k = 0,7$ м/с².

Решение. По формуле (1.45) подсчитываем

$$w_r = \frac{200}{R} + 1,5\tau_k = \frac{200}{450} + 1,5 \cdot 0,7 = 0,44 + 1,05 = 1,49 \text{ кгс/т.}$$

Эту задачу можно решить с помощью номограммы (см. рис. 1.3). Для этого восстанавливаем перпендикуляр от точки $\tau_k = 0,7$, расположенной на горизонтальной оси (между цифрами 0,6 и 0,8), до пересечения с наклонной линией, соответствующей $R = 450$. Получаем значение $w_r = 1,5$ кгс/т, т. е. примерно то, что было определено выше аналитически.

Пример. Определить дополнительное удельное сопротивление от кривой $R = 550$ м с возвышением наружного рельса $h = 40$ мм, при скоростях движения 20, 40 и 60 км/ч.

Решение. Подставляя соответствующие данные в формулу (1.50), будем иметь:

$$\begin{aligned} & \text{для } v = 20 \text{ км/ч} \\ w_r &= \frac{200}{550} + 1,5 \left| \frac{20^2}{13 \cdot 550} - 0,0061 \cdot 40 \right| = 0,364 + \\ & + 1,5 | 0,056 - 0,244 | = 0,364 + 1,5 \cdot 0,118 = 0,65 \text{ кгс/т;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{для } v = 40 \text{ км/ч} \\ w_r &= 0,364 + 1,5 \left| \frac{40^2}{13 \cdot 550} - 0,0061 \cdot 40 \right| = 0,364 + \\ & + 1,5 | 0,224 - 0,244 | = 0,364 + 1,5 \cdot 0,02 = 0,39 \text{ кгс/т;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{для } v = 60 \text{ км/ч} \\ w_r &= 0,364 + 1,5 \left| \frac{60^2}{13 \cdot 550} - 0,0061 \cdot 40 \right| = 0,364 + \\ & + 1,5 | 0,503 - 0,244 | = 0,364 + 1,5 \cdot 0,259 = 0,75 \text{ кгс/т.} \end{aligned}$$

Этот пример можно также решить, используя номограммы, представленные на рис. 1.4.

Сопротивление от S-образных кривых рассмотрено в [8].

Сопротивление от подвагонных генераторов¹. Значительное количество современных пассажирских вагонов имеют генераторы электрической энергии с приводом от оси колесной пары. Работа этих генераторов вызывает дополнительное сопротивление движению вагонов, значение которого определяется мощностью установленного электрического оборудования и его нагрузкой². Значение дополнительного удельного сопротивления движению от подвагонных генераторов определяют по формуле

$$w_{пг} = \frac{136P'}{q_0 v}, \quad (1.51)$$

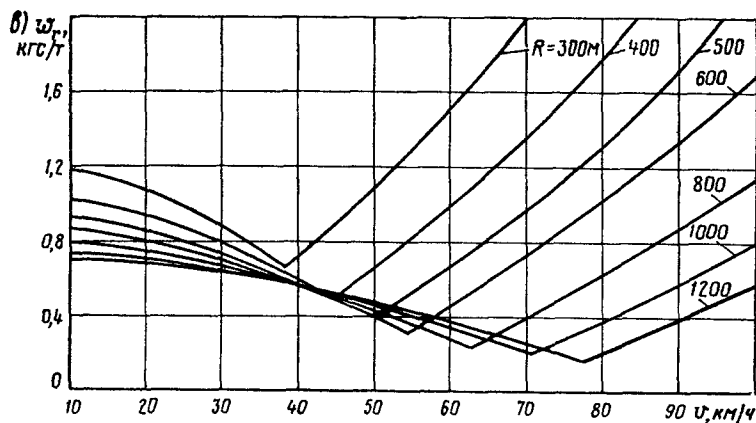
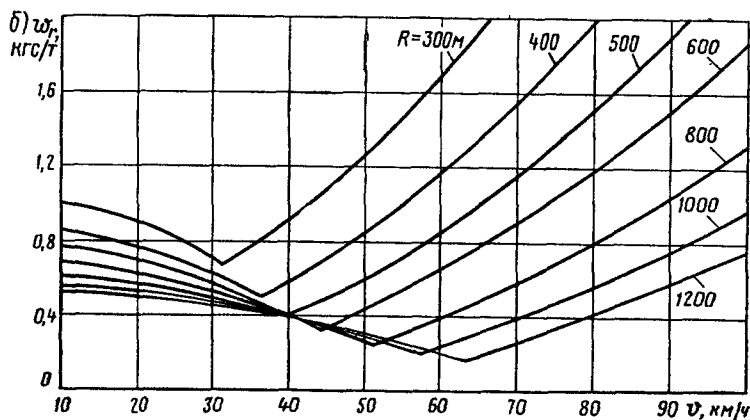
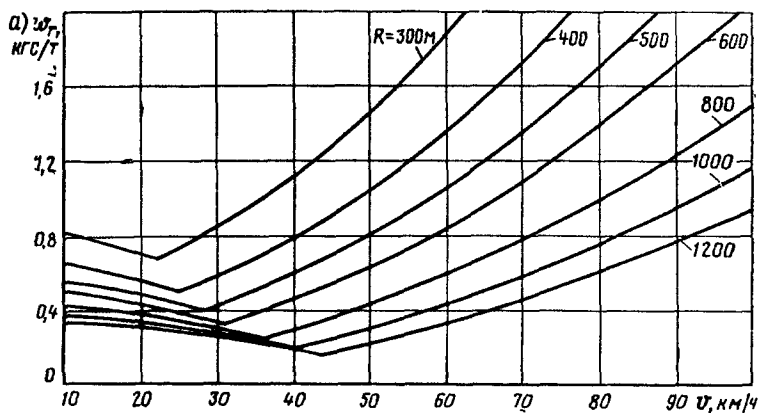
где P' — средняя условная мощность подвагонного генератора, приходящаяся на один вагон поезда, кВт.

Значение P' определяют из выражения

$$P' = \frac{P_{пг} n_{бк} + (P_{пг} + P_{гк}) n_{кв}}{m_n}, \quad (1.52)$$

¹ Сохранен в изложении П. Н. Астахова.

² Централизованное энергоснабжение пассажирских вагонов не создает дополнительного сопротивления движению.



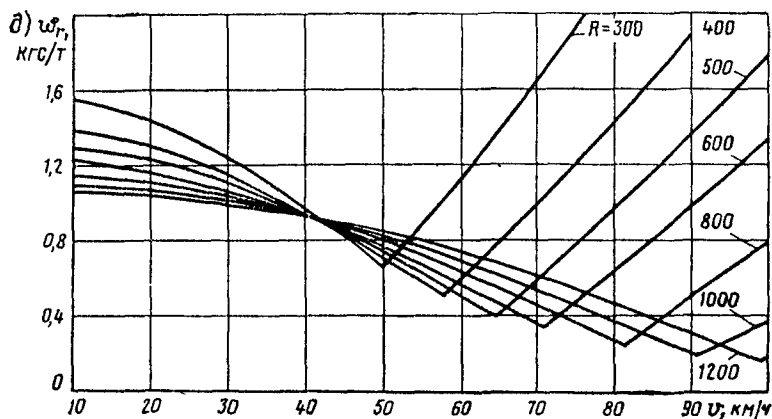
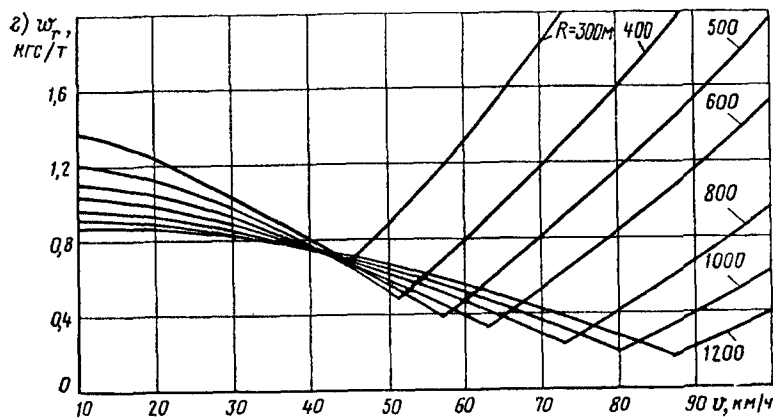


Рис. 1.4. Зависимость дополнительного удельного сопротивления движению от кривизны пути и скорости при различных кривых и возвышениях наружного рельса:

$a - h=20$ мм; $b - h=40$ мм; $в - h=60$ мм; $г - h=80$ мм; $д - h=100$ мм

где $P_{\text{пг}}$ — фактическая мощность подвагонного генератора, расходуемая на служебные нужды вагона (кроме кондиционирования воздуха), кВт (для среднесетевых условий $P_{\text{пг}} = 2$ кВт);

$n_{\text{БК}}$ — число вагонов с частичным¹ кондиционированием воздуха, но имеющих подвагонные генераторы;

$P_{\text{гк}}$ — фактическая мощность подвагонного генератора, расходуемая на кондиционирование воздуха (средняя за время работы кондиционера), кВт ($P_{\text{гк}} = 9$ кВт);

$n_{\text{КВ}}$ — число вагонов с полным кондиционированием воздуха;

m_n — общее число вагонов в поезде.

Дополнительное удельное сопротивление движению от подвагонных генераторов учитывают при скоростях движения поезда $v \geq 20$ км/ч.

Пример. Определить значение P' для пассажирского поезда, состоящего из 20 вагонов, в том числе 10 вагонов с установками для

¹ Полное кондиционирование — имеется охладитель воздуха; частичное кондиционирование — имеется только вентилятор.

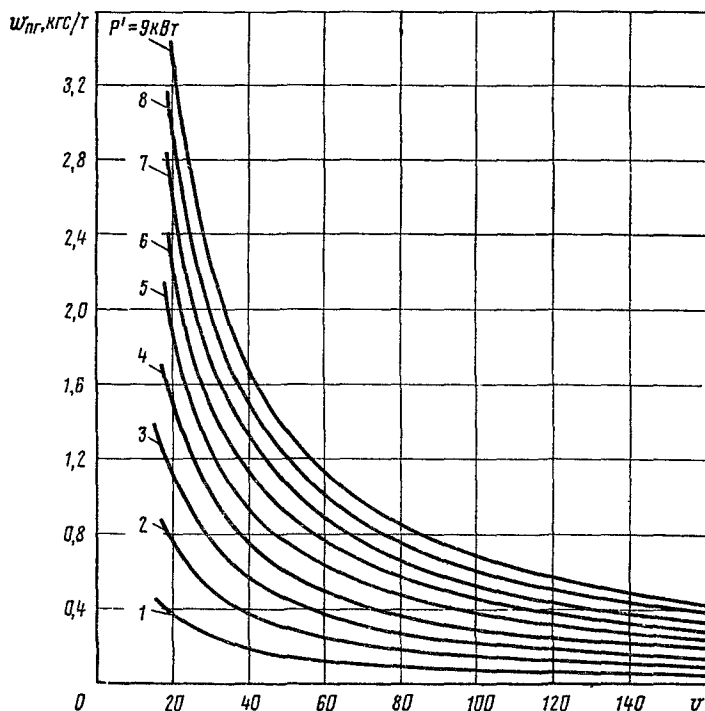


Рис. 1.5. Дополнительное удельное сопротивление движению от подвагонных генераторов при средней массе, приходящейся на ось, $q_0 = 18$ т и разных значениях средней условной мощности использования генераторов P' , кВт

**Т а б л и ц а 1.14. Коэффициент $K_{нт}$,
учитывающий низкую температуру наружного воздуха**

v , км/ч	Грузовые вагоны при $t_{нв}$, °C						Пассажирские вагоны при $t_{нв}$, °C					
	-30	-35	-40	-45	-50	-60	-30	-35	-40	-45	-50	-60
20	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
40	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04
60	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,09	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,07
80	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09
100	1,09	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11
120	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11	1,12
140	—	—	—	—	—	—	1,07	1,08	1,09	1,11	1,12	1,13
160	—	—	—	—	—	—	1,07	1,09	1,10	1,12	1,13	1,15

кондиционирования воздуха, 7 вагонов с подвагонными генераторами, не имеющих установок для кондиционирования воздуха, и 3 вагона без подвагонных генераторов.

Р е ш е н и е. Среднюю условную мощность подвагонного генератора, приходящуюся на один вагон поезда, определяют по формуле (1.52):

$$P' = [2.7 + (2 + 9) 10] / 20 = 6,2 \text{ кВт.}$$

Значения $\omega_{пт}$, подсчитанные по формуле (1.51), приведены на рис. 1.5 в зависимости от скорости движения при различных значениях P' для поезда с массой, приходящейся на одну ось, $q_0 = 18 \text{ т}$.

Соппротивление от низкой температуры наружного воздуха¹. Влияние низких температур наружного воздуха, вызванное увеличением трения осевых шеек в подшипниках при загустении смазки в буксах, ликвидируют применением сезонных осевых смазок. Другое же следствие низких температур — повышение плотности воздуха и соответствующее увеличение воздушного сопротивления подвижного состава — необходимо учитывать при нормировании поездной работы.

Количественная оценка влияния температуры наружного воздуха на значение сопротивления движению достаточно строго определена аналитически в работе [7]. В соответствии с этим ПТР дают усредненные нормативы повышения сопротивления движению грузовых и пассажирских поездов при температуре наружного воздуха ниже -25°C .

Это повышение учитывают коэффициентом $K_{нт}$ (табл. 1.14) в зависимости от скорости движения поезда. Для определения удельного сопротивления движению локомотивов или вагонов при низких температурах наружного воздуха необходимо значения ω'_0 и ω''_0 , полученные по формулам (1.1)–(1.39), умножить на коэффициент $K_{нт}$.

Соппротивление от ветра. Дополнительное удельное сопротивление движению, вызванное действием встречного или бокового ветра, учитывают коэффициентом K_v в зависимости от скорости движения

¹ Частично сохранен в изложении П.Н. Астахова.

**Т а б л и ц а 1.15. Коэффициент K_v ,
учитывающий встречный и боковой ветер**

$v_v, \text{ м/с}$	Скорость поезда v , км/ч								
	10	20	40	60	80	100	120	140	160
6	1,12	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03
8	1,19	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06
10	1,31	1,28	1,24	1,20	1,16	1,14	1,12	1,10	1,09
12	1,42	1,39	1,32	1,27	1,23	1,19	1,15	1,14	1,12

поезда (табл. 1.15). Правила тяговых расчетов устанавливают порядок, согласно которому для графика движения поездов это дополнительное сопротивление должно учитываться при скоростях ветра v_v до 12 м/с.

Пример. Определить основное удельное сопротивление движению четырехосных грузовых вагонов на роликовых подшипниках, имеющих нагрузку на ось $q_0 = 18$ т, при скорости $v = 60$ км/ч, движении по звеньевому пути и скорости встречного ветра $v_v = 12$ м/с.

Р е ш е н и е. По табл. 1.3 при $v = 60$ км/ч и $q_0 = 18$ т находим $\omega_0'' = 1,71$ кгс/т.

Коэффициент, учитывающий ветер, определяем по табл. 1.15, где при $v_v = 12$ м/с и $v = 60$ км/ч $K_v = 1,27$. Следовательно, основное удельное сопротивление движению при указанных в примере условиях

$\omega_{ов}'' = K_v \omega_0'' = 1,27 \cdot 1,71 = 2,17$ кгс/т.

При скоростях ветра, превышающих 12 м/с, дополнительное сопротивление от его действия учитывают на период возникновения

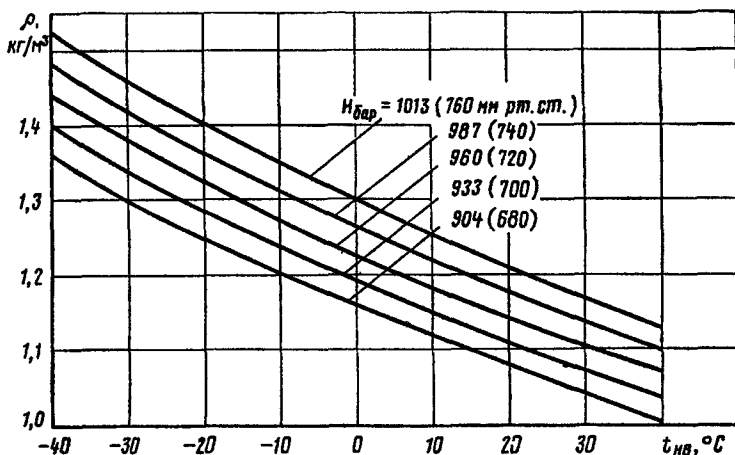


Рис. 1.6. Плотность наружного воздуха в зависимости от его температуры при различном атмосферном давлении

v_B , м/с	v , км/ч											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
14	1,40	1,36	1,32	1,27	1,24	1,21	1,17	1,14	1,11	1,07	1,05	1,03
16	1,50	1,46	1,40	1,35	1,31	1,26	1,23	1,19	1,16	1,12	1,10	1,06
18	1,63	1,57	1,51	1,46	1,40	1,35	1,30	1,25	1,22	1,17	1,14	1,10
20	1,79	1,71	1,64	1,58	1,51	1,44	1,38	1,33	1,28	1,22	1,18	1,14
22	1,98	1,88	1,80	1,72	1,63	1,55	1,48	1,41	1,34	1,28	1,23	1,18
24	2,16	2,04	1,94	1,85	1,75	1,66	1,58	1,50	1,43	1,35	1,28	1,22
26	2,36	2,22	2,10	1,98	1,87	1,77	1,67	1,58	1,49	1,41	1,34	1,27
28	2,55	2,39	2,25	2,11	1,99	1,89	1,77	1,67	1,57	1,47	1,40	1,32
30	2,78	2,61	2,45	2,30	2,16	2,02	1,88	1,75	1,65	1,55	1,45	1,36

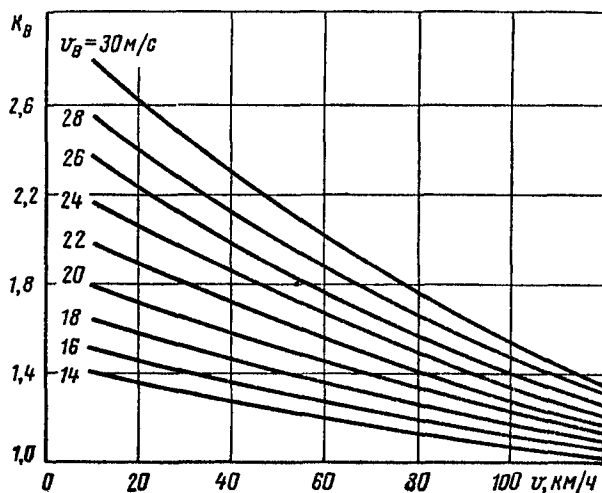


Рис. 1.7. Коэффициент K_B , учитывающий увеличение основного удельного сопротивления движению от ветра при плотности воздуха $\rho = 1,0 \text{ кг/м}^3$

$v_B, \text{ м/с}$	$v, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
14	1,44	1,40	1,36	1,32	1,28	1,25	1,21	1,18	1,15	1,12	1,10	1,08
16	1,55	1,50	1,45	1,40	1,36	1,32	1,28	1,24	1,20	1,17	1,14	1,12
18	1,68	1,62	1,56	1,51	1,45	1,40	1,35	1,30	1,26	1,22	1,18	1,16
20	1,87	1,78	1,72	1,65	1,57	1,51	1,45	1,39	1,33	1,28	1,24	1,20
22	2,06	1,96	1,88	1,80	1,71	1,63	1,55	1,48	1,42	1,35	1,30	1,24
24	2,27	2,15	2,05	1,95	1,84	1,74	1,66	1,58	1,50	1,42	1,35	1,29
26	2,48	2,34	2,21	2,09	1,97	1,86	1,76	1,67	1,59	1,50	1,42	1,34
28	2,68	2,53	2,39	2,26	2,13	2,00	1,88	1,77	1,67	1,57	1,48	1,40
30	2,95	2,77	2,60	2,45	2,29	2,15	2,00	1,87	1,75	1,64	1,53	1,45

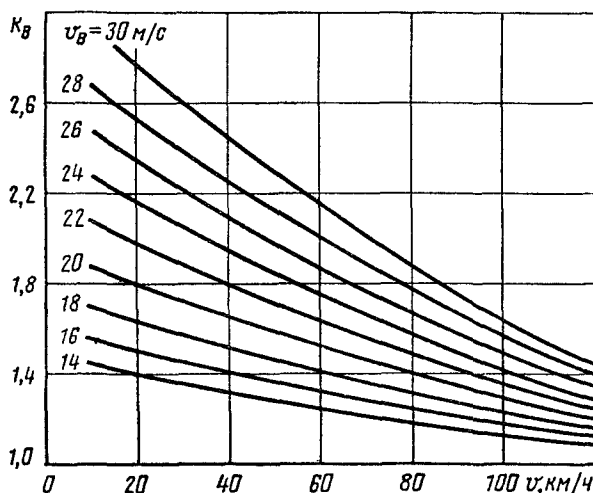


Рис 18 Коэффициент K_B , учитывающий увеличение основного удельного сопротивления движению от ветра при плотности воздуха $\rho = 1,1 \text{ кг/м}^3$

U_B , м/с	U , км/ч											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
14	1,51	1,45	1,40	1,36	1,32	1,29	1,26	1,24	1,20	1,17	1,16	1,14
16	1,62	1,55	1,50	1,45	1,40	1,37	1,33	1,29	1,25	1,23	1,20	1,18
18	1,75	1,68	1,62	1,57	1,51	1,46	1,41	1,37	1,33	1,28	1,25	1,22
20	1,94	1,85	1,78	1,71	1,64	1,57	1,51	1,46	1,40	1,34	1,30	1,26
22	2,16	2,05	1,96	1,88	1,79	1,70	1,63	1,56	1,50	1,42	1,37	1,31
24	2,38	2,25	2,14	2,04	1,93	1,83	1,74	1,66	1,57	1,50	1,43	1,37
26	2,60	2,46	2,32	2,20	2,08	1,97	1,87	1,77	1,67	1,58	1,50	1,43
28	2,81	2,67	2,51	2,37	2,24	2,12	2,00	1,88	1,76	1,65	1,56	1,48
30	3,10	2,92	2,75	2,60	2,43	2,28	2,13	1,98	1,87	1,75	1,63	1,55

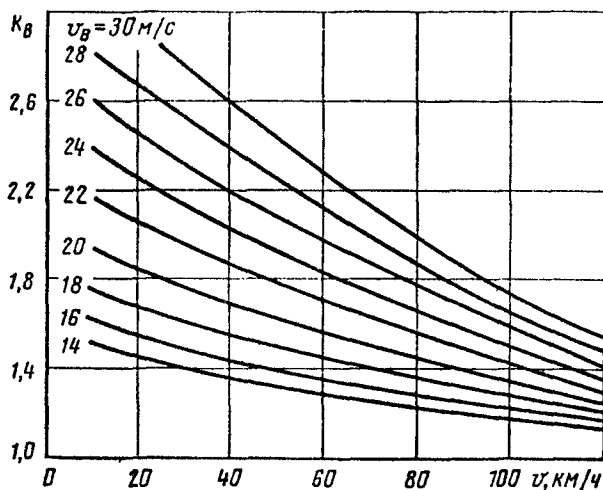


Рис. 1.9. Коэффициент K_B , учитывающий увеличение основного удельного сопротивления движению от ветра при плотности воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$

$v_B, \text{ м/с}$	$v, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
14	1,54	1,49	1,45	1,41	1,37	1,35	1,31	1,29	1,26	1,23	1,21	1,19
16	1,67	1,60	1,55	1,50	1,45	1,42	1,37	1,35	1,31	1,28	1,25	1,23
18	1,81	1,74	1,68	1,63	1,57	1,52	1,47	1,43	1,38	1,34	1,31	1,28
20	2,00	1,92	1,84	1,78	1,70	1,64	1,58	1,52	1,47	1,41	1,37	1,33
22	2,25	2,14	2,05	1,96	1,87	1,78	1,70	1,63	1,56	1,49	1,44	1,38
24	2,48	2,36	2,24	2,14	2,03	1,92	1,83	1,74	1,66	1,58	1,50	1,44
26	2,74	2,59	2,45	2,31	2,18	2,06	1,95	1,86	1,76	1,67	1,58	1,51
28	2,98	2,81	2,64	2,48	2,36	2,23	2,10	1,98	1,87	1,77	1,67	1,58
30	3,17	2,97	2,80	2,65	2,51	2,37	2,22	2,10	1,97	1,85	1,74	1,65

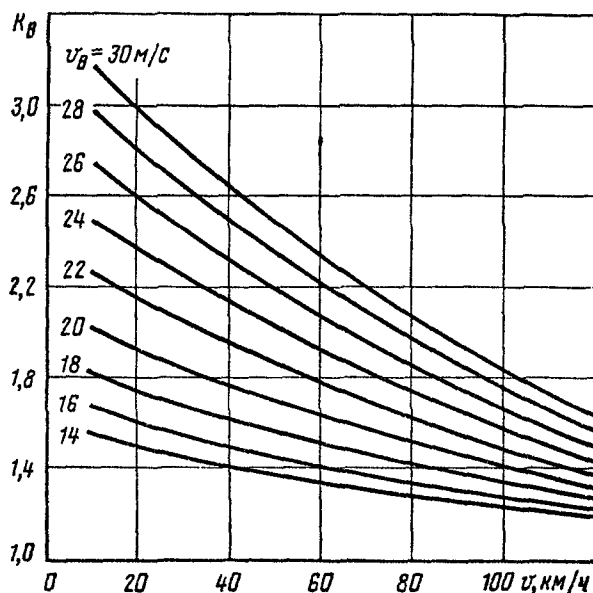


Рис. 1.10. Коэффициент K_B , учитывающий увеличение основного удельного сопротивления движению от ветра при плотности воздуха $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$

$v_B, \text{ м/с}$	$v, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
14	1,60	1,54	1,49	1,45	1,41	1,38	1,35	1,34	1,30	1,28	1,26	1,25
16	1,71	1,65	1,60	1,55	1,50	1,47	1,42	1,40	1,36	1,33	1,31	1,29
18	1,88	1,80	1,75	1,70	1,64	1,58	1,54	1,49	1,45	1,40	1,38	1,34
20	2,08	1,99	1,92	1,86	1,77	1,70	1,64	1,59	1,53	1,47	1,43	1,39
22	2,35	2,23	2,13	2,04	1,94	1,86	1,77	1,70	1,63	1,56	1,50	1,45
24	2,58	2,46	2,34	2,24	2,12	2,01	1,93	1,82	1,75	1,66	1,59	1,52
26	2,85	2,71	2,56	2,42	2,29	2,16	2,05	1,95	1,85	1,75	1,67	1,59
28	3,12	2,96	2,79	2,63	2,49	2,35	2,22	2,08	1,97	1,85	1,76	1,67
30	3,55	3,33	3,11	2,79	2,71	2,53	2,36	2,21	2,07	1,95	1,84	1,74

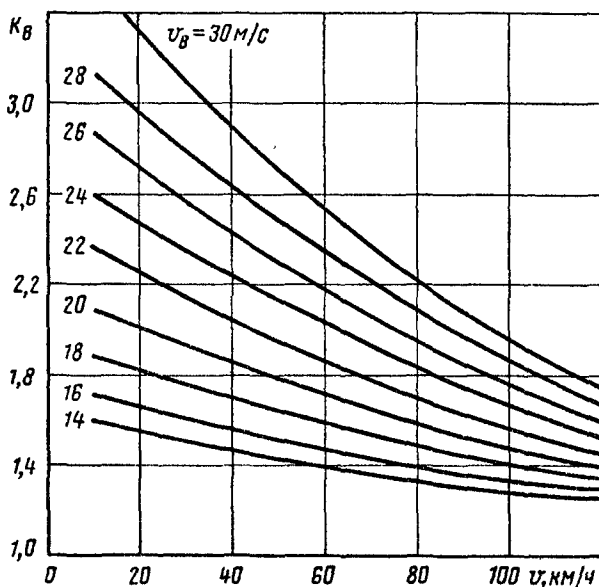


Рис. 1.11. Коэффициент K_B , учитывающий увеличение осевого удельного сопротивления движению от ветра при плотности воздуха $\rho = 1,4 \text{ кг/м}^3$

$v_B, \text{ м/с}$	$u, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
14	1,62	1,58	1,54	1,50	1,47	1,44	1,42	1,39	1,36	1,33	1,32	1,30
16	1,75	1,70	1,65	1,60	1,56	1,52	1,48	1,45	1,42	1,39	1,37	1,35
18	1,92	1,86	1,80	1,75	1,68	1,63	1,58	1,55	1,50	1,46	1,43	1,40
20	2,14	2,06	1,98	1,91	1,84	1,77	1,71	1,65	1,60	1,54	1,50	1,46
22	2,43	2,32	2,21	2,11	2,01	1,93	1,84	1,77	1,70	1,63	1,57	1,52
24	2,71	2,57	2,45	2,33	2,21	2,10	2,00	1,91	1,81	1,73	1,65	1,59
26	3,00	2,83	2,67	2,53	2,39	2,26	2,15	2,05	1,94	1,84	1,75	1,67
28	3,24	3,07	2,92	2,73	2,59	2,45	2,32	2,19	2,07	1,95	1,85	1,75
30	3,62	3,41	3,20	3,00	2,82	2,64	2,47	2,33	2,20	2,06	1,94	1,83

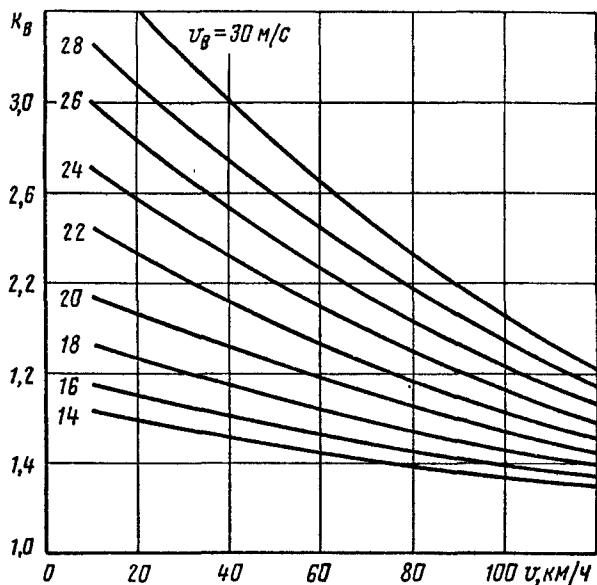


Рис. 1.12. Коэффициент K_B , учитывающий увеличение основного удельного сопротивления движению от ветра при плотности воздуха $\rho = 1,5 \text{ кг/м}^3$

$v_B, \text{ м/с}$	$U, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
14	1,66	1,62	1,58	1,55	1,52	1,49	1,46	1,44	1,42	1,40	1,37	1,36
16	1,80	1,75	1,70	1,65	1,61	1,57	1,54	1,51	1,48	1,44	1,42	1,40
18	1,98	1,91	1,86	1,80	1,74	1,69	1,64	1,60	1,56	1,51	1,49	1,46
20	2,22	2,13	2,06	1,98	1,91	1,84	1,77	1,72	1,66	1,60	1,56	1,52
22	2,52	2,40	2,30	2,20	2,10	2,01	1,92	1,85	1,77	1,70	1,64	1,59
24	2,80	2,67	2,54	2,42	2,29	2,18	2,08	1,99	1,89	1,81	1,73	1,66
26	3,12	2,96	2,80	2,65	2,51	2,37	2,24	2,14	2,02	1,93	1,84	1,75
28	3,44	3,24	3,06	2,86	2,71	2,57	2,42	2,29	2,16	2,04	1,94	1,84
30	3,80	3,58	3,33	3,07	2,93	2,75	2,58	2,44	2,29	2,16	2,03	1,93

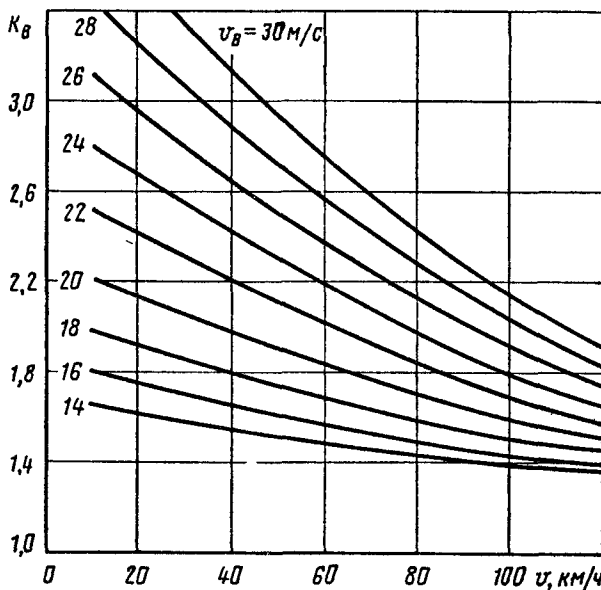


Рис. 1.13. Коэффициент K_B , учитывающий увеличение основного удельного сопротивления движению от ветра при плотности воздуха $\rho = 1,6 \text{ кг/м}^3$

$u_B, \text{ м/с}$	$u, \text{ км/ч}$											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
14	1,62	1,58	1,54	1,50	1,47	1,44	1,42	1,39	1,36	1,33	1,32	1,30
16	1,75	1,70	1,65	1,60	1,56	1,52	1,48	1,45	1,42	1,39	1,37	1,35
18	1,92	1,86	1,80	1,75	1,68	1,63	1,58	1,55	1,50	1,46	1,43	1,40
20	2,14	2,06	1,98	1,91	1,84	1,77	1,71	1,65	1,60	1,54	1,50	1,46
22	2,43	2,32	2,21	2,11	2,01	1,93	1,84	1,77	1,70	1,63	1,57	1,52
24	2,71	2,57	2,45	2,33	2,21	2,10	2,00	1,91	1,81	1,73	1,65	1,59
26	3,00	2,83	2,67	2,53	2,39	2,26	2,15	2,05	1,94	1,84	1,75	1,67
28	3,24	3,07	2,92	2,73	2,59	2,45	2,32	2,19	2,07	1,95	1,85	1,75
30	3,62	3,41	3,20	3,00	2,82	2,64	2,47	2,33	2,20	2,06	1,94	1,83

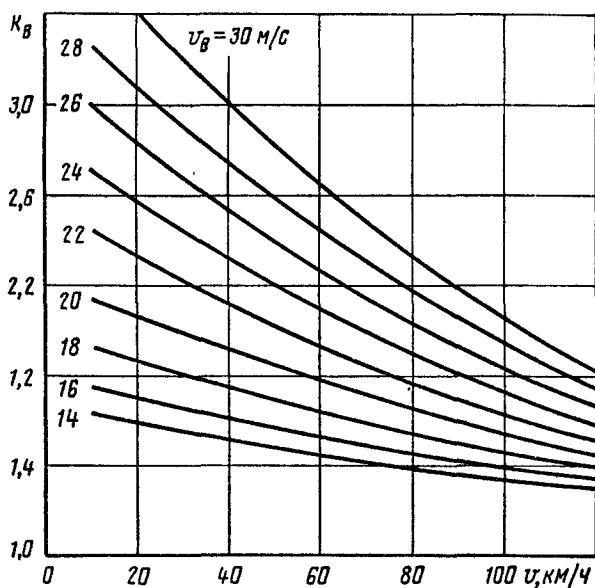


Рис. 1.12. Коэффициент K_B , учитывающий увеличение основного удельного сопротивления движению от ветра при плотности воздуха $\rho = 1,5 \text{ кг/м}^3$

б) для подвижного состава на подшипниках качения

$$w_{\text{тр}} = \frac{28}{q_0 + 7} . \quad (1.55)$$

Значения $w_{\text{тр}}$, подсчитанные по формулам (1.54) и (1.55), приведены на рис. 1.14.

При наличии в составе поезда разнотипных вагонов удельное сопротивление состава при трогании с места определяется как средневзвешенная величина. Определенный интерес представляют данные о $w_{\text{тр}}$ для одиночных вагонов и сцепов из нескольких вагонов.

В результате экспериментальных исследований сопротивления троганию одиночных вагонов и сцепов из четырехосных грузовых вагонов на роликовых подшипниках получена формула

$$w_{\text{тр}} = k \frac{28}{q_0 + 7} , \quad (1.56)$$

где k — численный коэффициент, принимаемый в зависимости от количества вагонов в сцепе: 1 вагон — 1,8; 2 вагона — 1,6; 3 вагона — 1,4; 4 вагона — 1,3; 5 вагонов — 1,2; 6 вагонов — 1,1; 7 и более вагонов — 1,0.

Учитывая общий характер явлений, имеющих место в процессе трогания с места вагонов на роликовых подшипниках и подшипниках скольжения, можно считать, что полученные опытные значения коэффициента для роликовых подшипников в первом приближении справедливы и для подшипников скольжения. Поэтому удельные

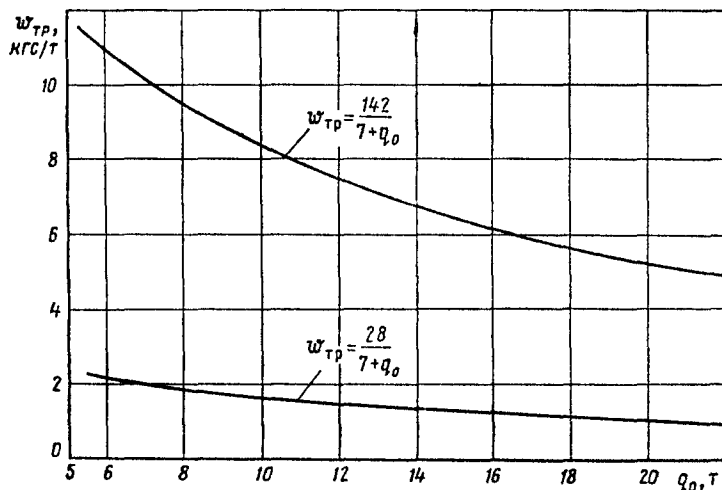


Рис. 1.14. Удельное сопротивление троганию с места грузовых поездов на подшипниках скольжения (верхняя кривая) и роликовых (нижняя кривая) подшипниках

сопротивления троганию с места одиночных вагонов на подшипниках скольжения можно определять по формуле

$$\omega_{\text{тр}} = k \frac{142}{q_0 + 7} \quad (1.57)$$

Пример. Определить удельное сопротивление при трогании с места состава, состоящего из 60 % вагонов на роликовых подшипниках и 40 % вагонов на подшипниках скольжения. Средняя масса вагонов, приходящаяся на одну ось, $q_0 = 18$ т.

Решение. Для вагонов на роликовых подшипниках

$$\omega_{\text{тр}}^{\text{р}} = 28/(18+7) = 1,12 \text{ кгс/т};$$

для вагонов на подшипниках скольжения

$$\omega_{\text{тр}}^{\text{ск}} = 142/(18+7) = 5,68 \text{ кгс/т}.$$

Результирующее значение $\omega_{\text{тр}}$ для всего состава будет:

$$\omega_{\text{тр}} = 0,6\omega_{\text{тр}}^{\text{р}} + 0,4\omega_{\text{тр}}^{\text{ск}} = 0,6 \cdot 1,12 + 0,4 \cdot 5,68 = 2,94 \text{ кгс/т}$$

Пример. Определить удельное сопротивление троганию с места сцепы из четырех вагонов, два из которых имеют подшипники скольжения, а два — роликовые подшипники. Средняя масса вагонов, приходящаяся на одну ось, $q_0 = 20$ т.

Решение. Применительно к составу из многих вагонов определяем:

для вагонов на роликовых подшипниках

$$\omega_{\text{тр}}^{\text{р}} = 28/(20+7) = 1,04 \text{ кгс/т};$$

для вагонов на подшипниках скольжения

$$\omega_{\text{тр}}^{\text{ск}} = 142/(20+7) = 5,26 \text{ кгс/т};$$

для смешанного состава

$$\omega_{\text{тр}} = (1,04 + 5,26)/2 = 3,15 \text{ кгс/т}.$$

Применительно к группе вагонов, состоящей из четырех единиц, окончательно находим:

$$\omega_{\text{тр}} = k\omega_{\text{тр}} = 1,3 \cdot 3,15 = 4,10 \text{ кгс/т}.$$

Формулы (1.54) и (1.55) для определения удельного сопротивления троганию с места на подшипниках скольжения относятся к продолжительности стоянки поездов и отдельных вагонов не менее 20 мин.

Стоянка состава в течение первых 20—30 мин сопровождается нарастанием удельного сопротивления троганию с места от своего наименьшего значения до некоторого значения, близкого к максимальному [7]*, определяемого формулами (1.54) — (1.55).

* Это явление объясняется глинистым образом выдавливанием смазки из-под подшипников, что обуславливает процесс трогания с места при сухом или полусухом трении; при роликовых подшипниках этих явлений нет, и поэтому сопротивление троганию практически не зависит от продолжительности стоянки.

На рис. 1.15 представлена зависимость $\omega_{тр} = f(\tau, q_0)$ для случаев кратковременной стоянки поездов, составленных из четырехосных вагонов на подшипниках скольжения, по которой легко определить, что удельное сопротивление троганию порожнего поезда ($q_0 = 5,5$ т) на подшипниках скольжения, простоявшего 10 мин, составляет 6,8 кгс/т; сопротивление троганию поезда при средней массе вагонов, приходящейся на одну ось, $q_0 = 18$ т и предшествующей стоянке 12 мин, составляет 3,8 кгс/т и т. д.

Явления, которые имеют место при длительной стоянке состава и обуславливают повышенное сопротивление троганию поезда с места, оказывают свое действие и на основное сопротивление в начальный период движения. Именно поэтому после длительной стоянки (более 20 мин) подвижной состав имеет повышенное сопротивление, которое восстанавливается до нормального значения, определенного скоростью движения, после прохождения пути около 13 км.

В результате специальных исследований [7] установлено, что основное сопротивление движению состава в начальный период $\omega_{0н}''$ может быть определено по формуле

$$\omega_{0н}'' = \omega_0'' 42 / (29 + s), \quad (1.58)$$

где s — путь, пройденный от места трогания состава, км.

Согласно формуле (1.58) оказывается, что, например, через 2 км после трогания состава сопротивление движению на 35 % выше установившегося значения, через 6 км — на 20 % выше и т. д. Легко видеть, что через 13 км после трогания состава основное сопротивление достигает установившегося значения, определяемого ранее отмеченными формулами.

1.4. Сопротивление движению и троганию подвижного состава узкой колеи

Основное сопротивление движению. Основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов колеи 750—900 мм определяют по формулам:

а) для порожних вагонов

$$\omega_0'' = 1,2 + 0,02v + 0,0017v^2; \quad (1.59)$$

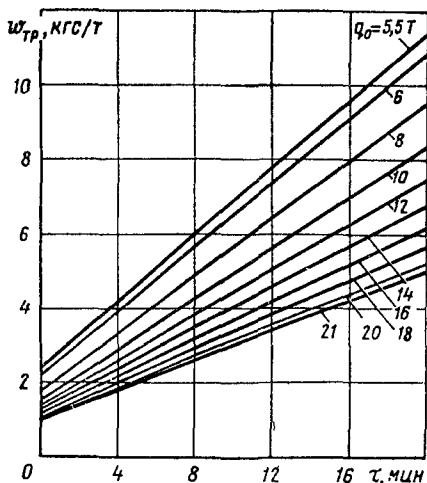


Рис. 1.15. Удельное сопротивление троганию с места грузовых поездов на подшипниках скольжения в зависимости от продолжительности стоянки и средней массы, приходящейся на одну ось

Таблица 1.16. Значения w_0'' , w_0' и w_x (кгс/т)
для подвижного состава колеи 750 мм

Формула или пара- метр	v, км/ч					Формула или пара- метр	v, км/ч				
	10	20	30	40	50		10	20	30	40	50
(1.59)	1,57	2,28	3,33	4,72	6,45	w_0''	3,12	3,95	4,80	5,68	6,85
(1.60)	1,43	1,93	2,49	3,11	3,80	w_0'	5,00	6,18	7,83	9,62	12,20
(1.61)	2,56	3,90	5,72	8,02	10,80	w_x	(1.62)	6,37	8,58	10,93	13,42
										16,05	

б) для груженных вагонов

$$w_0'' = 1,0 + 0,04v + 0,00032v^2. \quad (1.60)$$

Основное удельное сопротивление движению четырехосных пассажирских вагонов колеи 750—900 мм определяют по формуле

$$w_0'' = 1,7 + 0,062v + 0,0024v^2. \quad (1.61)$$

Значения w_0'' , подсчитанные по формулам (1.59)—(1.61), приведены в табл. 1.16. Здесь также даны значения удельного сопротивления движению тепловозов w_0' и w_x для колеи 750 мм, взятые из экспериментальных зависимостей.

Основное удельное сопротивление движению на холостом ходу тепловозов с гидравлической передачей колеи 750 мм определяют по формуле

$$w_x \text{ гидр} = 4,3 + 0,2v + 0,0007v^2 \quad (1.62)$$

или по табл. 1.16.

Основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов колеи 1067 мм определяют по формулам [9]:

а) груженных вагонов ($q_0 > 6$ т)

$$w_0'' = 0,7 + \frac{7 + 0,3v + 0,0075v^2}{q_0} \quad (1.63)$$

или по табл. 1.17;

Таблица 1.17. Значения w_0'' (кгс/т)
грузовых груженных вагонов колеи 1067 мм
[формула (1.63)]

q_0 , т	v, км/ч							
	10	20	30	40	50	60	70	80
8	2,04	2,70	3,54	4,58	5,79	7,20	8,79	10,58
10	1,78	2,30	2,98	3,80	4,79	5,90	7,18	8,60
12	1,60	2,03	2,60	3,28	4,10	5,03	6,10	7,28
14	1,47	1,84	2,33	2,91	3,61	4,41	5,33	6,34
16	1,37	1,70	2,12	2,64	3,25	3,95	4,75	5,64
18	1,30	1,59	1,96	2,42	2,96	3,59	4,30	5,09
20	1,24	1,50	1,84	2,25	2,74	3,30	3,94	4,65

**Т а б л и ц а 1.18. Значения w_0'' (кгс/т)
груженых вагонов-ледников колес 1067 мм [формула (1.65)]**

q_0 , т	v , км/ч							
	10	20	30	40	50	60	70	80
8	1,81	2,84	4,02	5,33	6,79	8,38	10,12	11,99
10	1,59	2,41	3,35	4,41	5,57	6,85	8,23	9,73
12	1,44	2,13	2,91	3,79	4,76	5,82	6,98	8,23
14	1,33	1,92	2,60	3,35	4,18	5,09	6,08	7,15
16	1,25	1,77	2,36	3,02	3,74	4,54	5,41	6,35

б) порожних вагонов ($q_0 \leq 6$ т)

$$w_0'' = 1,35 + 0,07v + 0,00045v^2 \quad (1.64)$$

или по табл. 1.19;

в) груженых вагонов-ледников ($q_0 > 7,5$ т)

$$w_0'' = 0,7 + \frac{1,7 + 0,66v + 0,0056v^2}{q_0} \quad (1.65)$$

или по табл. 1.18;

г) порожних вагонов-ледников

$$w_0'' = 1,1 + 0,1v + 0,00038v^2 \quad (1.66)$$

или по табл. 1.19.

Основное удельное сопротивление движению пассажирских вагонов колес 1067 мм определяют по формуле

$$w_0'' = 1,2 + 0,0068v + 0,00175v^2 \quad (1.67)$$

или по табл. 1.19.

**Т а б л и ц а 1.19. Значения w_0'' , w_0' и w_x (кгс/т)
для подвижного состава колес 1067 мм**

Формула	v , км/ч							
	10	20	30	40	50	60	70	80
(1.64)	2,10	2,93	3,86	4,87	5,98	7,17	8,46	9,83
(1.66)	2,14	3,25	4,44	5,71	7,05	8,47	9,96	11,53
(1.67)	1,44	2,04	2,98	4,27	5,92	7,91	10,25	12,94
(1.68)	1,63	2,24	2,88	3,56	4,27	5,01	5,79	6,60
(1.69)	2,66	3,87	5,13	6,45	7,83	9,25	10,73	12,27

Т а б л и ц а 1.20. Значения ω''_0 грузовых груженых вагонов колес 1520 мм на тележках колес 1067 мм [формула (1.70)]

$q_0, \text{ т}$	$v, \text{ км/ч}$							
	10	20	30	40	50	60	70	80
8	2,31	3,15	4,21	5,50	7,01	8,75	10,71	12,90
10	1,99	2,66	3,51	4,54	5,75	7,14	8,71	10,46
12	1,78	2,33	3,04	3,90	4,91	6,07	7,38	8,83
14	1,62	2,10	2,71	3,44	4,31	5,30	6,42	7,67
16	1,51	1,93	2,46	3,10	3,86	4,73	5,71	6,80
18	1,42	1,79	2,26	2,83	3,51	4,28	5,15	6,12
20	1,35	1,68	2,11	2,62	3,23	3,92	4,71	5,58

Основное удельное сопротивление движению тепловозов ТГ16 (колес 1067 мм) как повозки (ω'_0) и на холостом ходу (ω_x) определяют по формулам:

$$\omega'_0 = 1,05 + 0,056v + 0,000167v^2; \quad (1.68)$$

$$\omega_x = 1,5 + 0,113v + 0,00027v^2 \quad (1.69)$$

или по табл. 1.19.

Основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов общесетевых (колес 1520 мм) на тележках колес 1067 мм определяют по формулам:

а) груженых ($q_0 > 6 \text{ т}$)

$$\omega''_0 = 0,7 + \frac{8 + 0,4v + 0,009v^2}{q_0} \quad (1.70)$$

или по табл. 1.20;

б) порожних ($q_0 \leq 6 \text{ т}$)

$$\omega''_0 = 1,45 + 0,06v + 0,00075v^2 \quad (1.71)$$

или по табл. 1.21.

Т а б л и ц а 1.21. Значения ω''_0 грузовых порожних вагонов колес 1520 мм на тележках колес 1067 мм [формула (1.71)]

Параметр	$v, \text{ км/ч}$							
	10	20	30	40	50	60	70	80
ω''_0	2,13	2,95	3,93	5,05	6,33	7,75	9,33	11,05

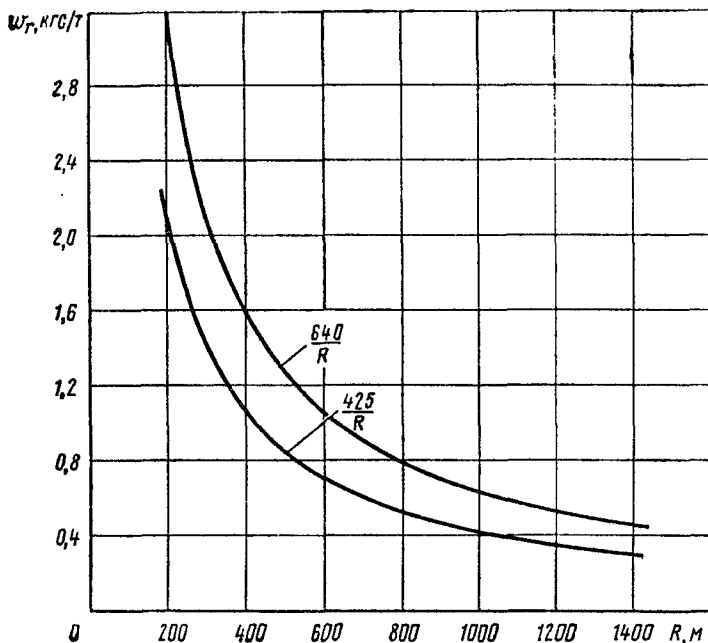


Рис. 1.16. Дополнительное удельное сопротивление движению от кривизны пути для подвижного состава на колее 1067 мм (верхняя кривая) и на колее 750 мм (нижняя кривая)

Дополнительное сопротивление движению. Дополнительное удельное сопротивление движению подвижного состава колее 750 мм от кривизны пути определяют по формуле

$$w_r = \frac{425}{R} \quad (1.72)$$

или

$$w_r = \frac{7,5\alpha^\circ}{s_{кр}} \quad (1.73)$$

Значения w_r , подсчитанные по формуле (1.72), приведены на рис. 1.16.

Дополнительное удельное сопротивление движению подвижного состава колее 1067 мм от кривизны пути определяют:

$$w_r = \frac{640}{R} \quad (1.74)$$

или

$$w_r = \frac{11,2\alpha^\circ}{s_{кр}} \quad (1.75)$$

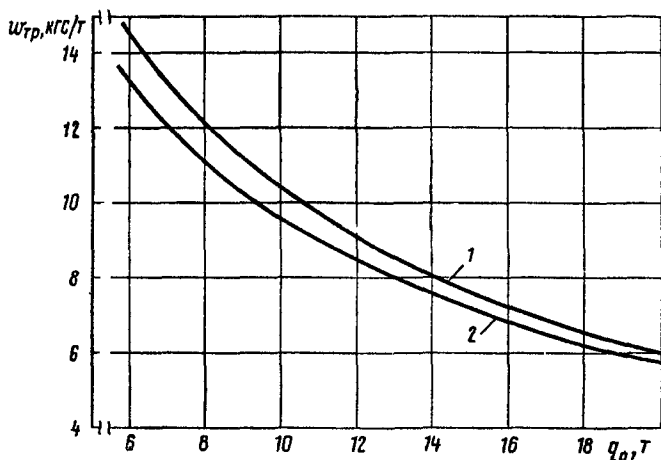


Рис. 1.17. Удельное сопротивление троганию с места грузовых поездов на колеи 1067 мм:

1 — грузовые общесетевые вагоны; 2 — грузовые вагоны колеи 1067 мм

Значения w_r , подсчитанные по формуле (1.74), приведены на рис. 1.16.

Дополнительное удельное сопротивление движению от приведенного уклона, от низкой температуры и от ветра определяют аналогично тому, как это изложено для подвижного состава колеи 1520 мм.

Сопротивление поезда при трогании с места на пути колеи 1067 мм. Удельное сопротивление состава при трогании с места на площадке определяют по формулам (1.76) и (1.77) [9]:

а) для подвижного состава колеи 1067 мм на подшипниках скольжения

$$w_{тр} = \frac{145}{q_0 + 5}; \quad (1.76)$$

б) для общесетевых вагонов на тележках колеи 1067 мм

$$w_{тр} = \frac{145}{q_0 + 4}. \quad (1.77)$$

Значения $w_{тр}$, подсчитанные по формулам (1.76), (1.77), приведены на рис. 1.17.

2. ТОРМОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ

2.1. Определение тормозной силы поезда

Сила нажатия тормозных колодок. Действительную силу нажатия на тормозную колодку в зависимости от конструкции подвижного состава и давления в тормозных цилиндрах определяют [10—11]

$$K = \frac{1}{m} \left(\frac{\pi d^2}{4} p_{ц} \eta_{ц} - F_1 - F_2 - F_3 \right) n \eta_{п}, \quad (2.1)$$

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

d — диаметр тормозного цилиндра;

$p_{ц}$ — расчетное давление в тормозных цилиндрах;

$\eta_{ц}$ — коэффициент потерь усилия на трение в тормозном цилиндре;

F_1 — усилие внутренней пружины тормозного цилиндра при торможении;

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

F_3 — усилие пружины регулятора рычажной передачи, приведенное к штоку тормозного цилиндра;

n — передаточное число рычажной передачи от одного тормозного цилиндра, определяемое из соотношения длин ведущих и ведомых плеч рычагов;

$\eta_{п}$ — коэффициент потерь усилия на трение в шарнирах, называемый к.п.д. рычажной передачи.

Усилие внутренней пружины

$$F_1 = F_0 + \kappa_1 l_{ш}. \quad (2.2)$$

Усилие наружной пружины

$$F_2 = \left(F_0 + \kappa_2 l_{ш} \frac{\pi}{a_{ш}} \right) \frac{\pi}{a_{ш}}, \quad (2.3)$$

где F_0 — усилие предварительного натяга внутренней или наружной пружины;

κ_1 и κ_2 — жесткости соответственно внутренней и наружной пружин;

$l_{ш}$ — расчетный выход штока тормозного цилиндра;

π и $a_{ш}$ — расстояния соответственно от мертвой точки до пружины и до штока тормозного цилиндра.

Усилие пружины регулятора [12]

$$F_3 = (F_p + \kappa_p l_p) \left(\frac{b}{a} - \frac{c}{a} \frac{d+e}{d} \right), \quad (2.4)$$

где F_p — усилие предварительного натяга пружины регулятора;

κ_p — жесткость пружины регулятора;

l_p — сжатие пружины регулятора;

a, b, c, d, e — размеры плеч горизонтального рычага и рычажного привода регулятора.

**Таблица 2.1. Характеристика пружин, выход штока
и расчетное давление в тормозном цилиндре подвижного состава**

Тип подвижного состава	Жесткость пружин, Н/мм		Усилие предварительного натяга пружин, Н		Расчетный выход штока, мм, на режиме		Расчетное давление в цилиндре, МПа, на режиме			Сжатие пружины регулятора, мм
	цилиндра	регулятора	цилиндра	регулятора	груженом и среднем	порожном	груженом	среднем	порожном	
Вагоны грузовые: четырехосные	6,5	15	1550	2000	125*	100*	0,4	0,28	0,16	30*
					100	100				15
восьмиосные	6,5	15	1550	2000	150	130	0,4	0,28	0,16	30
					100	100				15
Вагоны пассажирские	6,5	15	1550	2000	140	—	0,38	—	—	40
					—	—				15
Электро- возы: грузовые	6,5**	—	1550**	—	85	85	0,38	—	0,15	—
	21,5	—	550	—	—	—				—
	3,4	—	900	—	85	—				—
пассажирские	16	—	500	—	—	—	0,40	—	—	—
	—	—	—	—	—	—				—
Тепловозы	5,2	—	1250	—	85	85	0,38***	—	0,15	—
							0,4			

* В числителе для чугунных колодок, в знаменателе для композиционных.

** В числителе для внутренней пружины, в знаменателе для наружной.

*** В числителе для грузовых тепловозов, в знаменателе для пассажирских.

Исходные расчетные данные для определения сил нажатия на одну тормозную колодку K подвижного состава приведены в табл. 2.1.

Для ориентировочного расчета сил нажатия тормозных колодок четырех- и восьмиосных грузовых вагонов в зависимости от давления в тормозных цилиндрах можно пользоваться графиком (рис 2.1). Характеристика рычажных тормозных передач и силы нажатия тормозных колодок подвижного состава [11—14] приведены в табл. 2.2—2.4.

Схему передачи усилия на тормозные колодки, количество и диаметр цилиндров выбирают так, чтобы передаточное число рычажной передачи было минимально возможным:

для пассажирских и грузовых четырехосных вагонов — 9;

для грузовых шестиосных и изотермических — 10;

для грузовых восьмиосных вагонов — 14.

Передаточное число ручного тормоза принимают таким, чтобы сила нажатия колодок на одну ось составляла не менее 2 тс у грузовых вагонов и 4 тс у пассажирских. Силы давления на тормозную колодку принимают не более 1,3 МПа из чугунных и 0,7 МПа из композиционных материалов.

К.п.д. рычажной тормозной передачи зависит от конструкции. У четырехосных грузовых вагонов с односторонним нажатием колодок этот коэффициент принимают 0,95, вагонов-хопперов — 0,80, у четырехосных пассажирских и рефрижераторных вагонов с двусторонним нажатием — 0,90, у восьмиосных вагонов с одним цилиндром — 0,80. В таких же пределах изменяется к.п.д. рычажной передачи локомотивов в зависимости от системы передачи усилия и подвешивания колодок. К.п.д. тормозного цилиндра принимают 0,98; к.п.д. ручного и стояночного тормоза составляет 0,5—0,7 от к.п.д. автоматического в зависимости от конструкции червяка, винта, зубчатой передачи.

Давление в цилиндрах при полных служебных и экстренных торможениях определяется в зависимости от объемов запасного резервуара, рабочей полости цилиндра и выхода штока.

Расчетное значение выхода штока цилиндра с учетом упругой составляющей принимают равным 85—150 мм.

При проверке работоспособности узлов трения в условиях высоких температурных нагрузок учитывают температуру нагрева колес, колодок, их деформации, возможные структурные изменения фрикционных материалов. Условия нагрева при торможении зависят от удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности, плотности материала, а также времени торможения и толщины нагреваемого тела. С учетом температуры нагрева оценивают напря-

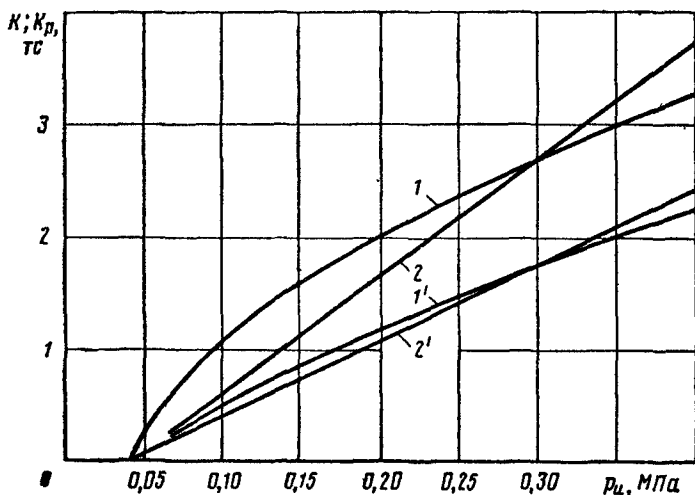


Рис. 2.1. Зависимость действительной K (2, 2') и расчетной K_p (1, 1') сил нажатия на чугунную и композиционную колодки от давления воздуха в тормозном цилиндре p_c :

1, 2 — чугунные колодки; 1', 2' — композиционные колодки

**Таблица 2.2. Характеристика рычажной передачи
и сила нажатия на тормозную колодку
грузных вагонов**

Тип вагонов	Тормозные колодки		Диаметр тормозного цилиндра, мм	Рычажная передача		Сила нажатия на колодку, тс, при выключении воздухо- распределителя на режим		
	Тип	Число		Переда- точное число	К.п.д.	гру- женный	сред- ний	порож- ный
Четырехосные полувагоны и вагоны для перевозки цемента	Чугунные	8	356	8,96	0,95	3,8	2,3	1,26
	Композиционные	8	356	5,72	0,95	2,4	1,48	0,82
Четырехосные платформы, крытые, ци- стерны	Чугунные	8	356	9,1	0,95	3,82	2,34	1,28
	Композиционные	8	356	5,9	0,95	2,5	1,54	0,85
Четырехосные вагоны для перевозки окатышей	Чугунные	8	400	9,5	0,80	4,3	2,7	1,55
	Композиционные	8	400	4,5	0,80	2,15	1,32	0,75
Шестисосные полувагоны	Чугунные	16	400	10,75	0,85	2,6	1,6	0,9
	Композиционные	16	400	6,78	0,85	1,7	1,0	0,6
Восьмисосные полувагоны	Чугунные	16	400	14,64	0,8	3,5	2,18	1,24
	Композиционные	16	400	9,04	0,8	2,2	1,35	0,75
Восьмисосные цистерны	Чугунные	16	400	15,35	0,8	3,7	2,3	1,3
	Композиционные	16	400	10,22	0,8	2,5	1,5	0,86
Рефрижераторные	Чугунные	16	356	10	0,9	2,1	1,3	0,75
	Композиционные	16	356	5,63	0,9	1,16	0,74	0,43

**Т а б л и ц а 2.3. Характеристика рычажной передачи
и сила нажатия на тормозную колодку
пассажирских вагонов**

Тип вагонов	Тормозные колодки (накладки)		Диаметр цилиндра, мм	Рычажная передача		Сила нажатия на колодку, тс
	Тип	Число		Переда- точное число	К.п.д.	
Цельнометаллические с массой тары, т:						
53—62	Чугунные	16	356	12,0	0,90	2,35
	Композиционные	16	356	5,3	0,90	1,03
48—52	Чугунные	16	356	9,3	0,90	1,85
	Композиционные	16	356	4,4	0,90	0,88
42—47	Чугунные	16	356	8,3	0,90	1,65
	Композиционные	16	356	3,6	0,90	0,74
С дисковым тормозом	»	16	200	2,82	0,98	0,75
Со скоростным регулятором	Чугунные	16	400	11,0	0,90	5,2

**Т а б л и ц а 2.4. Характеристика рычажной передачи
и сила нажатия на чугунную тормозную колодку
локомотивов, электро- и дизель-поездов**

Локомотивы серий, режим торможения	Число колодок (башмаков)	Тормозные цилиндры		Рычажная передача		Сила нажатия на колодку, тс
		Число	Диаметр, мм	Переда- точное число	К.п.д.	
ВЛ22*	12	4	356	7,0	0,90	7,6
ВЛ23	12	4	356	9,0	0,90	9,0
ВЛ8	16	8	254	8,1	0,95	6,8
ВЛ60*	24	4	356	7,0	0,80	3,0
ВЛ10, ВЛ80*	32	8	356	5,7	0,85	4,1
ВЛ82	32	8	254	11,5	0,85	4,1
ЧС1, ЧС3	16	4	305	7,1	0,90	4,3
ЧС2, вспомогательный	24	6	305	6,3	0,90	3,9
ЧС2, пассажирский	24	6	305	6,3	0,90	3,4
ЧС2, скоростной	24	6	305	6,3	0,90	6,0
ЧС4, вспомогательный	24	6	254	9,7	0,90	3,9
ЧС4, пассажирский	24	6	254	9,7	0,90	3,4
ЧС4, скоростной	24	6	254	9,7	0,90	6,0
ЧС200, скоростной	32	8	305	6,9	0,90	6,7
ТЭ1	12	8	254	11,0	0,95	8,0

Локомотивы серий, режим торможения	Число колодок (башмаков)	Тормозные цилиндры		Рычажная передача		Сила нажатия на колодку, тс
		Число	Диаметр, мм	Переда- точное число	К п д	
ТЭ2	16	8	254	6,1	0,95	5,3
ТЭ3	24	8	254	10,8	0,90	6,4
ТЭ7	24	8	254	15,1	0,90	8,5
ТЭ10	12	4	254	15,1	0,90	8,0
2ТЭ10*	24	8	254	15,1	0,90	8,5
ТЭП60	24	8	254	5,4	0,88	3,0
2ТЭ116	48	24	200	3,6	0,90	3,0
ТЭМ1, ТЭМ2	12	8	254	11,0	0,90	6,4
ВМЭ1	16	4	254	9,0	0,90	2,8
ЧМЭ2	16	4	200	11,3	0,90	2,7
ЧМЭ3	24	8	200	10,2	0,88	2,9
ТГ16	16	8	200	8,2	0,95	3,6
ТГМ3А	8	4	254	5,7	0,95	4,8
ЭР1 (моторный вагон)	16	1	356	12,6	0,90	2,6
ЭР1 (прицепной вагон)	16	1	356	8,9	0,90	1,8
ДР1 (моторный вагон)	16	8	200	2,06	0,98	0,8
ДР1 (прицепной вагон)	16	8	200	2,06	0,98	0,5

* Локомотивы всех индексов.

женное состояние в узлах трения. Тангенциальные напряжения в поверхности катания колеса оценивают по модулю упругости колесной стали, начальной относительной деформации растяжения, температурному коэффициенту линейного расширения и избыточной температуре поверхности трения.

Предельные условия работы тормозов по характеру тепловых процессов проверяют по зависимости, учитывающей неравномерность тепловых нагрузок колес, коэффициент распределения тепловых потоков, массу, приходящуюся на колесо, диаметр колеса [12]. При тормозных расчетах поездов используют тормозной коэффициент, определяемый как отношение суммарной силы нажатия тормозных колодок поезда к массе поезда, т. е.

$$\vartheta = \frac{\sum K}{Q + P}, \quad (2.5)$$

где $\sum K$ — сумма сил нажатия всех тормозных колодок вагонов и локомотивов;

Q, P — соответственно массы состава и локомотива, т.

При определении тормозного коэффициента грузовых поездов на спусках до 20‰ массу и тормоза локомотивов обычно не учитывают. Это упрощает расчеты и для таких спусков не влияет на точность результатов. Следовательно, для грузовых поездов

$$\vartheta = \frac{\sum K}{Q}. \quad (2.6)$$

Коэффициент трения тормозных колодок. Для стандартных чугунных колодок действительный коэффициент трения определяют по формуле

$$\varphi_K = 0,6 \frac{16K + 100}{80K + 100} \frac{v + 100}{5v + 100}. \quad (2.7)$$

Для тормозных колодок с повышенными фрикционными качествами действительный коэффициент трения колодок (накладок) о колесо (диск) определяют по формулам:

для чугунных колодок с повышенным содержанием фосфора

$$\varphi_K = 0,5 \frac{16K + 100}{52K + 100} \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (2.8)$$

для композиционных колодок

$$\varphi_K = 0,44 \frac{K + 20}{4K + 20} \frac{v + 150}{2v + 150}. \quad (2.9)$$

Для облегчения расчетов значения коэффициентов трения тормозных колодок можно принимать по табл. 2.5—2.7.

Для промежуточных значений K и v , не указанных в таблицах, действительный коэффициент трения колодок находят интерполированием.

Тормозная сила поезда. Ее определяют как сумму действительных сил нажатия тормозных колодок, умноженную на действительный коэффициент трения тормозных колодок φ_K , т. е.

$$B_T = 1000 \Sigma K \varphi_K. \quad (2.10)$$

Удельную тормозную силу (кгс/т) определяют по формуле

$$b_T = 1000 \frac{\Sigma K}{Q} \varphi_K = 1000 \vartheta \varphi_K. \quad (2.11)$$

Пример 1. Определить тормозную силу грузового поезда массой 4200 т, сформированного из 50 четырехосных полувагонов, оборудованных чугунными колодками; скорость движения 80 км/ч.

Решение. Действительная сила нажатия на одну чугунную тормозную колодку на груженом режиме (см. табл. 2.2) равна 3,8 тс, а на одну ось вагона

$$K = 3,8 \cdot 2 = 7,6 \text{ тс.}$$

Суммарная сила нажатия тормозных колодок состава

$$\Sigma K = 7,6 \cdot 4 \cdot 50 = 1520 \text{ тс.}$$

Действительный коэффициент трения чугунных колодок при скорости 80 км/ч и силе нажатия на одну колодку 3,8 тс

$$\varphi_K = 0,6 \frac{16 \cdot 3,8 + 100}{80 \cdot 3,8 + 100} \frac{80 + 100}{5 \cdot 80 + 100} = 0,088.$$

Тормозная сила грузового поезда

$$B_T = 1000 \cdot 1520 \cdot 0,088 = 133\,000 \text{ кгс,}$$

а удельная тормозная сила

$$b_T = \frac{133\,000}{4200} = 31,6 \text{ кгс/т.}$$

Т а б л и ц а 2.5. Действительный коэффициент трения μ_k чугунных стандартных колодок

Сила нажатия K , тс	Скорость движения v , км/ч												
	10	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200
0,5	0,339	0,278	0,241	0,216	0,199	0,185	0,167	0,154	0,145	0,139	0,134	0,130	0,127
1,0	0,283	0,232	0,201	0,180	0,166	0,154	0,139	0,129	0,121	0,116	0,112	0,108	0,105
1,5	0,248	0,203	0,176	0,158	0,145	0,135	0,122	0,112	0,106	0,101	0,098	0,095	0,093
2,0	0,223	0,182	0,158	0,142	0,130	0,122	0,109	0,101	0,095	0,091	0,088	0,085	0,083
2,5	0,205	0,168	0,146	0,131	0,120	0,112	0,101	0,093	0,088	0,084	0,081	0,078	0,076
3,0	0,191	0,157	0,136	0,122	0,112	0,104	0,093	0,087	0,082	0,078	0,075	0,073	0,071
3,5	0,180	0,148	0,128	0,115	0,106	0,098	0,089	0,082	0,077	0,074	0,071	0,069	0,067
4,0	0,172	0,140	0,122	0,109	0,100	0,094	0,084	0,078	0,073	0,070	0,068	0,066	0,064
4,5	0,164	0,134	0,116	0,105	0,096	0,090	0,081	0,075	0,070	0,067	0,065	0,063	0,061
5,0	0,158	0,130	0,112	0,101	0,093	0,086	0,078	0,072	0,068	0,065	0,063	0,061	0,059
6,0	0,149	0,122	0,106	0,095	0,087	0,081	0,073	0,068	0,064	0,061	0,059	0,057	0,055
7,0	0,141	0,116	0,100	0,090	0,083	0,077	0,069	0,064	0,061	0,058	0,056	0,054	0,052
8,0	0,136	0,111	0,096	0,086	0,080	0,074	0,067	0,062	0,058	0,055	0,053	0,052	0,050
9,0	0,131	0,098	0,093	0,084	0,077	0,071	0,064	0,060	0,056	0,054	0,052	0,050	0,048

**Таблица 2.6. Действительный коэффициент трения Φ_K
чугунных колодок с повышенным содержанием фосфора**

Сила на- жатия K , тс	Скорость движения v , км/ч								
	10	20	30	40	60	80	120	160	200
0,5	0,314	0,257	0,223	0,200	0,172	0,155	0,135	0,124	0,117
1,0	0,280	0,229	0,198	0,178	0,153	0,138	0,120	0,111	0,104
1,5	0,256	0,209	0,181	0,163	0,140	0,126	0,110	0,101	0,096
2,0	0,238	0,194	0,168	0,151	0,129	0,116	0,102	0,094	0,089
2,5	0,223	0,182	0,158	0,142	0,121	0,110	0,095	0,088	0,083
3,0	0,212	0,173	0,150	0,135	0,116	0,104	0,091	0,084	0,079
3,5	0,203	0,166	0,144	0,129	0,111	0,100	0,087	0,080	0,076
4,0	0,195	0,160	0,138	0,124	0,106	0,096	0,084	0,077	0,073
4,5	0,189	0,155	0,134	0,120	0,103	0,093	0,081	0,075	0,071
5,0	0,183	0,150	0,130	0,117	0,100	0,090	0,079	0,073	0,069

Расчетная сила нажатия и расчетный коэффициент трения колодок. Тормозные расчеты по действительным силам нажатия и действительным коэффициентам трения удобно выполнять, если все вагоны в поезде имеют одинаковую силу нажатия на тормозные колодки.

В связи с тем что в эксплуатации силы нажатия тормозных колодок на оси подвижного состава значительно отличаются друг от друга (различные конструкции рычажных передач, режимы), при тормозных расчетах пользуются так называемым методом приведения, сущность которого заключается в следующем.

Тормозная сила колодки выражается произведением коэффициента трения Φ_K на силу нажатия K . Чтобы исключить зависимость Φ_K от K , коэффициент трения определяют при одном условно выбранном нажатии. Этот коэффициент трения приобретает значение расчетного $\Phi_{кр}$. Силе нажатия колодки придают также новое рас-

**Таблица 2.7. Действительный коэффициент трения Φ_K
композиционных колодок**

Сила на- жатия K , тс	Скорость движения v , км/ч								
	10	20	30	40	60	80	120	160	200
0,5	0,386	0,366	0,351	0,338	0,319	0,304	0,284	0,270	0,261
1,0	0,362	0,345	0,330	0,318	0,300	0,286	0,267	0,254	0,245
1,5	0,342	0,326	0,312	0,300	0,284	0,270	0,252	0,240	0,232
2,0	0,325	0,309	0,296	0,286	0,270	0,255	0,240	0,228	0,220
2,5	0,311	0,295	0,283	0,273	0,257	0,245	0,228	0,217	0,210
3,0	0,297	0,283	0,272	0,262	0,246	0,235	0,219	0,208	0,201
3,5	0,285	0,272	0,260	0,251	0,236	0,225	0,210	0,201	0,193
4,0	0,275	0,262	0,251	0,242	0,220	0,217	0,203	0,193	0,187

четное значение K_p , при котором сохраняется равенство между действительной и расчетной тормозными силами:

$$K\varphi_k = K_p \varphi_{кр}. \quad (2.12)$$

Отсюда следует, что

$$K_p = K \frac{\varphi_k}{\varphi_{кр}}. \quad (2.13)$$

Таким образом, для определения расчетной силы нажатия K_p тормозной колодки необходимо знать K , φ_k и $\varphi_{кр}$.

Действительную силу нажатия K находят по формуле (2.1), действительный коэффициент трения — по формулам (2.7)—(2.9). Расчетный коэффициент трения колодок $\varphi_{кр}$ определяют по тем же формулам, но при условии, что $K = 2,7$ тс для чугунных колодок и $K = 1,6$ тс для композиционных колодок, как при средних значениях действительных сил нажатия на колодку четырехосного вагона при груженом и порожнем режимах торможения. При указанных значениях K расчетные коэффициенты трения определяют по следующим формулам:

стандартных чугунных колодок

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (2.14)$$

чугунных с повышенным содержанием фосфора

$$\varphi_{кр} = 0,30 \frac{v + 100}{5v + 100}; \quad (2.15)$$

композиционных колодок

$$\varphi_{кр} = 0,36 \frac{v + 150}{2v + 150} \quad (2.16)$$

или по табл. 2.8.

Т а б л и ц а 2.8. Расчетный коэффициент трения $\varphi_{кр}$
по формулам (2.14) — (2.16)

Скорость v , км/ч	Колодки			Скорость v , км/ч	Колодки		
	чугунные	фосфористые	композиционные		чугунные	фосфористые	композиционные
5	0,227	0,252	0,348	100	0,090	0,100	0,257
10	0,198	0,220	0,339	110	0,087	0,097	0,253
15	0,178	0,197	0,330	120	0,085	0,094	0,249
20	0,162	0,180	0,322	130	0,083	0,092	0,246
30	0,140	0,156	0,308	140	0,081	0,090	0,242
40	0,126	0,140	0,297	150	0,079	0,088	0,240
50	0,116	0,129	0,288	160	0,078	0,087	0,237
60	0,108	0,120	0,280	170	0,076	0,085	0,235
70	0,102	0,114	0,273	180	0,075	0,084	0,233
80	0,097	0,108	0,267	190	0,074	0,083	0,231
90	0,093	0,104	0,262	200	0,073	0,082	0,229

**Т а б л и ц а 2.9. Расчетная сила нажатия колодок K_p ,
определенная по формулам (2.19) — (2.21)**

Сила нажатия K , тс	Колодки			Сила нажатия K , тс	Колодки		
	чугунные	фосфористые	композиционные		чугунные	фосфористые	композиционные
0,2	0,4	0,3	0,25	2,8	2,78	2,75	2,5
0,4	0,7	0,6	0,5	3,0	2,9	2,9	2,65
0,6	1,0	0,84	0,7	3,2	3,0	3,03	2,78
0,8	1,2	1,06	0,9	3,4	3,12	3,17	2,9
1,0	1,4	1,27	1,1	3,6	3,25	3,3	3,03
1,2	1,6	1,47	1,26	3,8	3,4	3,42	3,15
1,4	1,8	1,65	1,43	4,0	3,48	3,56	3,26
1,6	1,95	1,84	1,6	4,2	3,55	3,7	3,32
1,8	2,1	2,0	1,78	4,4	3,65	3,8	3,5
2,0	2,25	2,16	1,93	4,6	3,75	3,92	3,62
2,2	2,4	2,3	2,1	4,8	3,85	4,06	3,7
2,4	2,52	2,48	2,23	5,0	3,98	4,17	3,82
2,6	2,65	2,62	2,38	5,2	4,1	4,3	3,9

Расчетными значениями коэффициентов трения тормозных колодок удобно пользоваться при расчете сил нажатия на оси подвижного состава и определения тормозных путей и допустимых скоростей движения поездов. Очевидно, что при расчетных значениях коэффициента трения и силы нажатия колодок действительный тормозной коэффициент поезда (состава) приобретает также расчетное значение, т. е.

$$\vartheta_p = \frac{\Sigma K_p}{Q + P}, \quad (2.17)$$

а удельная тормозная сила может быть выражена как

$$b_T = 1000 \vartheta_p \Phi_{кр}. \quad (2.18)$$

Перевод действительной силы нажатия на тормозную колодку в расчетную производят по следующим формулам:

для чугунных стандартных колодок

$$K_p = 2,22K \frac{16K + 100}{80K + 100}; \quad (2.19)$$

для чугунных колодок с повышенным содержанием фосфора

$$K_p = 1,67K \frac{16K + 100}{52K + 100}; \quad (2.20)$$

для композиционных тормозных колодок

$$K_p = 1,22K \frac{K + 20}{4K + 20}. \quad (2.21)$$

Значения расчетных сил нажатия K_p в зависимости от действительных сил K для различных тормозных колодок приведены в табл. 2.9. Перевод действительных сил нажатия тормозных колодок в расчетные можно выполнять по графику (рис. 2.2).

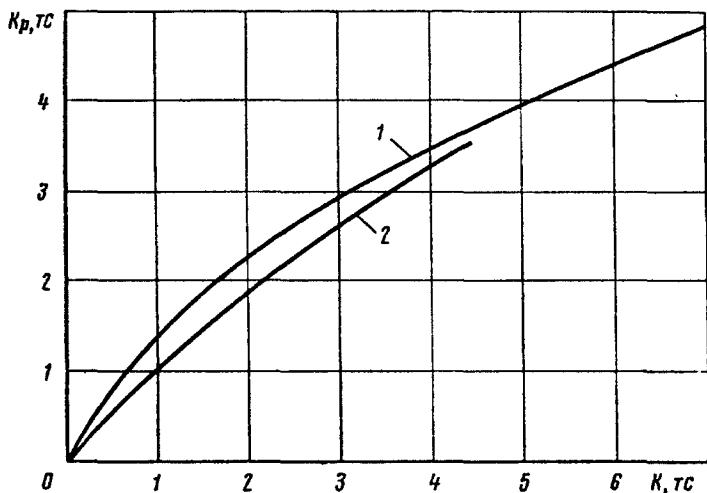


Рис. 2.2. Зависимость между действительной K и расчетной K_p силами нажатия на чугунную стандартную (1) и композиционную (2) тормозные колодки

В связи с тем что зависимость коэффициента трения чугунных колодок с повышенным содержанием фосфора от скорости движения одинакова со стандартными чугунными колодками, в условиях эксплуатации удобно расчетный коэффициент трения всех чугунных колодок определять по одной формуле (2.14). Тогда перевод действительной силы нажатия в расчетную для фосфористой тормозной колодки следует производить по формуле

$$K_p = 1,85K \frac{16K + 100}{52K + 100}. \quad (2.22)$$

Естественно, в этом случае расчетная тормозная сила колодок с повышенным содержанием фосфора $\Sigma K_p \Phi_{кр}$ не изменится. Но такой прием дает возможность пользоваться при расчетах едиными номограммами тормозных путей.

Пример 2. Определить тормозную силу поезда из примера 1 по расчетным значениям силы нажатия на колодку K_p и коэффициенту трения $\Phi_{кр}$.

Решение. При действительной силе нажатия на колодку $K = 3,8$ тс расчетная сила нажатия K_p по формуле (2.19) или табл. 2.9 равна 3,4 тс. Расчетный коэффициент трения чугунных колодок при скорости движения 80 км/ч по формуле (2.14) или табл. 2.8 равен 0,097.

Тормозная сила поезда из 50 четырехосных вагонов $B_T = 1000 \cdot 3,4 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 50 \cdot 0,097 = 133\,000$ кгс, т. е. получается одинаковой — как и при расчетах по действительным силам нажатия и коэффициентам трения (см. пример 1).

Расчетные силы нажатия различных тормозных колодок на оси вагонов, локомотивов, электро- и дизель-поездов при автоматиче-

ских тормозах приведены в табл. 2.10—2.13 (значения даны с округлением с учетом расчетов в эксплуатации). Для вагонов, оборудованных грузовым авторежимом, принимают силу нажатия тормозных колодок в соответствии с массой, приходящейся на ось при порожнем, среднем и груженом режимах.

Расчетная сила нажатия чугунных тормозных колодок на оси при ручном торможении для удержания остановившегося подвижного состава на месте принимается: для пассажирских цельнометаллических вагонов и вагонов рефрижераторных поездов 4 тс; для остальных пассажирских вагонов и всех грузовых вагонов 2 тс; для электропоездов, тепловозов, электро- и дизель-поездов 5 тс.

Т а б л и ц а 2.10. Расчетные силы нажатия чугунных тормозных колодок пассажирских и грузовых вагонов

Тип подвижного состава	Сила нажатия тормозных колодок на ось, тс
Пассажирские вагоны:	
цельнометаллические с массой тары, т:	
53 и более	10,0
48 и более, но менее 53	9,0
42 и более, но менее 48	8,0
цельнометаллические габарита 03-Т (РИЦ) с тормозом КЕ ₀ на режиме:	
пассажирском	10,0
скоростном	15,0
цельнометаллические габарита РИЦ с тормозом ДАКО, Эрликон на режиме:	
пассажирском	8,0
скоростном	12,0
Грузовые вагоны на режиме:	
груженом	7,0
среднем	5,0
порожном	3,5
Изотермические и багажные цельнометаллические вагоны с односторонним торможением	6,0
Вагоны рефрижераторного подвижного состава на режиме:	
груженом	9,0
среднем	6,0
порожном	3,5
Хоппер-дозаторы ЦНИИ-ДВЗ и хоппер-цементовозы на режиме:	
груженом	6,0
порожном	2,5
Думпкары:	
ЗВС50, 4ВС50, 5ВС60 на режиме:	
груженом	6,0
среднем	4,5
порожном	3,0
ВС50, ВС95 на режиме:	
груженом	7,0
среднем	4,5
порожном	3,5

**Т а б л и ц а 2.11. Расчетные силы нажатия чугунных
тормозных колодок локомотивов,
электро- и дизель-поездов**

Тип и серии локомотивов	Сила нажатия колодок на ось, тс, на режимах	
	груженом	порожнем
<i>Электровозы</i>		
ЧС1, ЧС3	14,0	—
ЧС2, ЧС2т, ЧС4, ЧС4т, ЧС6, ЧС7, ЧС8, ЧС200:		
скоростной режим	16,0	—
то же при скоростях менее 60 км/ч	12,0	—
и пассажирский режим		
ВЛ80, ВЛ80к, ВЛ80т, ВЛ80с, ВЛ82, ВЛ82к, ВЛ80р, ВЛ10, ВЛ10у, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ85	14,0	6,0
ВЛ23, ВЛ60 всех индексов	11,0	5,0*
Прочие серии	10,0	5,0*
<i>Тепловозы</i>		
ТЭП60, ТЭ1, 2ТЭ116, 2ТЭП60, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М, ТЭП70, 2ТЭ121, ТЭП75, 4ТЭ10С, 3М62У	12,0	5,0*
ТЭП10, ТЭ7	11,5	—
ТЭ2, ТГ102	9,0	4,0
ЧМЭ3, ЧМЭ3т	11,0	5,0
ТГМ3А	8,0	4,0
Прочие серии	10,0	5,0*
<i>Электропоезда</i>		
Моторные вагоны	10,0	—
Прицепные и головные вагоны	9,0	—
<i>Дизель-поезда</i>		
Д:		
моторные вагоны	12,0	—
прицепные »	9,0	—
ДР1, Д1, ДР1П, ДР1А:		
моторные вагоны	10,0	—
прицепные »	8,0	—

* При наличии порожнего режима.

**Т а б л и ц а 2. 12. Расчетные силы нажатия
чугунных фосфористых колодок по формуле (2.22)**

Тип вагона или электропоезда	Сила нажатия колодок на ось, тс
Цельнометаллические вагоны с массой тары, т:	
53 и более	11,0
48 и более, но менее 53	9,5
42 и более, но менее 48	9,0
Электропоезда:	
моторные вагоны	11,5
прицепные >	9,0

Тормозную силу локомотивов при удержании остановившегося поезда на станции, разъезде и обгонном пункте, имеющих спуск, вспомогательным тормозом локомотива определяют по формуле

$$B_T = 0,25 \Sigma K_p. \quad (2.23)$$

Тормоза грузовых вагонов при чугунных колодках включают на порожний режим при полезной загрузке на одну ось до 3 т, на средний при загрузке до 6 т, на груженный при загрузке более 6 т.

Тормоза рефрижераторных вагонов при чугунных колодках включают на средний режим при полезной загрузке до 3 т на одну ось и на груженный режим при большей загрузке. При наличии в од-

**Т а б л и ц а 2.13. Расчетные силы нажатия
композиционных колодок пассажирских
и грузовых вагонов**

Тип вагона и режим включения воздухораспределителя	Сила нажатия колодок на ось, тс
Пассажирские с массой тары, т:	
53 и более	4,5
48 и более, но менее 53	4,0
42 и более, но менее 48	3,5
Грузовые на режиме:	
груженым	4,25
среднем	3,0
порожнем	1,75
Рефрижераторные вагоны-холодильники:	
с передаточным числом рычажной передачи 5,3 на режиме:	
груженым	4,5
среднем	3,5
порожнем	2,0
с передаточным числом рычажной передачи 10 на режиме:	
среднем	4,75
порожнем	3,0

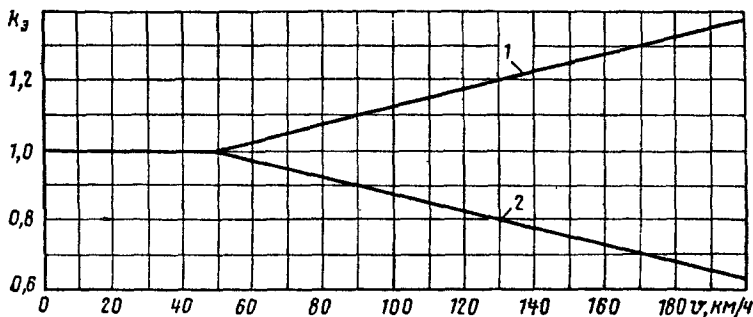


Рис. 2.3. Коэффициент эффективности тормозных колодок k_z :
1 — композиционные колодки по сравнению с чугунными; 2 — чугунные колодки по сравнению с композиционными

ном поезде вагонов с чугунными и композиционными колодками необходимо приводить силу нажатия разнотипных колодок к единой (эквивалентной) силе исходя из равенства тормозных путей при тех и других колодках [13]. Для этого пользуются графиком, приведенным на рис. 2.3, на котором кривая 1 показывает, во сколько раз эффективность действия тормоза вагона при композиционных колодках выше по сравнению с чугунными, а кривая 2 — во сколько она ниже при чугунных.

Из рис. 2.3 видно, что при скоростях движения до 50 км/ч эффективность действия композиционных и чугунных колодок примерно одинакова, т. е. расчетная сила нажатия на ось чугунных колодок пассажирского вагона 10 тс (9 тс, 8 тс) соответствует силе нажатия композиционных колодок 4,5 тс (4,0 тс, 3,5 тс). С увеличением скорости эффективность композиционных колодок повышается, и при скорости 160 км/ч сила нажатия композиционных колодок 4,5 тс эквивалентна 13 тс при чугунных колодках.

Исходя из рис. 2.3 при решении тормозных задач расчетные силы нажатия композиционных колодок у пассажирских вагонов в пересчете на чугунные колодки принимают в следующем соотношении: при скоростях движения до 60 км/ч — одинаковые с чугунными; от 60 до 100 км/ч — на 10 %, от 100 до 110 км/ч — на 15 %, от 110 до 120 км/ч — на 20 %, от 120 до 140 км/ч — на 25 %, свыше 140 км/ч — на 30 % больше, чем для чугунных колодок.

В связи с тем что в настоящее время значительную часть грузовых вагонов эксплуатируют на чугунных колодках, и при композиционных колодках тормоза груженых вагонов включают на средний режим (при массе, приходящейся на ось, свыше 6 т), эффективность композиционных и чугунных колодок принимают условно одинаковой, т. е. у груженых вагонов силу нажатия композиционных колодок, приведенную к чугунным, принимают равной 7 тс, у порожних — 3,5 тс.

При использовании груженого режима воздухораспределителей приведенную силу нажатия композиционных колодок принимают равной 8,5 тс (табл. 2.14). У рефрижераторных вагонов, обрабатываемых со скоростями движения до 120 км/ч, тормозное

нажатие на ось композиционных колодок в пересчете на чугунные принимают на среднем режиме 14 тс, на порожнем 8,5 тс. Передаточное число рычажной передачи 10. Переключение на средний режим производят при массе, приходящейся на ось, более 6 т.

Учетные массы подвижного состава (табл. 2.15—2.17) применяют для расчета массы и тормозного коэффициента поезда.

Приведение расчетной силы нажатия композиционных колодок у пассажирских вагонов к силе нажатия чугунных и наоборот показано на примерах 3—5.

Пример 3. Определить тормозную силу пассажирского состава, сформированного из 15 вагонов межобластного типа, при скорости движения 160 км/ч. Вагоны имеют массу тары 49 т и оборудованы композиционными колодками.

Решение. В соответствии с данными табл. 2.13 расчетная сила нажатия композиционных колодок на одну ось пассажирского вагона равна 4,0 тс. Суммарная сила нажатия колодок состава $\Sigma K = 4 \cdot 4 \cdot 15 = 240$ тс.

Расчетный коэффициент трения композиционных колодок при скорости 160 км/ч, определяемый по формуле (2.16), равен 0,237.

Таблица 2.14. Расчетные силы нажатия композиционных колодок пассажирских и грузовых вагонов в пересчете на чугунные колодки

Тип вагона и режим включения воздухораспределителя	Сила нажатия колодок на ось, тс
Пассажирские вагоны, обращающиеся со скоростью до 160 км/ч, с массой тары, т:	
53 и более	13,0
48 и более, но менее 53	11,0
42 и более, но менее 48	10,5
Вагоны электропоезда ЭР200 с дисковым тормозом	15,0*
Грузовые вагоны на режиме:	
груженом	8,5
среднем	7,0
порожнем	3,5
Хоппер-дозаторы ЦНИИ-ДВЗМ и думпкары 2ВС105, ВС100, ТВС165, ТВС180, 6ВС60, ВС85, 3ВС50, 4ВС50, 5ВС50 на режиме:	
среднем	7,0
порожнем	3,5
Вагоны рефрижераторного подвижного со- става на режиме:	
среднем	7,0
порожнем	4,5
Рефрижераторные вагоны, обращающиеся со скоростью до 120 км/ч, на режиме:	
среднем	14,0
порожнем	8,5

* При действии магнитно-рельсового тормоза дополнительно 25 тс на вагон.

**Т а б л и ц а 2.15. Учетная масса пассажирских
и грузовых вагонов**

Тип вагонов	Масса тары, т	Учетная масса вагона с пассажирами (грузом), т
Цельнометаллические пассажирские	58—62	65
« «	53—57	60
« «	48—52	55
« «	42—47	50
Цельнометаллические пассажирские габарита РИЦ	55	52
Вагоны-рестораны	56—60	65
Багажные габарита РИЦ	45	57
Цельнометаллические багажные	44—45	60
Цельнометаллические почтовые, багажные и почтово-багажные	47—55	65
Четырехосные полувагоны и платформы	20—26	85
Крытые вагоны грузоподъемностью 60—63 т	21—23	84
Крытые для перевозки скота	24—25	55
Хоппер-дозаторы ЦНИИ-ДВЗ	23	83
Четырехосные вагоны-думпкары	29—31	82
Четырехосные для перевозки автомобилей	26	45
Цистерны емкостью 60 м³	23—26	84
Четырехосные для перевозки битума	32—39	80
Для перевозки окатышей	24	84
Для перевозки цемента, зерна	19—22	84
Шестиосные полувагоны	32	125
Шестиосные цистерны	36	126
Восьмиосные полувагоны	44—45	170
Восьмиосные цистерны	48	168
Автономные рефрижераторные	44—46	84
Шестиосные вагоны-думпкары	47—48	126
Восьмиосные вагоны-думпкары	68	168

Т а б л и ц а 2.16. Учетная масса рефрижераторных составов

Вид состава	Учетная масса состава, т	
	порожного	при полной загрузке
Двухвагонная секция	110	160
Трехвагонная »	180	240
Пятивагонная »	240	400
12-вагонная »	560	955
21-вагонный поезд	950	1690
23-вагонный »	1035	1635

**Таблица 2.17. Учетная масса локомотивов,
электро- и дизель-поездов и наличие у них
фактического числа тормозных осей**

Локомотивы серий	Количество осей		Учетная масса локомотива, т	
	автотор- мозных	ручного тормоза	макси- мальная	в порож- нем состоянии
<i>Электровозы</i>				
ВЛ22 ^м	6	6	132	130
ВЛ23, ВЛ60 всех индек- сов	6	6	138	136
ВЛ8, ВЛ10, ВЛ80, ВЛ80 ^к ,				
ВЛ11 (две секции)	8	4	184	180
ВЛ11 (три секции)	12	6	276	270
ВЛ80 ^р	8	4	192	188
ВЛ82, ВЛ80 ^т , ВЛ80 ^с	8	4	190	186
ВЛ82 ^м , ВЛ10 ^у	8	4	200	196
ЧС1, ЧС3	4	4	84	83
ЧС2	6	2	120	119
ЧС2 ^т	6	2	128	127
ЧС4, ЧС4 ^т	6	2	126	125
ЧС200	8	2	156	154
ВЛ15	12	4	285	280
ВЛ85	12	4	288	282
ЧС6	8	2	164	162
ЧС7	8	2	172	168
ЧС8	8	2	175	173
<i>Тепловозы</i>				
ТЭ1, ТЭМ1, ТЭМ2	6	2	121	118
ТЭ2	8	4	170	166
ТЭ3, ТЭ7	12	4	254	250
3ТЭ3, 3ТЭ3У	18	6	381	375
2ТЭ10Л, 2ТЭ10, 2ТЭП60	12	4	258	254
2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 2ТЭ116	12	4	276	264
3ТЭ10М, 3ТЭ10В	18	6	414	395
3М62У	18	6	378	360
ТЭП10, ТЭ10	6	4	129	125
ТЭП60, ТЭП10Л	6	2	129	126
ТЭМ7	8	2	180	173
М62	6	2	120	116
2М62	12	4	240	234
ЧМЭ2	4	1	72	68
ЧМЭ3, ТЭМ2А, ТЭМ2У,	6	1	123	121
ТЭМ3М				
ВМЭ1	4	2	74	68
ТГМ3А	4	2	68	65
ТЭП70	6	2	131	127
ТЭП75	6	2	138	134
2ТЭ121	12	4	300	292
4ТЭ10С	24	8	552	528

Локомотивы серий	Количество осей		Учетная масса локомотива, т	
	автотор- мозных	ручного тормоза	макси- мальная	в порож- нем состоянии

Электропоезда

Головной вагон:				
ЭР1, ЭР9П, ЭР9М, ЭР9Е	4	4	48	38
ЭР2, ЭР9, ЭР12	4	4	50	41
ЭР2Р	4	2	51,5	42,5
ЭР29	4	4	58	49
ЭР200	3	1	51,5	49
Моторный вагон:				
ЭР1	4	4	64	52,5
ЭР2	4	2	64	52,5
ЭР9, ЭР9П, ЭР9М, ЭР9Е	4	2	71	60
С ₃ ^Р , С ₃ ^М	4	4	73	62
ЭР22, ЭР22В	4	1	77	65
ЭР2Р, ЭР12	4	2	70	58,5
ЭР29	4	2	74	61,5
ЭР200, без токоприемника	4	1	64	56,5
ЭР200, с токоприемником	4	1	65	58,5
Прицепной вагон:				
ЭР1, ЭР9П, ЭР9М, ЭР9Е	4	4	48	37
ЭР2, СР, С ₃ ^Р , С ₃ ^М , ЭР9, ЭР12	4	4	50	39
ЭР22, ЭР22В	4	4	56	42
ЭР2Р	4	2	51,5	40,5
ЭР29	4	4	57,5	46,5

Дизель-поезда

Моторный вагон:				
Д1	4	4	81	70,5
Д	4	4	76	65
ДР1, ДР1П, ДР1А	4	1	68	56
Прицепной вагон:				
Д1	4	4	56	37
Д	4	4	50	37
ДР1	4	1	52	34
ДР1П, ДР1А	4	1	54	36

Тормозная сила состава $B_T = 240 \cdot 0,237 = 57$ тс.

В пересчете на чугунные колодки расчетная сила нажатия композиционных колодок для скорости 160 км/ч на 30 % больше, чем при чугунных, т. е. сила нажатия на одну ось равна не 9, а 11,7 тс. Суммарная сила нажатия композиционных колодок в пересчете на чугунные составит: $\Sigma K = 11,7 \cdot 4 \cdot 15 = 700$ тс во всем диапазоне снижения скорости до остановки поезда.

Расчетный коэффициент трения чугунных колодок при скорости 160 км/ч равен 0,078 (см. табл. 2.8), а тормозная сила состава $B_T = 700 \cdot 0,078 = 55$ тс.

Пример 4. Определить расчетную силу нажатия и тормозной коэффициент пассажирского поезда дальнего следования, в котором два вагона оборудованы композиционными колодками, а остальные десять и электровоз ЧС2 — чугунными, без скоростного регулятора нажатия; скорость движения 120 км/ч. Масса тары вагонов 53—55 т.

Решение. По табл. 2.15 и 2.17 определяем учетную массу вагона 60 т и электровоза 120 т. Масса поезда равна $12 \cdot 60 + 120 = 840$ т.

Сила нажатия чугунных колодок десяти вагонов и электровоза будет $10 \cdot 4 \cdot 10 + 6 \cdot 12 = 472$ тс. Сила нажатия композиционных колодок двух вагонов в пересчете на чугунные колодки для скорости 120 км/ч составит $10 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 1,2 = 96$ тс. Суммарная сила нажатия тормозных колодок поезда определится $472 + 96 = 568$ тс, а Φ_p составит 0,68.

Следует отметить, что для пассажирских поездов, обращающихся со скоростями до 120 км/ч, график и скорость движения рассчитывают исходя из условия, что все вагоны оборудованы чугунными колодками, т. е. эффективность композиционных колодок считают одинаковой с чугунными. Если же для такого поезда необходимо решить конкретную тормозную задачу, например рассчитать тормозной путь после полного торможения, то силу нажатия композиционных колодок увеличивают в соотношении, указанном выше. Если пассажирский состав полностью оборудован композиционными колодками или их большинство, тормозные расчеты целесообразно вести по композиционным колодкам.

Пример 5. Определить расчетную силу нажатия пассажирского поезда, в котором восемь вагонов оборудованы композиционными колодками с нажатием на ось 4,5 тс, четыре вагона — чугунными колодками со скоростным регулятором нажатия, тепловоз ТЭП60 имеет чугунные колодки; скорость движения 140 км/ч.

Решение. Сила нажатия восьми вагонов с композиционными колодками равна: $4,5 \cdot 4 \cdot 8 = 144$ тс. Сила нажатия чугунных колодок четырех вагонов в пересчете на композиционные колодки составит:

$$\Sigma K = mn \frac{K_p^c}{K_p} K_p^k k_3, \quad (2.24)$$

где m — количество вагонов;

n — количество тормозных осей одного вагона;

K_p^c — сила нажатия на одну ось вагона при скоростном режиме (определяют по табл. 2.10);

K_p — сила нажатия на одну ось без скоростного регулятора или на пассажирском режиме (определяют по табл. 2.10);

K_p^k — сила нажатия на одну ось при композиционных колодках;

k_3 — коэффициент эффективности чугунных колодок по сравнению с композиционными (определяют по рис. 2,3).

По формуле (2.24)

$$\Sigma K = 4 \cdot 4 \frac{15}{10} 4,5 \cdot 0,75 = 81 \text{ тс.}$$

Суммарная сила нажатия колодок тепловоза при нажатии на одну ось 12 тс в пересчете на композиционные колодки

$$6 \frac{12}{10} 4,5 \cdot 0,75 = 24,2 \text{ тс.}$$

Суммарная сила нажатия композиционных тормозных колодок поезда

$$144 + 81 + 24,2 = 249,2 \text{ тс.}$$

Расчетный коэффициент силы нажатия колодок, коэффициент сцепления колес с рельсами и тормозной коэффициент. Расчетным коэффициентом силы нажатия единицы подвижного состава называется отношение суммарной расчетной силы нажатия колодок ΣK_p к весу локомотива или вагона.

Коэффициент силы нажатия зависит от типа подвижного состава, тормозных колодок, коэффициента сцепления колес с рельсами, режима включения воздухораспределителя, нагрузки от колесной пары на рельс.

Расчетный коэффициент силы нажатия колодок δ_p единицы подвижного состава выбирается исходя из условий надежного сцепления колес с рельсами при торможении:

$$\delta_p \varphi_{np} < \psi_k, \quad (2.25)$$

$$\frac{\delta_p \varphi_{np}}{\psi_k} \leq 0,9. \quad (2.26)$$

Расчетный коэффициент сцепления колес с рельсами ψ_k при граничных значениях скоростей принимают для различного подвижного состава по табл. 2.18. Для высокоскоростных локомотивов коэффициент сцепления при торможении с конструктивной скорости определяют по формуле

$$\psi_k = \frac{14,8}{q'_0} \left(\frac{2,7}{v + 20} + 0,09 \right). \quad (2.27)$$

Возможность юза колесных пар грузового вагона проверяют на порожнем вагоне при давлении в тормозном цилиндре 0,18 МПа.

Расчетный тормозной коэффициент состава (поезда) принимают равным его полному значению, если рассчитывают тормозные пути экстренного торможения, которые используются при определении расстояний для ограждения мест производства работ и внезапно возникших препятствий. Если учитывают применение полного служебного торможения (например, при расстановке постоянных сигналов), расчетный тормозной коэффициент принимают равным 0,8 его полного расчетного значения.

При остановках на станциях и отдельных пунктах, предусмотренных графиком движения, значение расчетного тормозного коэффициента принимают равным 0,5, а для пассажирских поездов, электро-и дизель-поездов — 0,6 его полного расчетного значения. При регулировочных торможениях, применяемых для поддержания заданной скорости движения, значение расчетного тормозного коэффициента принимают в зависимости от степени пневматического торможения по табл. 2.19, 2.20.

При движении поезда по перегону для регулирования скорости используют электрическое рекуперативное (реостатное) торможение.

Т а б л и ц а 2.18. Расчетные значения коэффициента сцепления колес с рельсами при торможении

Тип подвижного состава	Расчетная скорость, км/ч	Расчетный коэффициент сцепления ψ_R при нагрузке от одной колесной пары на рельсы, тс										
		до 6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Грузовые вагоны	20	0,129	0,125	0,121	0,118	0,114	0,110	0,106	0,103	0,100	0,097	0,094
	100	0,097	0,094	0,091	0,088	0,085	0,082	0,080	0,077	0,074	0,072	0,070
	120	0,092	0,089	0,086	0,083	0,081	0,078	0,075	0,073	0,070	0,068	0,066
Пассажирские и изотермические вагоны, электро- и дизель-поездов	40	0,139	0,135	0,132	0,127	0,123	0,119	0,115	0,111	0,107	0,104	—
	140	0,106	0,102	0,099	0,096	0,093	0,090	0,087	0,084	0,081	0,079	—
	160	0,102	0,099	0,096	0,093	0,090	0,087	0,084	0,081	0,078	0,076	—
Локомотивы	20	—	—	—	—	—	—	0,118	0,113	0,109	0,106	0,103
	100	—	—	—	—	—	—	0,087	0,082	0,079	0,077	0,075
	160	—	—	—	—	—	—	0,080	0,075	0,070	—	—

**Т а б л и ц а 2.19. Тормозные расчетные нормативы
для грузовых поездов**

Показатели	Ступени служебного торможения		
	I	II	III
Минимальное время торможения, мин	0,20	0,30	0,40
Время полного отпуска и подзарядки тормозов, мин	1,5	1,8	2,0
Давление в тормозном цилиндре, МПа, на режиме:			
груженом	0,10	0,16	0,25
среднем	0,09	0,12	0,18
порожном	0,08	0,10	0,14
Расчетный тормозной коэффициент, % от полного значения на режиме:			
груженом и среднем	30	50	70
порожном	50	65	80

**Т а б л и ц а 2.20. Тормозные расчетные нормативы
для пассажирских поездов**

Показатели	Ступени служебного торможения		
	I	II	III
Минимальное время торможения, мин	0,20	0,20	0,25
Время полного отпуска и подзарядки тормозов, мин	0,5	0,8	1,0
Давление в тормозном цилиндре, МПа	0,12	0,20	0,30
Расчетный тормозной коэффициент, % от полного значения	35	60	85

Тормозную силу электровоза (тепловоза) для построения кривой скорости определяют в соответствии с электрическими тормозными характеристиками, при этом тормозная сила не должна превышать ограничения по сцеплению.

В случае экстренного торможения сила электрического тормоза локомотива в расчет не вводится.

2.2. Расчет тормозного пути

Расчет тормозного пути суммированием. При расчетах тормозного пути поездов полный тормозной путь s_T , проходимый от начала торможения до остановки, определяют обычно как сумму подготовительного пути s_{Π} и действительного пути торможения s_d . Подготовительный путь подсчитывают по формуле

$$s_{\Pi} = \frac{v_0 t_{\Pi}}{3,6}, \quad (2.28)$$

где v_0 — скорость поезда в начальный момент торможения;
 t_{Π} — время подготовки тормозов к действию.

Действительный тормозной путь вычисляют в результате суммирования тормозных путей, определяемых по интервалам скорости, при условии постоянства тормозной силы, удельного сопротивления движению и уклона в принятом интервале скоростей:

$$s_d = \sum \frac{500 (v_n^2 - v_k^2)}{\zeta (b_T + \omega_{0x} + \omega_i)}, \quad (2.29)$$

где v_n, v_k — начальная и конечная скорости поезда в принятом расчетном интервале скоростей;

ζ — замедление поезда под действием удельной замедляющей силы;

b_T — удельная тормозная сила при средней скорости в каждом интервале;

ω_{0x} — удельное основное сопротивление движению поезда при средней скорости в каждом интервале;

ω_i — удельное сопротивление от спрямленного уклона с учетом сопротивления в кривой (спрямление профиля пути производят на участке, равном длине поезда плюс ожидаемая длина тормозного пути).

Значение ζ принимают для грузовых и пассажирских поездов равным 120, одиночно следующих электровозов — 107, пассажирских тепловозов — 118, грузовых тепловозов — 112, электропоездов — 119, дизель-поездов — 116.

Определение времени подготовки автотормозов к действию. При определении времени подготовки автотормозов t_{Π} условию заменяют медленный реальный процесс нарастания давления воздуха в тормозном цилиндре мгновенным скачком до максимального расчетного значения [12]. Следовательно, предполагается, что в течение подготовительного времени t_{Π} тормоза не работают и поезд проходит подготовительный путь s_{Π} . По истечении этого времени тормоза мгновенно срабатывают и поезд проходит остальную часть тормозного пути при полной силе нажатия тормозных колодок.

Такая замена возможна при равенстве тормозных путей, которые проходит поезд при реальном и условном исполнении тормозных цилиндров. С учетом этого время подготовки автотормозов к действию в секундах для различных поездов определяют по следующим формулам:

для грузовых составов длиной 200 осей и менее при автоматических тормозах и одиночно следующих грузовых локомотивов

$$t_{\Pi} = 7 - \frac{10i_0}{b_T}; \quad (2.30)$$

для грузовых составов длиной более 200 осей (до 300 осей)

$$t_{\Pi} = 10 - \frac{15i_c}{b_T}; \quad (2.31)$$

для грузовых составов длиной более 300 осей

$$t_{\Pi} = 12 - \frac{18i_c}{b_T}; \quad (2.32)$$

для пассажирских поездов при пневматических тормозах и одиночно следующих пассажирских локомотивов

$$t_{\Pi} = 4 - \frac{5i_c}{b_T}; \quad (2.33)$$

для пассажирских поездов при электропневматических тормозах

$$t_{\Pi} = 2 - \frac{3i_c}{b_T}; \quad (2.34)$$

при автостопном торможении в зависимости от рода подвижного состава — по формулам (2.30)—(2.33) с увеличением на 12 с (суммарное время срабатывания системы автостопа), т. е.

$$t'_{\Pi} = t_{\Pi} + 12. \quad (2.35)$$

В формулах значение i_c принимают для спусков со знаком минус, для подъемов со знаком плюс; значение удельной тормозной силы b_T определяют при наибольшей скорости в начале торможения.

Следует отметить, что время подготовки тормозов к действию возрастает с увеличением длины грузовых поездов непрерывно, но практически пользоваться такой зависимостью неудобно, поэтому грузовые поезда разделены на три группы и для каждой группы даны усредненные значения времени подготовки.

При определении тормозного пути на спусках свыше 20‰/00 следует учитывать приращение скорости поезда за время подготовки тормозов к действию, т. е. подготовительный тормозной путь вычислять по формуле

$$s_{\Pi} = \frac{(v + \Delta v) t_{\Pi}}{3,6}, \quad (2.36)$$

где Δv — приращение скорости, принимают равным 5 км/ч.

Такое же приращение скорости надо учитывать и при расчете действительного пути s_d , т. е. увеличивать начальную скорость в первом расчетном интервале на 5 км/ч.

Методика расчета тормозных путей. В соответствии с формулами (2.28) — (2.36) рассчитывают тормозные пути грузовых и пассажирских поездов; последовательность и особенности расчетов путей показаны на примерах.

Для экстренного торможения определяют тормозной путь, который используют для установления расстояний ограждений мест препятствия движению поезда.

Пример 6. Определить тормозной путь пассажирского поезда, сформированного из 15 вагонов межобластного типа и электровоза ЧС2, при экстренном электропневматическом торможении на спуске 5‰/00 со скорости 160 км/ч, вагоны оборудованы композиционными

тормозными колодками (накладками), учетная масса вагона 55 т, электровоза 120 т, общая масса поезда 945 т.

Р е ш е н и е. Расчет выполняют в двух вариантах: по композиционным колодкам и в пересчете на чугунные.

1. Определяют силу нажатия тормозных колодок поезда. Сила нажатия композиционных колодок состава

$$4 \cdot 4 \cdot 15 = 240 \text{ тс.}$$

Усредненная сила нажатия чугунных тормозных колодок на одну ось электровоза при действии скоростного регулятора в диапазоне скоростей от 160 км/ч до остановки составляет 16 тс.

В пересчете на композиционные колодки (согласно рис. 2.3 $k_a = 0,7$) суммарная сила нажатия электровоза равна:

$$6 \frac{16}{12} 5,5 \cdot 0,7 = 30 \text{ тс.}$$

Усредненная сила нажатия композиционных колодок состава в пересчете на чугунные при скоростях от 160 км/ч до остановки поезда ($k_a = 1,3$) равна $4 \cdot 15 \cdot 9 \cdot 1,3 = 700 \text{ тс.}$

2. Определяют тормозной коэффициент поезда ϕ_p . Для экстренного торможения ϕ_p принимают равным его полному значению. В пересчете на композиционные колодки ϕ_p (тс/т) составляет

$$\frac{240 + 30}{945} = 0,286,$$

а на чугунные

$$\frac{700 + 96}{945} = 0,84.$$

3. Удельную тормозную силу b_T определяют по формуле (2.18):

$$b_T = 1000 \phi_p \phi_{кр},$$

где $\phi_{кр}$ — коэффициент трения композиционных или чугунных колодок, принимаемый по табл. 2.8.

4. Определяют удельное основное сопротивление состава для бесстыкового пути по формуле (1.15), электровоза ЧС2 по формуле (1.19) и поезда по формуле

$$\omega_{0x} = \frac{825\omega''_0 + 120\omega_x}{945}.$$

Для интервала скоростей 160—150 км/ч:

$$\omega''_0 = 0,7 + \frac{8 + 0,16 \cdot 155 + 0,0023 \cdot 155^2}{13,75} = 7,1 \text{ кгс/т;}$$

$$\omega_x = 2,4 + 0,009 \cdot 155 + 0,00035 \cdot 155^2 = 12,2 \text{ кгс/т;}$$

$$\omega_{0x} = \frac{825 \cdot 7,1 + 120 \cdot 12,2}{945} = 7,8 \text{ кгс/т.}$$

Аналогично выполняют расчеты для остальных интервалов скоростей движения. Результаты расчетов сводят в табл. 2.21.

**Т а б л и ц а 2.21. Исходные данные для расчета
тормозного пути при экстренном торможении**

Интервалы скорости, км/ч	Сопротивление, кгс/т			Параметры для колодок					
				композиционных			чугунных		
	w_0''	w_x	w_{0x}	$\varphi_{кр}$	φ_p	b_T	$\varphi_{кр}$	φ_p	b_T
160	—	—	—	0,237	0,286	68	0,078	0,84	65,5
160—150	7,1	12,2	7,8	0,239	0,286	68,5	0,0786	0,84	66
150—140	6,5	11,1	7,2	0,241	0,286	69	0,080	0,84	67
140—130	5,9	10,1	6,6	0,244	0,286	70	0,082	0,84	69
130—120	5,4	9,0	6,0	0,247	0,286	71	0,0836	0,84	70
120—110	4,9	8,1	5,4	0,251	0,286	72	0,086	0,84	72
110—100	4,4	7,2	4,8	0,255	0,286	73	0,088	0,84	74
100—90	3,9	6,5	4,2	0,259	0,286	74	0,0915	0,84	77
90—80	3,6	5,7	3,8	0,264	0,286	75,5	0,095	0,84	80
80—70	3,1	5,1	3,4	0,270	0,286	77	0,100	0,84	84
70—60	2,8	4,5	3,0	0,276	0,286	79	0,105	0,84	88
60—50	2,4	4,0	2,7	0,284	0,286	81	0,112	0,84	94
50—40	2,1	3,5	2,3	0,292	0,286	83,5	0,121	0,84	101
40—30	1,8	3,2	2,0	0,303	0,286	86,5	0,133	0,84	111
30—20	1,6	2,9	1,8	0,315	0,286	90	0,150	0,84	126
20—10	1,4	2,6	1,6	0,330	0,286	94,5	0,178	0,84	149
10—0	1,3	2,4	1,4	0,348	0,286	99,5	0,227	0,84	190

5. Рассчитывают значения действительного тормозного пути по интервалам скоростей движения для композиционных колодок и в пересчете на чугунные (для чугунных колодок значения b_T и s_d даны в скобках).

В интервале скоростей 160—150 км/ч тормозной путь (округленно) составит:

$$s_{160-150} = \frac{4,17(160^2 - 150^2)}{68,5(66) + 7,8 - 5} = 180(187) \text{ м.}$$

Далее по интервалам соответственно:

$$s_{150-140} = \frac{4,17(150^2 - 140^2)}{69(67) + 7,2 - 5} = 169(175) \text{ м;}$$

$$s_{140-130} = \frac{4,17(140^2 - 130^2)}{70(69) + 6,6 - 5} = 155(160) \text{ м;}$$

$$s_{130-120} = \frac{4,17(130^2 - 120^2)}{71(70) + 6,0 - 5} = 145(147) \text{ м;}$$

$$s_{120-110} = \frac{4,17(120^2 - 110^2)}{72(72) + 5,4 - 5} = 133(133) \text{ м;}$$

$$s_{110-100} = \frac{4,17(110^2 - 100^2)}{73(74) + 4,8 - 5} = 120(119) \text{ м;}$$

$$\begin{aligned}
s_{100-90} &= \frac{4,17(100^2 - 90^2)}{74(77) + 4,2 - 5} = 107(105) \text{ м}; \\
s_{90-80} &= \frac{4,17(90^2 - 80^2)}{75,5(80) + 3,8 - 5} = 95(90) \text{ м}; \\
s_{80-70} &= \frac{4,17(80^2 - 70^2)}{77(84) + 3,4 - 5} = 82(77) \text{ м}; \\
s_{70-60} &= \frac{4,17(70^2 - 60^2)}{79(88) + 3,0 - 5} = 71(65) \text{ м}; \\
s_{60-50} &= \frac{4,17(60^2 - 50^2)}{81(94) + 2,7 - 5} = 57(50) \text{ м}; \\
s_{50-40} &= \frac{4,17(50^2 - 40^2)}{83,5(101) + 2,3 - 6} = 46(39) \text{ м}; \\
s_{40-30} &= \frac{4,17(40^2 - 30^2)}{86,5(111) + 2,0 - 5} = 34(28) \text{ м}; \\
s_{30-20} &= \frac{4,17(30^2 - 20^2)}{90(126) + 1,8 - 5} = 24(17) \text{ м}, \\
s_{20-10} &= \frac{4,17(20^2 - 10^2)}{94,5(149) + 1,6 - 5} = 14(10) \text{ м}; \\
s_{10-0} &= \frac{4,17(10^2 - 0^2)}{99,5(190) + 1,4 - 5} = 5(4) \text{ м}.
\end{aligned}$$

Полный действительный тормозной путь s_d при расчете по композиционным колодкам равен 1437 м, а при переводе на действие чугунных — 1406 м. Подготовительный тормозной путь при торможении со скорости 160 км/ч:

$$s_{\Pi} = \frac{160}{3,6} \left(2 + \frac{3,5}{68(65,5)} \right) = 98(99) \text{ м}.$$

Полный тормозной путь составит 1535 м, а при пересчете на чугунные колодки — 1505 м.

Таким образом, при переводе силы нажатия композиционных колодок к силе нажатия чугунных разница в конечном тормозном пути составила примерно 2 %, что допустимо. Однако для данного случая, когда все вагоны оборудованы композиционными колодками, расчет по этим колодкам или по переменным значениям коэффициента k'_z дает более точные значения тормозного пути, особенно в интервалах низких скоростей.

Сущность расчета по переменным значениям коэффициента k'_z заключается в том, что вместо усредненного значения k_z , постоянного от максимальной скорости до остановки поезда, в расчете используют переменные значения k'_z в каждом расчетном интервале скорости, полученные путем сравнения тормозных сил композиционных и чугунных колодок в этих интервалах скорости: при 160—140 км/ч его значение равно 1,35; 140—100 до 1,30; 100—80 до 1,20; 80—60 до 1,15; 60—40 до 1,05; 40—20 до 0,95; 20—0 до 0,80.

Т а б л и ц а 2 22. Исходные данные для расчета тормозного пути при полном служебном торможении (к примеру 7)

Показатели	Значения показателей при интервале скорости, км/ч							
	80—70	70—60	60—50	50—40	40—30	30—20	20—10	10—0
φ_p	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264
$\varphi_{кр}$	0,10	0,105	0,112	0,121	0,133	0,15	0,178	0,227
b_T	26,4	27,6	29,6	32	35,2	39,6	47	60
w_0''	1,86	1,65	1,46	1,3	1,16	1,04	0,94	0,87

В результате расчета тормозного пути данного пассажирского поезда с использованием переменных значений k'_z получен тормозной путь, равный 1540 м [15], т. е. отличающийся от подсчитанного по композиционным колодкам только на 5 м.

Для полного служебного торможения определяют тормозной путь для данного места, который используют при выборе расстояний между постоянными сигналами. При расчете тормозного пути полного служебного торможения применяют формулы (2.28) — (2.34), но значение расчетного тормозного коэффициента поезда принимают равным 0,8 его полного расчетного значения. Так, для грузового поезда с тормозным нажатием 35 тс на 100 т массы состава тормозной коэффициент при полном служебном торможении принимается не 0,35, а 0,28.

Пример 7. Определить тормозной путь грузового поезда на площадке при полном служебном торможении со скорости 80 км/ч; масса поезда 3800 т; число осей 180; полный тормозной коэффициент чугунных колодок 0,33; вагоны оборудованы роликовыми подшипниками.

Р е ш е н и е. Расчетный тормозной коэффициент состава

$$\varphi_p = 0,8 \cdot 0,33 = 0,264.$$

Основное удельное сопротивление состава определяют по формуле (1.3). Для интервала скорости 80—70 км/ч

$$w_0'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot 75 + 0,0025 \cdot 75^2}{21} = 1,86 \text{ кгс/т}.$$

Аналогично выполняют расчеты для остальных интервалов. Результаты подсчета удельного сопротивления и тормозной силы состава приведены в табл. 2.22.

Рассчитывают значение действительного тормозного пути по интервалам скоростей через 10 км/ч.

В интервале 80—70 км/ч тормозной путь составит:

$$s_{80-70} = \frac{4,17 (80^2 - 70^2)}{26,4 + 1,86} = 220 \text{ м};$$

далее по интервалам соответственно:

$$s_{70-60} = \frac{4,17 (70^2 - 60^2)}{27,6 + 1,65} = 184 \text{ м};$$

$$s_{60-50} = \frac{4,17(60^2 - 50^2)}{29,6 + 1,46} = 147 \text{ м.}$$

$$s_{50-40} = \frac{4,17(50^2 - 40^2)}{32 + 1,3} = 112 \text{ м.}$$

$$s_{40-30} = \frac{4,17(40^2 - 30^2)}{35,2 + 1,16} = 80 \text{ м;}$$

$$s_{30-20} = \frac{4,17(30^2 - 20^2)}{39,6 + 1,04} = 51 \text{ м;}$$

$$s_{20-10} = \frac{4,17(20^2 - 10^2)}{47 + 0,94} = 26 \text{ м;}$$

$$s_{10-0} = \frac{4,17(10^2 - 0^2)}{60 + 0,87} = 7 \text{ м.}$$

После суммирования $s_d = 827 \text{ м}$. Подготовительный тормозной путь $s_{п} = \frac{7 \cdot 80}{3,6} = 156 \text{ м}$. Полный тормозной путь $s_T = 827 + 156 = 983 \text{ м}$.

Для автостопного торможения тормозной путь должен быть менее расстояния между постоянными сигналами. При автостопном торможении действительный тормозной путь определяют так же, как и при экстренном торможении; расчетный тормозной коэффициент принимают равным его полному значению. Подготовительный тормозной путь рассчитывают исходя из времени подготовки по формулам (2.30) — (2.33), увеличенного на 12 с. Так, для грузового поезда длиной до 200 осей время подготовки тормозов к действию $t_{п}$ на площадке принимают равным 19 с.

Пример 8. Для пассажирского поезда из примера 6 определить тормозной путь при автостопном торможении.

Решение. Согласно расчетам примера 6 действительный тормозной путь s_d со скорости 160 км/ч равен 1437 м. Подготовительный тормозной путь при автостопном торможении со скорости 160 км/ч составит:

$$s_{п} = \frac{160}{3,6} \left(4 + \frac{5 \cdot 5}{65,5} + 12 \right) = 730 \text{ м.}$$

Полный тормозной путь $s_T = 1437 + 730 = 2167 \text{ м}$.

Расчеты показывают, что у пассажирских поездов тормозные пути получаются большими при автостопном торможении, а у грузовых поездов в некоторых случаях — при полном служебном торможении, а в некоторых — при автостопном (табл. 2.23). Поэтому расстановку постоянных сигналов производят с учетом обоих типов торможений — служебного и автостопного: расстояние между сигналами или допустимые скорости движения грузовых поездов могут быть определены по рис. 2.4, построенному по наибольшим тормозным путям.

Пример 9. Определить допустимую скорость движения грузового поезда на участке с наибольшим спуском 4‰ и расстоянием между постоянными сигналами 1200 м.

Таблица 2.23. Тормозные пути поездов при торможении

Тип		Скорость, км/ч	Тормозной путь ¹ , м. на участках с уклоном					
поезда	тормозных колодок		0	-4	-6	-8	-10	-12
Пассажирский	Чугунные	80	550	600	630	650	680	720
			730	770	790	810	820	840
		100	900	960	1000	1050	1100	1150
			1070	1140	1150	1170	1210	1240
		120	1300	1420	1480	1550	1620	1700
			1470	1550	1600	1650	1700	1750
	Композиционные	100	750	780	800	840	870	905
			935	965	985	1015	1035	1060
		120	1050	1120	1150	1215	1275	1340
			1260	1300	1325	1365	1400	1440
		140	1450	1520	1580	1640	1700	1760
			1645	1700	1740	1780	1820	1860
		160	1900	1980	2050	2125	2200	2280
			2055	2140	2195	2250	2300	2350
Грузовой	Чугунные	60	550	620	680	740	800	880
			650	720	750	775	800	880
		80	960	1150	1250	1340	1470	1600
			1100	1200	1265	1315	1415	1500
		100	1600	1850	2000	2200	2400	2600
			1650	1850	1935	2025	2215	2300

¹ В числителе при полном служебном, в знаменателе при автостопном торможениях.

Решение. По рис. 2.4 в соответствии с построением (см. стрелки) получают наибольшую скорость поезда 80 км/ч.

Расчет тормозного пути интегрированием. Тормозной путь s_d , кроме суммирования, можно определять интегрированием уравнения движения поезда при установившемся торможении:

$$s_d = \frac{1}{\tau} \int_0^{v_0} \frac{v dv}{b_T + w_{0x} + w_l} \quad (2.37)$$

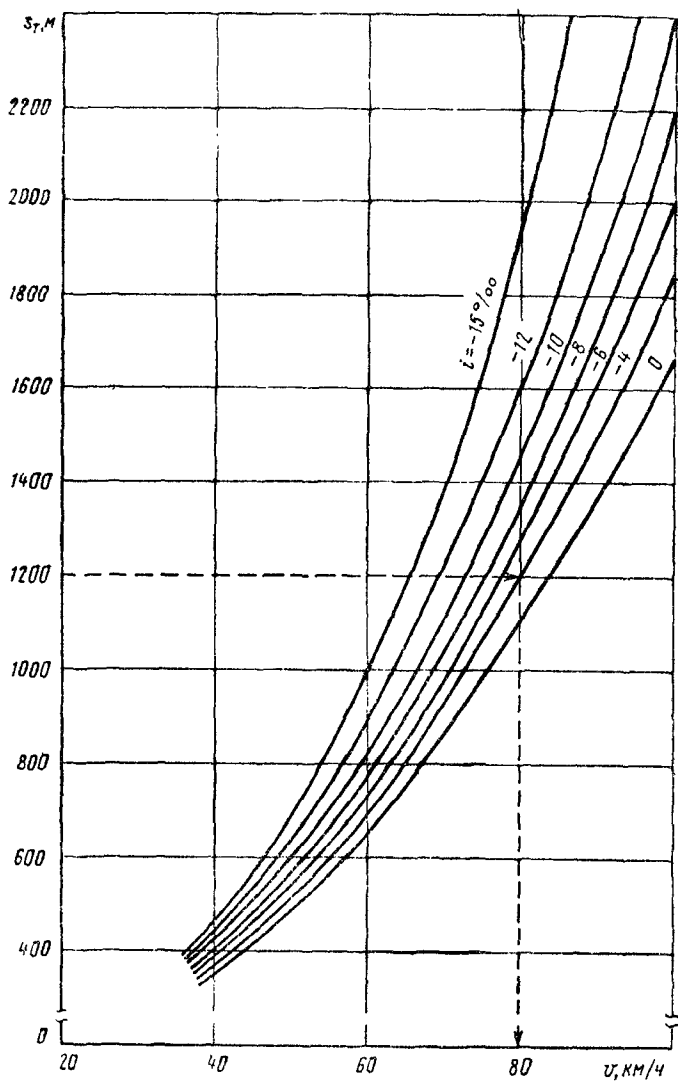


Рис. 2.4. Тормозной путь грузового поезда с учетом полного служебного и автостопного торможения

Так как удельная **тормозная сила** b_T и удельное сопротивление w_{0x} являются функцией скорости, то формула (2.37) приводится к виду:

$$\vartheta_d = \frac{a}{\xi} \int_0^{v_0} \frac{v(v+b) dv}{Dv^3 + Cv^2 + Bv + A}, \quad (2.38)$$

где A, B, C, D, a, b — постоянные коэффициенты, зависящие от удельного сопротивления подвижного состава, коэффициента трения колодок и уклона пути.

После интегрирования получают формулу для определения тормозного пути s_d , м:

$$s_d = \frac{1000a}{\xi} \left[L \ln \frac{v_0 - \alpha}{-\alpha} + \frac{M}{2} \ln \frac{v_0^2 + pv_0 + q}{q} + \frac{N - \frac{Mp}{2}}{\sqrt{q - p^2/4}} \times \right. \\ \left. \times \left(\operatorname{arctg} \frac{v_0 + p/2}{\sqrt{q - p^2/4}} - \operatorname{arctg} \frac{p/2}{\sqrt{q - p^2/4}} \right) \right]. \quad (2.39)$$

При расчете тормозных путей по этой формуле сначала определяют коэффициенты α, p и q путем разложения подынтегрального многочлена на множители:

$$Dv^3 + Cv^2 + Bv + A = D(v - \alpha)(v^2 + pv + q). \quad (2.40)$$

Затем находят коэффициенты L, M и N из системы уравнений, полученной в результате разложения подынтегральной дроби (2.38):

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{D} &= L + M; \\ \frac{b}{D} &= Lp - M\alpha + N; \\ 0 &= Lq - N\alpha. \end{aligned} \right\} \quad (2.41)$$

Примеры расчетов тормозного пути по этой методике даны в разделе [15].

Графический метод определения тормозного пути. Этот метод основан на графическом решении уравнения движения поезда, подробно рассматриваемом в главе 5 при определении скорости и времени хода поезда по перегонам. Графическое определение тормозного пути иллюстрируется следующим примером.

Пример 10. Найти тормозной путь грузового поезда, состоящего из 50 четырехосных вагонов и электровоза серии ВЛ23, при следующих условиях: средняя масса груженого вагона 82 т, масса электровоза 138 т, скорость движения 68 км/ч, профиль пути — спуск 10‰, торможение экстренное, колодки чугунные.

Решение. Прежде всего выбираются интервалы скорости: первый будет от 68 до 60 км/ч, а все остальные — через 10 км/ч и составляют вспомогательную таблицу замедляющих сил для каждого из них (табл. 2.24).

Таблица 2.24. Исходные данные к графическому определению тормозного пути

Показатели	Значения показателей в интервалах скорости, км/ч						
	68—60	60—50	50—40	40—30	30—20	20—10	10—0
$v_{ср}$	64	55	45	35	25	15	5
$\Phi_{кр}$	0,106	0,112	0,121	0,133	0,15	0,177	0,227
b_T	36,4	38,6	41,6	45,8	51,6	61,0	77,5
ω_{0x}	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2
$b_T + \omega_{0x}$	38,4	40,4	43,2	47,3	52,9	62,2	78,7

Затем выбирают масштабы графика. Для этого принимают замедляющую силу 1 кгс/т и скорость 1 км/ч равными по 1 мм, тогда путь в 1 км будет соответствовать 120 мм. Более точно график можно вычертить, увеличив масштаб вдвое. В левой половине листа миллиметровки откладывают по вертикальной оси средние скорости $v_{ср}$ в выбранном масштабе, например 1 км/ч = 1 мм (рис. 2.5). На горизонтальной оси откладывают замедляющие силы $b_T + \omega_{0x}$ в масштабе 1 кгс/т = 1 мм.

Согласно табл. 2.24 средней скорости $v_{ср} = 64$ км/ч соответствуют замедляющие силы состава $b_T + \omega_{0x} = 38,4$ кгс/т. Восстанавливая перпендикуляр к оси $v_{ср}$ в точке, которая обозначает скорость 64 км/ч, и перпендикуляр к оси $b_T + \omega_{0x}$ в точке, соответствующей 38,4 кгс/т, получают точку пересечения a . Выполнив подобное построение для всех остальных интервалов скорости, имеют ряд точек $a, б, \dots, ж$, через которые проводят кривую. Она будет выражать зависимость между скоростью поезда и замедляющей силой.

В правой части листа по вертикальной оси откладывают в масштабе 1 км/ч = 1 мм скорость поезда, а по горизонтальной — тормозной путь в масштабе 100 м = 12 мм. Для построения графика зависимости тормозного пути от скорости надо найти точку, соответствующую крутизне спуска, на котором происходит торможение поезда. В нашем примере спуск равен 10°_{00} , следовательно, ускоряющая сила равна 10 кгс/т. Искомой точкой будет точка C , которую по условиям построения откладывают вправо от нуля. (Если торможение происходит на подъеме, то значение замедляющих сил от подъема надо откладывать влево от нуля.)

С помощью угольника из точки C проводят луч 1, мысленно продолжая его до пересечения с осью скоростей, а из точки O' восстанавливают к нему перпендикуляр 1' до пересечения с линией скорости 10 км/ч и получают точку $Ж$. Далее таким же образом проводят луч 2, восстанавливая к нему перпендикуляр 2' из точки $Ж$ до пересечения с линией скорости 20 км/ч, и получают точку E . Подобное построение продолжают для остальных интервалов скорости, включая последний — 60—68 км/ч. Соединив точки, получают кривую $O'ЖЕДГВБА$, которая графически представляет зависимость пройденного пути от скорости поезда.

Для определения по этому графику пути, пройденного поездом от начала торможения при скорости 68 км/ч до остановки, нужно из точки A опустить перпендикуляр на ось пути. Полученная точка H

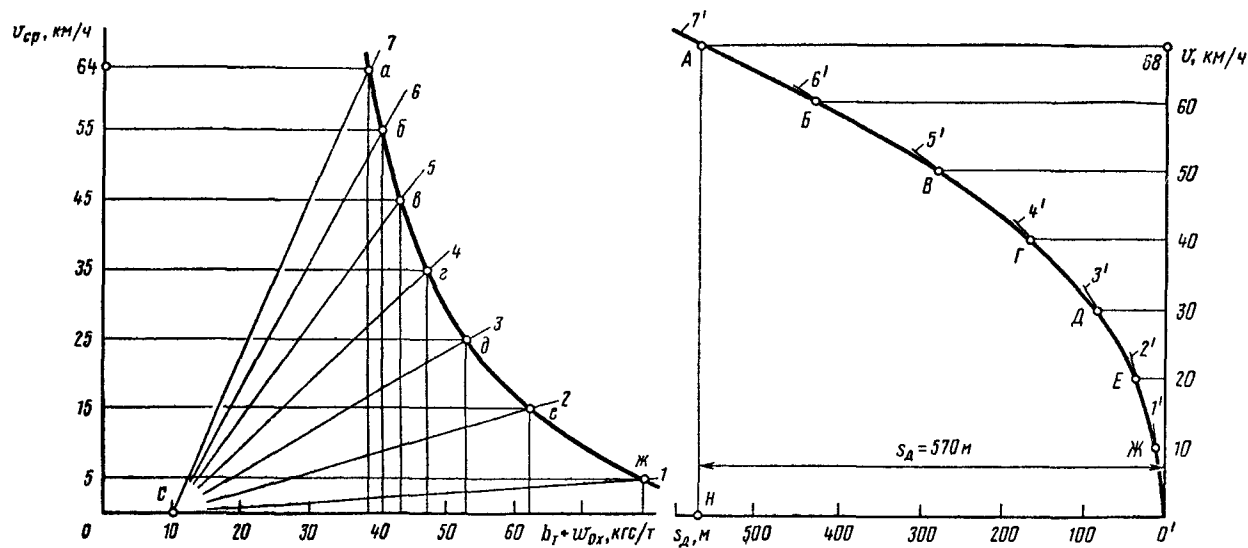


Рис. 2.5. Графическое определение длины тормозного пути

отсечет отрезок $O'H$, который при выбранном масштабе будет равен 570 м. Это путь s_d .

Чтобы определить полный тормозной путь, надо к значению s_d добавить длину подготовительного пути $s_{\text{п}}$, который находят аналитически по формуле (2.28) (он будет равен 186 м). Следовательно, $s_{\text{т}} = 186 + 570 = 756$ м.

2.3. Решение тормозных задач по номограммам

Тормозные расчеты можно выполнять по номограммам, показывающим зависимость тормозных путей от скорости движения, тормозных коэффициентов состава (поезда) и крутизны спуска.

На рис. 2.6—2.10 приведены расчетные номограммы тормозных путей грузовых поездов, оборудованных пневматическими тормозами и чугунными колодками, а на рис. 2.11—2.15 — номограммы тормозных путей пассажирских поездов с чугунными колодками (или композиционными в пересчете на чугунные) и электропневматическим и пневматическим торможением.

По номограммам решают следующие задачи:

а) при заданных тормозных средствах (значении расчетного тормозного коэффициента) и скорости движения определяют тормозной путь на любом профиле пути;

б) по известному тормозному пути и тормозному коэффициенту определяют допустимую скорость движения;

в) по измеренному тормозному пути, скорости и уклону определяют реализуемый тормозной коэффициент поезда.

Пример 11. Определить тормозной путь 23-вагонного рефрижераторного поезда, оборудованного чугунными колодками, при экстренном торможении со скорости 80 км/ч на спуске 10‰.

Решение. Так как воздухораспределитель служебного вагона включен на средний режим, а остальные — на груженный, то суммарная сила нажатия чугунных тормозных колодок составит: $22 \cdot 4 \cdot 9 + 1 \cdot 4 \cdot 6 = 816$ тс (см. табл. 2.10). Масса полностью загруженного поезда равна 1635 т (см. табл. 2.16). Расчетный тормозной коэффициент $\phi_p = 816/1635 = 0,50$, при котором по номограмме рис. 2.8 для скорости 80 км/ч тормозной путь составит 750 м.

При определении эффективности тормозных средств поезда по номограммам на основании опытных данных, соответствующих нескольким спускам, целесообразно привести тормозные пути к одному спуску или площадке.

Поправку тормозного пути на уклон в метрах определяют по формуле

$$\Delta s = \frac{\Delta i g t^2}{2000}, \quad (2.42)$$

где Δs — положительное или отрицательное приращение тормозного пути;

Δi — разница между заданным и фактическим спусками;

g — ускорение свободного падения;

t — время от начала торможения до остановки.

Пример 12. Тормозной путь грузового поезда при скорости 72 км/ч на спуске 8,1‰ равен 790 м, время торможения — 73 с. Требуется найти тормозной путь этого поезда на спуске 10‰.

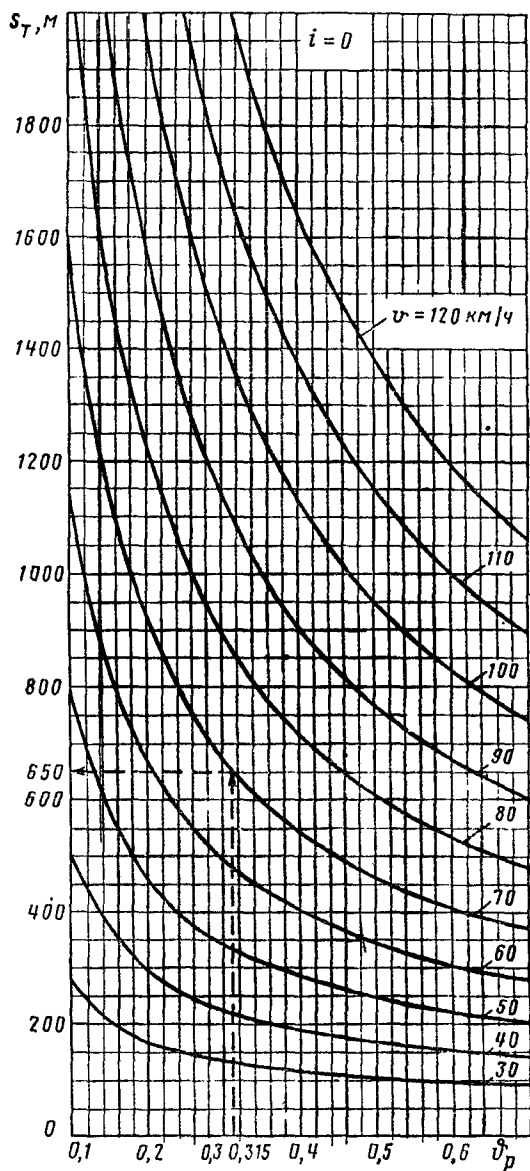


Рис. 2.6. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на площадке (колодки чугунные стандартные)

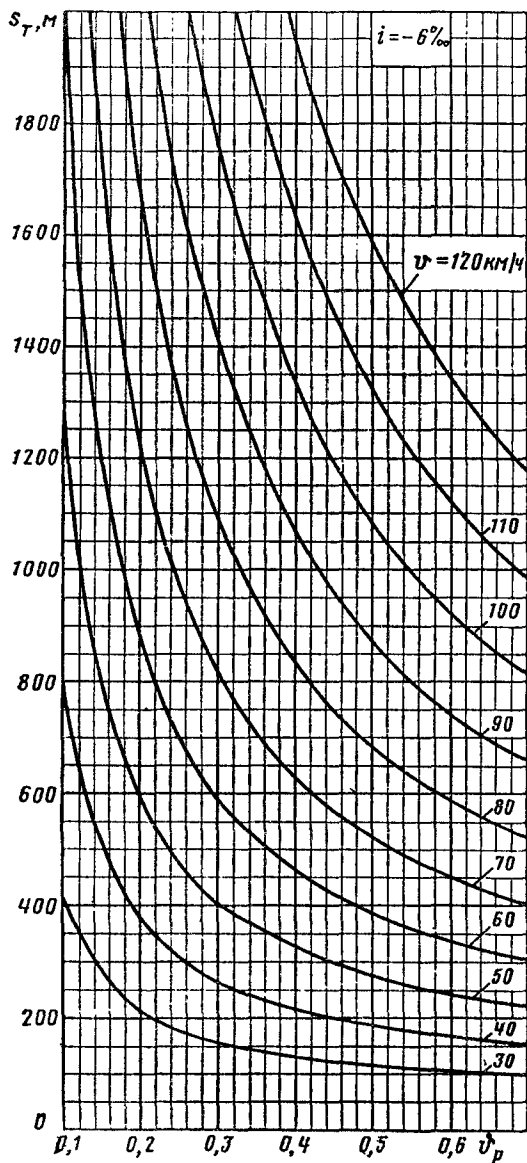


Рис. 2.7. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -6\text{‰}$ (кошки чугунные стандартные)

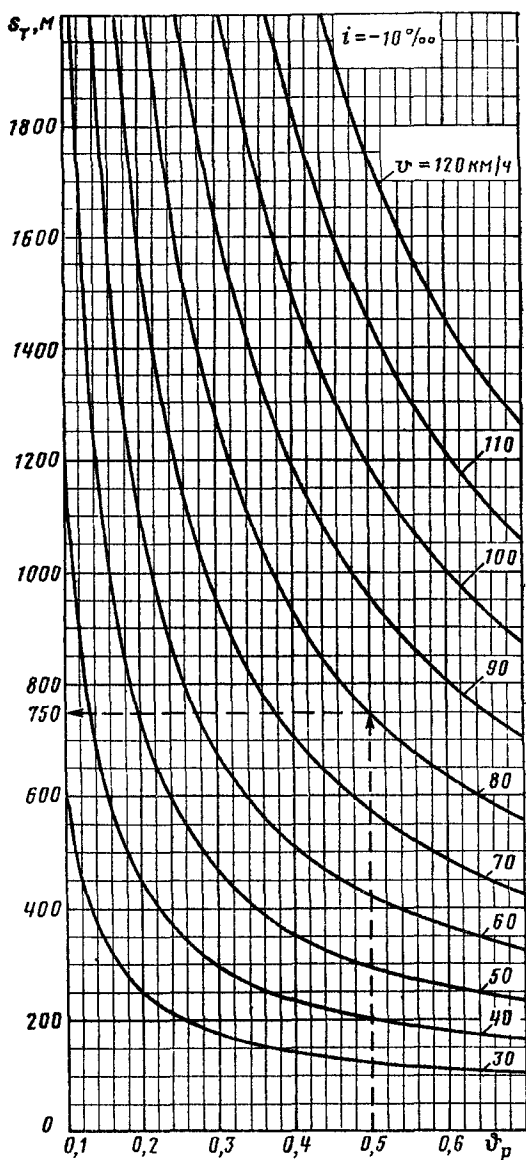


Рис. 2.8. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -10\text{‰}$ (колески чугунные стандартные)

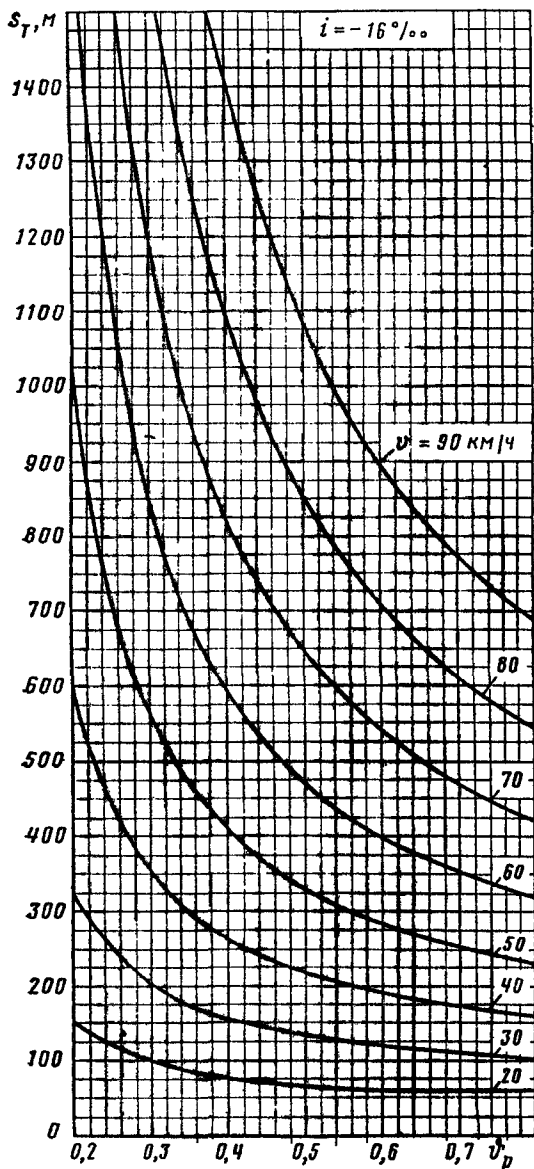


Рис. 2.9. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -16‰$ (колески чугунные стандартные)

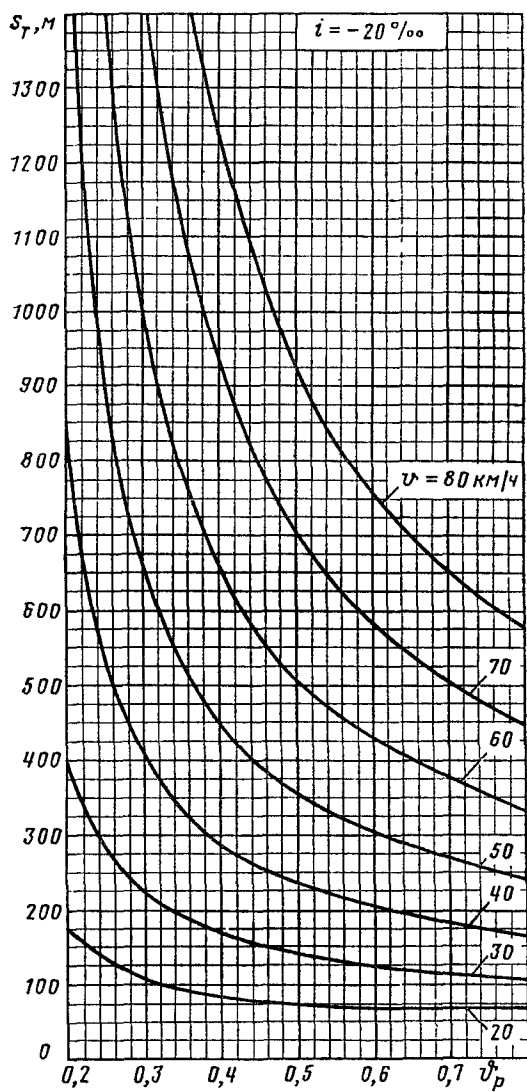


Рис. 2.10. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -20\text{‰}$ (колески чугунные стандартные)

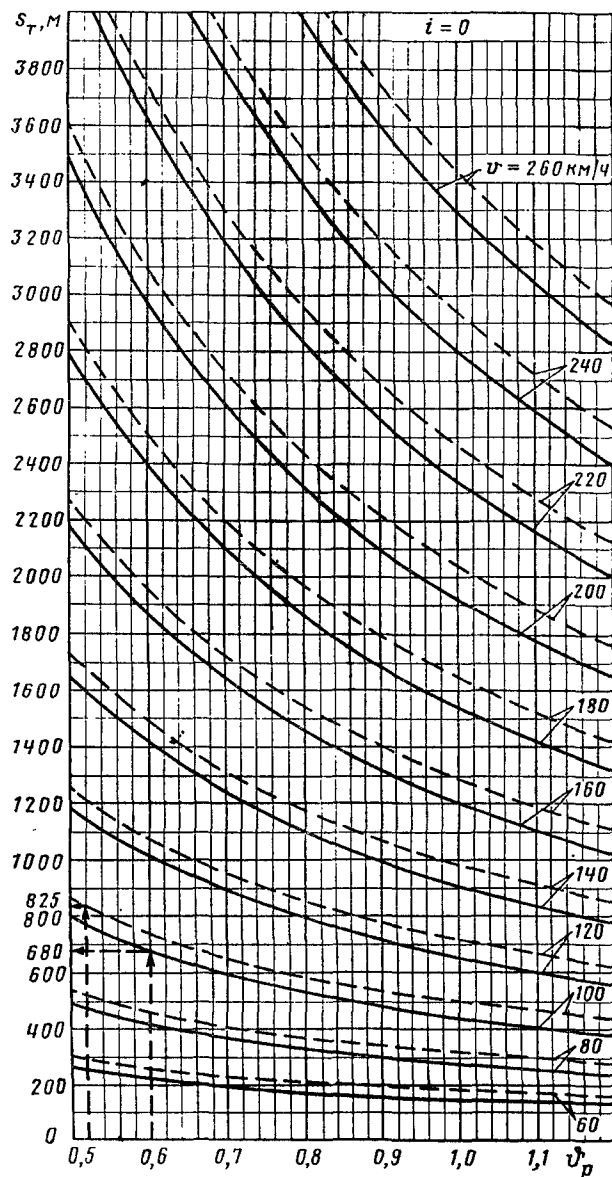


Рис. 2.11. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на площадке (колодки чугунные стандартные):

сплошные линии --- электропневматическое торможение;
штриховые линии -- пневматическое торможение

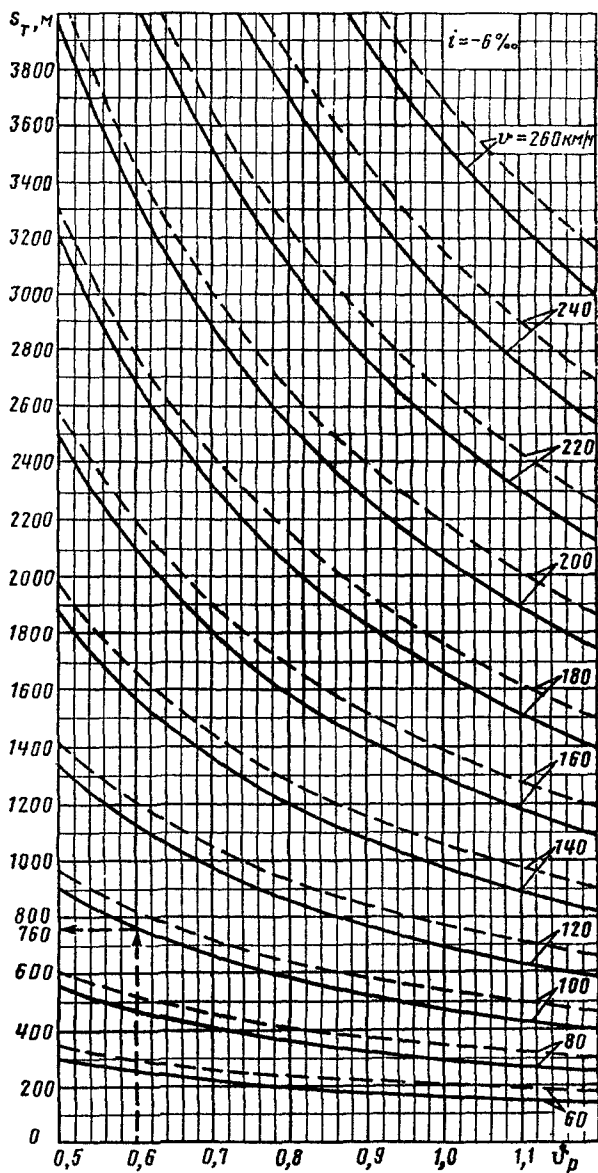


Рис. 2.12. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -6\%$ (коэффициенты чугунные стандартные):

сплошные линии — электропневматическое торможение;
штриховые линии — пневматическое торможение

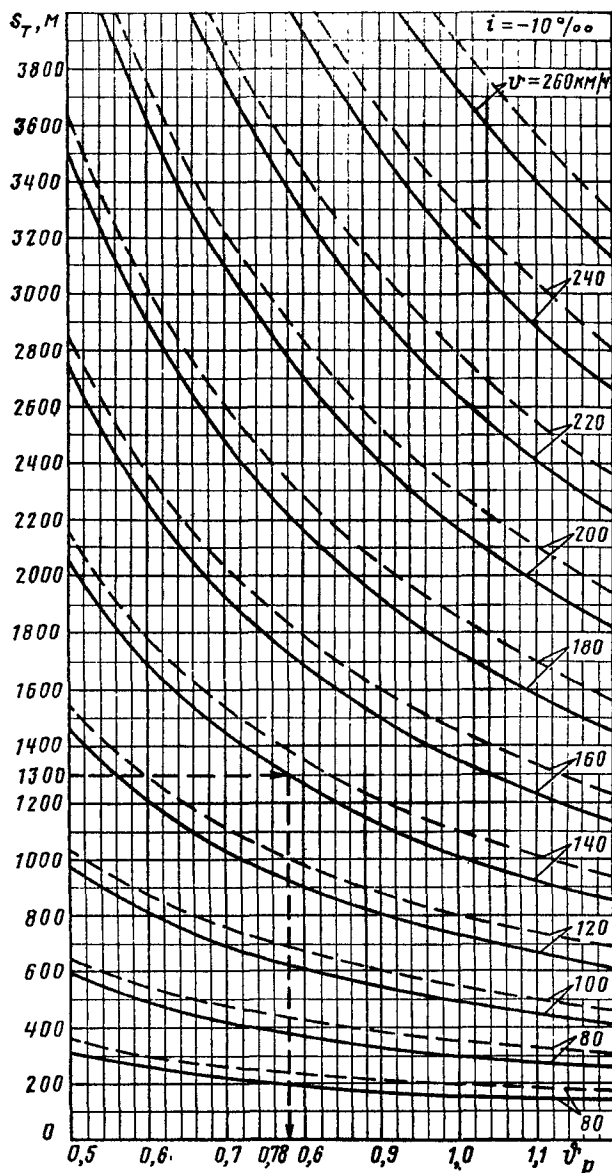


Рис. 2.13. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -10\text{‰}$ (колески чугунные стандартные):

сплошные линии — электропневматическое торможение;
штриховые линии — пневматическое торможение

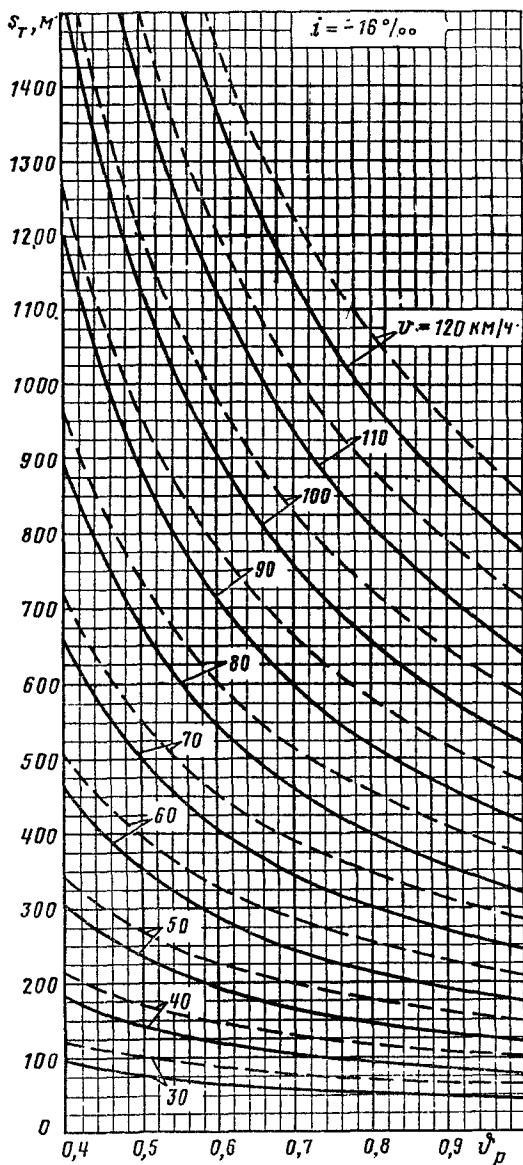


Рис. 2.14. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -16\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные):

сплошные линии — электропневматическое торможение;
штриховые линии — пневматическое торможение

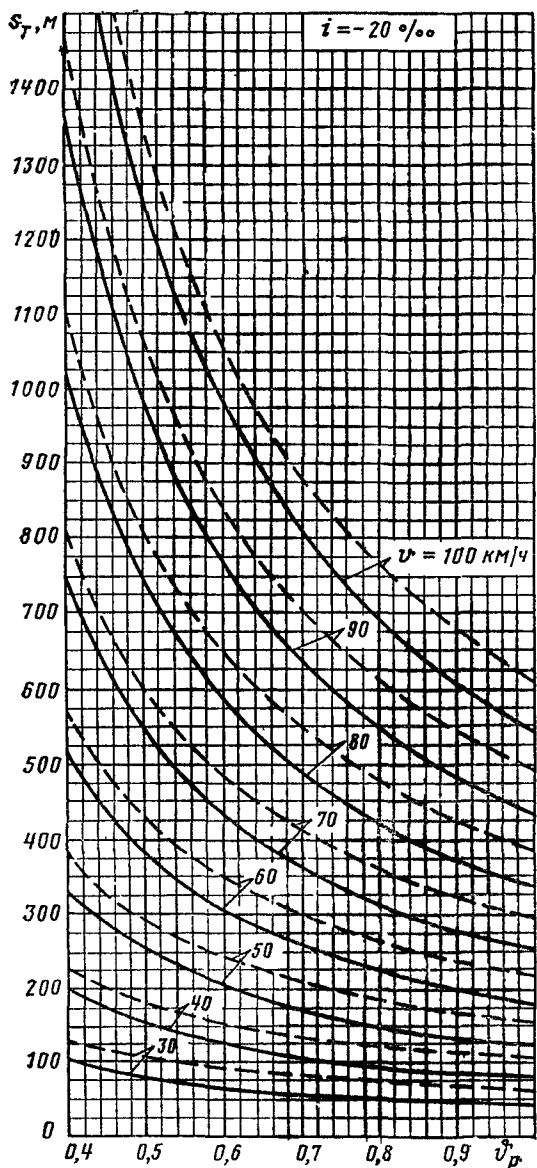


Рис. 2.15. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -20 \text{ ‰}$ (колодки чугунные стандартные):

сплошные линии — электропневматическое торможение;
штриховые линии — пневматическое торможение

Р е ш е н и е. Подставим данные в формулу (2.42) и получим поправку тормозного пути:

$$\Delta s = 1,9 \cdot 9,81 \cdot 73^2 / 2000 = 50 \text{ м.}$$

Поправку надо прибавить к пути 790 м, так как на спуске $10^0/00$ путь будет больше, т. е. равным $790 + 50 = 840$ м.

Номограммы тормозных путей грузовых поездов при чугунных колодках рассчитывали для составов длиной до 200 осей. Однако эти номограммы можно использовать при тормозных расчетах и более длинных грузовых поездов. Для поездов до 300 осей тормозные коэффициенты, указанные на номограммах, необходимо уменьшить на 10 %, для поездов до 400 осей — на 15 %.

Пример 13. Определить тормозной путь грузового поезда длиной 300 осей, имеющего тормозной коэффициент 0,35, при торможении на площадке со скорости 70 км/ч.

Р е ш е н и е. Находим расчетную тормозную эффективность нажатия тормозных колодок поезда. Для этого коэффициент 0,35 умножаем на поправочный коэффициент 0,9 и получаем 0,315. При $\phi_p = 0,315$ на номограмме (см. рис. 2.6) тормозной путь составит 650 м.

Такой же тормозной путь для данных условий торможения получится, если при расчете времени подготовки тормозов к действию пользоваться формулой (2.31). По расчетным номограммам можно определять тормозные пути и на подъемах до $10^0/00$. Для этого необходимо подсчитать разницу между тормозным путем соответствующего спуска, равного по абсолютному значению подъему, и тормозным путем площадки, и эту разницу вычесть из тормозного пути площадки.

Пример 14. Определить тормозной путь пассажирского поезда, имеющего тормозной коэффициент 0,60, при электропневматическом торможении на подъеме $6^0/00$ со скорости 100 км/ч.

Р е ш е н и е. На номограмме (см. рис. 2.11) для площадки тормозной путь $s_T = 680$ м, по номограмме (см. рис. 2.12) для спуска $6^0/00$ — $s_T = 760$ м (см. стрелки). Тормозной путь пассажирского поезда при торможении со скорости 100 км/ч на подъеме $6^0/00$ составит: $680 - (760 - 680) = 600$ м.

По номограммам можно выполнять расчеты и для промежуточных уклонов, для которых номограммы не приведены. В этом случае тормозной путь, скорость и силу нажатия определяют для ближайшего меньшего и ближайшего большего спуска и принимают среднее значение. Тормозные расчеты для одиночно следующих локомотивов могут быть выполнены по номограмме (рис. 2.16), а для скоростных пассажирских поездов — по номограмме (рис. 2.17). Приведенными номограммами можно пользоваться и при тормозных расчетах поездов, оборудованных композиционными колодками, если сила нажатия колодок пересчитана к чугунным или если требуется определить эффективность тормозных средств в пересчете на чугунные колодки.

Пример 15. Установить расчетную силу нажатия композиционных колодок пассажирского поезда по номограмме, если при электропневматическом торможении со скорости 140 км/ч на спуске $10^0/00$ реализуется тормозной путь 1300 м.

Р е ш е н и е. Из рис. 2.13 следует (см. стрелки), что для остановки пассажирского поезда с электропневматическим тормозом и композиционными колодками, следующего со скоростью 140 км/ч

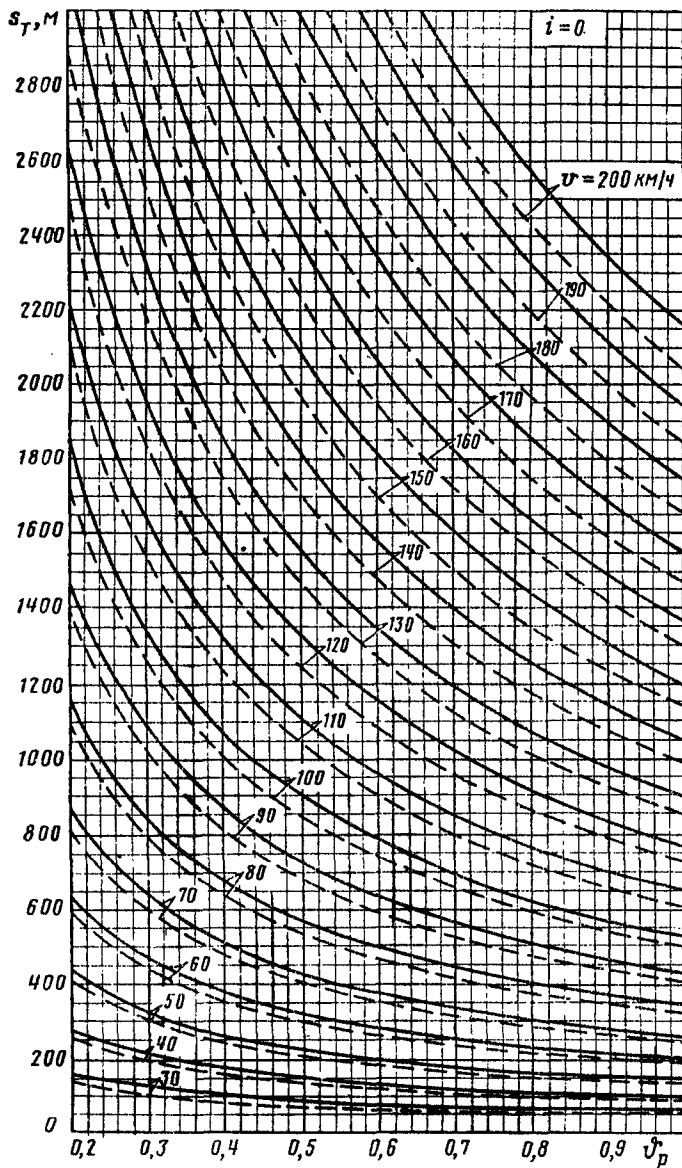


Рис. 2.16. Тормозной путь одиночно следующих локомотивов на площадке (колодки чугунные стандартные): сплошные линии — электровоз; штриховые линии — тепловоз

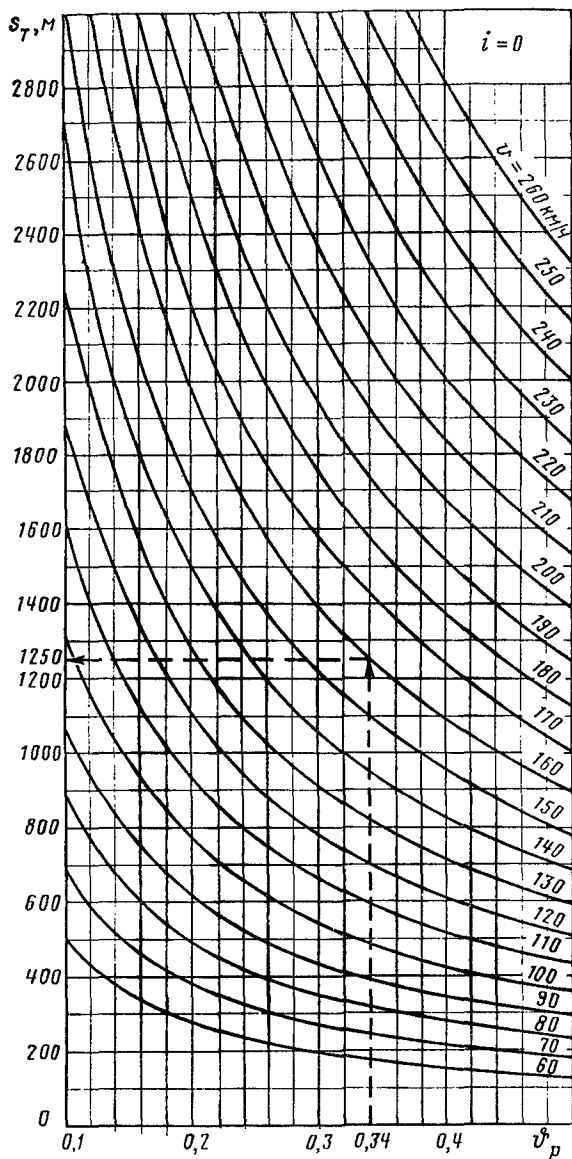


Рис. 2.17. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на площадке (колодки композиционные, электропневматическое торможение)

по спуску 10⁰/₀₀ при тормозном пути 1300 м, требуется сила нажатия 78 тс на 100 т массы поезда (в пересчете на чугунные колодки).

По номограмме, построенной для композиционных колодок (рис. 2.18), тормозной коэффициент поезда составляет 0,28. Таким образом, расчетная сила нажатия композиционных колодок 28 тс соответствует силе нажатия чугунных колодок 78 тс.

Тормозные расчеты для длинносоставных грузовых поездов могут быть выполнены при помощи номограммы (рис. 2.19).

На рис. 2.20 и 2.21 приведены номограммы грузовых и пассажирских поездов, которые можно использовать для определения тормозных путей при полных служебных торможениях (ПСТ) или допустимых скоростей движения при известных расстояниях между постоянными сигналами (тормозные колодки чугунные стандартные).

Пример 16. Проверить, может ли пассажирский поезд с тормозным коэффициентом 0,56 следовать по площадке со скоростью 100 км/ч при расстоянии между постоянными сигналами 1000 м.

Решение. По номограмме (см. рис. 2.21) скорость, соответствующая тормозному расстоянию 1000 м, равна примерно 100 км/ч. Проверим возможность реализации этой скорости по автостопному торможению. Тормозной путь заданного поезда при экстренном торможении со скорости 100 км/ч на площадке составляет $s_T = 795$ м (см. рис. 2.11). Тормозное расстояние, которое пройдет поезд после срабатывания автостопа,

$$s_{\Pi} = (100 \cdot 12) / 3,6 = 335 \text{ м.}$$

Полный тормозной путь равен 1130 м, т. е. больше заданного расстояния между сигналами. По условиям автостопного торможения допустимая скорость данного пассажирского поезда не должна превышать 95 км/ч. Для следования этого поезда со скоростью 100 км/ч расстояние между постоянными сигналами должно быть равно 1200 м.

Следует отметить, что некоторые задачи для служебного торможения, например определение тормозных путей, можно решать и по номограммам, составленным для экстренного торможения. При этом необходимо заданную силу нажатия тормозных колодок уменьшать на 20%, т. е. умножать на коэффициент 0,8. По номограмме служебного торможения (см. рис. 2.21) тормозной путь пассажирского поезда с тормозным коэффициентом 0,65 равен 825 м. Если теперь силу нажатия колодок пассажирского поезда 65 тс на 100 т массы поезда умножить на 0,8, то получим силу нажатия 52 тс. При $\phi_p = 0,52$ по номограмме экстренного торможения (см. рис. 2.11) также получаем тормозной путь s_T на площадке 825 м.

На рис. 2.22—2.24 приведены номограммы тормозных путей грузовых поездов для расчетов регулировочных торможений различными ступенями торможения.

Пример 17. Определить расстояние, которое пройдет поезд с тормозным коэффициентом 0,35 по спуску 6⁰/₀₀ при первой ступени торможения со скорости 60 км/ч до остановки.

Решение. По номограмме (см. рис. 2.22) находим тормозной путь при первой ступени торможения до остановки поезда 1730 м (см. стрелки).

Если ступень торможения выполняется не до остановки поезда, а до значения скорости v_K , то тормозное расстояние определяют по номограммам с учетом пути подготовки, соответствующего конечной скорости поезда,

$$\Delta s_T = s_{TK} - s_{TK} + s_{\Pi K}. \quad (2.43)$$

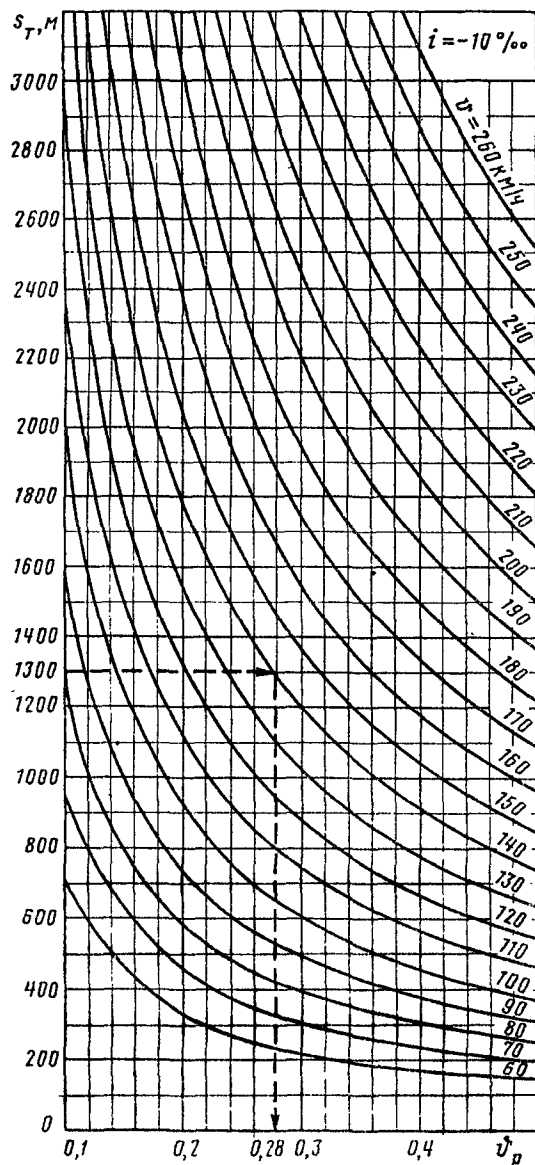


Рис. 2.18. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -10\text{‰}$ (колотки композиционные, электропневматическое торможение)

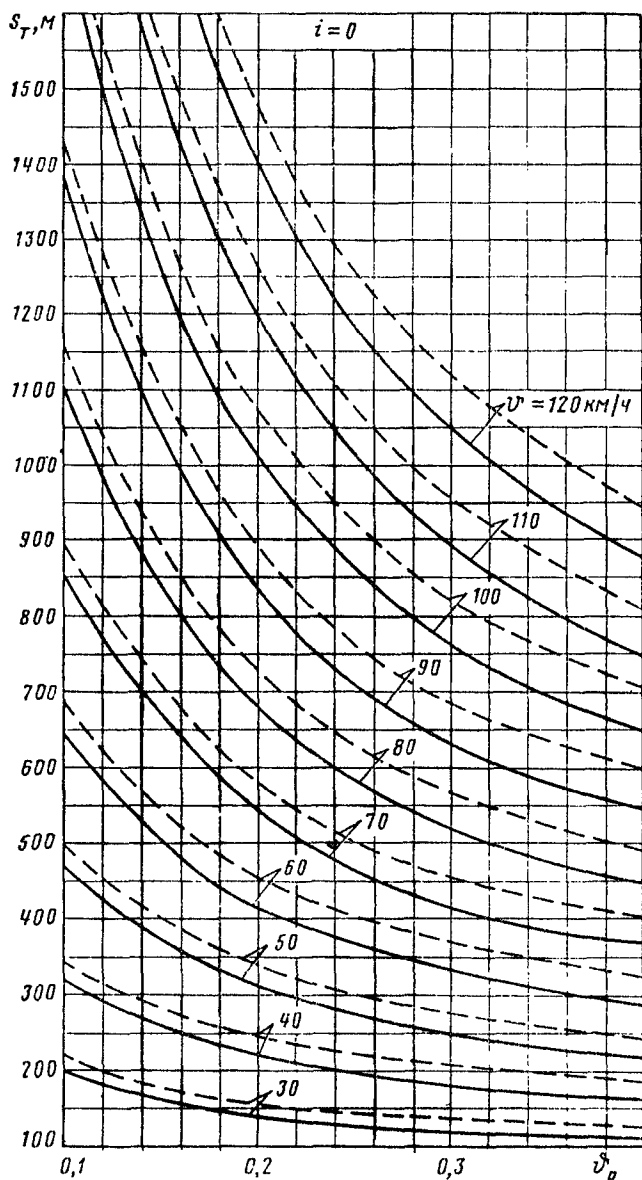


Рис. 2.19. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на площадке (колодки композиционные, сплошные линии — 300 осей, штриховые — 400 осей)

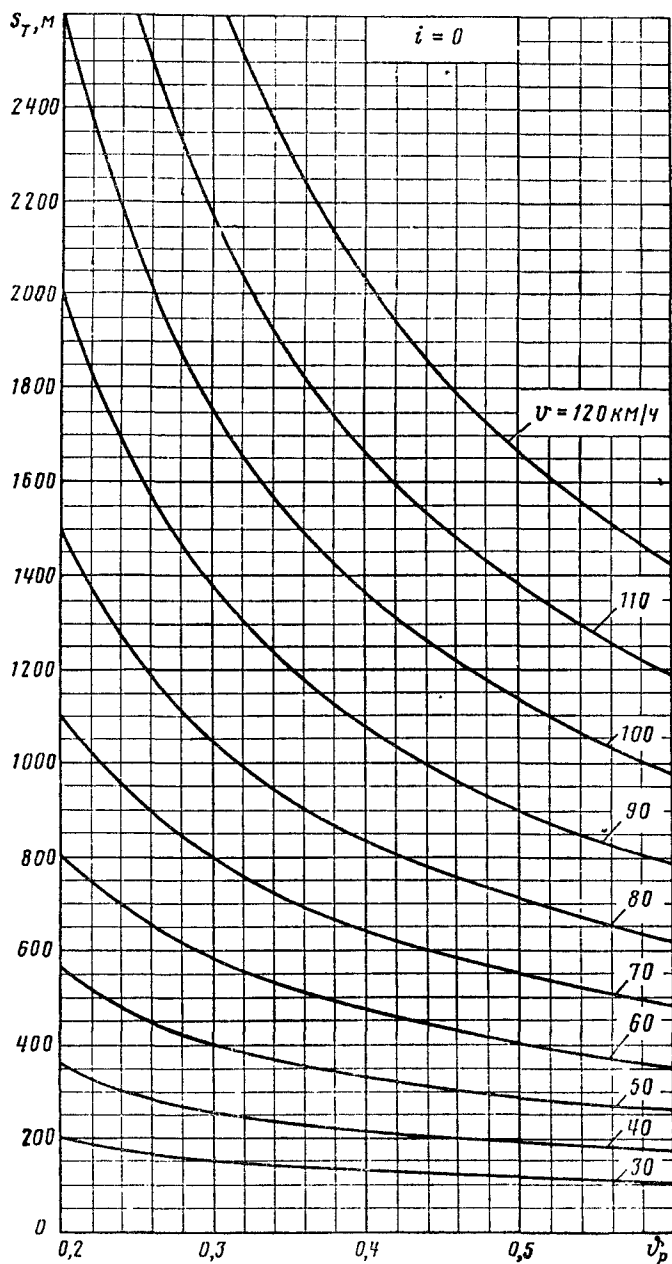


Рис. 2.20. Тормозной путь грузового поезда при ПСТ

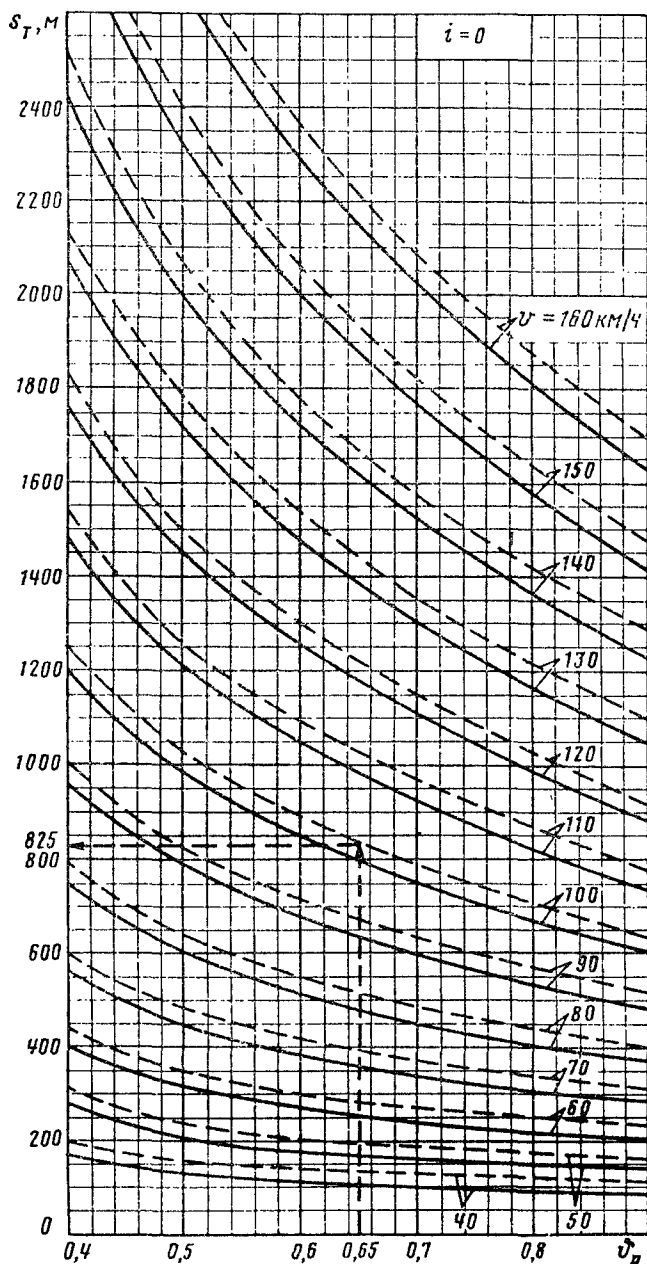


Рис. 2.21. Тормозной путь пассажирского поезда при ПСТ

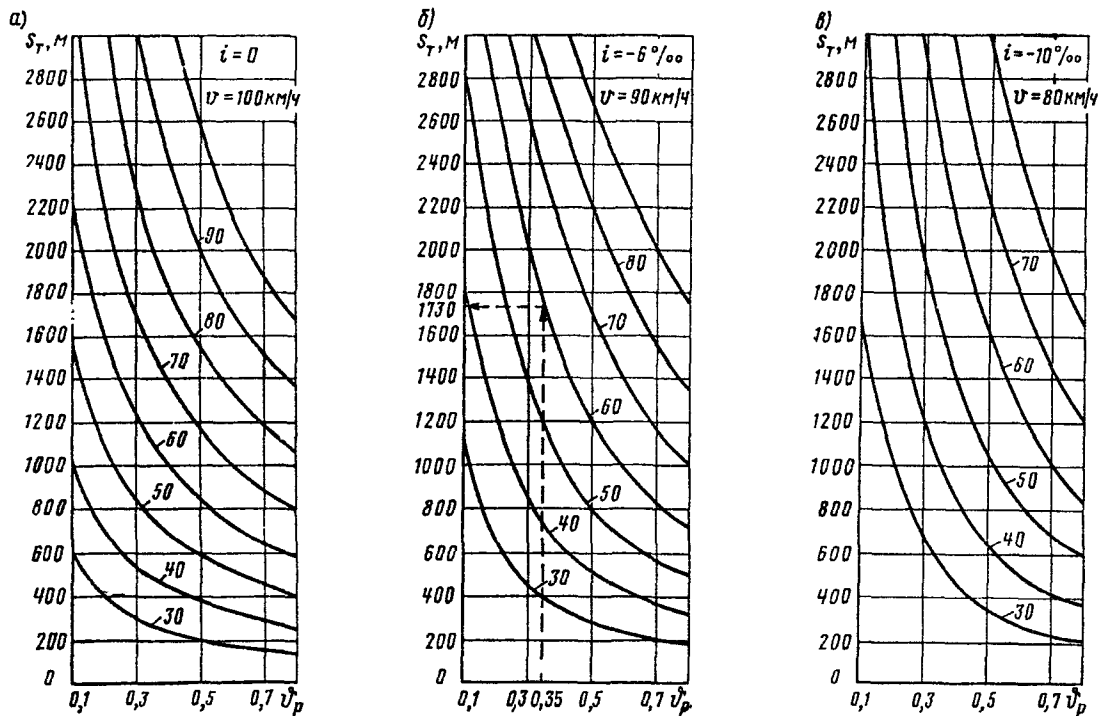


Рис. 222 Тормозной путь грузового поезда при первой ступени торможения на площадке (а), спуске 6‰ (б) и спуске 10‰ (в) (колодки чугунные стандартные)

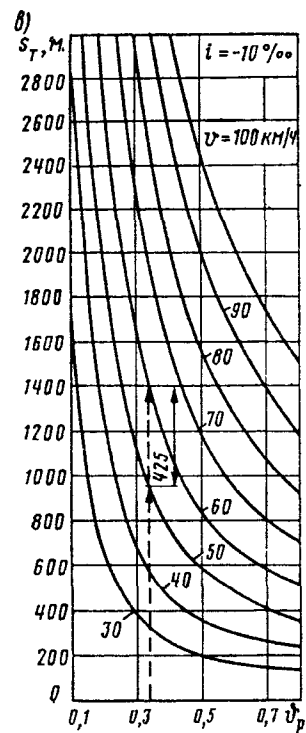
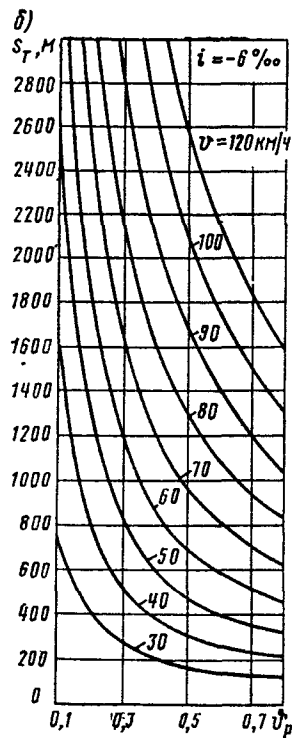
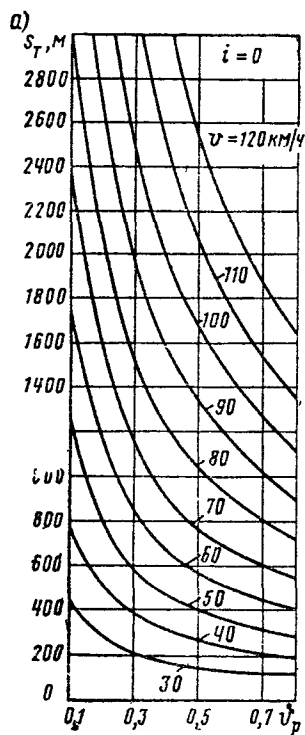


Рис. 223. Тормозной путь грузового поезда при второй ступени торможения на площадке (а), спуске 6‰ (б) и спуске 10‰ (в)

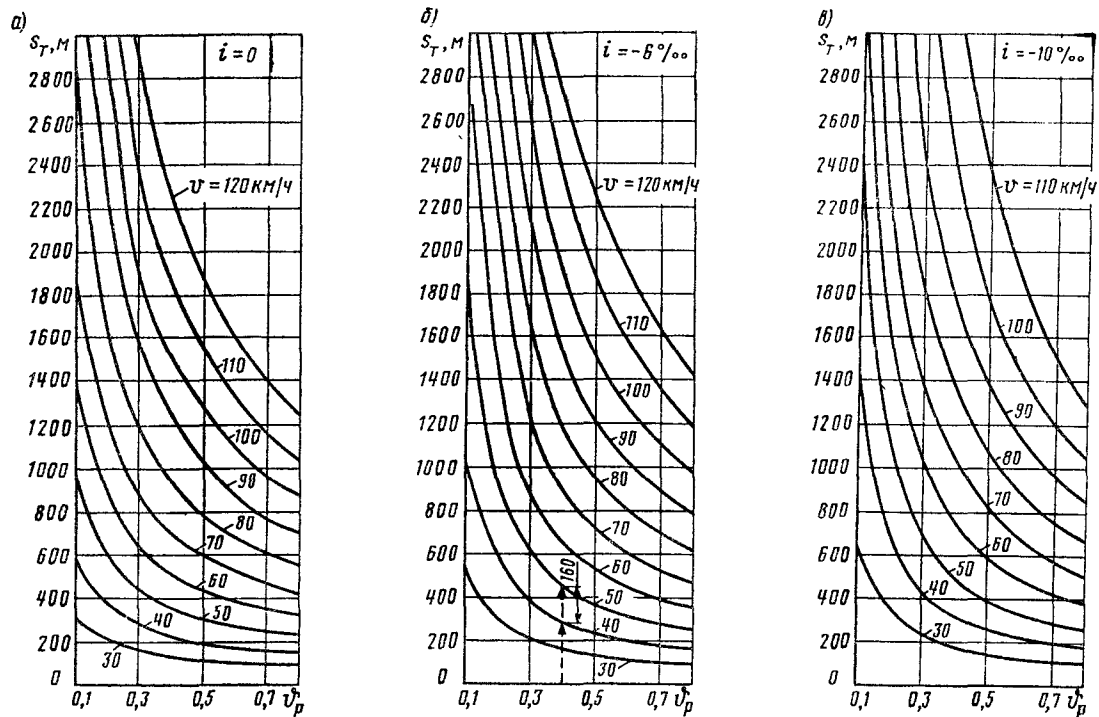


Рис. 2.24. Тормозной путь грузового поезда при третьей ступени торможения на площадке (а), спуске 6‰ (б) и спуске 10‰ (в)

Пример 18. Определить расстояние, необходимое на спуске $10^0/00$ для снижения скорости с 60 до 50 км/ч при торможении второй ступенью поезда с тормозным коэффициентом $\phi_p = 0,33$.

Решение. Тормозное расстояние определяют по формуле (2.43):

$$\Delta s_{T60-50} = s_{T60} - s_{T50} + s_{п50}.$$

Согласно номограмме (см. рис. 2.23, в) при $\phi_p = 0,33$

$$s_{T60} - s_{T50} = 1400 - 975 = 425 \text{ м.}$$

Для определения пути подготовки найдем удельную тормозную силу поезда. Так как при второй ступени торможения реализуется половина полной тормозной силы (см. табл. 2.19), то

$$b_T = 0,5 \cdot 1000 \phi_p \Phi_{кр}.$$

Расчетный коэффициент трения колодок при скорости 60 км/ч согласно табл. 2.8 равен 0,108. Тогда

$$b_T = 0,5 \cdot 1000 \cdot 0,33 \cdot 0,108 = 17,8 \text{ кгс/т.}$$

Путь подготовки

$$s_{п50} = \frac{50}{3,6} \left(7 + \frac{10 \cdot 10}{17,8} \right) = 175 \text{ м,}$$

а расстояние, на котором скорость поезда снизится на 10 км/ч,

$$\Delta s_T = 425 + 175 = 600 \text{ м.}$$

Пример 19. Определить расстояние, на котором произойдет снижение скорости с 50 до 40 км/ч при третьей ступени торможения на спуске $6^0/00$ для грузового поезда с тормозным коэффициентом 0,40.

Решение. В соответствии с табл. 2.19 расчетный тормозной коэффициент грузового поезда при третьей ступени торможения составляет 70 % полного значения, т. е. $0,7 \cdot 0,4 = 0,28$. Путь подготовки тормозов к действию при $v_k = 40$ км/ч составляет:

$$s_{п40} = \frac{40}{3,6} \left(7 + \frac{10 \cdot 6}{1000 \cdot 0,28 \cdot 0,126} \right) = 86 \text{ м.}$$

По номограмме рис. 2.24, б определяют расстояние, на котором скорость поезда снизится с 50 до 40 км/ч с учетом пути подготовки:

$$\Delta s_{T50-40} = 450 - 290 + 86 = 246 \text{ м.}$$

Если известно пройденное при ступени торможения расстояние и снижение скорости, то можно определить по номограммам и расчетный тормозной коэффициент поезда.

По расчетным номограммам можно определить тормозной путь поезда, оборудованного разнотипными колодками, не приводя действия одних колодок к действию других и не суммируя тормозную силу этих колодок, а используя разницу тормозных путей поезда на чугунных и на композиционных колодках и корректируя ее в соответствии их фактического наличия. Так, например, если по номограмме тормозной путь поезда на чугунных колодках равен 1150 м, а на композиционных — 900 м, то при 40 % чугунных колодок и 60 % композиционных — тормозной путь составит $900 + (1150 - 900) \cdot 0,4 = 1000 \text{ м.}$

В приложении 2 приведены дополнительные номограммы для решения тормозных задач.

2.4. Тормозные расчеты методом численного интегрирования

Метод численного интегрирования применяют, если необходимо рассчитать изменение скорости, время торможения и тормозной путь в конкретной обстановке движения с учетом фактического состояния тормозного оборудования, т. е. определить тормозной путь при малой скорости, когда давление в тормозных цилиндрах до остановки поезда не успевает повыситься до расчетного значения; выполнить расчеты тормозного пути, времени торможения и изменения скорости при различных видах регулировочного торможения, включая ступенчатые с последовательным наложением одной ступени торможения или отпуска на другую; рассчитать тормозной путь в условиях торможения поезда на сложном профиле пути.

Метод численного интегрирования заключается в том, что тормозные расчеты выполняют по интервалам времени при условии постоянства действующих сил в этом интервале. Для определения тормозной силы поезда используют табл. 2.25—2.29, в которых показано повышение расчетного тормозного коэффициента пассажирских и грузовых поездов, а также локомотивов по интервалам времени. Значения расчетного тормозного коэффициента даны в зависимости от длины состава и вида торможения (экстренного, полного служебного, регулировочного). Таблицы составлены по средним расчетным давлениям в тормозных цилиндрах для различных поездов и видов торможения [11]. Расчетное давление в тормозных цилиндрах принято:

а) для пассажирских поездов при экстренном и полном служебном торможении 0,38 МПа, после первой ступени торможения 0,12 МПа, второй 0,2 МПа, третьей 0,3 МПа;

б) для грузовых поездов при экстренном и полном служебном торможении 0,4 МПа, после первой ступени торможения 0,1 МПа, второй 0,16 МПа, третьей 0,25 МПа.

Таблица 2.25. Повышение расчетного тормозного коэффициента пассажирского поезда в процессе наполнения тормозных цилиндров

$\Delta t, c$	Значение Φ_p (% от полного значения) при торможении					
	экстренном			полном служебном		
	и количестве вагонов в составе					
	до 18	19—25	свыше 25	до 18	19—25	свыше 25
1	2	3	4	5	6	7
0—3	2	0	0	0	0	0
3—6	65	35	20	35	15	10
6—9	90	60	50	60	45	35
9—12	95	80	70	80	70	60
12—15	100	95	85	90	80	70
15—18	100	100	95	95	90	80
18—21	100	100	100	100	95	90
21—24	100	100	100	100	100	95
24—27	100	100	100	100	100	100

Таблица 2.26. Повышение расчетного тормозного коэффициента пассажирского поезда в процессе наполнения тормозных цилиндров при ступенчатом торможении

$\Delta t, \text{с}$	Значение ϕ_p (% от полного значения) при ступенях торможения								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	и количестве вагонов в составе								
	до 18			19—25			свыше 25		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0—3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3—6	30	35	35	15	15	15	10	10	10
6—9	33	55	60	30	40	45	30	35	35
9—12	35	60	80	35	55	70	35	55	60
12—15	35	60	85	35	60	80	35	60	70
15—18	35	60	85	35	60	85	35	60	80
18—21	35	60	85	35	60	85	35	60	85

Таблица 2.27. Повышение расчетного тормозного коэффициента грузового поезда в процессе наполнения тормозных цилиндров

$\Delta t, \text{ с}$	Значение ϕ_p (%) от полного значения) при торможении							
	экстренном				полном служебном			
	и длине состава, м							
	500	800	1200	1600	500	800	1200	1600
0—3	0	0	0	0	0	0	0	0
3—6	20	15	2	0	15	2	0	0
6—9	45	35	20	10	40	25	20	10
9—12	65	50	35	25	60	45	30	20
12—15	80	65	50	35	75	60	45	30
15—18	90	75	60	45	85	70	55	40
18—21	95	85	70	55	90	80	65	50
21—24	98	95	80	62	95	90	70	55
24—27	100	98	85	70	100	95	75	60
27—30	100	100	90	75	100	98	80	65
30—33	100	100	94	80	100	100	85	70
33—36	100	100	96	85	100	100	90	75
36—39	100	100	98	90	100	100	95	80
39—42	100	100	100	92	100	100	98	85
42—45	100	100	100	95	100	100	100	90
45—50	100	100	100	98	100	100	100	92
50—55	100	100	100	100	100	100	100	95
55—60	100	100	100	100	100	100	100	98
60—65	100	100	100	100	100	100	100	100

Таблица 2.28. Повышение расчетного тормозного коэффициента грузового поезда в процессе наполнения тормозных цилиндров при ступенчатом торможении

$\Delta t, c$	Значение Φ_p (% от полного значения) при ступенчатом торможении											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	и длине состава, м											
	500			800			1200			1600		
0—3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3—6	10	15	15	2	2	2	0	0	0	0	0	0
6—9	25	35	40	20	25	25	15	20	20	10	10	10
9—12	30	45	55	30	40	45	20	30	30	15	20	20
12—15	30	50	65	30	45	55	28	40	40	20	30	30
15—18	30	50	68	30	50	60	30	45	50	25	35	40
18—21	30	50	70	30	50	65	30	48	60	28	40	45
21—24	30	50	70	30	50	70	30	50	64	30	44	50
24—27	30	50	70	30	50	70	30	50	66	30	46	55
27—30	30	50	70	30	50	70	30	50	68	30	48	60
30—35	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	65
35—40	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	68
40—45	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70

При этом давление в магистрали снижается:

а) для пассажирских поездов после первой ступени на 0,04—0,05, второй на 0,06—0,07, третьей на 0,08—0,09 МПа;

б) для грузовых поездов после первой ступени на 0,05—0,06, второй на 0,07—0,08, третьей на 0,09—0,1 МПа.

Расчетное давление в тормозных цилиндрах локомотивов при полных торможениях принято: пассажирских — 0,4, грузовых — 0,38 МПа.

Для определения расчетного коэффициента трения чугунных или композиционных колодок используют табл. 2.8 либо зависимости $\Phi_{кр} = f(v)$ (рис. 2.25). Полная замедляющая сила c определяется суммированием тормозной силы b_T , силы удельного основного сопротивления поезда $\omega_{ох}$ с учетом локомотива и сопротивления от спрямленного уклона, т. е. $c = b_T + \omega_{ох} + \omega_i$.

Таблица 2.29. Повышение расчетного тормозного коэффициента локомотивов в процессе наполнения тормозных цилиндров

$\Delta t, c$	Значение Φ_p , % от полного значения
0—3	15
3—6	62
6—9	87
9—12	97
12—15	100

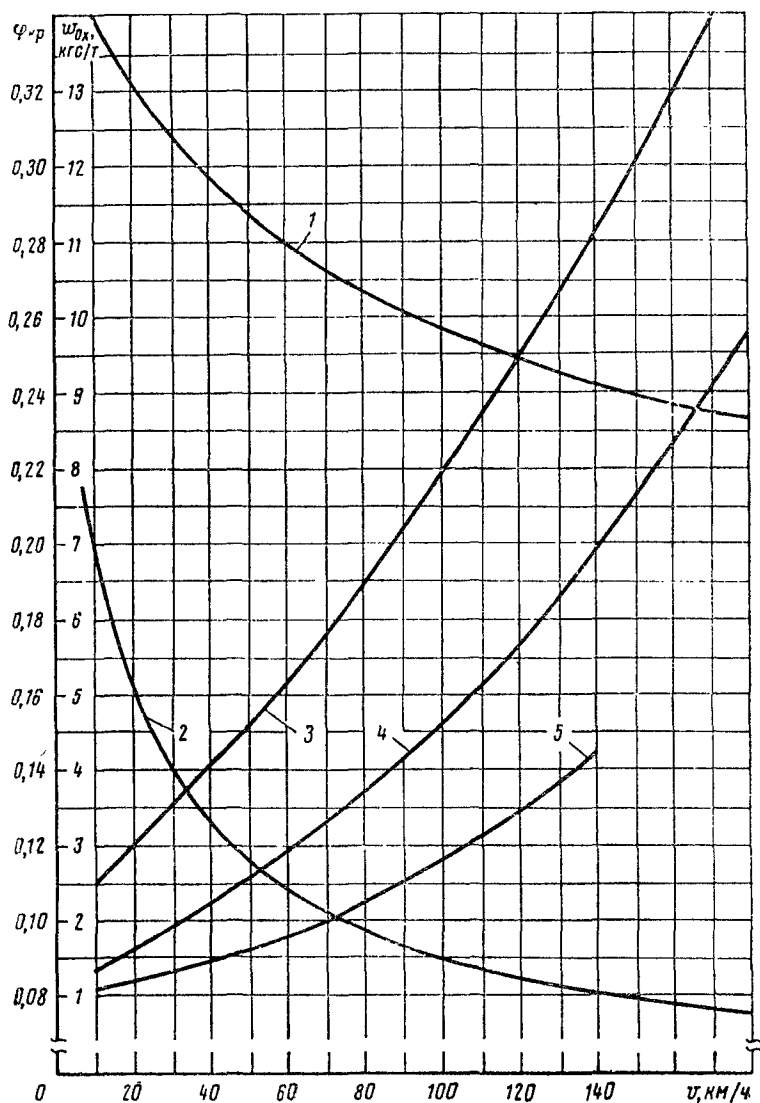


Рис. 2.25. Коэффициент трения композиционных 1 и чугунных 2 тормозных колодок и основное удельное сопротивление движению локомотивов 3, пассажирских 4 и грузовых 5 поездов

Приращение (убывание) скорости Δv (км/ч) в интервале времени Δt (с) составляет:

$$\Delta v = - \frac{\Delta t c \zeta}{3600} . \quad (2.44)$$

Интервалы времени Δt обычно принимают равными 3 с, а после наполнения тормозных цилиндров, когда расчетный тормозной коэффициент достигает максимального значения, — равными 5 с.

Для поездов при $\zeta = 120$ км/ч² и интервале времени $\Delta t = 3$ с значение Δv равно 0,1 с, а при $\Delta t = 5$ с приращение скорости Δv равно 0,167 с.

По приращению скорости Δv определяют среднее значение скорости v_{cp} в данном интервале и приращение тормозного пути, м:

$$\Delta s_T = \frac{\Delta t v_{cp}}{3,6} , \quad (2.45)$$

а затем суммированием всех Δs_T находят полный тормозной путь.

Пример 20. Определить тормозной путь и время до остановки пассажирского поезда с тормозным коэффициентом 0,60 (сформированного из 20 вагонов) при экстренном торможении со скорости 100 км/ч на спуске 5‰.

Решение. Для расчетов методом численного интегрирования составляют табл. 2.30. В графе 1 указывают интервалы времени через 3 с, в графе 2 — значения расчетного тормозного коэффициента в каждом интервале, определяемые по табл. 2.25. Для пассажирского поезда из 20 вагонов (графа 3) имеем: для интервала 0—3 с значение $\phi_p = 0$, для интервала 3—6 с его значение составляет 35 % полного значения, т. е. равно $\phi_p = 0,60 \cdot 0,35 = 0,21$, для интервала 6—9 с

**Таблица 2.30. Расчет тормозного пути
методом численного интегрирования (к примеру 20)**

Δt	ϕ_p	ϕ_{np}	b_T	$\omega_{ох}$	ω_l	c	Δv	v	v_{cp}	Δs_T	s_T
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0—3	0	0,09	0	4,5	—5	—0,5	+0,05	100,05	100	83	83
3—6	0,21	0,09	19	4,5	—5	18,5	—1,85	98,2	99	82	165
6—9	0,36	0,092	33,2	4,3	—5	32,5	—3,3	94,3	96	80	245
9—12	0,48	0,093	44,7	4,2	—5	43,9	—4,4	90,5	92	76	321
12—15	0,57	0,095	54	4,0	—5	53	—5,3	85,2	87	72	393
15—18	0,60	0,098	59	3,8	—5	57,8	—5,8	79,4	82	68	461
18—21	0,60	0,10	60	3,5	—5	58,5	—5,9	73,5	76	63	524
21—24	0,60	0,103	62	3,3	—5	60,3	—6,0	67,5	70	58	582
24—27	0,60	0,106	64	3,2	—5	62,5	—6,3	61,2	64	53	635
27—30	0,60	0,113	68	2,7	—5	65,7	—6,6	54,6	58	48	683
30—33	0,60	0,118	71	2,5	—5	68,5	—6,9	47,7	51	43	726
33—36	0,60	0,122	73	2,3	—5	70,3	—7,0	40,7	44	37	763
36—39	0,60	0,135	81	2,1	—5	78,1	—7,8	32,9	36	30	793
39—42	0,60	0,147	88	1,9	—5	84,9	—8,5	24,4	28	23	816
42—45	0,60	0,160	96	1,6	—5	92,6	—9,3	15,1	20	17	833
45—49	0,60	0,20	120	1,3	—5	116,3	—15,1	0	10	11	844

$\phi_p = 0,60 \cdot 0,60 = 0,36$ и т. д. до интервала 15—18 с, когда расчетный тормозной коэффициент достигает полного значения — 0,60. После этого ведут расчет величин, указанных в графах 3—12.

В интервале времени 0—3 с на поезд действует замедляющая сила: $c = b_T + w_{ox} + w_i$. В данном случае $b_T = 0$, удельное основное сопротивление поезда принимают по графику (см. рис. 2.25). Тогда $c = 0 + 4,5 - 5 = -0,5$ кгс/т и $\Delta v = -0,1$ с $v = 0,05$ км/ч, а $v = 100 + 0,05 = 100,05$ км/ч. Среднее значение скорости для данного интервала составит 100 км/ч, а пройденный путь

$$\Delta s_T = \Delta t v_{cp} / 3,6 = 3 \cdot 100 / 3,6 = 83 \text{ м.}$$

Для определения $b_T = 1000 \phi_{кр}$ следующего интервала времени (3—6 с) надо знать расчетный коэффициент трения чугунных колесок $\phi_{кр}$, соответствующий средней скорости в данном интервале. Предполагая, что скорость поезда изменится незначительно, коэффициент трения принимают для $v_{cp} = 99$ км/ч, т. е. $\phi_{кр} = 0,09$. Тогда $b_T = 1000 \cdot 0,21 \cdot 0,09 = 19$ кгс/т, $c = 19 + 4,5 - 5 = 18,5$ кгс/т, $\Delta v = -1,85$ км/ч, $v = 98,2$ км/ч, $v_{cp} = 99$ км/ч, $\Delta s_T = 82$ м, пройденный путь за время двух интервалов 0—6 с равен: $83 + 82 = 165$ м.

Результаты расчетов по дальнейшим интервалам приведены в табл. 2.30. После суммирования всех Δs_T получен тормозной путь $s_T = 844$ м, а время торможения составило 49 с.

Пример 21. Определить тормозной путь грузового поезда длиной 800 м с расчетным тормозным коэффициентом 0,33 при полном служебном торможении со скорости 80 км/ч на горизонтальном участке пути длиной 650 м и далее на спуске 5‰.

Решение. Определяют значения расчетного тормозного коэффициента по интервалам времени, используя табл. 2.27. Для грузового поезда длиной 800 м получим: для интервала 0—3 с значение $\phi_p = 0$, для интервала 3—6 с значение ϕ_p составляет 2 % полного значения, т. е. $0,33 \cdot 0,02 = 0,007$; для интервала 6—9 с $\phi_p = 0,33 \cdot 0,25 = 0,083$ и т. д. до интервала 30—33 с, когда расчетный тормозной коэффициент достигает максимального значения — 0,33. Далее расчетный тормозной коэффициент остается постоянным.

Расчет тормозного пути по интервалам времени проводят аналогично примеру 20. После того как поезд пройдет по горизонтальному участку пути 650 м, при определении c учитывают влияние уклона 5‰, по которому поезд пройдет еще 320 м, а всего за время торможения 70 с тормозной путь составит 970 м (табл. 2.31).

Расчет тормозного пути на сложном переломном профиле (яма, горб) следует вести с учетом переменного значения уклона, определяемого по отрезкам тормозного пути, которые поезд проходит в каждый интервал времени, т. е. спрямленный профиль составит:

$$i_c = \frac{l_1 i_1 + l_2 i_2 + \dots + l_n i_n}{l_n}, \quad (2.46)$$

где $l_1, l_2, \dots, l_n$ — отрезки пути, занимаемые поездом в середине данного интервала времени, м;

$i_1, i_2, \dots, i_n$ — уклоны отрезков пути, по которым проходит поезд в данный интервал времени, ‰;

$l_n = l_1 + l_2 + \dots + l_n$ — длина поезда, м.

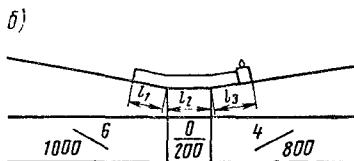
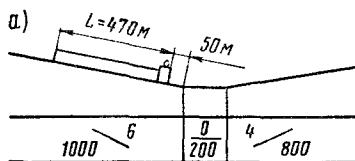


Рис. 2.26. Расчетный профиль пути (к примеру 22):

а, б — соответственно начало и конец торможения

Пример 22. Определить тормозной путь пассажирского поезда, сформированного из 18 вагонов и электровоза серии ЧС4, при экстренном торможении со скорости 80 км/ч на пути сложного профиля (рис. 2.26).

Решение. Длина поезда $25 \cdot 18 + 20 = 470$ м. Для пассажирского поезда из 18 вагонов с учетом табл. 2.25 имеем: в интервале 0—3 с значение ϕ_p составляет 2 % от полного значения, т. е. равно $0,60 \cdot 0,02 = 0,012$, в интервале 6—9 с $\phi_p = 0,60 \cdot 0,65 = 0,39$ и т. д. до интервала 12—15 с, когда расчетный тормозной коэффициент достигает максимального значения — 0,60 (табл. 2.32, графа 2). В интервале 0—3 с поезд прошел по $6^\circ/00$ спуску 50 м (см. рис. 2.26 и

Таблица 2.31. Расчет тормозного пути на переломном профиле пути (к примеру 21)

Δt	ϕ_p	$\phi_{кр}$	b_T	$w_{ох}$	w_l	c	Δv	v	$v_{ср}$	Δs_T	s_T
0—3	0	0	0	2,2	0	2,2	0,2	79,8	80	67	67
3—6	0,007	0,098	0,7	2,2	0	2,9	0,3	79,5	79	66	133
6—9	0,083	0,099	8,3	2,2	0	10,5	1,0	78,5	78	65	198
9—12	0,150	0,10	15,0	2,1	0	17,1	1,7	76,8	77	64	262
12—15	0,200	0,101	20,2	2,0	0	22,2	2,2	74,6	75	63	325
15—18	0,230	0,102	23,5	2,0	0	25,5	2,6	72,0	73	61	386
18—21	0,264	0,103	27,2	2,0	0	29,2	2,9	69,1	70	58	444
21—24	0,297	0,104	31	1,9	0	32,9	3,3	65,8	67	56	500
24—27	0,314	0,106	33,3	1,8	0	35,1	3,5	62,3	64	53	553
27—30	0,324	0,109	35,2	1,8	0	37,0	3,7	58,6	60	50	603
30—33	0,33	0,111	36,6	1,7	0	38,3	3,8	54,8	57	47	650
33—36	0,33	0,113	37,2	1,7	—5	33,9	3,4	51,4	53	45	695
36—39	0,33	0,117	38,5	1,6	—5	35,1	3,5	47,9	49	41	736
39—42	0,33	0,119	39	1,6	—5	35,6	3,5	44,4	46	39	775
42—45	0,33	0,122	40	1,5	—5	36,5	3,6	40,8	43	36	811
45—48	0,33	0,126	41,5	1,5	—5	38,0	3,8	37,0	39	33	844
48—51	0,33	0,134	44	1,4	—5	40,4	4,0	33,0	35	29	873
51—54	0,33	0,140	46	1,4	—5	42,4	4,2	28,8	31	27	900
54—57	0,33	0,146	48	1,3	—5	44,3	4,4	24,4	27	23	923
57—60	0,33	0,153	50	1,3	—5	46,3	4,6	19,8	22	18	941
60—63	0,33	0,165	54,2	1,3	—5	50,0	5,0	14,8	17	14	955
63—66	0,33	0,18	59,3	1,2	—5	55,5	5,5	9,3	12	10	965
66—70	0,33	0,22	72,6	1,2	—5	68,8	9,3	0	5	5	970

Таблица 2.32. Расчет тормозного пути
на сложном переменном профиле пути (к примеру 22)

Δt	ϕ_p	$\varphi_{кр}$	b_T	$\omega_{ох}$	$i_c(w_i)$	c	Δv	v	$v_{ср}$	Δs_T	s_T
0—3	0,012	0,097	1,2	3,6	—6	—1,2	+0,1	80,1	80	67	67
3—6	0,39	0,099	39	3,5	—5	37,5	—3,7	76,4	78	65	132
6—9	0,54	0,10	54	3,4	—4	53,4	—5,3	71,1	74	62	194
9—12	0,57	0,103	58,5	3,2	—3,5	58,3	—5,8	65,3	68	56	250
12—15	0,60	0,108	65	2,9	—2,3	65,6	—6,6	58,7	62	52	302
15—18	0,60	0,112	67	2,6	—1,3	68,3	—6,8	51,9	55	46	348
18—21	0,60	0,118	71	2,5	—0,5	73	—7,3	44,6	48	40	388
21—24	0,60	0,126	76	2,2	+0,4	78,6	—7,9	36,7	41	34	422
24—27	0,60	0,135	81	2,0	+1,8	84,8	—8,5	28,2	34	28	450
27—30	0,60	0,148	89	1,7	+2,0	92,7	—9,2	19	24	20	470
30—33	0,60	0,18	108	1,4	—2,1	111,5	—11,0	8	14	12	482
33—35	0,60	0,227	135	1,1	—2,1	138,2	—8,0	0	4	3	485

и табл. 2.32, графа 12) и вышел на площадку, по которой прошел 17 м. Можно ожидать, что в следующем интервале 3—6 с будет пройден такой же отрезок пути. Тогда $l_2 = 67 + 17 = 84$ м, $l_1 = 470 - 84 = 386$ м и спрямленный профиль в этом интервале составит:

$$i_c = [386(-6) + 84 \cdot 0] / 470 = -5 \text{ ‰}.$$

За 12 с поездом пройдено 250 м, включая путь на площадке 200 м. Очевидно, в следующий интервал 12—15 с он вступит на подъем +4‰. Принимают приращение пути в этом интервале 52 м. Тогда $l_3 = 52$ м, $l_1 = 470 - 200 - 52 = 218$ м и

$$i_c = [218(-6) + 200 \cdot 0 + 52(+4)] / 470 = -2,3 \text{ ‰}.$$

Аналогичный расчет ведут до остановки поезда, который за время 35 с пройдет расстояние 485 м.

Пример 23. Определить снижение скорости и тормозной путь на площадке для пассажирского поезда, сформированного из 16 вагонов с дисковыми тормозами, при $\phi_p = 0,29$ после следующих регулировочных торможений: первая ступень сделана при скорости 60 км/ч и через 15 с дополнена второй ступенью, на 24 с произведен отпуск тормозов.

Решение. Расчетный тормозной коэффициент поезда по интервалам времени определяют по табл. 2.26.

В интервале 3—6 с $\phi_p = 0,30 \cdot 0,29 = 0,087$; в интервале 6—9 с $\phi_p = 0,33 \cdot 0,29 = 0,096$; в интервале 9—12 м $\phi_p = 0,35 \times 0,29 = 0,102$. Интервал 15—18 с соответствует началу перехода ко второй ступени, поэтому для этого интервала используют графу 3 табл. 2.26 и получают $\phi_p = 0,55 \cdot 0,29 = 0,160$. Для интервала 18—21 с $\phi_p = 0,60 \cdot 0,29 = 0,174$. Значение $\phi_p = 0,174$ остается и для интервала 21—24 с, а дальше в связи с началом отпуска значение тормозного коэффициента снижается и в интервале 30—33 с (в конце отпуска) $\phi_p = 0$. В результате расчета тормозного пути (табл. 2.33) установлено, что скорость поезда к концу отпуска тормозов снизилась до 23 км/ч, а пройденный путь составил 393 м.

Таблица 2.33. Расчет снижения скорости и тормозного пути при регулировочных торможениях (к примеру 23)

Δt	ϕ_p	ϕ_p	$\phi_{кр}$	b_T	w_{0x}	c	Δv	v	$v_{ср}$	Δs_T	s_T
0—3	0	0	0,280	0	2,9	2,9	0,3	59,7	60	50	50
3—6	30	0,087	0,281	24,4	2,8	27,2	2,7	57,0	58	48	98
6—9	33	0,096	0,283	27,3	2,7	30,0	3,0	54	56	47	145
9—12	35	0,102	0,286	29,2	2,6	31,8	3,2	50,8	52	43	188
12—15	35	0,102	0,289	29,4	2,5	31,9	3,2	47,6	49	41	229
15—18	55	0,160	0,292	46,6	2,4	49	4,9	42,7	45	38	267
18—21	60	0,174	0,296	51,5	2,2	53,7	5,4	37,3	40	33	300
21—24	60	0,174	0,302	52,5	2,0	54,5	5,5	31,8	35	29	329
24—27	55	0,160	0,308	49	1,8	50,8	5,1	26,7	29	24	353
27—30	35	0,102	0,314	32	1,7	33,7	3,4	23,3	25	21	374
30—33	0	0	0,315	0	1,7	1,7	0,2	23,1	23	19	393

Пример 24. Определить тормозной путь грузового поезда массой 3684 т и длиной 733 м (электровоз ВЛ180) при экстренном торможении со скорости 70 км/ч на площадке; состав сформирован из 40 груженых и 10 порожних четырехосных полувагонов.

Решение. Расчетная сила нажатия чугунных тормозных колодок поезда равна: $40 \cdot 4 \cdot 7 + 10 \cdot 4 \cdot 3,5 + 8 \cdot 14 = 1372$ тс. Расчетный тормозной коэффициент поезда равен: $1372 : 3684 = 0,372$.

Определяют значения расчетного тормозного коэффициента поезда по интервалам времени, используя табл. 2.27. Так как длина поезда отличается от указанных в табл. 2.27 (больше чем на 50 м), то для получения значений тормозного коэффициента, соответствующих длине 733 м, вносим поправку для каждого интервала времени путем интерполирования по формуле

$$\phi'_{p733} = \phi'_{p800} + \frac{800 - 733}{800 - 500} (\phi'_{p500} - \phi'_{p800}), \quad (2.47)$$

где ϕ'_{p733} — значения расчетного тормозного коэффициента (в процентах от полного значения) для поезда длиной 733 м. Так, для интервала 3—6 с

$$\phi'_{p733} = 15 + \frac{67}{300} (20 - 15) = 16,1 \%,$$

$$\text{а } \phi_p = 0,161 \cdot 0,372 = 0,060.$$

Для интервала 6—9 с

$$\phi'_{p733} = 35 + \frac{67}{300} (45 - 35) = 37,2 \%,$$

$$\text{а } \phi_p = 0,372 \cdot 0,372 = 0,139$$

и т. д. до интервала 27—30 с, где значение расчетного тормозного коэффициента достигает 100 %, т. е. равно 0,372.

**Т а б л и ц а 2.34. Расчет тормозного пути
грузового поезда (к примеру 24)**

Δt	ϕ'_p	ϕ_p	$\phi_{кр}$	b_T	$w_{ох}$	c	Δv	v	$v_{ср}$	Δs_T	s_T
0—3	0	0	0,103	0	2,0	2,0	0,2	69,8	70	58	58
3—6	16,1	0,060	0,103	6,2	2,0	8,2	0,8	69,0	69	58	116
6—9	37,2	0,138	0,104	14,4	1,9	16,3	1,6	67,4	68	57	173
9—12	53	0,197	0,105	20,6	1,8	22,4	2,2	65,2	66	55	228
12—15	68	0,253	0,106	26,8	1,8	28,6	2,9	62,3	64	53	281
15—18	78	0,290	0,108	31,3	1,7	33,0	3,3	59,0	60	50	331
18—21	87	0,324	0,112	36,2	1,7	37,9	3,8	55,2	57	47	378
21—24	95,7	0,357	0,115	41,2	1,6	42,8	4,3	50,9	53	44	422
24—27	98,4	0,366	0,118	43,2	1,6	44,8	4,5	46,4	48	40	462
27—30	100	0,372	0,122	45,2	1,5	46,7	4,7	41,7	44	37	499
30—33	100	0,372	0,127	47,1	1,5	48,6	4,9	36,8	39	32	531
33—36	100	0,372	0,132	49	1,4	50,4	5,0	31,8	34	28	559
36—39	100	0,372	0,142	52,6	1,3	53,9	5,4	26,4	29	24	583
39—42	100	0,372	0,153	56,7	1,3	58,0	5,8	20,6	23	19	602
42—45	100	0,372	0,170	63,0	1,2	64,2	6,4	14,2	17	14	616
45—48	100	0,372	0,190	70,5	1,2	71,7	7,2	7,0	11	9	625
48—50,5	100	0,372	0,220	82	1,2	83,2	7,0	0	6	5	630

Расчет тормозного пути по интервалам времени (табл. 2.34) проводят по аналогии с предыдущими примерами. В результате имеют полный тормозной путь со скорости 70 км/ч равным 630 м, а время торможения — примерно 50 с.

Пример 25. Определить время торможения и тормозной путь для грузового поезда из предыдущего примера при торможении со скорости 35 км/ч ступенью с разрядкой магистрали на 0,08 МПа.

**Т а б л и ц а 2.35 Расчет тормозного пути грузового поезда
при ступени торможения (к примеру 25)**

Δt	ϕ'_p	ϕ_p	$\phi_{кр}$	b_T	$w_{ох}$	c	Δv	v	$v_{ср}$	Δs_T	s_T
0—3	0	0	0,134	0	1,4	1,4	0,1	34,9	35	29	29
3—6	4,9	0,018	0,134	2,4	1,4	3,8	0,4	34,5	35	29	58
6—9	27,2	0,102	0,136	13,9	1,4	15,3	1,5	33,0	34	28	86
9—12	41,1	0,153	0,140	21,6	1,3	22,7	2,3	30,7	32	27	113
12—15	46,1	0,172	0,143	24,6	1,3	25,8	2,6	28,1	29	24	137
15—18	50	0,186	0,147	27,4	1,3	28,7	2,9	25,2	27	22	159
18—21	50	0,186	0,153	28,4	1,3	29,7	3,0	22,2	24	20	179
21—24	50	0,186	0,160	29,4	1,3	30,7	3,1	19,1	21	18	197
24—27	50	0,186	0,170	31,6	1,2	32,8	3,3	15,8	17	14	211
27—30	50	0,186	0,180	33,5	1,2	34,7	3,5	12,3	14	12	223
30—33	50	0,186	0,190	36,4	1,2	37,6	3,8	8,5	11	10	233
33—36	50	0,186	0,214	39,8	1,2	41	4,1	4,4	6	5	238
36—39	50	0,186	0,230	42,8	1,2	44	4,4	0	2	2	240

Р е ш е н и е. Разрядка магистрали на 0,08 МПа соответствует второй ступени торможения. Поэтому для определения расчетного тормозного коэффициента поезда длиной 733 м по интервалам времени используют табл. 2.28. Для интервала 3—6 с

$$\phi'_{p733} = 2 - \frac{67}{300} (15 - 2) = 4,9 \%,$$

$$\text{а } \phi_p = 0,049 \cdot 0,372 = 0,018.$$

Результаты дальнейших расчетов приведены в табл. 2.35. В итоге получают время торможения грузового поезда со скорости 35 км/ч до остановки 39 с, а пройденный путь 240 м.

2.5. Тормозные расчеты для поездов узкой колеи

Тормозные нормативы для подвижного состава узкой колеи определяются по действительным значениям коэффициента трения и силы нажатия. Исходной для расчета тормозных путей поездов узкой колеи служит формула (2.29), но методика определения входящих в нее величин имеет следующие особенности. Действительные

**Т а б л и ц а 2.36. Действительные силы нажатия
чугунных тормозных колодок вагонов**

Тип вагонов	Масса тары вагона, т	Сила нажатия колодок на все оси вагона, тс, при торможении	
		автоматическом	ручном
Грузовые вагоны: колеи 750 мм: крытые четырехосные грузоподъемностью 16,5 т на режиме: груженом порожнем крытые четырехосные и полувагоны грузо- подъемностью 20 т на режиме: груженом порожнем колеи 1067 мм: грузоподъемностью 40—46 т на режиме: груженом среднем порожнем	6,1—9,5		
		9	5
	8—10	4	—
		10	6
	17—18	5	—
		18	8
		12	—
		8	—

Тип вагонов	Масса тары вагона, т	Сила нажатия колодок на все оси вагона, тс, при торможении	
		автоматическом	ручном
грузоподъемностью 50—52 т на режиме:	18—19		
груженым		20	8
среднем		12	—
порожнем		8	—
колен 1520 мм на тележках колен 1067 мм на режиме:	21—23		
груженым		22	8
среднем		16	—
порожнем		10	—
Платформы четырехосные колен 750—900 мм. грузоподъемностью 16,5 т на режиме:	6,5—7,5		
груженым		8	5
порожнем		4	—
грузоподъемностью 20 т на режиме:	7,5		
груженым		9	6
порожнем		5	—
Цистерны четырехосные колен 750—900 мм. грузоподъемностью 20 т на режиме:	8—9		
груженым		8	5
порожнем		4	—
Пассажирские и почтово-багажные четырехосные колен 750—900 мм	10—12	8	6
	16,5	12	6
Цельнометаллические пассажирские вагоны колен 1067 мм	40	24	8

силы нажатия тормозных колодок вагонов узкой колен принимают по табл. 2.36, а локомотивов — по табл. 2.37.

Действительный коэффициент трения между чугунными тормозными колодками и колесами подвижного состава узкой колен определяют по формуле

$$\varphi_k = 0,45 \frac{K + 10}{8K + 10} \frac{25}{v + 25} \quad (2.48)$$

**Т а б л и ц а 2.37. Действительные силы нажатия
чугунных тормозных колодок локомотивов
и дизель-поездов**

Подвижной состав	Учетная масса, т	Сила нажатия колодок на все оси при тормо- жении, тс	
		автомати- ческом	ручным
<i>Тепловозы</i>			
ТУ2, ТУ3	32	15	8
ТУ4	18	12	2,5
ТУ5	24	16	2,5
ТГМ3, ТГМ7	64	24	4
ТГ16	138	48	8
<i>Дизель-поезда</i>			
моторный вагон	47	30	8
прицепной »	38	22	8

Для упрощения расчетов и повышения безопасности движения для всех поездов узкой колеи принимают наименьшее значение коэффициента трения, определяемое по формуле, соответствующей грузному режиму торможения вагонов,

$$\varphi_k = 0,26 \frac{25}{v + 25} . \quad (2.49)$$

Время подготовки автотормозов к действию пассажирских и грузовых поездов узкой колеи находят по формуле

$$t_{II} = 5 - \frac{7i_c}{1000\theta\varphi_k} . \quad (2.50)$$

При ручном торможении время подготовки принимается равным 20 с.

Силу нажатия тормозных колодок локомотивов учитывают только при следовании резервом. Время подготовки автотормозов локомотива к действию при одиночном следовании определяют по формуле (2.33), а коэффициент трения тормозных колодок — по формуле (2.49).

Для облегчения расчетов на рис. 2.27—2.31 приведены номограммы тормозных путей экстренного торможения в зависимости от тормозного коэффициента при различной крутизне спуска. Этими номограммами можно пользоваться при тормозных расчетах для пассажирских и грузовых поездов узкой колеи.

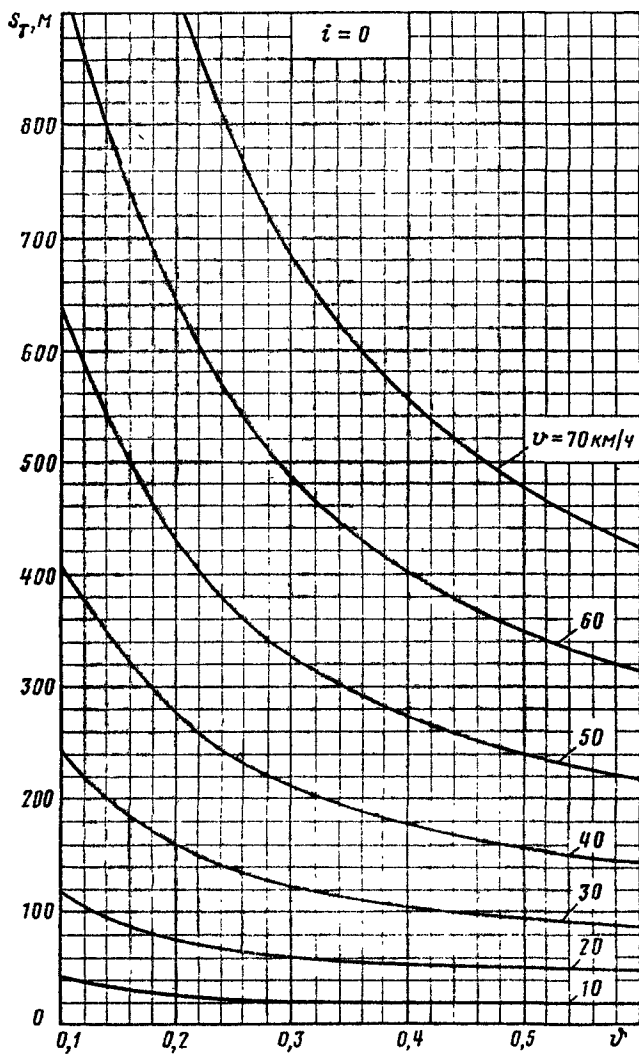


Рис. 2.27. Тормозной путь поездов узкой колеи на площадке (колодки чугунные)

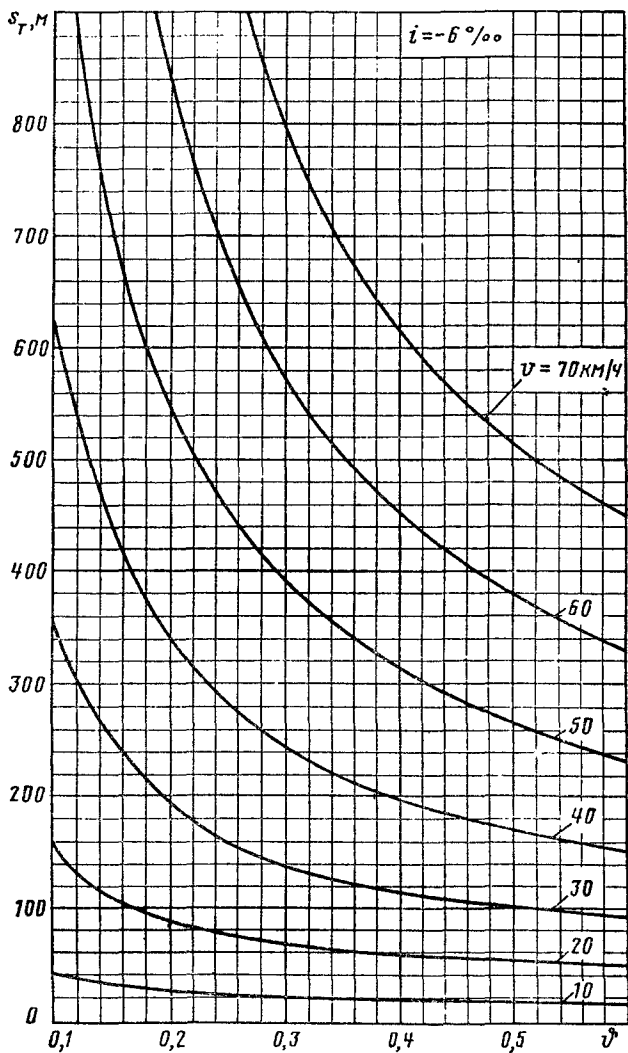


Рис. 2.28. Тормозной путь поездов узкой колеи на спуске $i = -6\text{‰}$ (колодки чугунные)

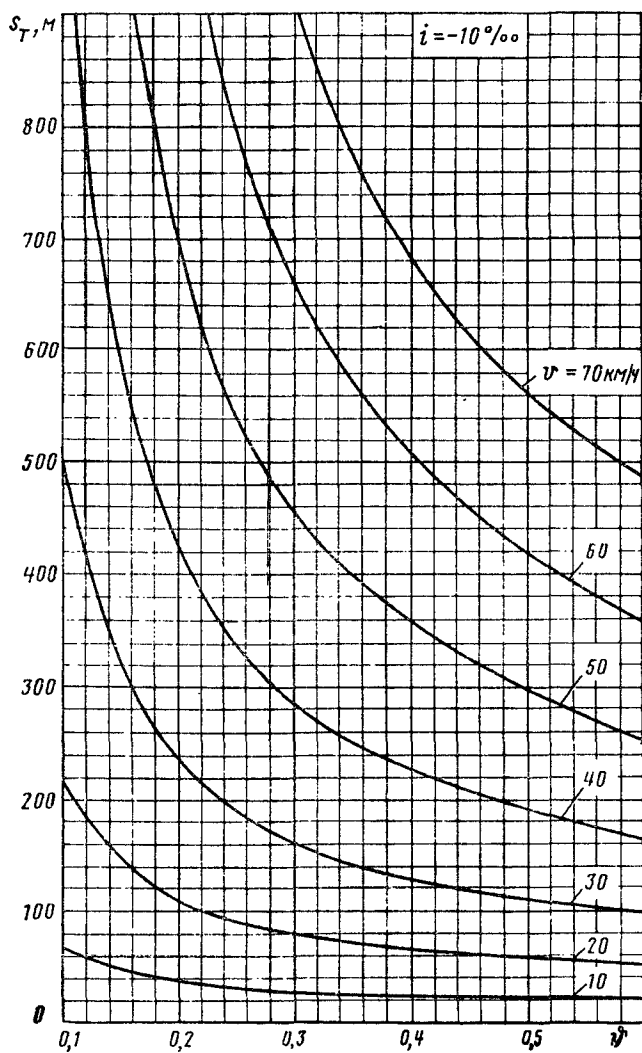


Рис. 2.29. Тормозной путь поездов узкой колеи на спуске $i = -10\text{‰}$ (колодки чугунные)

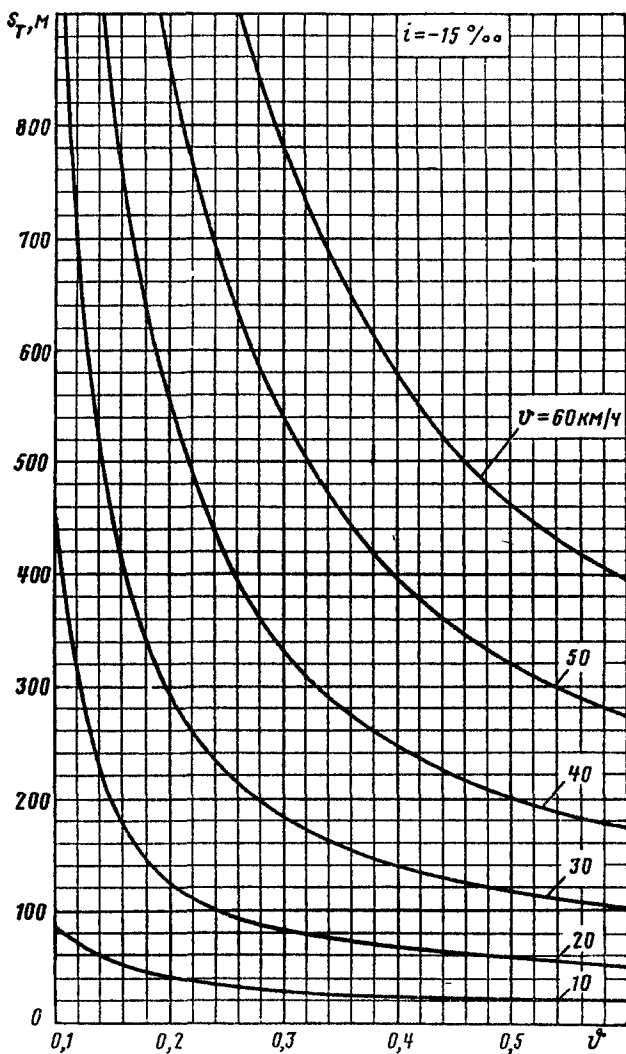


Рис. 2.30. Тормозной путь поездов узкой колеи на спуске $i = -15 \text{ ‰}$ (колодки чугунные)

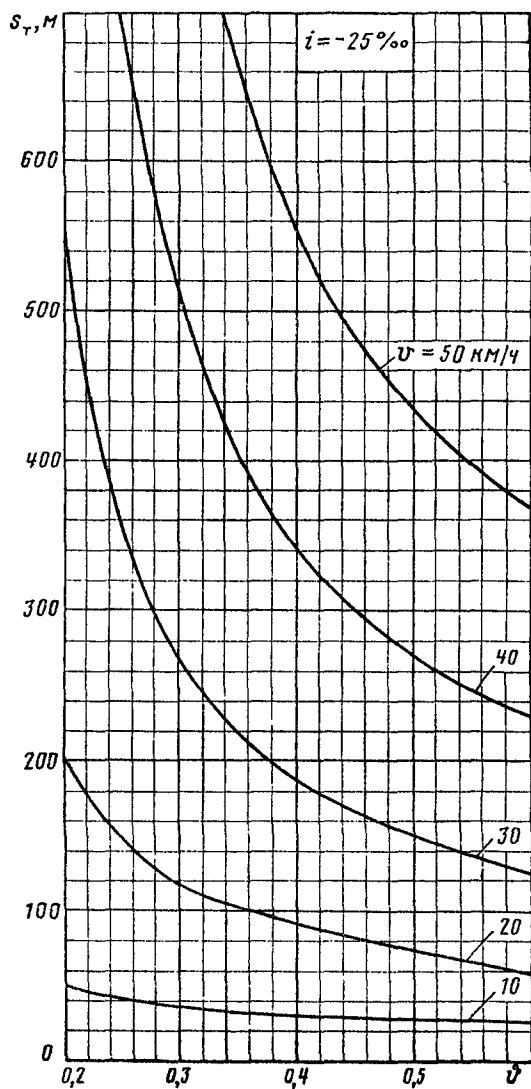


Рис. 2.31. Тормозной путь поездов узкой колеи на спуске $i = -25\text{‰}$ (колодки чугунные)

3. РАСЧЕТНЫЕ НОРМАТИВЫ ПО ТОРМОЗАМ

3.1. Допустимая скорость движения

Допустимую скорость движения поездов при заданном тормозном расстоянии определяют подбором исходя из расчетных формул тормозного пути. В условиях эксплуатации допустимые скорости движения поездов устанавливают в соответствии с действующими нормативами по тормозам, по расчетным таблицам и номограммам тормозных путей.

Для грузовых груженных поездов принята максимальная скорость движения 90 км/ч, при этом единый наименьший тормозной коэффициент чугунных колодок должен быть 0,33. Поезда с составом из порожних грузовых вагонов для скоростей движения до 100 км/ч должны иметь тормозной коэффициент 0,55 (в пересчете на чугунные тормозные колодки). Пассажирские поезда, обращающиеся со скоростью до 120 км/ч, должны иметь тормозной коэффициент 0,60.

Грузовые груженные поезда, обращающиеся со скоростями до 80 км/ч, пассажирские, грузовые из порожних вагонов и рефрижераторные поезда со скоростями не более 100 км/ч ограждают при внезапно возникающих препятствиях движения на расстоянии 1000 м, если перегоны имеют руководящие спуски менее $6^{\circ}/_{00}$, и на расстоянии 1200 м на более крутых спусках.

Пассажирские и рефрижераторные поезда, обращающиеся со скоростями движения до 120 км/ч, ограждают на расстоянии 1200 м при спусках до $6^{\circ}/_{00}$ и на расстоянии 1300 м при спусках до $10^{\circ}/_{00}$. Так же ограждают и скоростные пассажирские поезда со скоростями движения до 140 км/ч, но они должны иметь электропневматические тормоза и композиционные тормозные колодки или дисковый тормоз с тормозным коэффициентом 0,78 (в пересчете на чугунные тормозные колодки).

Композиционными тормозными колодками должны быть оборудованы также рефрижераторные поезда, обращающиеся со скоростями свыше 90 км/ч, при этом расчетный тормозной коэффициент в пересчете на чугунные колодки должен быть не менее 0,55 и 0,60 соответственно для скоростей 100 и 120 км/ч.

Пассажирские поезда со скоростями движения 160 км/ч и более ограждают на расстоянии 1600 м (на спусках до $6^{\circ}/_{00}$), 1700 м (на более крутых спусках) и 1800 м с (вагонами габарита РИЦ). Эти поезда имеют тормозной коэффициент 0,80, а электропоезд ЭР200—0,90 и при действии магнитно-рельсового тормоза — 1,3 [16].

Указанный единый наименьший тормозной коэффициент установлен для максимальных скоростей движения поездов в соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог Союза ССР [17]. На линиях, оборудованных автоблокировкой с трехзначной сигнализацией, при движении грузовых груженных поездов с максимальной скоростью 90 км/ч машинист обязан руководствоваться зеленым огнем локомотивного светофора автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), разрешающего следование поезда с установленной максимальной скоростью. При этом независимо от условий видимости машинист получает информацию о красном сигнальном огне светофора за два блок-участка на расстоянии, достаточном для остановки поезда служебным торможением. На линиях с четырехзначной автоблокировкой, где длина двух смежных блок-участков меньше тормозного пути полного служебного или ав-

тостопного торможения со скорости 90 км/ч, а также в случаях неисправности автоматической локомотивной сигнализации максимальная скорость грузового груженого поезда должна быть не более 80 км/ч.

Пассажирские поезда международного сообщения, в которые включаются более двух вагонов габарита РИЦ и вагонов других стран, не оборудованных электропневматическими тормозами, могут следовать на пневматическом торможении с чугунными тормозными колодками со скоростями более 120 до 140 км/ч при тормозном коэффициенте не менее 0,70, при ограждении мест препятствия не менее чем на 1600 м на спусках до 10‰ включительно. Пассажирские поезда, обращающиеся со скоростью 140 или 160 км/ч, в исключительных случаях, при переходе на пневматическое торможение при порче электропневматического управления тормозами в пути следования, когда тормозные коэффициенты поезда равны 0,78 или 0,80 соответственно, разрешается пропускать с уменьшением максимальной допустимой скорости на 10 км/ч.

Наибольший руководящий спуск, на котором допускается движение поездов с указанными выше единными наименьшими тормозными коэффициентами, принят: для грузовых груженых и рефрижераторных поездов, обращающихся со скоростью до 90 км/ч включительно, 10‰ исходя из ограждения мест препятствий не менее чем на 1500 м (на спусках круче 10 до 15‰ скорость ограничивается до 70 км/ч исходя из ограждения мест препятствий не менее чем на 1200 м); для пассажирских поездов, обращающихся со скоростью до 100 км/ч включительно, 15‰, при этом на спусках круче 10‰ ограждение мест препятствий производят на расстоянии не менее чем на 1200 м; для грузовых поездов из порожних вагонов, обращающихся со скоростью до 100 км/ч включительно, 10‰, при этом на спусках круче 10 до 15‰ включительно со скоростью не более 90 км/ч исходя из ограждения мест препятствий не менее чем на 1200 м.

Для пассажирских и рефрижераторных поездов, обращающихся со скоростью 120 км/ч и выше, наибольший спуск, который можно проследовать без ограничения скорости, не должен быть более 10‰. На спусках до 15‰ скорость движения пассажирских поездов ограничивается до 110 км/ч исходя из ограждений мест препятствий не менее чем на 1300 м. Для рефрижераторных поездов, обращающихся со скоростью до 100 км/ч, на спусках свыше 10 до 15‰ скорость ограничивается до 90 км/ч, а для рефрижераторных поездов, обращающихся со скоростью до 120 км/ч, на указанных спусках скорость ограничивается до 100 км/ч. Ограждение мест препятствий производят аналогично пассажирским поездам.

При подсчете допустимой скорости движения грузовых и пассажирских поездов, имеющих значения тормозного коэффициента, меньшие единых, учитывают следующее снижение скорости:

а) для грузовых поездов на 2 км/ч на каждую тонну недостающего тормозного нажатия на 100 т массы состава;

б) для пассажирских и рефрижераторных поездов на 1 км/ч для спусков до 6‰ и 2 км/ч для спусков круче 6‰ на каждую тонну недостающего тормозного нажатия на 100 т массы поезда.

В случае недостаточного тормозного нажатия электропоезда ЭР200 из-за выключения тормозов в пути следования скорость снижается на каждую недостающую тонну нажатия на 100 т массы поезда: для дискового тормоза на 2 км/ч, для дискового и магнитнорельсового тормозов — на 1 км/ч [16].

Грузовые груженные и рефрижераторные поезда разрешается пропускать с тормозным коэффициентом менее 0,33, но не менее 0,28 при руководящих спусках до 6⁰/₀₀ со скоростью не более 70 км/ч исходя из ограждения мест препятствий на 1000 м; на спусках 6⁰/₀₀ и круче (до 10⁰/₀₀) со скоростью не более 70 км/ч, а на спусках круче 10 до 15⁰/₀₀ со скоростью не более 65 км/ч (ограждение мест препятствий на расстоянии 1200 м).

Пассажирские поезда могут пропускаться с тормозным коэффициентом менее 0,60, но не менее 0,55 на руководящих спусках 6⁰/₀₀ со скоростью не более 95 км/ч исходя из ограждения мест препятствий на 1000 м; на спусках до 10⁰/₀₀ со скоростью не более 90 км/ч, а на спусках круче 10 до 15⁰/₀₀ со скоростью не более 85 км/ч исходя из ограждения мест препятствий не менее чем на 1200 м.

Грузовые поезда с составом из порожних вагонов и рефрижераторные поезда с тормозным коэффициентом менее 0,55, но не менее 0,50 разрешается пропускать со скоростью не более 90 км/ч исходя из ограждения мест препятствий на 1000 и 1200 м соответственно для спусков до 6 и 10⁰/₀₀, на руководящих спусках круче 10 до 15⁰/₀₀ со скоростью не более 80 км/ч исходя из ограждения мест препятствий не менее чем на 1200 м.

Для грузовых поездов с тормозным коэффициентом менее 0,28 допустимые скорости движения могут быть определены по табл. 3.1, составленной с необходимым запасом силы тормозного нажатия для гарантии безопасности движения поезда.

Таблица 3.1. Допустимые скорости движения грузовых поездов в зависимости от тормозного коэффициента состава и крутизны спуска

Спуск, ‰	Тормозной коэффициент при наибольшей скорости движения, км/ч						
	30	35	40	45	50	55	60
0	—	—	—	—	—	—	0,21
1	—	—	—	—	—	—	0,22
2	—	—	—	—	—	0,20	0,22
3	—	—	—	—	—	0,21	0,23
4	—	—	—	—	—	0,21	0,24
5	—	—	—	—	—	0,22	0,25
6	—	—	—	—	—	0,22	0,25
7	—	—	—	—	—	0,22	0,26
8	—	—	—	—	—	0,23	0,26
9	—	—	—	—	0,20	0,23	0,27
10	—	—	—	—	0,21	0,24	0,27
11	—	—	—	—	0,21	0,25	—
12	—	—	—	0,20	0,22	0,26	—
13	—	—	—	0,21	0,23	0,27	—
14	—	—	0,20	0,22	0,24	—	—
15	—	0,20	0,21	0,23	0,25	—	—
16	0,20	0,21	0,22	0,24	0,26	—	—
17	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27	—	—
18	0,21	0,23	0,25	0,26	—	—	—
19	0,22	0,24	0,26	0,27	—	—	—
20	0,22	0,25	0,27	—	—	—	—

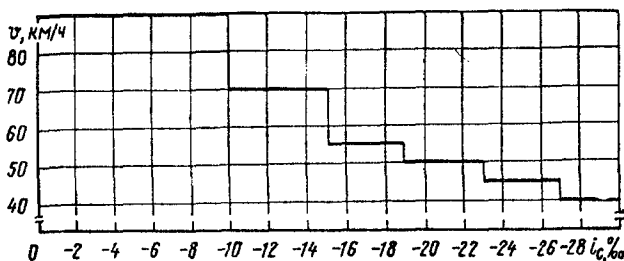


Рис. 3.1. Допустимые скорости движения грузовых поездов в зависимости от крутизны спуска

На перегонах с крутыми затяжными спусками свыше $20^0_{\text{‰}}$ ограничение скорости движения связано, кроме того, с кривыми малого радиуса, характерными для горных участков железных дорог.

На рис. 3.1 показаны допустимые скорости движения грузовых поездов в зависимости от крутизны спуска, которые можно принимать в условиях эксплуатации поездов, имеющих тормозной коэффициент чугунных колодок не менее 0,33.

При построении графика скорости движения поезда на затяжных спусках длиной до 10 км разрешается принимать скорость ниже допустимой по тормозам на поправку Δv в зависимости от крутизны спуска. График скорости движения строят в виде горизонтальной линии с учетом поправки Δv , значение которой в зависимости от крутизны спуска принимают по табл. 3.2.

На затяжных спусках длиной более 10 км или крутизной более $18^0_{\text{‰}}$ скорость движения определяют, используя соответствующие диаграммы замедляющих сил. На спусках до $4^0_{\text{‰}}$ значение Δv принимают равным нулю. Для электропневматических тормозов в пассажирских поездах значение Δv принимают одинаковым с пневматическими тормозами на спусках до $6^0_{\text{‰}}$, а на более крутых спусках 3 км/ч независимо от крутизны спуска.

При определении скорости движения поезда необходимо учитывать проверки действия тормозов в соответствии с действующей инструкцией по автотормозам. Снижение скорости при торможении допускается: 10 км/ч для пассажирских и 20 км/ч для грузовых поездов.

Максимальная допустимая скорость движения грузовых поездов повышенной массы и длины по условиям обеспече-

Т а б л и ц а 3.2. Поправка Δv в зависимости от крутизны спуска

Поезд	Крутизна спуска, $^0_{\text{‰}}$							
	4	6	8	10	12	14	16	18
Грузовой	4	4	4	4	5	6	7	8
Пассажирский	2	2	3	4	6	7	8	9

ния автотормозными средствами снижается с 80 км/ч: на 5 км/ч, если дополнительный локомотив установлен в хвосте состава, на 10 км/ч, если дополнительный локомотив установлен в последней трети состава, и на 15 км/ч, если дополнительный локомотив установлен в середине состава.

3.2. Допустимые продольные усилия в поезде

Железнодорожный поезд, состоящий из локомотивов и большого числа вагонов, представляет собой сложную механическую систему, в которой протекают динамические процессы, обусловленные изменением силы тяги локомотивов, профилем пути и торможением [18—20]. При тяговых расчетах необходимо учитывать наибольшие продольные усилия, действующие на поезд при его трогании с места и ведении по перегону, исходя из условий безопасности движения по прочности и устойчивости подвижного состава.

Различают два основных режима движения поезда: установленный и не установленный. К установленному режиму относят равномерное и равномерно ускоренное (равномерно замедленное) движение поезда под действием внешних постоянных или медленно изменяющихся сил. В этом случае продольные усилия в ударно-тяговых приборах определяются указанными внешними силами и силами инерции поезда, возникающими вследствие ускорений его как единого жесткого тела. Относительные перемещения масс вагонов в таком поезде весьма малы и практически не влияют на силовые процессы в нем.

Неустановившиеся режимы движения включают в себя резкое изменение силы тяги при трогании или ведении поезда, переходный процесс торможения, а также маневровую работу, сопровождающуюся соударениями вагонов. В указанных случаях продольные усилия между вагонами определяются не только внешними силами, приложенными к поезду, но и относительными скоростями движения отдельных вагонов и, как следствие, ударами между ними.

При оценке динамики поезда учитывают продолжительность и характер приложенного усилия. По характеру действия на подвижной состав продольные усилия разделяют на квазистатические и динамические. Квазистатические усилия изменяются медленно, действуют продолжительное время (не менее 2 с) и примерно одинаковы в смежной группе вагонов. Ударное усилие действует в течение весьма короткого промежутка времени. Приложенное к одному концу вагона, оно значительно превосходит продольную реакцию автосцепки с другого конца вагона и уравновешивается силами инерции его массы. Длительно действующие квазистатические продольные усилия являются опасными по условиям устойчивости вагонов от выжимания, а динамические усилия — по прочности подвижного состава.

Квазистатические продольные усилия возникают обычно при продолжительном торможении поезда только головными локомотивами на затяжных спусках пути, когда используют электрическое торможение или вспомогательный локомотивный тормоз. Наибольшее продольное усилие, равное тормозной силе локомотивов, действует на головной вагон и постепенно уменьшается по длине поезда в соответствии с массой оставшейся части состава за рассматриваемым вагоном. Минимальное продольное усилие возникает на передней автосцепке хвостового вагона. Квазистатические усилия

могут возникнуть при медленном трогании с места полностью растянутого состава, и в этом случае значение квазистатических усилий не превышает силы тяги локомотивов. Однако тронуть с места одновременно всю массу состава затруднительно. Обычно состав предварительно осаживают и берут с места последовательно группы вагонов.

При трогании с места сжатого состава из-за наличия зазоров в междувозгонных соединениях продольные усилия в поезде могут значительно превосходить приложенную локомотивом силу тяги. На основании многих исследований динамики поезда коэффициент продольной динамики, т. е. отношение наибольшего продольного усилия в составе к касательной силе тяги локомотива, в условиях эксплуатации рекомендуется принимать равным 1,6. Поэтому в настоящее время разрешается при трогании состава прикладывать силу от головных локомотивов не более 95 тс, что соответствует максимальному продольному усилию в составе около 150 тс. Такое ограничение наложено в связи с недостаточной прочностью эксплуатируемого подвижного состава.

При движении поезда на расчетном подъеме сила тяги локомотивов также определяется из условия, что в составе не должно возникать усилие более 150 тс. В этом случае процесс протекает плавнее, так как состав полностью растянут и сила тяги постоянна. Учитывая, однако, что при движении на расчетном подъеме возможны переломы профиля пути, от которых возникают дополнительные продольные усилия в составе, допустимую силу тяги головных локомотивов принимают не более 130 тс.

Таким образом, для предупреждения разрыва поездов наибольшую суммарную силу тяги локомотивов, находящихся в голове поезда, при трогании поезда с места определяют исходя из максимального допустимого продольного усилия на автосцепке головного вагона, равного 95 тс, а наибольшую суммарную силу тяги при разгоне и движении по труднейшему подъему определяют исходя из максимального допустимого продольного усилия на автосцепке головного вагона, равного 130 тс, т. е.

при трогании поезда до скорости 10 км/ч

$$\Sigma F_{\text{ктр}} \leq 95\,000 + \Sigma P (w_{\text{тр}} + i_{\text{тр}}), \quad (3.1)$$

при разгоне и движении по труднейшим подъемам

$$\Sigma F_{\text{к}} \leq 130\,000 + \Sigma P (w'_0 + i_c). \quad (3.2)$$

В связи с указанными ограничениями особое значение при вождении тяжеловесных поездов имеет включение дополнительного локомотива в среднюю часть соединенного состава.

Тяжеловесными считаются грузовые поезда, масса которых превышает на 100 т и более установленную графиком движения. Грузовые и пассажирские поезда, длина которых превышает норму, установленную графиком движения на участке следования этих поездов, считаются длинносоставными. В соединении поезда сила тяги локомотива используется не только на тягу, но и на толкание, что способствует снижению общего уровня продольных усилий [18]. Вместе с тем в соединенных поездах следует учитывать появление сжимающих усилий от тяги (толкания) локомотива. Допустимый уровень этих усилий, а также продольных сжимающих усилий от электрического торможения локомотивами, находящимися в голове поезда, определяется исходя из устойчивости вагонов от выжимания и зависит от типа и степени загрузки вагонов (табл. 3.3).

Т а б л и ц а 3.3. Допустимые продольные сжимающие усилия
в поезде по устойчивости вагонов от выжимания

Число осей вагона	Продольное усилие, тс, при	
	$q'_0 \leq 12$	$q'_0 > 12$
4	50	100
6 и 8	100	250

В грузовых поездах при взятии состава с места и при ведении его по участку сила толкания локомотива, стоящего в хвосте, ограничивается 50 тс, а суммарная сила тяги и подталкивания локомотива, стоящего в составе, — 70 тс.

При необходимости расчета ожидаемых продольных динамических усилий в тяжеловесных поездах целесообразно использовать ЭВМ. В этом случае численными методами решают систему нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих движение поезда как системы дискретных масс, имеющих между собой связи с заданными характеристиками:

$$\left. \begin{aligned}
 M_{\text{л}} \ddot{x}_{\text{л}} &= -S_{\text{л}}(x_{\text{л}} - x_1) - S_{\text{ал}}(\dot{x}_{\text{л}} - \dot{x}_1) + B_{\text{л}}(\dot{x}_{\text{л}}, t) - \\
 &\quad - \Pi_{\text{л}}(z_{\text{л}}) + \mathcal{W}_{\text{л}}[\dot{x}_{\text{л}}, R(z_{\text{л}})]; \\
 m_1 \ddot{x}_1 &= S_{\text{л}}(x_{\text{л}} - x_1) + S_{\text{ал}}(\dot{x}_{\text{л}} - \dot{x}_1) - S_1(x_1 - x_2) - \\
 &\quad - S_{\text{ал}}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + B_1[\dot{x}_1, (t - t_1)] - \Pi_1(z_1) + \mathcal{W}_1[\dot{x}_1, R(z_1)]; \\
 m_i \ddot{x}_i &= S_{i-1}(x_{i-1} - x_i) + S_{\text{ал}_{i-1}}(\dot{x}_{i-1} - \dot{x}_i) - S_i(x_i - \\
 &\quad - x_{i+1}) - S_{\text{ал}_i}(\dot{x}_i - \dot{x}_{i+1}) + B_i[\dot{x}_i, (t - t_i)] - \Pi_i(z_i) + \\
 &\quad + \mathcal{W}_i[\dot{x}_i, R(z_i)]; \\
 m_N \ddot{x}_N &= S_{N-1}(x_{N-1} - x_N) + S_{\text{ал}_{N-1}}(\dot{x}_{N-1} - \dot{x}_N) + \\
 &\quad + B_N[\dot{x}_N, (t - t_N)] - \Pi_N(z_N) + \mathcal{W}_N[\dot{x}_N, R(z_N)],
 \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

где $M_{\text{л}}$ — масса локомотива;
 m_i — масса вагона с номером i ;
 $x_{\text{л}}$ — перемещение локомотива относительно его центра масс в положении статического равновесия;
 $S_{\text{л}}(x_{\text{л}} - x_1)$ — зависимость силы от деформации поглощающих аппаратов локомотива и первого вагона;
 $S_i(x_i - x_{i+1})$ — зависимость силы от деформации двух последовательно соединенных междувагонных аппаратов;
 $S_{\text{ал}}(\dot{x}_{\text{л}} - \dot{x}_1)$ — зависимость силы от относительной скорости локомотива и первого вагона;
 $S_{\text{ал}_i}(\dot{x}_i - \dot{x}_{i+1})$ — зависимость силы от относительной скорости двух последовательно соединенных вагонов;
 $B_{\text{л}}(\dot{x}_{\text{л}}, t)$ — тормозная сила локомотива;

$B_i[x_i, (t-t_i)]$ — зависимость тормозной силы вагона с номером i от абсолютной скорости и времени t ;

$\Pi_i(z_i)$ — добавочная сила от уклона;

$W_i[x_i, R(z_i)]$ — сила внешнего сопротивления движению.

Зависимость продольного усилия S_i от сжатия поглощающих аппаратов автосцепки y_i в одном междувагонном соединении определяют по формулам [18]:

$$S_i = \begin{cases} \kappa_n(y_i - \Gamma_1), & \Gamma_1 < |y_i| < \lambda + \Gamma_1; \\ \kappa_n(y_i - \lambda - \Gamma_1) + S_{in} + \beta \dot{y}_i, & |y_i| > \lambda + \Gamma_1; \\ \kappa_p(y_i - \Gamma_1), & \Gamma_1 < |y_i| < \lambda + \Gamma_1, \end{cases} \quad (3.4)$$

где κ_n, κ_p — жесткости междувагонной связи соответственно при нагрузке и разгрузке;

κ_n — жесткость конструкции вагона;

S_{in} — усилие, при котором ход поглощающего аппарата при нагрузке исчерпывается;

Γ_1 — значение зазоров в междувагонном соединении;

λ — суммарное значение полного сжатия двух последовательно соединенных поглощающих аппаратов;

β — коэффициент вязкого сопротивления, учитывающий демпфирующие свойства груза и конструкции вагона;

y_i — относительная скорость движения вагона.

Тормозную силу вагона при неустановившемся торможении поезда определяют по формуле [18]

$$B_i(t, i) = 0,27 K_{\max} \frac{t - t_{vi}}{t_r + l_{ci}(t_x - t_r)} \frac{v + 100}{5v + 100}, \quad (3.5)$$

где $K_{\max}$ — максимальная сила нажатия колодок вагона;

t_{vi} — время распространения тормозной волны до i -го вагона;

t_r — время наполнения тормозного цилиндра головного вагона;

t_x — время наполнения тормозного цилиндра хвостового вагона;

l_{ci} — длина состава до i -го вагона.

Для среднесетевых условий эксплуатации расчетные параметры в формуле (3.4) можно принимать следующими: $\kappa_n = 2600$ тс/м, $\kappa_p = 520$ тс/м, $\kappa_n = 8500$ тс/м, $\beta = 50$ тс·с/м, $\Gamma_1 = 50$ мм, $S_{in} = 200$ тс, $\lambda = 150$ мм [19].

Продольные усилия, возникающие в поездах при установившемся и неустановившемся режимах движения, являются одним из основных показателей, учитываемых при тяговых и прочностных расчетах подвижного состава. При самых тяжелых режимах трогания с приложением наибольшей силы тяги или внезапных экстренных торможениях с любых мест состава значение продольных динамических усилий не должно превышать 250 тс.

При полных служебных торможениях продольные динамические силы в однородном поезде не должны превышать 150 тс, а в неоднородном — 200 тс; при регулировочных торможениях — соответственно 120 и 150 тс. Наибольшие значения замедлений при переходных режимах движения тяжеловесных поездов не должны превышать 30 м/с².

В процессе численного решения системы дифференциальных уравнений, описывающих движение поезда как системы дискретных масс, определяют также тормозные пути как абсолютные перемещения вагонов

Такая методика целесообразна для поездов с рассредоточенным приложением сил тяги и торможения по составу.

3.3. Тормозные нормативы МСЖД

Методика тормозных расчетов на европейских железных дорогах, объединяемых Международным железнодорожным союзом (МСЖД), отличается от принятой на железных дорогах СССР. Это создает затруднения при тормозных расчетах в условиях эксплуатации различных вагонов на дорогах нескольких стран. В связи с этим для международного сообщения составлены переводные таблицы, в которых указаны показатели эффективности действия тормозов отечественных вагонов по нормам МСЖД и, наоборот, — вагонов европейских стран по нормам советских железных дорог (СЖД). Одной из технических характеристик тормозной системы вагонов международного сообщения, определяющей ее эффективность действия и принимающейся для учета в эксплуатации при установлении допустимых скоростей, является так называемая тормозная масса. Значение ее, соответствующее тому или иному режиму торможения, обычно указывают на щитках рукоятки режимного переключателя.

Тормозную массу пассажирского подвижного состава определяют по формуле

$$B = \Sigma Kq, \quad (3.6)$$

где ΣK — суммарная сила нажатия чугунных тормозных колодок, тс;

q — коэффициент, полученный опытным путем, как функция силы нажатия на тормозную колодку (рис. 3.2, а).

Тормозная масса грузового подвижного состава определяется по формуле

$$B = \frac{10}{7} \Sigma K\gamma, \quad (3.7)$$

где γ — коэффициент, полученный опытным путем, как функция времени наполнения тормозного цилиндра, скачка начального давления и силы нажатия на тормозную колодку (рис. 3.2, б).

Если известны ΣK , q и γ , можно определить тормозную массу пассажирского или грузового вагона или, зная заданную тормозную массу, подобрать необходимую силу нажатия на тормозные колодки вновь проектируемого вагона.

Длину тормозного пути s_T пассажирских поездов на европейских железных дорогах рассчитывают по следующей эмпирической формуле:

$$s_T = \frac{v^2}{1,094\lambda + 0,127 - 0,235i\varphi}, \quad (3.8)$$

где v — начальная скорость движения, км/ч;

λ — коэффициент тормозной массы;

i — крутизна уклона, ‰ (со знаком минус);

φ — коэффициент, полученный опытным путем, как функция скорости (рис. 3.2, в).

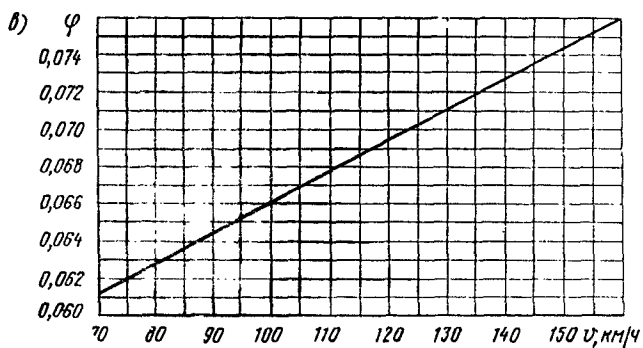
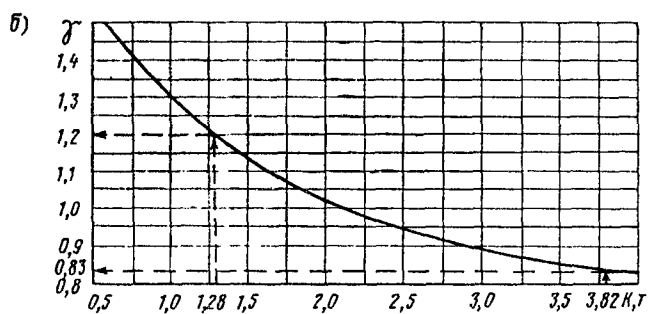
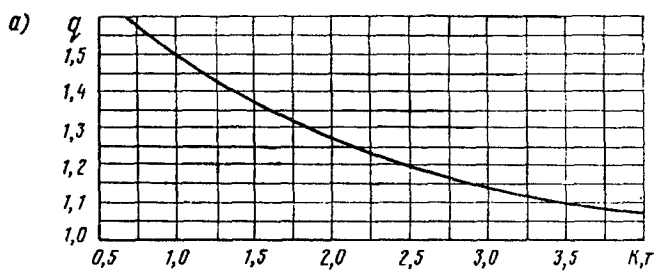


Рис. 3.2. Номограммы для определения коэффициентов q , γ и φ

Для площадки ($i = 0$) тормозной путь может быть определен по номограмме (рис. 3.3), на которой даны зависимости тормозных путей от скорости движения поезда и процента тормозной массы.

При известном тормозном пути пассажирского вагона на площадке ($i = 0$) коэффициент (процент) тормозной массы можно также определить по формуле (3.8), разрешив ее относительно λ :

$$\lambda = \frac{v^2}{1,094s_T} - 0,116. \quad (3,9)$$

Пример 1. Определить процент тормозной массы пассажирского вагона, если измеренный тормозной путь со скорости 120 км/ч составил 970 м.

Решение. По рис. 3.2, в определяют коэффициент $\varphi = 0,0696$. Тогда

$$\lambda = \frac{0,0696 \cdot 120^2}{1,094 \cdot 970} - 0,116 = 0,834, \text{ или } 83,4 \, \%.$$

При массе вагона 60 т тормозная масса равна $60 \cdot 0,834 = 50$ т.

Формулы МСЖД позволяют достаточно точно определять тормозные пути пассажирских поездов, а при заданном тормозном пути дают возможность установить допустимую скорость движения пассажирского поезда. Тормозные пути и допустимые скорости движения грузовых поездов устанавливают экспериментальным путем при заданных тормозных средствах.

В соответствии с изложенной методикой по формулам (3.6) и (3.7) рассчитаны тормозные массы основных типов вагонов железных дорог СССР для международного сообщения на колее 1520 и 1435 мм. Расчеты произведены при следующих исходных положениях:

а) для пассажирских вагонов значение коэффициента q взято из рис. 3.2, а при силе нажатия на чугунную тормозную колодку 2,5 тс;

б) для грузовых вагонов время наполнения тормозных цилиндров принято равным 20 с, скачок начального давления — 20 % конечного значения. Коэффициент γ в зависимости от силы нажатия на чугунную колодку определяли по рис. 3.2, б.

Пример 2. Определить тормозную массу четырехосной платформы, оборудованной чугунными тормозными колодками.

Решение. Используя табл. 2.2, находят суммарную силу нажатия груженого вагона: $\Sigma K = 3,82 \cdot 8 = 30,6$ тс и порожнего вагона $\Sigma K = 1,28 \cdot 8 = 10,2$ тс. Коэффициент γ определяют по рис. 3.2, б. Для груженого вагона при силе нажатия на тормозную колодку $K = 3,82$ тс коэффициент $\gamma = 0,83$, для порожнего при $K = 1,28$ тс $\gamma = 1,2$.

Тормозная масса по формуле (3.7) для груженого вагона

$$B = \frac{10}{7} 30,6 \cdot 0,83 = 36,2 \text{ т}$$

и для порожнего

$$B = \frac{10}{7} 10,2 \cdot 1,2 = 17,6 \text{ т}.$$

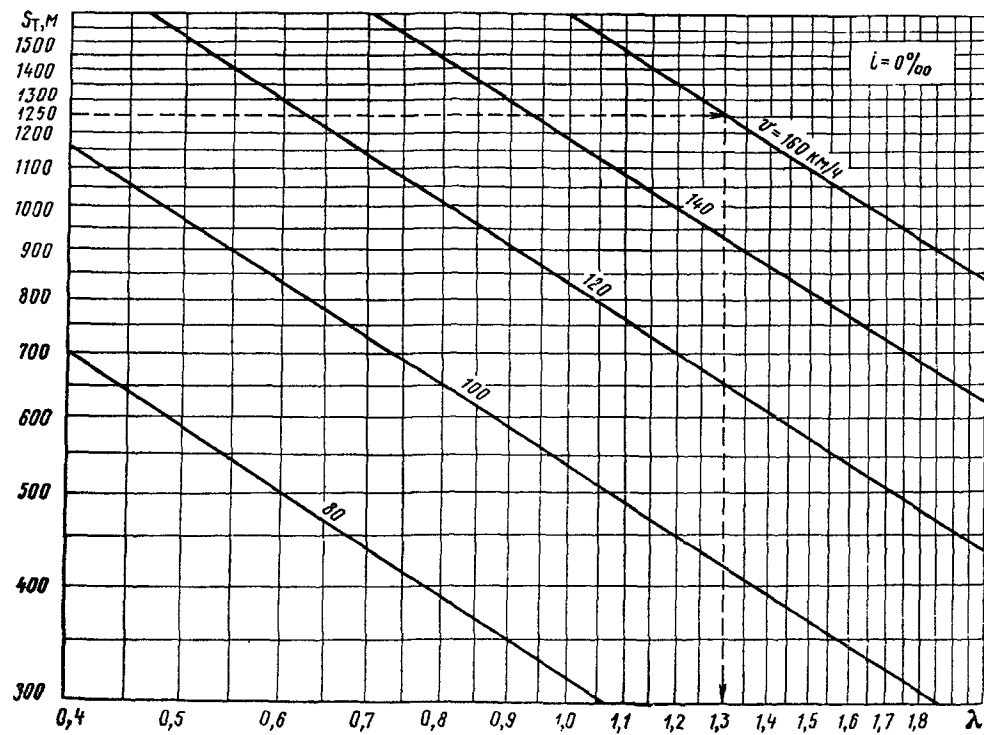


Рис. 3.3. Номограмма для определения тормозного пути пассажирского поезда в зависимости от коэффициента тормозной массы λ

При чугунных тормозных колодках тормозные массы основных типов вагонов железных дорог СССР составляют, т:

- цельнометаллические пассажирские вагоны габарита 0—Т50;
- цельнометаллические пассажирские вагоны габарита 03-Т при включении на режим:

- скоростной — 72;

- пассажирский — 54;

- четырёхосные грузовые вагоны при включении на режим:

- груженный — 36;

- порожный — 18;

- четырёхосные изотермические вагоны на тележках типа ЦМВ—49;

- с односторонним торможением — 33.

Зная тормозные массы вагонов, можно подсчитать тормозную массу поезда и процент тормозной массы, а затем по нормам МСЖД установить допустимую скорость движения поезда или определить длину тормозного пути.

Тормозные массы пассажирских вагонов, оборудованных композиционными колодками, можно определить, используя расчетные номограммы тормозных путей СЖД и номограммы МСЖД.

Пример 3. Определить тормозную массу пассажирского вагона габарита 0-Т с массой тары 53 т, оборудованного композиционными тормозными колодками и рассчитанного на скорость движения до 160 км/ч.

Решение. По табл. 2.13 расчетная сила нажатия композиционных колодок на ось равна 4,5 тс; суммарная сила нажатия колодок вагона $\Sigma K = 18$ тс, а расчетный тормозной коэффициент $18:53 = 0,34$. По номограмме (см. рис. 2.17) для скорости 160 км/ч тормозной путь равен 1250 м. По номограмме МСЖД (см. рис. 3.3) при тормозном пути 1250 м со скорости 160 км/ч реализуется процент тормозной массы 130. Тормозная масса вагона

$$B = \frac{130}{100} 53 = 69 \text{ т.}$$

Тормозные массы грузовых вагонов, оборудованных композиционными колодками, принимают при включении тормоза на средний режим 40 т, на порожний — 20 т [21].

3.4. Расчет продольных сил в сверхдлинных поездах

Оценивая продольные силы в сверхдлинных поездах, в целях ускорения расчетов целесообразно использовать эквивалентную систему дифференциальных уравнений, описывающую движение групп вагонов [18]. Сущность этого метода приводится дальше.

При теоретическом исследовании динамики сверхдлинных поездов приходится решать систему дифференциальных уравнений (3.3), число которых может достигать 300—400. Увеличение числа уравнений приводит к резкому возрастанию количества арифметических действий и, как следствие, к резкому росту погрешности округления.

Кроме того, требуются значительные затраты машинного времени. Особенно затруднены расчеты в длинносоставных и соединенных

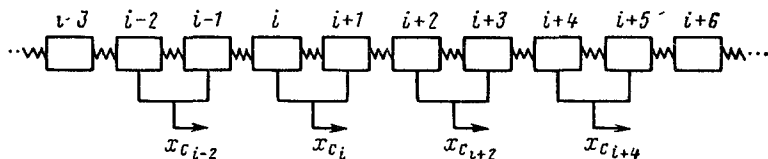


Рис. 3.4. Дискретная модель эквивалентной системы поезда

поездах, содержащих более 100 экипажей, с большим количеством вариантов тормозного оборудования и различными режимами управления тормозами. Поэтому при таких исследованиях целесообразно уменьшить количество уравнений, описывающих движение системы, с сохранением необходимой точности решения. Для этого систему дифференциальных уравнений, описывающую процессы движения поезда, заменяют другой системой с уменьшенным количеством уравнений и специально подобранными параметрами.

Согласно зависимостям (3.3) движения группы однотипных вагонов поезда (рис. 3.4) описывают дифференциальными уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x}_{i-1} &= S(x_{i-2} - x_{i-1}) - S(x_{i-1} - x_i); \\ m\ddot{x}_i &= S(x_{i-1} - x_i) - S(x_i - x_{i+1}); \\ m\ddot{x}_{i+1} &= S(x_i - x_{i+1}) - S(x_{i+1} - x_{i+2}); \\ m\ddot{x}_{i+2} &= S(x_{i+1} - x_{i+2}) - S(x_{i+2} - x_{i+3}); \\ m\ddot{x}_{i+3} &= S(x_{i+2} - x_{i+3}) - S(x_{i+3} - x_{i+4}); \\ m\ddot{x}_{i+4} &= S(x_{i+3} - x_{i+4}) - S(x_{i+4} - x_{i+5}). \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

Найдем такую эквивалентную систему дифференциальных уравнений, число которых меньше числа вагонов.

Складывая i -е уравнение с $(i+1)$ -м уравнением, а уравнение $(i+2)$ с уравнением $(i+3)$, получим:

$$\left. \begin{aligned} m(\ddot{x}_i + \ddot{x}_{i+1}) &= S(x_{i-1} - x_i) - S(x_{i+1} - x_{i+2}); \\ m(\ddot{x}_{i+2} + \ddot{x}_{i+3}) &= S(x_{i+1} - x_{i+2}) - S(x_{i+3} - x_{i+4}). \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

Обозначив через x_{ci} перемещение центра масс i -го и $(i+1)$ -го вагонов, а через x_{ci+2} — перемещение центра масс $(i+2)$ -го и $(i+3)$ -го вагонов, будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_i + \ddot{x}_{i+1} &= 2\ddot{x}_{ci}; \\ \ddot{x}_{i+2} + \ddot{x}_{i+3} &= 2\ddot{x}_{ci+2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

Обозначим через x_{ci-2} перемещение центра масс $(i-2)$ -го и $(i-1)$ -го вагонов, а через x_{ci+4} — перемещение центра масс $(i+4)$ -го и $(i+5)$ -го вагонов. Если движения поезда таковы, что перемещения двух соседних вагонов сравнительно мало отличаются

от перемещений центра их масс, то можно пользоваться следующими приближенными равенствами:

$$\left. \begin{aligned} x_{i-1} - x_i &\approx \frac{x_{ci-2} - x_{ci}}{2}; \\ x_{i+1} - x_{i+2} &\approx \frac{x_{ci} - x_{ci+2}}{2}; \\ x_{i+3} - x_{i+4} &\approx \frac{x_{ci+2} - x_{ci+4}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

С учетом равенств (3.12) и (3.13) уравнения (3.3) приводятся к виду:

$$\left. \begin{aligned} 2m\ddot{x}_{ci} &= S \left(\frac{x_{ci-2} - x_{ci}}{2} \right) - S \left(\frac{x_{ci} - x_{ci+2}}{2} \right); \\ 2m\ddot{x}_{ci+2} &= S \left(\frac{x_{ci} - x_{ci+2}}{2} \right) - S \left(\frac{x_{ci+2} - x_{ci+4}}{2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

Пользуясь полученными уравнениями (3.14), можно от описания движения поезда с помощью системы N нелинейных дифференциальных уравнений вида (3.10) перейти к описанию движения с помощью системы $N/2$ уравнений вида (3.14) либо для системы уравнений первого порядка, к которой при расчетах на ЭВМ предварительно приводят систему (3.3), от $2N$ уравнений — к укороченной системе $2N/2$, $2N/3$, ..., учитывающей относительные перемещения групп экипажей из двух, трех и т. д. вагонов.

Чтобы показать практическую эквивалентность описания движения поезда с помощью укороченной системы дифференциальных уравнений вида (3.14), рассмотрим решение на ЭВМ задачи о движении поезда, состоящего из 62 вагонов, при трогании с использованием системы 62 уравнений вида (3.10) и укороченной системы 31 уравнения вида (3.14).

Числовые параметры системы из 62 дифференциальных уравнений второго порядка и описание нелинейных характеристик междувагонных соединений были приняты в соответствии с выражениями (3.4), а закон нарастания тягового усилия во времени — с убывающим темпом.

Результаты решений исходной и укороченной систем при трогании и одинаковом времени (5 с) нарастания силы тяги локомотива до максимального значения, равного 40 тс, приведены в виде соответствующих графиков распределения максимальных продольных усилий вдоль поезда (рис. 3.5).

Из этих графиков видно, что разность значений максимальных продольных усилий, полученных из решения полной и укороченной систем дифференциальных уравнений движения поезда, невелика.

Это позволяет проводить исследование переходных режимов движения сверхдлинных поездов, содержащих очень большое количество вагонов, путем решения укороченной системы дифференциальных уравнений.

Пример 4. Рассчитать максимальные продольные усилия при электрическом торможении, возникающие в поезде из 124 четырехосных вагонов, при постановке двух локомотивов в голову и в слу-

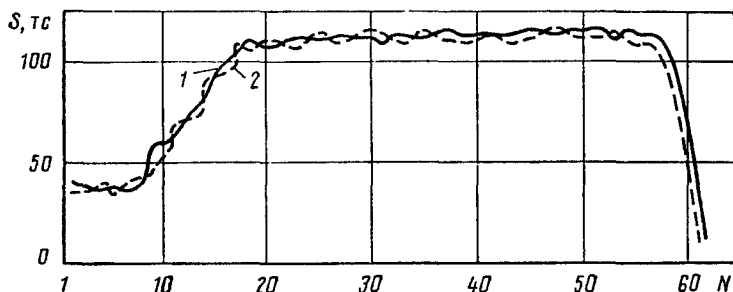


Рис. 3.5. Распределение продольных сил по длине состава при расчете с обычной (1) и укороченной (2) системами дифференциальных уравнений

чае, когда один из них установлен в середине состава. Максимальная тормозная сила локомотива составляет 40 тс, время нарастания тормозной силы 5, 10 и 20 с.

Решение. Расчет продольных сил для указанных вариантов выполнен на ЭВМ с использованием укороченной системы дифференциальных уравнений.

По результатам расчетов построены графические зависимости, приведенные на рис. 3.6.

Рассматривая графики, видим, что в случае нарастания суммарной тормозной силы локомотивов до максимальной 80 тс в течение промежутка времени $t = 5$ с (кривая 1) продольные усилия в междувagonных соединениях возрастают до 200 тс и устанавливаются

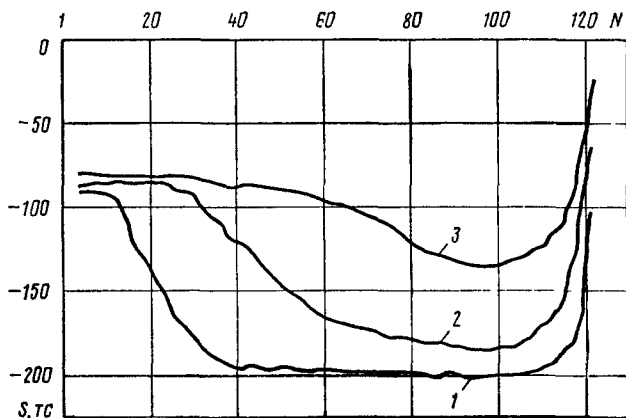


Рис. 3.6. Распределение продольных сил по длине состава при одновременном электрическом торможении обоих локомотивов, расположенных в голове поезда, в зависимости от времени возрастания тормозных сил:

1 — в течение 5 с; 2 — в течение 10 с; 3 — в течение 20 с

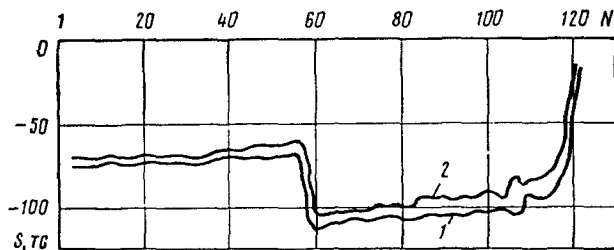


Рис. 3.7. Распределение продольных сил по длине соединенных поездов при электрическом торможении рассредоточенными локомотивами в течение 5 с (1) и 10 с (2)

стабильными, начиная примерно с порядкового номера $N = 40$. Максимальные продольные усилия в 2,5 раза превышают силы торможения двух локомотивов.

В случае нарастания силы торможения до максимальной в течение 10 с (кривая 2) уровень максимальных продольных усилий несколько снижается, достигая 170 тс, и стабилизируется, начиная с междувagonной связи $N = 70$. Если тормозная сила нарастает до максимального значения в течение 20 с, то уровень максимальных продольных усилий в поезде заметно снижается, достигая в последней части междувagonных связей значений 130 тс.

На графиках распределений максимальных продольных усилий (см. рис. 3.6) имеется область, в которой продольные усилия не превышают значение максимальной суммарной силы торможения двоянных локомотивов, причем длина этой области прямо пропорциональна времени нарастания силы торможения. Это дает основание заключить, что если нарастание силы торможения до максимальной будет происходить за промежуток времени не меньше 40 с, то внутри поезда, состоящего из 124 вагонов, возмущения не будут превышать значения тормозной силы; иначе говоря, фронт динамических усилий вынесен за пределы поезда.

При одновременном нарастании тормозных сил локомотивов в случае, когда один из них расположен в середине состава (рис. 3.7), наибольшие по значению продольные усилия возникают во второй половине поезда и составляют 100—110 тс, т.е. превышают суммарную тормозную силу всего на 30 %.

По изложенной методике могут быть решены задачи, связанные с расчетом продольных динамических сил в грузовых поездах, сформированных из практически неограниченного количества вагонов.

3.5. Нормативы динамики торможения

Продольные усилия, действующие на подвижной состав при трогании с места, торможении и движении по переломам продольного профиля пути, зависят от большого числа факторов, проявляющихся в эксплуатации. Наиболее важные из них сила тяги, торможения, зазоры в междувagonных соединениях. При трогании поезда

с места наименьшие продольные усилия возникают в полностью растянутых поездах и не превосходят касательной силы тяги, развиваемой локомотивами. В процессе трогания с места сжатых составов наибольшие продольные усилия возникают когда примерно половина головных вагонов сжата, а остальная часть растянута.

При ведении поезда по перегону с ломаным профилем наибольшие растягивающие усилия возникают от набора тяги на малой скорости движения, когда уровень приложенной силы достаточно высок, а поезд к моменту набора тяги оказывается частично сжатым. При неустановившемся процессе торможения поезда источник продольных возмущений (относительных перемещений, усилий, ускорений) движется вдоль состава со скоростью тормозной волны. В поездах повышенной массы и длины наполнение цилиндров (измеренное вагонами для испытания автотормозов) и переходный режим заканчиваются при скорости движения 40—50 км/ч. Критическая скорость, при которой возникают максимальные усилия, 10—20 км/ч, коэффициент продольной динамики торможения 2,0—3,0.

Распространение возмущений вдоль состава при нелинейных междувагонных связях принципиально отличается в случае жестких и мягких характеристик. Скорости распространения возмущений нелинейных волн зависят от производной в точке силовой характеристики, соответствующей значению деформации связи, и плотности единицы длины экипажа: с увеличением производной скорости распространения возмущений увеличиваются, а с увеличением погонной плотности поезда — уменьшаются. При мягких междувагонных связях с убывающей производной силовой характеристики поглощающих аппаратов амплитуда и темп изменения относительных перемещений и скоростей движения экипажей убывают по длине поезда. В случае жестких характеристик связей с пружинно-фрикционными поглощающими аппаратами, наоборот, фронт волны возмущения по мере распространения вдоль поезда становится более крутым.

При жестких связях время распространения волны максимальных возмущений от одного экипажа к другому уменьшается, а при мягких — остается примерно одинаковым. Характер распространения возмущений при движении их источнике определяется взаимной связью скорости источника и скорости распространения нелинейных волн. Для аппаратов с жесткими и мягкими характеристиками существуют определенные скорости движения источника возмущения, совпадающие со скоростью нелинейных волн, при которых возникают максимальные продольные усилия в поезде, причем для мягких и жестких связей эти скорости не одинаковы. Поэтому характеристики тормозных устройств должны соответствовать характеристикам поглощающих аппаратов автосцепки. Максимальная скорость распространения возмущений в поездах в зависимости от зазоров в автосцепках, крутизны силовой характеристики поглощающих аппаратов и масс экипажей равна 250 м/с. Необходимо, чтобы значения скорости движения источника возмущения были больше критических скоростей распространения возмущений.

Скорость распространения тормозной волны оказывает наибольшее влияние на динамику торможения. Продольные динамические усилия уменьшаются нелинейно и непропорционально увеличению скорости тормозной волны: увеличение скорости волны вдвое в зависимости от времени наполнения цилиндров снижает усилия в 1,8—2,3 раза в поездах с однородными диаграммами и в 1,2—1,4 раза в поездах с неоднородными диаграммами торможения. Продоль-

ные усилия в поездах при изменении времени наполнения цилиндров изменяются также непропорционально в зависимости от вида индикаторных диаграмм. Увеличение этого времени вдвое приводит к снижению усилий в 1,5—1,8 раза. Более заметно снижаются усилия при неоднородных диаграммах. С ростом времени наполнения усилия уменьшаются неравномерно: сначала более резко, а затем медленнее. Продольные усилия в грузовых поездах снижаются при уменьшении скачка начального давления в тормозных цилиндрах. Скачок более 0,1 МПа повышает продольные усилия в 1,2—1,3 раза.

Фрикционные качества тормозных колодок оказывают значительное влияние на продольные усилия и тормозные пути поездов. Прямой зависимости между коэффициентом трения и продольными усилиями нет. Важной особенностью переходных режимов в длинносоставных поездах с композиционными колодками является повышенная эффективность торможения с высоких скоростей без увеличения продольных усилий на низких критических скоростях движения. При одинаковой тормозной эффективности уровень продольных усилий в поездах с композиционными колодками ниже, чем в поездах с чугунными колодками.

Значение удельной тормозной силы влияет на продольные усилия не столь значительно, как на тормозные пути: с увеличением коэффициента нажатия в 2 раза продольные усилия возрастают в 1,3 раза, а максимальное значение тормозных путей снижается в 1,5—2 раза. При максимальном коэффициенте силы нажатия композиционных колодок 0,20—0,22, допустимом по условиям сцепления колес с рельсами и динамике торможения, тормозные пути тяжеловесных грузовых поездов могут быть снижены на 20—25 % по сравнению с тормозными путями поездов, оборудованных чугунными колодками.

Темп роста тормозной силы экипажей является важнейшим параметром пневматических тормозов, определяющим динамику торможения поезда. Он зависит от конструкции воздухораспределителей и особенностей механического тормозного оборудования и отражает суммарное действие переменного давления в цилиндрах и коэффициента трения колодок. Наилучшим является постоянный темп.

На динамику поезда большое влияние оказывает характеристика подвижного состава: неоднородность вагонов, их масса и погонная нагрузка, силовые характеристики поглощающих аппаратов. Неоднородность состава по типу вагонов приводит к росту продольных усилий при торможении примерно на 20 %, а неоднородность и по нагрузке — на 30—35 %. Постановка более легких вагонов одной группой в головную часть состава повышает усилия в поезде, а в хвостовую — снижает по сравнению с усилиями, возникающими в однородном поезде равной массы и длины. При одинаковых удельных тормозных силах рост продольных усилий почти пропорционален увеличению масс экипажей. Повышение погонной нагрузки в 1,5 раза увеличивает продольные усилия в 2 раза. При наиболее тяжелых режимах пневматического торможения уровень максимальных продольных усилий в поездах с мягкими характеристиками связей в 1,3—1,5 раза, а с линейными — в 1,15—1,2 раза ниже, чем в поездах с жесткими характеристиками междувагонных соединений и, следовательно, по условиям динамики торможения тяжеловесных грузовых и двояженных, соединенных пассажирских поездов целесообразно иметь поглощающие аппараты автосцепки с нежесткими силовыми характеристиками и высокой энергоемкостью.

4. РАСЧЕТ МАССЫ СОСТАВА ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА

4.1. Расчет массы состава при движении поезда по расчетному подъему с равномерной скоростью

Современные электровозы и тепловозы имеют большую мощность и высокую конструкционную скорость [22, 23]. Массу состава определяют исходя из условий полного использования мощности и тяговых качеств локомотивов, а также кинетической энергии поезда в соответствии с нормами, приведенными в действующих ПТР. В целях повышения провозной способности линий, ликвидации перелома весовых норм поездов предусматриваются применение кратной тяги и подталкивания на лимитирующих перегонах, безостановочный пропуск поездов по станциям, за которыми расположены крутые подъемы, и т. д. Расчет массы состава выполняют по следующим условиям безостановочного движения:

- а) по расчетному подъему с равномерной скоростью,
- б) по труднейшим подъемам с учетом использования кинетической энергии поезда.

На тех участках дорог, где климатические условия значительно изменяются в зависимости от времени года, расчетную массу состава определяют особо для летнего и зимнего периодов. Выполненный расчет массы состава должен быть проверен в опытных поездках с динамометрическим вагоном в соответствии с действующими для этой цели инструктивными указаниями.

Расчетный подъем принимают исходя из анализа труднейших элементов продольного профиля, уровня допустимой скорости движения поездов по состоянию пути, расположения остановочных пунктов.

Предположив, что запаса кинетической энергии поезда будет недостаточно для преодоления такого подъема, определяют максимально возможную массу состава по формуле

$$Q = \frac{F_{кр} - (\omega_0'' + i_p) P}{\omega_0'' + i_p}, \quad (4.1)$$

где $F_{кр}$ — расчетная сила тяги локомотива;

ω_0'' — основное удельное сопротивление движению локомотива;

i_p — принятый расчетный подъем;

P — расчетная масса локомотива;

ω_0'' — основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов.

Значения расчетной силы тяги локомотива и основных удельных сопротивлений движению определяют для расчетной скорости локомотива, установленной действующими ПТР. В тяговых расчетах, выполняемых при проектировании новых железных дорог и электрификации участков действующих линий, силу тяги электровозов принимают на 5 %, а тепловозов — на 7 % менее расчетной, предусмотренной действующими ПТР, для учета неизбежных отклонений фактических условий от принятых в расчете и предупреждения работы локомотивов в режимах с перегрузкой, вызывающих повышенный выход из строя и нарушение ритма движения.

Выбор расчетной скорости локомотивов осуществляется следующим образом:

- а) для электровозов расчетную скорость принимают в точке пересечения линии ограниченной силы тяги сцеплением колес с рель-

сами или максимальным током и одной из автоматических характеристик;

б) для тепловозов — по условиям работы электродвигателя в продолжительном режиме.

Расчетные характеристики для определения массы составов основных серий локомотивов приведены в табл. 4.1, 4.2.

В этих таблицах основное удельное сопротивление состава определяют для четырехосных груженых вагонов с массой, приходящейся на ось, 17,5 т при наличии в составе 50 % вагонов на роликовых подшипниках. На рис. 4.1 показаны зависимости расчетной массы состава грузового поезда от расчетного подъема для ведущих серий локомотивов.

Пример. Определить расчетную массу состава грузового поезда с электровозом ВЛ10У по участку с расчетным подъемом 10,7 ‰. Состав сформирован из четырехосных полувагонов, 50 % которых имеют роликовые подшипники. Масса брутто, приходящаяся на ось груженого вагона, составляет 17,5 т.

Решение. Из табл. 4.1 находим данные электровоза ВЛ10У: $F_{кр} = 50\,200$ кгс, $v_p = 45,8$ км/ч, $P = 200$ т, $\omega'_0 = 2,99$ кгс/т, $\omega''_0 = 1,57$ кгс/т.

Подставим эти данные в формулу (4.1):

$$Q = \frac{50\,200 - (2,99 + 10,7) 200}{1,57 + 10,7} = 3870 \text{ т.}$$

Пример. Определить массу состава, которую поведет тепловоз 2ТЭ116 по участку с расчетным подъемом 7 ‰. Состав поезда сформирован из четырехосных полувагонов на роликовых подшипниках со средней массой брутто 92 т.

Решение. Из табл. 4.2 найдем данные для тепловоза 2ТЭ116: $F_{кр} = 50\,600$ кгс, $v_p = 24,2$ км/ч, $P = 276$ т, $\omega'_0 = 2,32$ кгс/т. Основное удельное сопротивление четырехосных полувагонов на роликовых подшипниках определяют по формуле (1.3):

$$\omega''_0 = 0,7 + (3 + 0,1 \cdot 24,2 + 0,0025 \cdot 24,2^2) / 23 = 1,00 \text{ кгс/т}$$

По формуле (4.1) находят массу состава:

$$Q = \frac{50\,600 - (2,32 + 7,00) 276}{1,00 + 7,00} = 6000 \text{ т.}$$

В табл. 4.3 и 4.4 указаны расчетные массы состава, сформированного из четырехосных вагонов (брутто) с массой, приходящейся на ось, 17,5 т на подшипниках скольжения. При включении в состав поезда вагонов на роликовых подшипниках снижается удельное сопротивление движению, что соответственно увеличивает расчетную массу состава. Увеличение расчетной массы состава грузового поезда от наличия вагонов на роликовых подшипниках по отношению к массе состава из вагонов на подшипниках скольжения показано в табл. 4.5.

Использование табличных данных рассмотрим на примерах.

Пример. Найти расчетную массу состава, сформированного из четырехосных полувагонов со средней массой, приходящейся на ось, 23 т при вождении его восьмиосным электровозом ВЛ80с по расчетному подъему 9 ‰. В составе поезда 60 % вагонов на роликовых подшипниках.

Таблица 4.1. Расчетные характеристики грузовых электровозов

Электровозы серий	Передающее число μ	Тип электро-двигателя	Режим работы	Сила тяги $F_{кр}$, кгс	Скорость v_p , км/ч	Удельное сопротивление движению		Конструкционная скорость v_k , км/ч	Расчетная масса (сцепной вес) P , т	Сила тяги по троганию $F_{ктр}$, кгс	Ограничение силы тяги
						электро-воза ω_0 , кгс/т	вагонов ω_0 , кгс/т				
ВЛ22 ^м	4,45	ДПЭ-400	П, ОП1	34 300	36,8	2,67	1,41	75	132	38 600	По току
ВЛ22 ^м	4,56	НБ-411	П	34 300	35,5	2,64	1,39	80	132	37 800	То же
ВЛ23	3,905	НБ-406	П, ОП1	34 900	43,3	2,89	1,53	100	138	45 500	По сцеплению
ВЛ8, ВЛ8 ^м	3,905	НБ-406	П, ОП1	46 500	43,3	2,89	1,53	80 (ВЛ8), 100 (ВЛ8 ^м)	184	60 700	То же
ВЛ10, ВЛ11	3,83	ТЛ2К1	П	46 000	46,7	3,02	1,59	100	184	62 600	»
ВЛ10 ^у	3,83	ТЛ2К1	П	50 200	45,8	2,99	1,57	100	200	68 000	»
ВЛ60 ^к , ВЛ60 ^р	3,826	НБ-412К	29 n_k	36 800	43,5	2,90	1,53	100	138	49 680	»
			25 n_k	37 600	37,0	2,68	1,42				
ВЛ80 ^к	4,19	НБ-418К	29 n_k	49 000	44,2	2,93	1,54	110	184	66 200	»
			25 n_k	50 000	38,0	2,71	1,43				
ВЛ80 ^т , ВЛ80 ^с	4,19	НБ-418К	29 n_k	51 200	43,5	2,90	1,57	110	192	66 200	»
			25 n_k	52 170	37,5	2,69	1,42				
ВЛ80 ^р	4,19	НБ-418К	0,5 зо- ны 4	51 200	43,5	2,90	1,53	110	192	69 080	»
			Зона 3	52 300	37,0	2,68	1,42				
ВЛ82 ^м	3,38	НБ-407Б	П	49 700	50,5	3,17	1,66	110	200	68 020	»
ВЛ11 (3 секции)	3,83	ТЛ2К1	П	69 000	46,7	3,02	1,59	100	276	93 900	»
ВЛ80 ^с (3 секции)	4,19	НБ-418К	29 n_k	76 800	43,4	2,90	1,56	110	285	96 000	По прочности автосцепки
ВЛ15	3,83	ТЛ-3К	—	75 400*	45,0*	2,96	1,57	110	285	96 000	То же
ВЛ85	4,19	НБ-514, НБ-418К	—	72 000*	50,0*	3,15	1,66	110	288	96 000	»

* Приведены значения по часовому режиму.

Таблица 4.2. Расчетные характеристики грузовых тепловозов

Тепловозы серии	Конструкционная скорость v_k , км/ч	Сцепной вес $P_{сц}$, тс	Расчетная масса P , т	Передающее число μ	Тип электро- двигателя	Длительная скорость v_p , км/ч	Расчетная сила тяги $F_{кр}$, кгс	Удельное со- противление движению		Сила тяги при тро- гании $F_{ктр}$, кгс	Ограничение
								тепловоза w'_0 , кгс/т	вагона w''_0 , кгс/т		
ТЭ3	100	250	254	4,41	ЭДТ200Б	20,5	40 400	2,23	1,19	58 200	По пусковому току
3ТЭ3	100	375	381	4,41	ЭДТ200Б	20,5	60 600	2,23	1,19	87 300	То же
М62	100	119	120	4,53	ЭД-107	20,0	20 000	2,22	1,18	35 700	По сцеплению
2М62	100	238	240	4,53	ЭД-107А	20,0	40 000	2,22	1,18	71 400	То же
2ТЭ10Л	100	255	260	4,41	ЭД-107А	23,4	50 600	2,30	1,22	76 500	»
2ТЭ10В,	100	271	276	4,41	ЭД-118А	23,4	50 600	2,30	1,22	81 300	»
2ТЭ10М,											
3ТЭ10М	100	406	414	4,41	ЭД-118А	23,4	75 900	2,30	1,22	96 000	По прочности авто- сцепки
4ТЭ10С	100	540	552	4,41	ЭД-118А	23,4	101 200	2,30	1,22	96 000	То же
2ТЭ116	100	271	276	4,41	ЭД-118А	24,2	50 600	2,32	1,23	81 300	По сцеплению
2ТЭ121	100	294	300	4,32	ЭД-126	26,9	60 000	2,39	1,27	84 600	То же
ЧМЭ2	60	71	72	5,50	ТЕ-004	12,5	12 600	2,07	1,11	17 400	По пусковому току
ЧМЭ3	95	121	123	5,07	ТЕ-006	11,4	23 000	2,05	1,10	36 300	По сцеплению
ТЭМ2	100	118	120	4,53	ЭД-107	11,0	21 000	2,05	1,10	35 400	То же
ТГМ3А	70	67	68	4,25	—	8,5	12 000	2,01	1,07	22 400	»
ТЭМ7	100	166	168	—	ЭД-120А	10,3	35 000	2,03	1,09	50 400	»

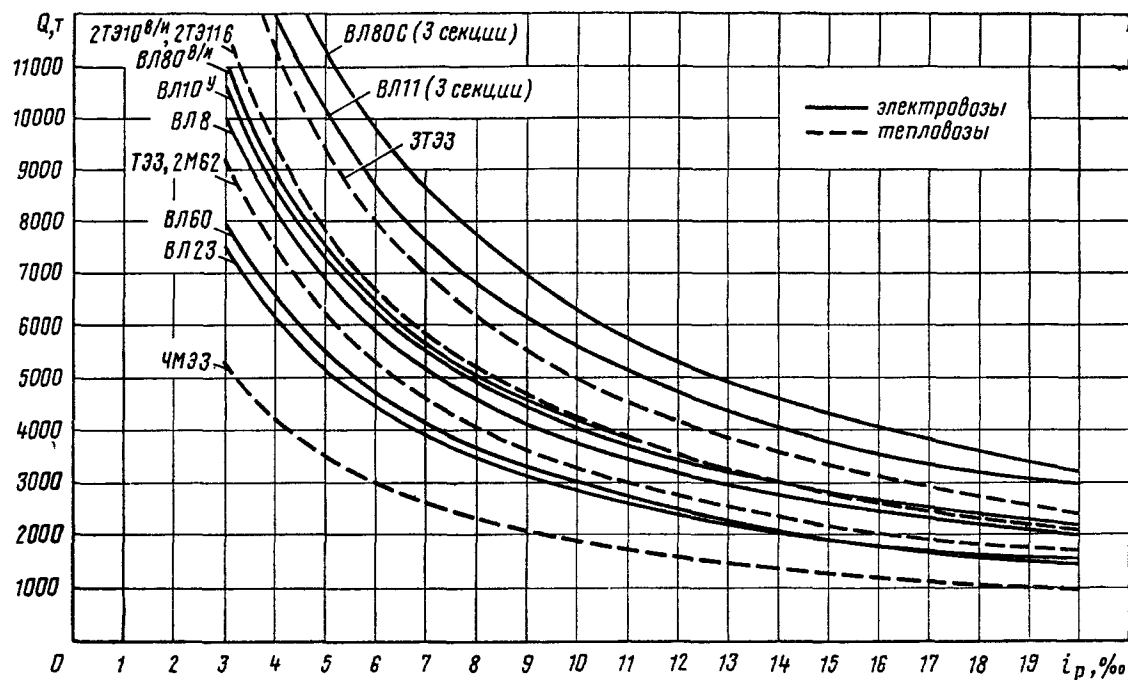


Рис. 4.1. Зависимость массы состава грузового поезда от расчетного подъема для основных серий локомотивов (состав: четырехосные вагоны, 50% вагонов на роликовых подшипниках, $q_0 = 17,5$ т)

**Т а б л и ц а 4.3. Расчетная масса состава грузового поезда,
ведомого электровозом**

Расчетный подъем $i, \%$	Электровозы серий									
	ВЛ22, ВЛ23	ВЛ8	ВЛ10У	ВЛ60К, ВЛ60Р	ВЛ80Г, ВЛ80С	ВЛ11*	ВЛ80С*	ВЛ15	ВЛ85	ВЛ80К
3	7300	9720	10380	7680	10 670	14 230	16 050	15 680	14 630	10 210
4	5980	7970	8530	6310	8 760	11 700	13 170	12 880	12 050	8 380
5	5070	6750	7230	5340	7 420	9 920	11 160	10 910	10 240	7 100
6	4390	5840	6270	4630	6 430	8 600	9 670	9 460	8 890	6 150
7	3860	5150	5520	4080	5 670	7 580	8 520	8 340	7 850	5 420
8	3450	4600	4930	3640	5 060	6 770	7 610	7 450	7 010	4 840
9	3120	4150	4450	3290	4 570	6 120	6 870	6 720	6 340	4 370
10	2830	3780	4060	2990	4 160	5 570	6 260	6 120	5 780	3 980
11	2600	3460	3720	2750	3 820	5 110	5 740	5 620	5 300	3 650
12	2400	3200	3440	2540	3 520	4 720	5 300	5 190	4 900	3 370
13	2230	2970	3190	2350	3 270	4 380	4 920	4 820	4 550	3 130
14	2070	2770	2970	2190	3 050	4 080	4 590	4 490	4 240	2 920
15	1940	2590	2780	2050	2 860	3 820	4 290	4 200	3 970	2 730
16	1820	2430	2610	1940	2 680	3 590	4 030	3 950	3 730	2 570
17	1720	2290	2460	1820	2 530	3 380	3 800	3 720	3 520	2 420
18	1620	2160	2330	1720	2 390	3 200	3 600	3 520	3 320	2 290
19	1540	2050	2210	1630	2 270	3 030	3 410	3 340	3 150	2 170
20	1460	1950	2090	1550	2 150	2 880	3 240	3 170	2 990	2 060
21	1390	1850	1990	1470	2 050	2 740	3 080	3 020	2 850	1 960
22	1320	1770	1900	1400	1 960	2 610	2 940	2 880	2 720	1 870
23	1270	1690	1820	1340	1 870	2 500	2 810	2 750	2 590	1 790
24	1210	1610	1740	1280	1 790	2 390	2 690	2 630	2 480	1 710
25	1160	1550	1660	1230	1 710	2 290	2 580	2 520	2 380	1 640
26	1110	1480	1600	1180	1 640	2 190	2 470	2 420	2 280	1 570
27	1070	1430	1530	1130	1 580	2 100	2 380	2 330	2 190	1 510
28	1030	1370	1480	1090	1 520	2 030	2 290	2 240	2 110	1 450
29	990	1320	1420	1050	1 460	1 950	2 200	2 150	2 030	1 400
30	950	1270	1370	1010	1 410	1 880	2 120	2 080	1 960	1 350

* Три секции.

Р е ш е н и е. Из табл. 4.3 находят расчетную массу состава с вагонами на подшипниках скольжения, равную 4570 т. По табл. 4.5 находят увеличение расчетной массы состава от включения 60 % вагонов на роликовых подшипниках для данного электровоза и подьема, равное 75 т. Следовательно, расчетная масса составит: $4570 + 75 = 4645$ т.

4.2. Расчет массы состава с использованием кинетической энергии поезда

Если характер профиля пути, расположение остановочных пунктов и допустимые скорости движения по состоянию пути на участке не позволяют надежно определить значение расчетного подьема, то

**Т а б л и ц а 4.4. Расчетная масса грузового поезда,
ведомого тепловозом**

Расчетный подъем i_p , ‰	Тепловозы серий								
	ТЭЗ	2М62	3ТЭЗ	2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ11Б	3ТЭ10М	2ТЭ121	ТЭМ2	ЧМЭЗ	ТЭМ7
3	9020	8950	13 540	11 250	16 870	13 260	4810	5280	8070
4	7280	7220	10 930	9 100	13 650	10 750	3870	4250	6490
5	6090	6040	9 140	7 630	11 440	9 030	3230	3540	5420
6	5230	5190	7 840	6 560	9 840	7 770	2760	3040	4650
7	4570	4530	6 850	5 740	8 610	6 810	2410	2650	4060
8	4050	4020	6 080	5 100	7 650	6 060	2140	2350	3600
9	3630	3610	5 130	4 580	6 870	5 450	1920	2110	3240
10	3290	3270	4 940	4 150	6 230	4 950	1740	1910	2930
11	3000	2980	4 510	3 790	5 690	4 530	1590	1750	2680
12	2760	2740	4 140	3 400	5 240	4 170	1460	1600	2460
13	2550	2530	3 830	3 230	4 840	3 860	1350	1480	2280
14	2360	2350	3 550	3 000	4 500	3 590	1250	1380	2120
15	2210	2190	3 310	2 800	4 200	3 350	1160	1280	1980
16	2060	2050	3 100	2 620	3 940	3 140	1090	1200	1850
17	1940	1930	2 910	2 470	3 700	2 960	1020	1130	1740
18	1820	1820	2 770	2 320	3 490	2 790	960	1060	1640
19	1720	1710	2 580	2 200	3 300	2 640	910	1010	1550
20	1630	1620	2 450	2 080	3 120	2 500	860	950	1470
21	1540	1540	2 320	1 980	2 970	2 380	820	900	1400
22	1470	1460	2 200	1 880	2 820	2 260	780	860	1330
23	1400	1390	2 100	1 790	2 690	2 160	740	820	1270
24	1330	1330	2 000	1 710	2 560	2 060	710	780	1210
25	1270	1270	1 910	1 630	2 450	1 870	670	750	1160
26	1220	1210	1 830	1 560	2 350	1 890	640	720	1110
27	1160	1160	1 750	1 500	2 250	1 820	620	690	1060
28	1120	1110	1 670	1 440	1 160	1 740	590	660	1020
29	1070	1070	1 610	1 380	2 080	1 680	570	630	980
30	1030	1030	1 540	1 330	2 000	1 610	550	610	940

массу состава рассчитывают методом подбора. Задаются расчетным подъемом, меньшим, чем самый крутой на участке, и по нему определяют массу состава по формуле (4.1). Затем графически или аналитически выполняют проверку возможности прохождения поездом участков с профилем пути, имеющим подъемы большей крутизны, чем выбранный ранее, с учетом использования кинетической энергии поезда. Аналитическую проверку в соответствии с ПТР следует выполнять по формуле

$$s \leq \frac{4,17 (v_n^2 - v_k^2)}{f_k - \omega_k}, \quad (4.2)$$

**Т а б л и ц а 4.5. Зависимость расчетной массы состава
от количества вагонов на роликовых подшипниках**

Локомотивы серий	Количество вагонов с роликовыми подшипниками, %	Увеличение массы, т, на расчетном подъеме, ‰							
		3	4	5	6	7	8	9	10
ВЛ23, ВЛ22 ^м	20	95	65	45	35	25	20	15	10
	40	190	130	95	70	55	45	35	30
	60	275	185	130	100	75	60	50	40
	80	375	250	180	135	105	85	60	55
	100	485	320	230	170	135	105	85	70
ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11	20	125	85	60	45	35	30	25	20
	40	235	150	110	85	65	50	40	35
	60	365	245	175	130	100	80	65	55
	80	480	320	230	170	135	115	85	70
	100	620	415	295	220	170	135	110	90
ВЛ60 ^к , ВЛ60 ^р	20	100	60	40	35	30	25	20	15
	40	200	130	95	70	55	45	35	30
	60	290	195	140	105	80	65	55	45
	80	395	265	190	140	110	90	70	60
	100	500	340	240	180	140	110	90	75
ВЛ80 ^т , ВЛ80 ^с , ВЛ80 ^к	20	135	95	65	50	40	30	25	20
	40	255	175	125	90	70	60	50	40
	60	400	270	195	145	115	90	75	60
	80	530	355	255	190	140	110	95	80
	100	680	455	325	245	190	150	125	100
ТЭ3, 2М62	20	120	75	55	40	30	25	20	15
	40	240	155	110	80	60	50	40	30
	60	365	235	165	120	95	75	60	50
	80	490	320	220	165	125	100	80	65
	100	620	400	280	200	150	125	100	80
2ТЭ10В, 2ТЭ11Б	20	150	100	70	50	40	30	25	20
	40	300	200	140	105	80	65	50	40
	60	450	305	210	160	120	90	70	60
	80	630	410	280	210	160	130	105	80
	100	800	520	360	260	200	160	130	100

где s — длина проверяемого участка профиля с подъемом большей крутизны, чем у расчетного подъема, м;
 v_n, v_k — скорость движения поезда соответственно в начале и конце проверяемого подъема, км/ч;
 $f_k - w_k$ — средняя ускоряющая сила, действующая на поезд в пределах интервала скорости от v_n до v_k , кгс/т.

Для повышения точности аналитического расчета интервалы изменения скорости следует брать в пределах 10 км/ч и тогда

$$s \leq \sum s_i = \sum \frac{4,17(v_{ni}^2 - v_{ki}^2)}{(f_k - w_k)_i}, \quad (4.3)$$

где s_i — путь, проходимый поездом за время изменения скорости от v_{ni} до v_{ki} , м;
 v_{ni}, v_{ki} — соответственно начальная и конечная скорости интервала, км/ч;
 $(f_k - w_k)_i$ — средняя ускоряющая сила поезда за время изменения скорости от v_{ni} до v_{ki} , кгс/т.

Массу состава следует считать определенной, если скорость движения в конце проверяемого подъема получилась равной или несколько более расчетной скорости для данной серии локомотива. Проверку начинают с элемента (достаточно близкого к трудному подъему), где скорость движения поезда может быть известна заранее (например, от раздельного пункта, где была остановка, или от известной скорости по боковым путям; от равномерной скорости, когда перед проверяемым подъемом есть затяжные элементы профиля; от пункта, где имеется ограничение скорости, и т. д.).

Пример. Определить расчетную массу состава с тепловозом серии ТЭЗ по профилю, указанному на рис. 4.2. Вагоны четырехосные массой брутто 70 т на подшипниках скольжения.

Решение. По табл. 4.4 для тепловоза ТЭЗ и $i_p = 9\text{‰}$ находят массу состава: $Q = 3630$ т; проверяют, сможет ли поезд преодолеть более крутой подъем ($i_c = 12\text{‰}$) за счет использования ки-

Т а б л и ц а 4.6. Расчет удельных сил

$v_{ni} - v_{ki}$	$\frac{v_{ni}^2 - v_{ki}^2}{2}$	$\frac{v_{ni} - v_{ki}}{2}$	F_{ki}	w'_{0i}	Pw'_{0i}	w''_{0i}	Qw''_{0i}	$Pw'_{0i} + Qw''_{0i}$	$F_{ki} - (Pw'_{0i} + Qw''_{0i})$	$(f_k - w_k)_i$
км/ч	(км/ч) ²	км/ч	кгс	кгс/т	кгс	кгс/т	кгс	кгс	кгс	кгс/т
80—70	1500	75	10 410	4,35	1105	2,39	8676	9781	629	0,16
70—60	1300	65	12 480	3,82	970	2,13	7742	8702	3 778	0,97
60—50	1100	55	15 075	3,36	853	1,91	6933	7786	7 289	1,87
50—40	900	45	18 385	2,96	752	1,70	6171	6923	11 462	2,95
40—30	700	35	23 370	2,63	668	1,53	5554	6222	17 148	4,41
30—20,5	480	25,2	33 085	2,35	597	1,39	5046	5643	27 442	7,06

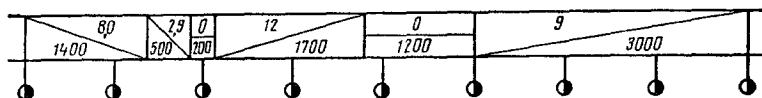


Рис. 4.2. Профиль пути

нетической энергии. Судя по профилю пути, можно предположить, что к началу проверяемого подъема поезд подойдет с максимально допустимой скоростью $v_n = 80$ км/ч. За конечное значение примем расчетную скорость для тепловоза ТЭ3 $v_k = 20,5$ км/ч. Подсчет ведут по формуле (4.3) для шести интервалов скорости движения: 80—70, 70—60, 60—50, 50—40, 40—30, 30—20,5 км/ч. Все расчеты удобно вести в табличной форме (табл. 4.6).

Результирующую длину пути определяют по формуле (4.3):

$$s_{80-20,5} = 4,17 \left| \frac{1500}{0,16-12} + \frac{1300}{0,97-12} + \frac{1100}{1,87-12} + \right. \\ \left. + \frac{900}{2,95-12} + \frac{700}{4,41-12} + \frac{480}{7,06-12} \right| = 4,17 (126,7 + 117,9 + \\ + 108,6 + 99,4 + 92,2 + 97,2) = 2677 \text{ м} > 1700 \text{ м}$$

Так как длина проверяемого (12‰) подъема меньше полученного расстояния, то этот подъем можно считать скоростным, а не расчетным. Если же перед этим подъемом будет существовать предупреждение об ограничении допустимой скорости, например $v_{огр} = 60$ км/ч, то расстояние уменьшится до $s_{80-20,5} = 4,17 (108,6 + 99,4 + 92,2 + 97,2) = 1657 \text{ м} < 1700 \text{ м}$, т.е. при ограничении начальной скорости до 60 км/ч указанный подъем не может быть преодолен, и потребуются снижение расчетной массы состава.

В решении тяговых задач по определению массы и скорости движения поезда весьма трудоемким является расчет удельных ускоряющих сил, действующих на поезд в пределах интервала скоростей. На рис. 4.3—4.12 приведены зависимости удельных ускоряющих усилий от скорости движения для некоторых серий локомотивов и масс составов. С помощью этих расчетных данных решают задачи определения масс составов методом подбора.

Пример. Рассчитать массу состава для электровоза ВЛ180* по участку, профиль которого изображен на рис. 4.13. Состав сформирован из четырехосных вагонов со средней массой брутто 70 т, из которых 60% имеют роликовые подшипники.

Решение. Если за расчетный подъем принять наибольший по крутизне $i_c = 10,5\%$, то масса состава (см. табл. 4.3) для электровоза ВЛ180* будет равна $Q = 3815$ т. С учетом данных табл. 4.5 $Q_p = 3815 + 55 = 3870$ т. Предположим, что подъем $i_c = 10,5\%$ будет преодолен за счет накопленной кинетической энергии, так как к этому подъему прилагают площадки и спуски достаточной длины. За расчетный следует принять следующий по трудности подъем — $i_p = 7,6\%$. По табл. 4.3 для ВЛ180* и $i_p = 7,6\%$ интерполяцией находят массу состава: $Q = 5070$ т. С учетом роликовых подшипников добавляют увеличение массы состава по табл. 4.5: $5070 + 105 = 5175$ т.

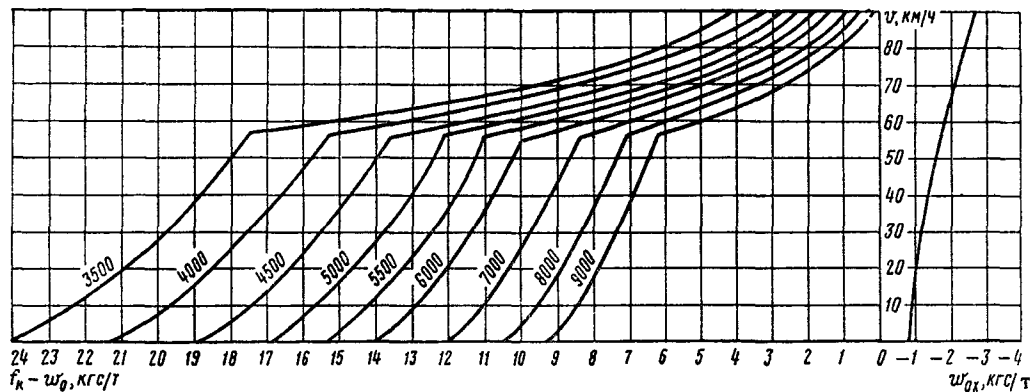


Рис. 4.3. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с электровозом ВЛ80^с (3 секции)

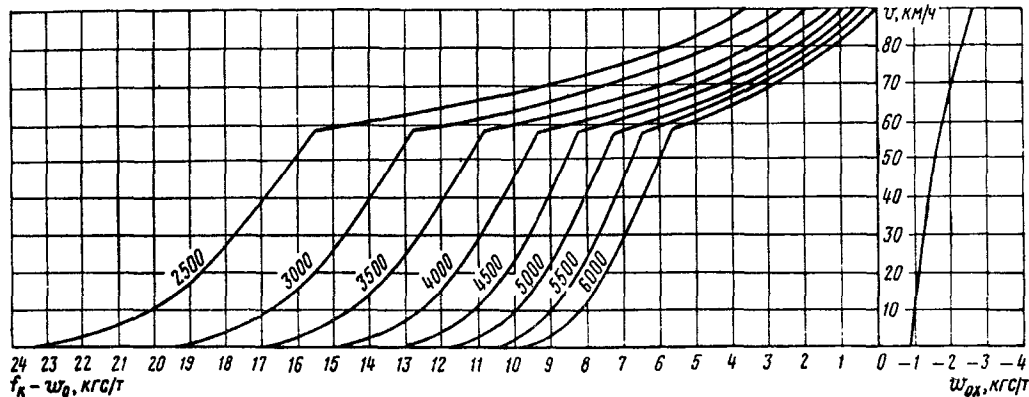


Рис. 4.4. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с электровозом ВЛ80^к

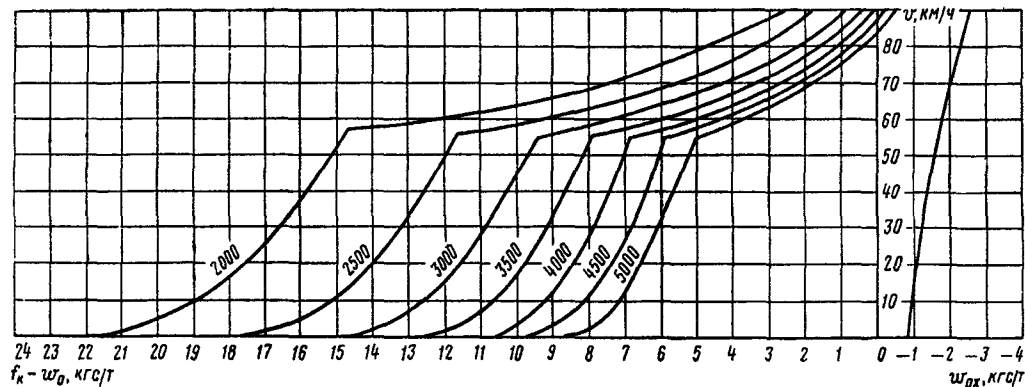


Рис. 4.5. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с электровозом ВЛ60^к

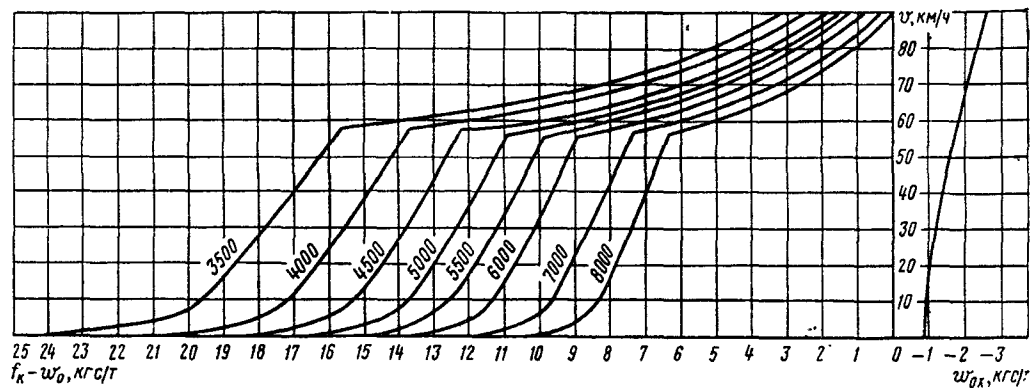


Рис. 4.6. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с электровозом ВЛ11 (3 секции)

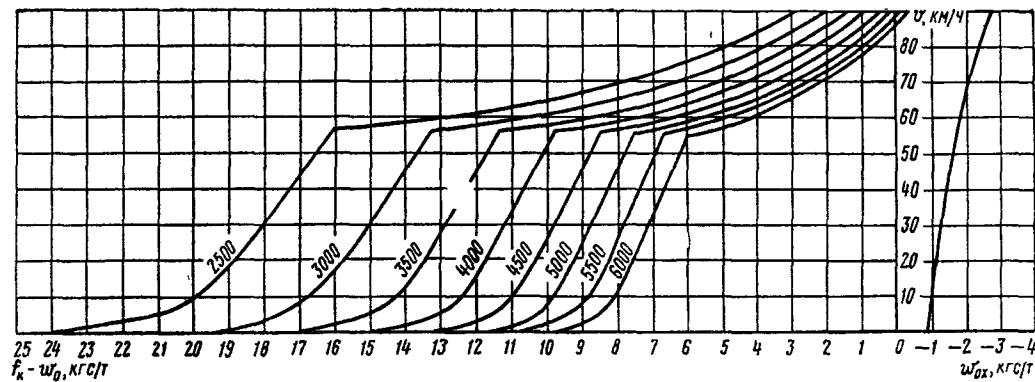


Рис. 4.7. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с электровозом ВЛ10у

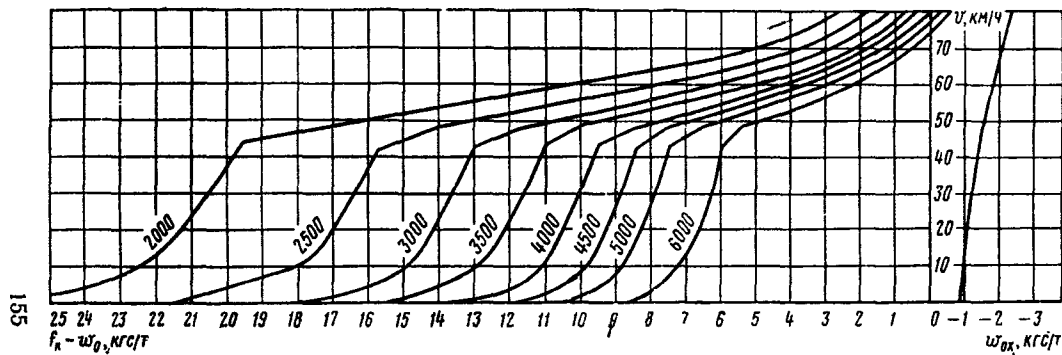


Рис. 4.8. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с электровозом ВЛ8

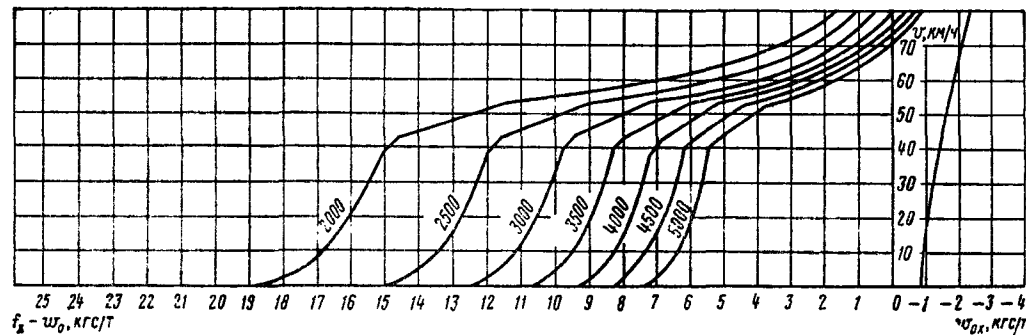


Рис. 4.9. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с электровозом ВЛ23

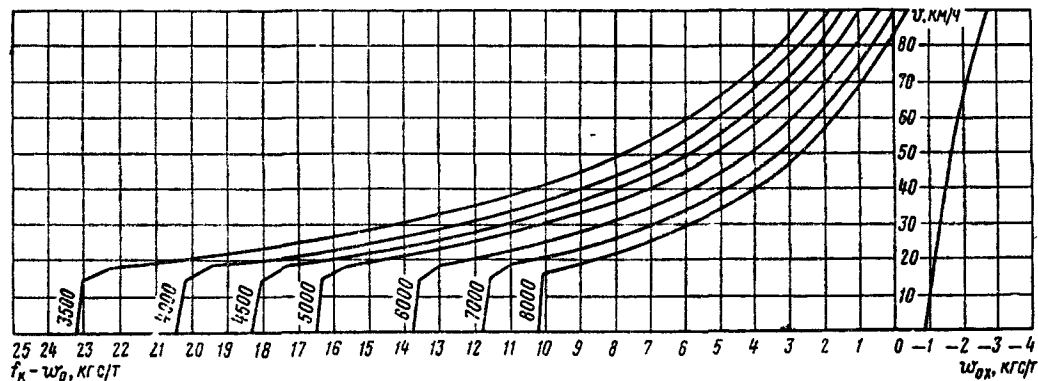


Рис. 4.10. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с тепловозом 3ТЭ10М

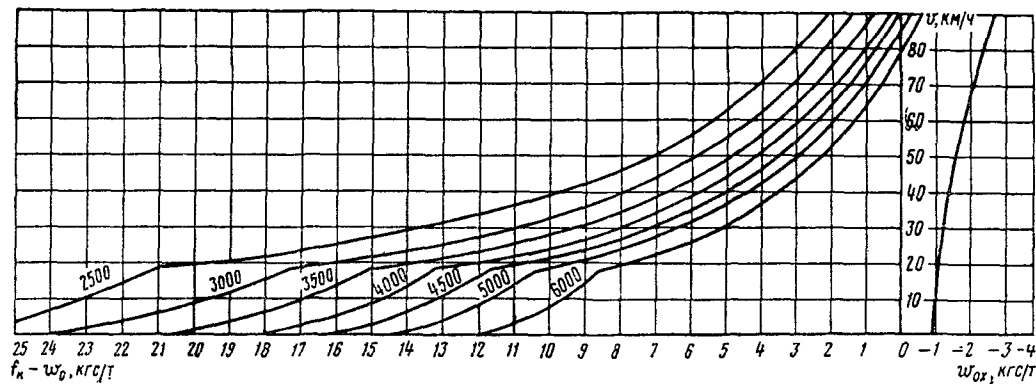


Рис. 4.11. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с тепловозами 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 2ТЭ116

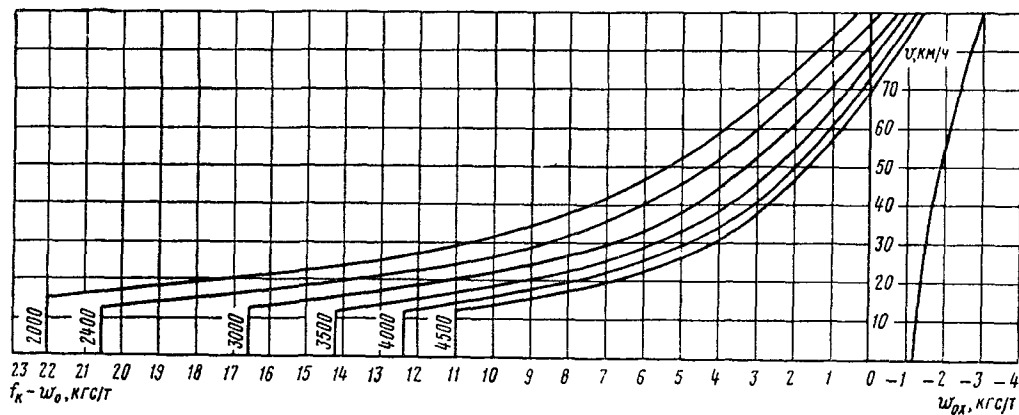


Рис. 4.12. Диаграмма удельных ускоряющих сил и удельных сил сопротивления движению поезда с тепловозом ТЭ3

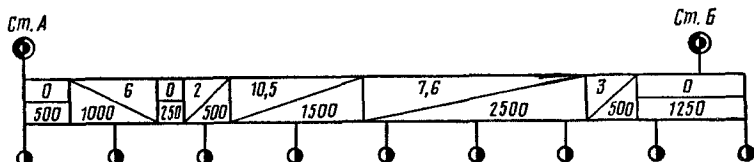


Рис. 4.13. Профиль пути

Проверяют предположение о возможности преодоления подъема $i_c = 10,5\text{‰}$ длиной 1500 м поездом, масса состава которого 5175 т, за счет накопленной кинетической энергии. Проверку производят по формуле (4.3). По условиям подхода к подъему $i_c = 10,5\text{‰}$ можно предположить, что начальная скорость составит $v_n = 80$ км/ч. Скорость в конце подъема не должна быть менее расчетной, т. е. $v_k = 44,2$ км/ч. Принимают интервалы скорости: 80—70, 70—60, 60—57,5 (значение 57,5 км/ч — скорость выхода на автоматическую характеристику электровоза ВЛ80^к при 33 n_k — ОП2), 57,5—50, 50—44,2. Значения удельных ускоряющих усилий $f_k - \omega_0$ принимают по рис. 4.4 для средних скоростей каждого интервала: 75; 65; 58,5; 53,7; 47,1. Подставляют исходные данные в формулу (4.3):

$$s = 4,17 \left| \frac{80^2 - 70^2}{2,5 - 10,5} + \frac{70^2 - 60^2}{4,8 - 10,5} + \frac{60^2 - 57,5^2}{6,7 - 10,5} + \frac{57,5^2 - 50^2}{7,2 - 10,5} + \frac{50^2 - 44,2^2}{7,5 - 10,5} \right| = 4,17 (188 + 228 + 92 + 227 + 180) = 3820 \text{ м.}$$

Это расстояние оказалось больше длины проверяемого подъема $s = 1500$ м, поэтому предположение о возможности прохождения состава массой 5175 т подъема $10,5\text{‰}$ за счет кинетической энергии правильно.

4.3. Проверка массы состава

Проверка по условиям трогания поезда с места. Массу состава проверяют по условиям трогания поезда на остановочных пунктах по формуле

$$Q < Q_{тр} = \frac{F_{ктр}}{\omega_{тр} + i_{тр}} - P. \quad (4.4)$$

Значения $F_{ктр}$ и P для различных серий локомотивов указаны в табл. 4.1 и 4.2. Сила тяги локомотива при трогании с места значительно выше, чем при движении с расчетной скоростью. Избыточная сила тяги расходуется на преодоление повышенного сопротивления троганию с места и ускорение поезда. При остановках поезда в пути на крутых подъемах трогание с места затруднено, а иногда становится невозможным. В этих случаях требуется подсылать вспомогательный локомотив или выводить состав по частям.

Пример. Определить, может ли тепловоз серии ТЭ3 взять с места состав массой 3600 т (вагоны на подшипниках скольжения), длиной 206 осей, остановившийся на подъеме $i_{тр} = 9\text{‰}$.

Решение. Из табл. 4.2 для ТЭЗ находят $F_{\text{ктр}} = 58\,200$ кгс. Масса, приходящаяся на ось колесной пары вагона: $q_0 = 3600/206 = 17,5$ т. По формуле (1.54) удельное сопротивление троганию $\varpi_{\text{тр}} = \frac{142}{17,5 + 7} = 5,8$ кгс/т. Масса тепловоза ТЭЗ равна $P = 254$ т. Масса состава по условиям трогания с места по формуле (4.4):

$$Q_{\text{тр}} = \frac{58\,200}{5,8 + 9} - 254 = 3678 \text{ т.}$$

Полученная масса по условиям трогания превышает заданную на 78 т. Следовательно, для взятия указанного состава с места не требуется вспомогательный локомотив.

Действующими ПТР установлено максимальное допустимое продольное усилие на автосцепке первого вагона при трогании состава 95 тс.

Для локомотивов, работающих по системе многих единиц, указанное ограничение силы тяги принимают как предельное при проверке массы состава по условиям трогания с места по формуле (4.4).

В табл. 4.7 и 4.8 приведены значения расчетной массы состава, полученные по формуле (4.4).

Проверка по увеличению скорости электровозов при трогании и разгоне поезда. При трогании и разгоне поезда в пунктах, за которыми расположен трудный подъем, требуется проверить расчетную массу состава по увеличению скорости электровоза при предель-

Таблица 4.7. Масса состава, ведомого электровозом, при трогании с места

Расчетный подъем, ‰	Электровозы серий									
	ВЛ22М	ВЛ23	ВЛ8	ВЛ10, ВЛ11	ВЛ10У	ВЛ60	ВЛ80К, ВЛ80Р	ВЛ80Т, ВЛ80С	ВЛ11 (3 секции)	ВЛ80С (3 секции) ВЛ15, ВЛ85
0	6520	7700	10 280	10 600	11 520	7910	11 230	11 720	15 910	16 090
2	4810	5690	7 590	7 840	8 510	5840	8 300	8 660	11 760	11 890
4	3800	4500	6 010	6 200	6 730	4620	6 570	6 860	9 300	9 400
6	3130	3710	4 960	5 120	5 560	3810	5 420	5 660	7 680	7 760
8	2660	3150	4 210	4 350	4 720	3240	4 610	4 810	6 520	6 590
10	2310	2740	3 650	3 770	4 100	2810	4 000	4 180	5 660	5 720
12	2030	2410	3 220	3 330	3 620	2480	3 530	3 690	4 990	5 050
14	1810	2160	2 880	2 970	3 230	2210	3 150	3 300	4 460	4 510
16	1630	1940	2 600	2 680	2 910	2000	2 850	2 980	4 030	4 070
18	1490	1770	2 360	2 440	2 650	1820	2 590	2 710	3 660	3 700
20	1360	1620	2 160	2 240	2 430	1670	2 380	2 480	3 360	3 390
22	1250	1490	1 990	2 070	2 240	1540	2 190	2 290	3 100	3 130
24	1160	1380	1 850	1 910	2 080	1420	2 030	2 120	2 870	2 900
26	1080	1290	1 720	1 780	1 930	1330	1 890	1 980	2 670	2 700
28	1010	1200	1 610	1 660	1 810	1240	1 770	1 850	2 500	2 520
30	940	1130	1 510	1 560	1 690	1160	1 160	1 740	2 340	2 360

ных значениях силы тяги в процессе ступенчатого пуска. Проверку производят по формуле (4.1). За $F_{кр}$ считается значение силы тяги по пунктирной линии, нанесенной на тяговых характеристиках ниже ограничения по сцеплению или току. Основное удельное сопротивление определяют по скорости, соответствующей этой силе тяги. Исходные данные для проверки массы составов по увеличению скорости электровозов приведены в табл. 4.9.

Пример. Для некоторого участка обращения электровоза ВЛ60^к проверить расчетную массу состава по увеличению скорости при разгоне поезда из условий, что расчетный подъем $i_p = 8,5 ‰$ следует сразу после станции.

Решение. По табл. 4.3. находят для электровоза ВЛ60^к и подъема $i_p = 8,5 ‰$ расчетную массу состава: $Q = 3465$ т. Используя исходные данные табл. 4.9, осуществляют проверку по увеличению скорости при разгоне поезда после остановки на станции:

$$Q_{разг} = (34\,700 - (2,97 + 8,5) 138) / (1,57 + 8,5) = 3290 \text{ т.}$$

Масса состава по условиям увеличения скорости оказалась менее расчетной на 175 т ($\Delta Q = 3465 - 3290 = 175$ т).

Следовательно, поезда с расчетной массой состава более 3290 т должны следовать по этой станции без остановки, если же такие условия не выполняются, то необходимо подталкивание.

В табл. 4.10 приведены значения расчетной массы состава в зависимости от расчетного подъема для основных серий электровозов по условиям трогания и разгона.

Т а б л и ц а 4.8. Масса состава, ведомого тепловозом, при трогании с места

Расчетный подъем, ‰	Тепловозы серий									
	ТЭ3	М62	2ТЭ10Л	2ТЭ11Б, 2ТЭ10М, 2ТЭ10В	3ТЭ10М	2ТЭ121	ЧМЭ2	ЧМЭ3	ТЭМ2	ТЭМ7
0	9780	6030	12 930	13 740	15 970	14 300	2920	6130	5980	8520
2	7210	4450	9 530	10 150	11 770	10 560	2160	4530	4420	6290
4	5680	3520	7 550	8 020	9 280	8 350	1700	3580	3490	4970
6	4680	2900	6 220	6 610	7 640	6 880	1400	2950	2880	4100
8	3960	2460	5 280	5 620	6 470	5 840	1190	2500	2440	3480
10	3430	2140	4 580	4 870	5 600	5 070	1030	2170	2120	3020
12	3020	1880	4 040	4 290	4 930	4 470	900	1910	1870	2660
14	2680	1680	3 600	3 830	4 390	3 990	800	1710	1670	2370
16	2420	1520	3 250	3 450	3 950	3 590	720	1540	1500	2140
18	2190	1380	2 960	3 140	3 580	3 270	660	1400	1360	1950
20	2000	1260	2 710	2 880	3 270	2 990	600	1280	1250	1780
22	1840	1160	2 490	2 650	3 010	2 760	550	1180	1150	1640
24	1700	1070	2 310	2 450	2 780	2 550	510	1090	1070	1520
26	1580	1000	2 150	2 280	2 580	2 370	470	1020	990	1410
28	1470	930	2 000	2 130	2 400	2 220	440	950	920	1320
30	1370	870	1 880	2 000	2 240	2 080	410	890	870	1240

**Таблица 4.9. Расчетные характеристики электровозов
для проверки массы состава при трогании и разгоне поезда**

Параметр	Электровозы серий									
	ВЛ22 ^М , $\mu=4,45$	ВЛ23	ВЛ8	ВЛ10, ВЛ11	ВЛ10У	ВЛ60 ^К	ВЛ80 ^С , ВЛ80 ^Т	ВЛ80 ^К	ВЛ80 ^С (3 секции)	ВЛ11 (3 секции)
Скорость $v_{\text{разг}}$, км/ч	35,0	41,5	40,8	46,7	47,5	45,0	44,5	45,3	44,5	46,7
Сила тяги $F_{\text{кразг}}$, кгс	27 400	30 200	41 800	42 200	45 600	34 700	47 700	45 700	71 550	63 300
Основное удельное сопротивление локомотива w_0 , кгс/т	2,63	2,90	2,81	3,03	3,06	2,97	2,95	2,98	2,95	3,03
Основное удельное сопротивление вагонов w_0'' , кгс/т	1,40	1,50	1,48	1,60	1,62	1,57	1,56	1,58	1,57	1,60

Таблица 4.10. Расчетная масса состава, ведомого электровозом, по условиям трогания и разгона

Расчетный подъем, ‰	Электровозы серий						
	ВЛ22м	ВЛ23	ВЛ8	ВЛ10У	ВЛ60к	ВЛ80к	ВЛ80с (3 секции)
3	6050	6530	9092	9600	7410	9730	15 280
4	4910	5310	7399	7860	6050	7960	12 490
5	4120	4470	6220	6640	5110	6720	10 540
6	3540	3860	5370	5740	4420	5810	9 110
7	3110	3390	4710	5050	3880	5110	8 010
8	2760	3020	4190	4510	3460	4550	7 150
9	2480	2720	3780	4060	3120	4110	6 440
10	2250	2470	3430	3690	2840	3740	5 860
11	2060	2260	3140	3140	2600	3420	5 370
12	1900	2080	2890	3120	2400	3160	4 950
13	1750	1930	2680	2890	2230	2930	4 590
14	1630	1790	2500	2700	2070	2730	4 280
15	1520	1680	2330	2520	1940	2550	4 000
16	1430	1570	2190	2370	1820	2400	3 760
17	1340	1480	2060	2230	1720	2260	3 540
18	1270	1400	1940	2100	1620	2130	3 350
19	1200	1320	1840	1990	1530	2020	3 170
20	1140	1250	1750	1890	1460	1920	3 010
21	1080	1190	1660	1800	1390	1820	2 860
22	1030	1130	1580	1710	1320	1740	2 730
23	980	1080	1510	1640	1260	1660	2 610
24	940	1030	1440	1560	1210	1590	2 490
25	900	990	1380	1500	1160	1520	2 390
26	860	950	1320	1440	1110	1460	2 290
27	820	910	1270	1380	1070	1400	2 200
28	790	870	1220	1330	1020	1350	2 120
29	760	840	1170	1280	990	1300	2 040
30	730	810	1130	1230	950	1250	1 960

Проверка по длине прямо-отправочных путей. Длина поезда $l_{\text{п}}$ не должна превышать полезную длину прямо-отправочных путей $l_{\text{поп}}$:

$$l_{\text{п}} \leq l_{\text{поп}},$$

где $l_{\text{поп}}$ — полезная длина прямо-отправочных путей на участках с учетом допуска на установку локомотива 10 м.

Длину поезда определяют из выражения

$$l_{\text{п}} = l_{\text{с}} + m_{\text{л}} l_{\text{л}} + 10, \quad (4.5)$$

где $l_{\text{л}}$ — длина локомотива, м;
 $m_{\text{л}}$ — число локомотивов;
 $l_{\text{с}} = \sum n_i l_i$ — длина состава, м;
 n_i — количество однотипных вагонов;

l_i — длина вагона, м;

$$n_i = \frac{Q_i}{q_i} \alpha_i.$$

Здесь q_i — средняя масса вагонов для однотипной группы; α_i — доля массы состава, приходящаяся на данную группу вагонов.

Длину поезда и вместимость путей определяют и учитывают в условных вагонах длиной 14 м. В приложениях к нормативам графика движения поездов указывают условную длину подвижного состава. Основные данные, необходимые для тяговых расчетов, приведены в табл. 4.11.

Пример. Определить длину поезда, сформированного из четырехосных полувагонов средней массой брутто 92 т, с локомотивом 2ТЭ10М, обеспечивающим вождение поездов по участку с расчетной массой состава 5000 т.

Решение. Определяют количество вагонов:

$$n_i = 5000/92 = 54.$$

Из табл. 4.11 находят длину вагона: $l_i = 14$ м, локомотива: $l_{л} = 34$ м.

Длину состава определяют из выражения

$$l_c = n_i l_i = 54 \cdot 14 = 756 \text{ м.}$$

По формуле (4.5) находят длину поезда:

$$l_{п} = 756 + 34 + 10 = 800 \text{ м.}$$

Таблица 4.11. Длина подвижного состава

Подвижной состав	Длина	
	условных вагонов	м
Вагоны		
Четырехосные крытые	1,05	15
Четырехосные полувагоны и платформы	1,00	14
Четырехосные цистерны, цементовозы и думпкары	0,86	12
Четырехосные крытые	1,05	15
Восьмиосные цистерны	1,51	21
Локомотивы		
ВЛ60*	1,5	21
ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80* (всех индексов)	2,35	33
ВЛ8	2,0	28
ТЭ3, ТЭ7, 2ТЭ10*	2,42	34
2ТЭ116, 2М62*	2,59	36
ЧМЭ3	1,29	18
ТЭМ2	1,21	17

* Всех индексов.

Пример. Определить количество вагонов, которыми можно дополнить состав поезда, сформированный из 60 полувагонов со средней массой брутто 87 т. Длина приемо-отправочных путей на участке $l_{\text{поп}} = 1050$ м. Локомотив — сцеп двух электровозов ВЛ60К — обеспечивает вождение поездов на участках обращения с максимальной весовой нормой $Q = 6000$ т.

Решение. Из табл. 4.11 находят длину четырехосного вагона (14 м), локомотива ВЛ60К — 21 м. Длина состава $l_c = n_i l_i = 60 \cdot 14 = 840$ м; $l_{\text{дм}} = 21 \cdot 2 = 42$ м. Дополнительная вместимость путей $\Delta l_{\text{поп}} = 1050 - 840 - 42 - 10 = 158$ м. Дополнительное количество вагонов $\Delta n_i = 158/14 = 11$. Выполняют проверку массы состава $Q_{\text{сост}} \leq Q_{\text{max}}$:

$$Q_{\text{сост}} = q_{\text{бр}} n = 87 \cdot 71 = 6177 \text{ т.}$$

Так как $6177 > 6000$ т на 177 т, то необходимо 2 вагона массой по 87 т не включать в состав, т. е. состав может быть сформирован из 69 вагонов.

В табл. 4.12 приведены расчетные массы состава, полученные исходя из стандарта длины приемо-отправочных путей станций и средней массы брутто одного вагона.

В зависимости от рода перевозимого груза грузоподъемность вагона не всегда используется полностью. Так, самыми тяжелыми грузами, позволяющими на 100 % использовать грузоподъемность вагонов, являются каменный уголь, руда, черные металлы. За ними следуют грузы строительные, хлебные, лесные и т. д. Не полностью используется грузоподъемность при перевозке кокса, мяса, молочных продуктов и прочих грузов. Коэффициент использования грузоподъемности вагонов при перевозке каждого рода груза за определенный период может быть получен из отчетной формы ЦО-29.

На основе анализа грузопотоков, являющегося базой для расчета массы поездов, устанавливают погонные и осевые нагрузки подвижного состава. По наибольшей погонной нагрузке брутто и огра-

Таблица 4.12. Расчетные массы состава по длине приемо-отправочных путей

Вагоны					Масса состава при длине путей, м	
Тип	Длина, м	Масса, брутто, т	Количество при длине путей, м			
			800	1000	800	1000
Четырехосные крытые	15	70	53	67	3700	4700
То же	15	60	53	67	3200	4000
Четырехосные полувагоны	14	92	57	71	5250	6500
Четырехосные цементовозы, думпкары	12	87	67	83	5800	7200
Четырехосные цистерны	12	70	67	83	700	5800
То же	12	80	67	83	5500	6800
Восьмиосные цистерны	21	176	38	47	6700	8300

ничающей полезной длине прямо-отправочных путей устанавливают максимально возможную массу состава поезда на участке:

$$Q = q_{\max}^{\text{бр}} (l_{\text{поп}} - l_{\text{л}}) \leq Q_{\text{р}}, \quad (4.6)$$

где $q_{\max}^{\text{бр}}$ — максимальная погонная масса брутто (на 1 погонный м длины) при перевозке однородного груза в маршруте;

$l_{\text{поп}}$ — ограничивающая полезная длина прямо-отправочных путей;

$l_{\text{л}}$ — длина локомотива с учетом допуска на установку его в пределах полезной длины путей;

$Q_{\text{р}}$ — расчетная масса состава поезда брутто.

Пример. Определить массу состава поезда по длине прямо-отправочных путей станции 850 м и расчетный подъем при обслуживании поездов на участке тепловозом 2М62. Состав формируют из четырехосных крытых вагонов массой брутто 70 т.

Решение. Из табл. 4.11 длина тепловоза 2М62 равна 36 м, а с учетом установки поезда

$$l_{\text{л}} + 10 = 36 + 10 = 46 \text{ м.}$$

При длине вагона 15 м погонная масса брутто равна $q_{\max}^{\text{бр}} = 70/15 = 4,7$ т/м.

Массу состава определяют по формуле (4.6): $Q = 4,7 (850 - 46) = 3780$ т.

Согласно табл. 4.4 вождение поездов с составами такой массы тепловоз 2М62 обеспечивает на участках с расчетным подъемом до 8,5‰.

Влияние массы грузового вагона на весовую норму. Масса грузового вагона брутто определяет значение основного удельного сопротивления, от которого зависит расчетная масса состава поезда. Влияние $\omega_0^{\text{в}}$ на массу состава поезда тем больше, чем меньше крутизна расчетного подъема. С увеличением массы вагона основное удельное сопротивление движению поезда уменьшается, что позволяет на одном и том же участке, с одним и тем же локомотивом провозить повышенную массу состава.

Пример. Определить расчетную массу маршрутов каменного угля с тепловозом 2ТЭ10М на участке с расчетным подъемом $i_{\text{р}} = 7\text{‰}$; вагоны четырехосные на роликовых подшипниках, со средней массой брутто 92 т.

Решение. По табл. 4.4 для тепловоза серии 2ТЭ10М на подъеме $i_{\text{р}} = 7\text{‰}$ масса состава равна 5740 т. Учитывают, что состав сформирован из вагонов на роликовых подшипниках, и находят из табл. 4.5 соответствующее увеличение: $\Delta Q = 200$ т. Находят суммарную массу состава: $5740 + 200 = 5940$ т. Ее определяют для средней массы вагона брутто 70 т. Выполняют расчет по формуле (4.1) с учетом заданной массы брутто вагона 92 т, т. е. массой, приходящейся на ось, 23 т. Из табл. 4.2 для тепловоза 2ТЭ10М определяют необходимые данные: $F_{\text{кр}} = 50\,600$ кгс, $v_{\text{р}} = 23,4$ км/ч, $\omega_0^{\text{в}} = 2,30$ кгс/т, $P = 276$ т. Определяют: $\omega_0^{\text{в}} = 0,7 +$

$$+ \frac{3 + 0,1 \cdot 23,4 + 0,0025 \cdot 23,4^2}{23} = 0,99 \text{ кгс/т. Тогда по формуле (4.1)}$$

$$Q_{\text{р}} = \frac{50\,600 - (2,3 + 7)276}{0,99 + 7} = 6010 \text{ т.}$$

Следовательно, весовая норма на этом участке может быть увеличена на $\Delta Q = 6010 - 5940 = 70$ т.

Для определения расчетной массы состава при фактических средних значениях масс, приходящихся на ось, на рис. 4.14—4.19 представлены зависимости Q от различных значений i . Из этих рисунков видно, что с уменьшением степени загруженности вагонов сопротивление движению их увеличивается, а расчетная масса составов соответственно уменьшается. Еще более значительно увеличивается сопротивление движению поезда при включении в состав порожних вагонов.

В табл. 4.13 приведены значения поправочного коэффициента Π , который следует вводить в расчет для учета наличия в составе порожних вагонов. Коэффициент Π определяют по формуле

$$\Pi = \frac{w_{\text{гр}}'' + i_p}{w_{\text{осм}}'' + i_p}, \quad (4.7)$$

где $w_{\text{гр}}''$ — основное удельное сопротивление четырехосных груженых вагонов на подшипниках скольжения при $q_0 = 17,5$ т для скорости локомотива на расчетном подъеме,

$w_{\text{осм}}''$ — основное удельное сопротивление состава, сформированного на груженых и порожних четырехосных вагонов на подшипниках скольжения в определенном процентном соотношении.

Пример. Определить массу состава, сформированного из 40 % порожних и 60 % груженых четырехосных вагонов на подшипниках скольжения, $q_0 = 17,5$ т, расчетный подъем $i_p = 10\text{‰}$, электровоз ВЛ10У, $v_p = 45,8$ км/ч.

Решение. По табл. 4.3 для $i_p = 10\text{‰}$ расчетная масса состава поезда с электровозом ВЛ10У равна $Q_p = 4060$ т. Учитывая наличие в составе порожних вагонов (коэффициент Π , табл. 4.13), получим $Q_p \Pi = 4060 \cdot 0,925 = 3760$ т, что на 300 т менее массы состава, сформированного из однотипных груженых вагонов.

На большинстве участков сети формирование составов производят по длине приемо-отправочных путей. При полезной длине станционных путей, равной 800 м, масса состава, сформированного (как указано в последнем примере) из 40 % порожних и 60 % груженых четырехосных вагонов, с $q_0 = 17,5$ т, определится следующим образом: по табл. 4.12 количество вагонов в поезде при $l_{\text{в}} = 14$ м и $l_{\text{поп}} = 800$ м составит 57, в том числе порожних — 23 (40 %), груженых — 34 (60 %).

Зная массу, приходящуюся на ось, порожнего и груженого вагонов, подсчитывают массу смешанного состава ($q_{0 \text{ пор}} = 6$ т и $q_{0 \text{ гр}} = 17,5$ т) для последнего примера: $Q = 6 \cdot 4 \cdot 23 + 17,5 \cdot 4 \cdot 34 = 2930$ т, что на 960 т менее расчетной массы. Следовательно, мощность электровоза ВЛ10У с поездом указанной массы будет недоиспользована на расчетном подъеме.

Тонно-километровая диаграмма. Для установления унифицированной весовой нормы поездов по целому направлению обычно строят тонно-километровую диаграмму (Qs -диаграмму). Ее строят отдельно для каждого участка, а затем сопоставляют вместе по всему рассматриваемому направлению. На тонно-километровой диаграмме отмечают по горизонтали длины перегонов, причем смежные перегоны разграничивают вертикальными линиями, между кото-

Т а б л и ц а 4.13. Значения коэффициента Π , учитывающего наличие в составе порожних вагонов, для различных расчетных скоростей

Наличие в составе порожних вагонов, %	Расчетный подъем, ‰									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25

$$v_p = 45 \text{ км/ч}$$

10	0,960	0,970	0,976	0,980	0,983	0,985	0,987	0,988	0,989	0,991
20	0,924	0,942	0,954	0,961	0,967	0,971	0,974	0,977	0,979	0,983
30	0,889	0,916	0,932	0,943	0,951	0,957	0,961	0,965	0,968	0,974
40	0,857	0,890	0,911	0,925	0,935	0,943	0,949	0,954	0,958	0,966
50	0,827	0,866	0,891	0,908	0,920	0,930	0,937	0,943	0,948	0,957
60	0,801	0,844	0,872	0,892	0,906	0,917	0,926	0,933	0,939	0,950
70	0,774	0,823	0,854	0,876	0,892	0,904	0,914	0,922	0,929	0,941
80	0,750	0,802	0,836	0,860	0,878	0,892	0,903	0,912	0,919	0,934
90	0,728	0,783	0,820	0,846	0,865	0,881	0,893	0,902	0,911	0,926
100	0,706	0,765	0,804	0,832	0,853	0,869	0,882	0,893	0,902	0,918

$$v_p = 25 \text{ км/ч}$$

10	0,975	0,981	0,985	0,988	0,990	0,991	0,992	0,993	0,994	0,995
20	0,951	0,963	0,971	0,976	0,980	0,982	0,984	0,986	0,987	0,990
30	0,928	0,946	0,957	0,964	0,970	0,973	0,976	0,979	0,981	0,984
40	0,906	0,930	0,944	0,953	0,960	0,965	0,969	0,972	0,974	0,979
50	0,885	0,913	0,931	0,942	0,950	0,956	0,961	0,965	0,968	0,974
60	0,865	0,898	0,918	0,931	0,941	0,948	0,954	0,958	0,962	0,969
70	0,846	0,883	0,905	0,921	0,932	0,940	0,947	0,952	0,956	0,964
80	0,828	0,868	0,893	0,910	0,923	0,932	0,939	0,945	0,950	0,959
90	0,811	0,854	0,882	0,900	0,914	0,924	0,932	0,939	0,944	0,954
100	0,794	0,841	0,870	0,891	0,905	0,917	0,925	0,933	0,939	0,950

$$v_p = 20 \text{ км/ч}$$

10	0,978	0,984	0,987	0,990	0,991	0,992	0,993	0,994	0,994	0,995
20	0,957	0,968	0,975	0,979	0,982	0,985	0,986	0,988	0,989	0,991
30	0,938	0,954	0,964	0,970	0,974	0,978	0,980	0,982	0,984	0,987
40	0,919	0,940	0,952	0,960	0,966	0,970	0,974	0,976	0,978	0,982
50	0,900	0,926	0,941	0,951	0,958	0,963	0,967	0,970	0,973	0,978
60	0,882	0,912	0,929	0,941	0,949	0,956	0,961	0,965	0,968	0,974
70	0,865	0,898	0,918	0,932	0,941	0,949	0,954	0,959	0,963	0,969
80	0,850	0,886	0,908	0,923	0,934	0,942	0,949	0,954	0,958	0,966
90	0,834	0,874	0,898	0,914	0,926	0,935	0,942	0,948	0,953	0,961
100	0,819	0,861	0,888	0,906	0,919	0,929	0,936	0,942	0,948	0,957

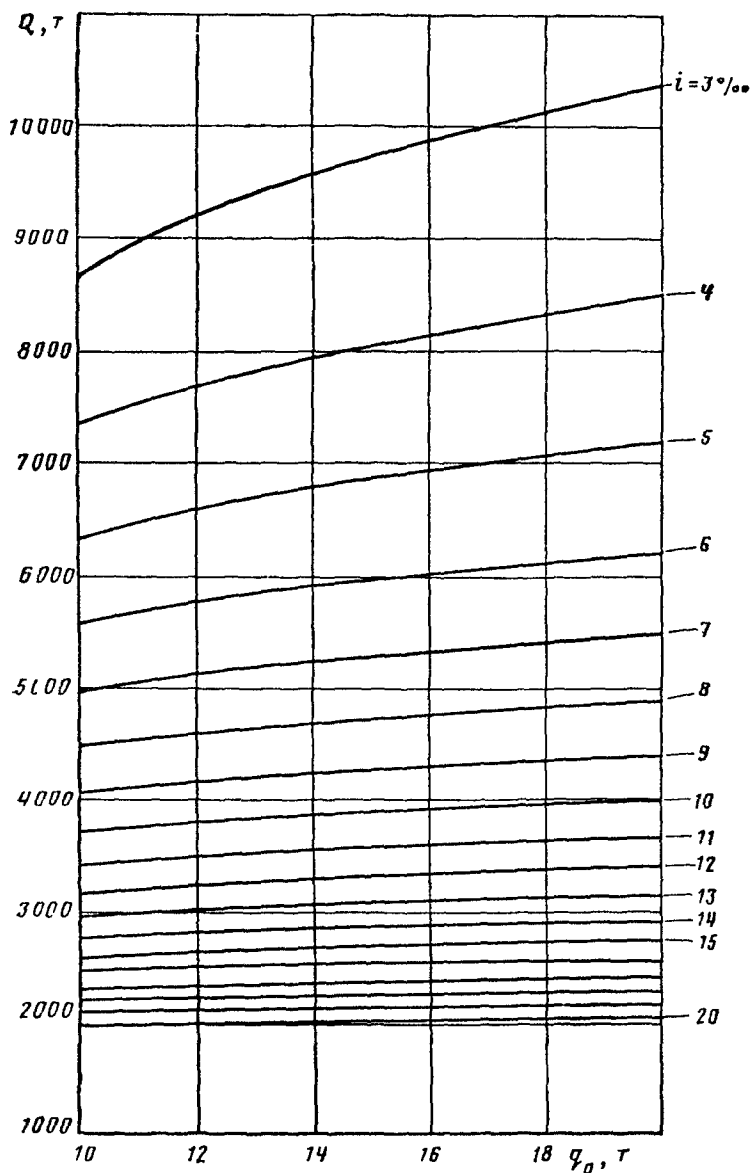


Рис. 4.14. Масса состава грузового поезда с электровозом ВЛ80^м в зависимости от средней массы, приходящейся на ось груженого вагона

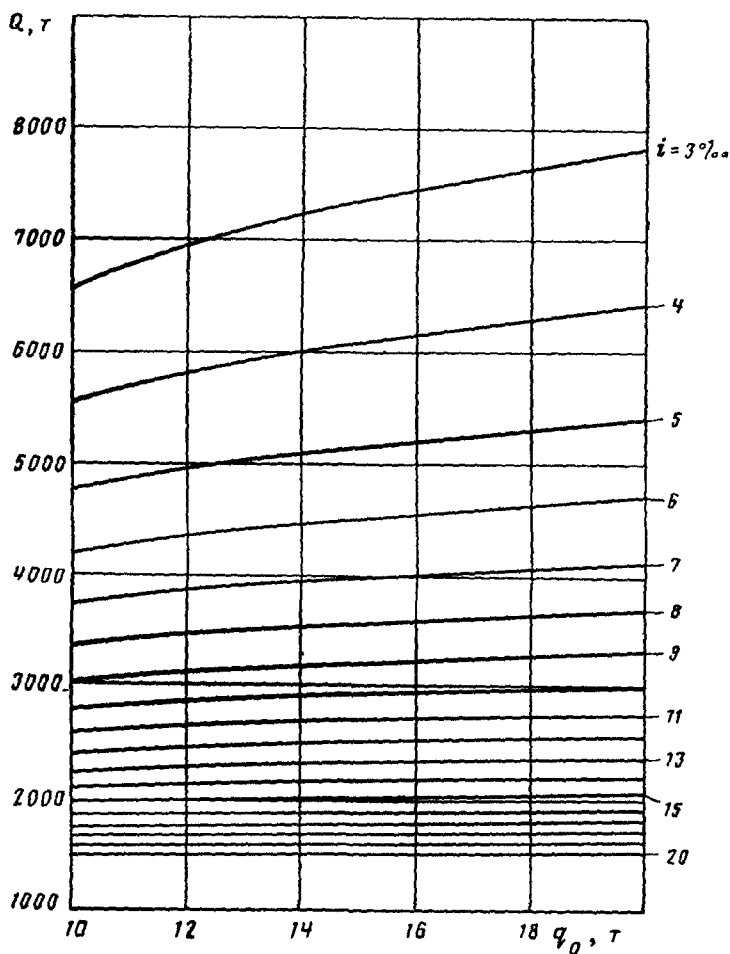


Рис. 4.15. Масса состава грузового поезда с электровозом ВЛ60^м в зависимости от средней массы, приходящейся на ось груженого вагона

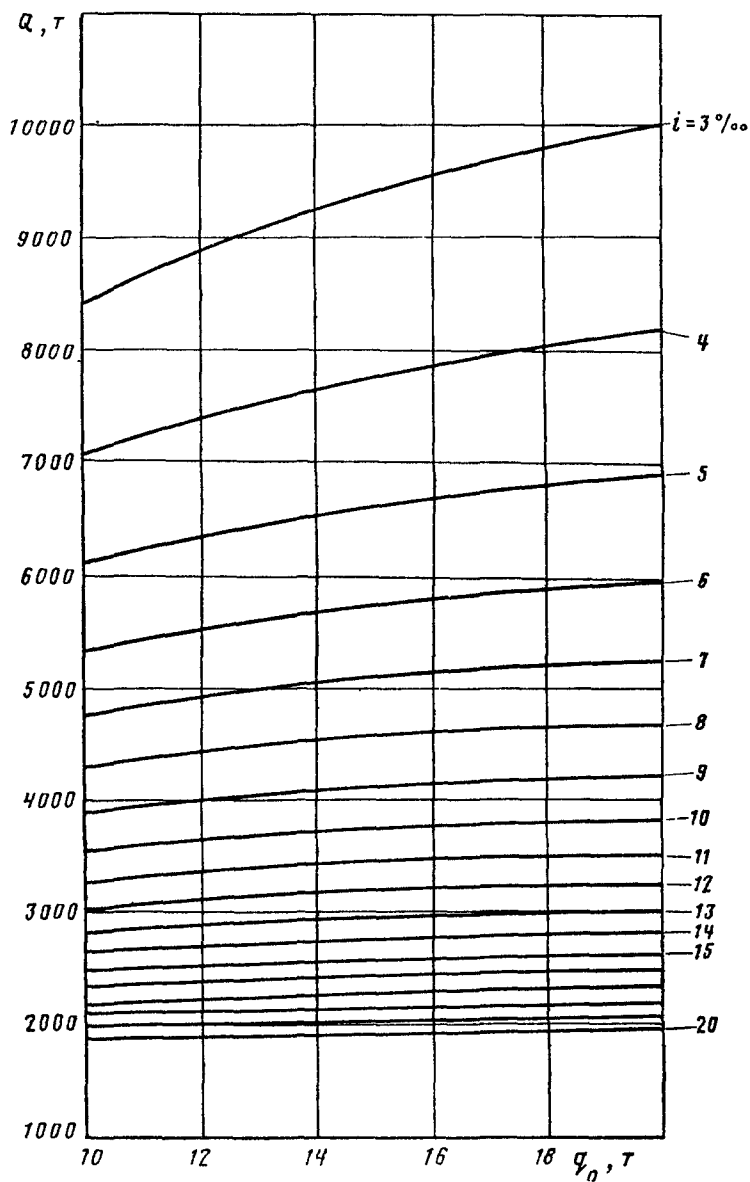


Рис. 4.16 Масса состава грузового поезда с электровозами ВЛ8 и ВЛ10 в зависимости от средней массы, приходящейся на ось груженого вагона

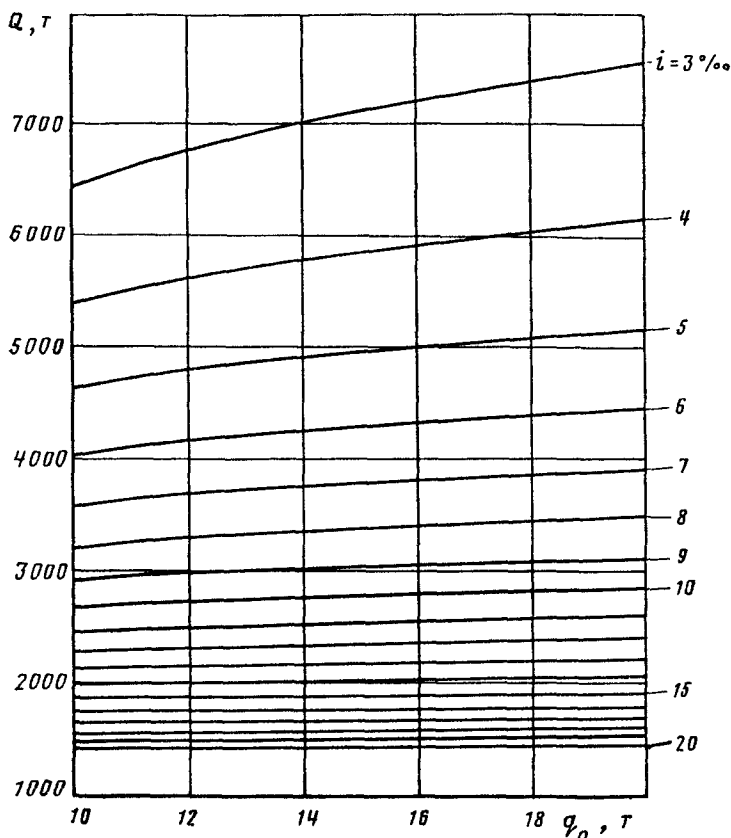


Рис. 4 17. Масса состава грузового поезда с электровозами ВЛ23 и ВЛ22^м в зависимости от средней массы, приходящейся на ось грузового вагона

рыми внизу записывают длины перегонов, значения и протяженность расчетных подъемов. По установленному для каждого перегона расчетному подъему одним из рассмотренных выше методов рассчитывают наибольшую массу состава с локомотивом заданной серии.

Расчетную массу состава для каждого перегона откладывают по вертикали и в пределах перегона проводят горизонтальную линию на высоте (от нулевой линии), равной этой массе состава.

На рис. 4.20 приведена тонно-километровая диаграмма для некоторого направления $A — B$, обслуживаемого электровозами серии ВЛ80^к. На диаграмме в масштабе показана масса состава, которую может взять электровоз по каждому перегону и в целом по участку.

Тонно-километровые диаграммы составляют для обоих направлений. Для однопутных участков указывают также массу состава с учетом остановки на раздельных пунктах, а для двухпутных — мас-

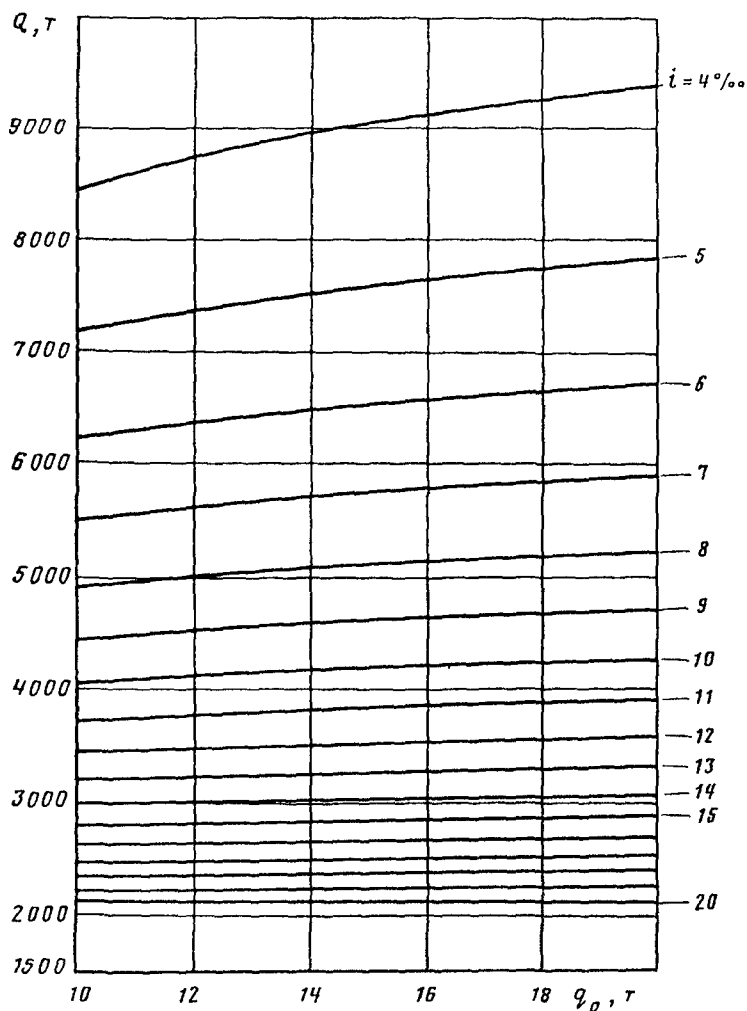


Рис. 4.18. Масса состава грузового поезда с тепловозом 2ТЭ10 в зависимости от средней массы, приходящейся на ось груженого вагона

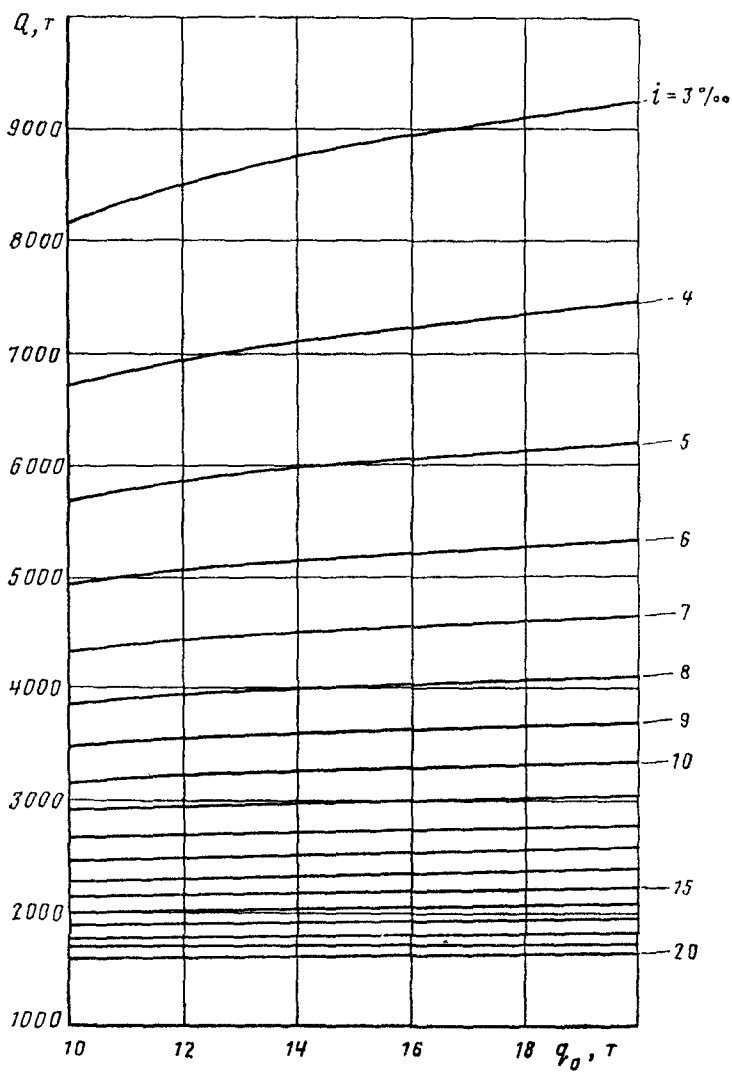


Рис. 4.19. Масса состава грузового поезда с тепловозом ТЭЗ в зависимости от средней массы, приходящейся на ось груженого вагона

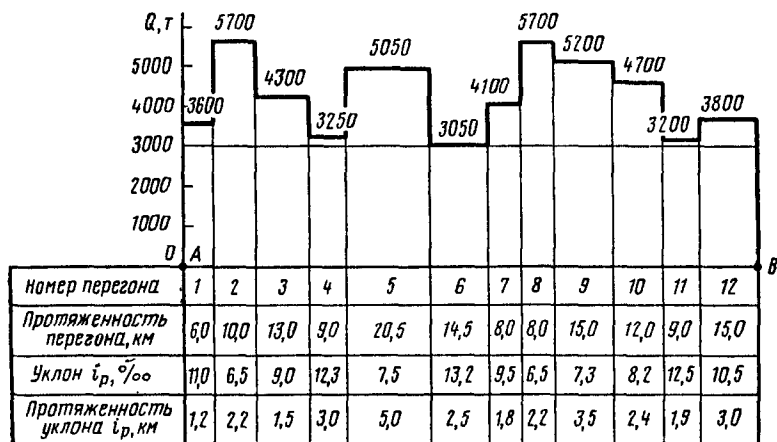


Рис. 4.20. Тонно-километровая диаграмма для направления А—В, обслуживаемого электровозами ВЛ180

су, с учетом остановки на станциях, за которыми расположен трудный подъем.

При электрической тяге необходимо указать также максимальную возможную массу, определенную из условий нагревания электрических машин.

4.4. Изменение массы состава в условиях эксплуатации

Влияние атмосферных условий на силу тяги тепловозов. Значения силы тяги тепловозов, приведенные в табл. 4.2, относятся к стандартным атмосферным условиям: $t_{\text{нв}} = 20^\circ\text{C}$, $H_{\text{бар}} = 1013$ гПа (760 мм рт.ст.). Расчетную силу тяги тепловозов при атмосферных условиях, отличающихся от стандартных, определяют по формуле

$$F_K = F_{K0} (1 - k_t - k_p), \quad (4.8)$$

где $F_{K0} = F_{\text{кр}}$ — сила тяги при стандартных атмосферных условиях (см. табл. 4.2);

k_t , k_p — коэффициенты, учитывающие снижение мощности дизеля от изменения соответственно температуры наружного воздуха и атмосферного давления.

Численные значения коэффициентов k_t и k_p приведены в табл. 4.14 и 4.15.

Значения коэффициентов k_t и k_p для промежуточных значений температуры воздуха и давления определяют методом интерполяции.

Пример. Определить расчетную силу тяги тепловоза ТЭЗ (одна секция) для установления весовой нормы поезда при $t_{\text{нв}} = 35^\circ\text{C}$ и $H_{\text{бар}} = 947$ гПа (710 мм рт. ст.).

**Таблица 4.14. Значения коэффициента k_t
в зависимости от температуры наружного воздуха**

Типы		k_t при $t_{\text{нв}}, ^\circ\text{C}$		
дизелей	тепловозов	≤ 20	30	40
2Д100 Д50, 11Д45, 10Д100	ТЭ3, ТЭ7 ТЭ1, ТЭ2, ТЭП60, 2ТЭП60, ТЭ10, ТЭП10, 2ТЭ10Л, ТЭП10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М	0	0,045	0,090
		0	0,050	0,100
2Д50, 2Д50М	ТЭМ1	0	0,030	0,060
М753, М753Б	ТГМ3, ТГМ3А, ТГМ3Б	0	0,017	0,034
1А-5Д49, 2Д70	2ТЭ116	0	0,040	0,080
2А-5Д49	ТЭП70	0	0,045	0,090
14Д40	М62, 2М62	0	0,055	0,110

Решение. Используя соответствующие данные табл. 4.14 и 4.15, определяют коэффициенты:

$$k_t = (0,045 + 0,090)/2 = 0,067;$$

$$k_p = (0,078 + 0,051)/2 = 0,064.$$

Подставляя в формулу (4.8) значение $F_{\text{н0}} = 20\,200$ кгс (из табл. 4.2 для одной секции) и найденные значения коэффициентов k_t и k_p , получают: $F_K = 20\,200 (1 - 0,067 - 0,064) = 20\,200 \cdot 0,869 = 17\,500$ кгс, или на 2700 кгс меньше, чем при нормальных условиях.

**Таблица 4.15. Значения коэффициента k_p
в зависимости от атмосферного давления**

Типы		k_p при $H_{\text{бар}}, \text{МПа}$ (мм рт. ст.)				
дизелей	тепловозов	0,0906 (680)	0,0933 (700)	0,0960 (720)	0,0987 (740)	0,1013 (760)
2Д100 Д50, 11Д45, 14Д40, 10Д100	ТЭ3, ТЭ7 ТЭ1, ТЭ2, ТЭП60, 2ТЭП60, М62, 2М62, ТЭ10, ТЭП10, 2ТЭ10Л, ТЭП10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 3ТЭ10М	0,105	0,078	0,051	0,025	0
		0,115	0,086	0,057	0,028	0
2Д50, 2Д50М	ТЭМ1	0,061	0,046	0,030	0,015	0
М753, М753Б	ТГМ3, ТГМ3А, ТГМ3Б	0,045	0,034	0,022	0,011	0
1А-5Д49, 2Д70, 2А-5Д49	2ТЭ116, ТЭП70	0,088	0,066	0,044	0,022	0

Пример. Определить расчетную массу состава с тепловозом 3ТЭ10М на участке с подъемом $i_p = 12\text{‰}$ при $t_{\text{вн}} = 40^\circ\text{C}$ и $H_{\text{бар}} = 904 \text{ гПа}$ (680 мм рт.ст.).

Состав формируют из четырехосных вагонов (50 % — на роликовых подшипниках) со средней массой брутто 70 т.

Решение. Определяю данные тепловоза 3ТЭ10М (см. табл. 4.2): $v_p = 23,4 \text{ км/ч}$, $F_{\text{кр}} = 75\,900 \text{ кгс}$, $P = 414 \text{ т}$, $w_0'' = 1,22 \text{ кгс/т}$, $w_0' = 2,30 \text{ кгс/т}$.

Вводят поправку силы тяги, определенную по формуле (4.8), используя данные табл. 4.14 и 4.15:

$$F_K = 75\,900 (1 - 0,1 - 0,115) = 59\,580 \text{ кгс}.$$

По формуле (4.1) определяют массу состава:

$$Q_p = (59\,580 - (2,30 + 12) 414) / (1,22 + 12) = 4060 \text{ т}.$$

Сравнивают полученную массу состава с данными табл. 4.4, в которой при стандартных атмосферных условиях указана масса на 12‰-ном подъеме $Q_p = 5240 \text{ т}$:

$$\Delta Q = 5240 - 4060 = 1180 \text{ т}.$$

Снижение коэффициента сцепления локомотивов в кривых малого радиуса. В табл. 4.16 приведены расчетные значения коэффициентов сцепления локомотивов по формулам, рекомендуемым ПТР

Таблица 4.16. Расчетные коэффициенты сцепления локомотивов

Локомотивы серий	Расчетная формула	Коэффициент сцепления при скорости движения, км/ч				
		0	10	20	30	40
<i>Электровозы</i>						
ВЛ80*, ВЛ60*	$\psi_K = 0,28 + \frac{4}{50 + 6v} - 0,0006v \quad (4.9)$	0,360	0,310	0,291	0,279	0,270
ВЛ10, ВЛ11, ВЛ10У, ВЛ82, ВЛ82 ^м , ВЛ22 ^м , ВЛ23, ВЛ8	$\psi_K = 0,28 + \frac{3}{50 + 20v} - 0,0007v \quad (4.10)$	0,340	0,285	0,273	0,264	0,255
	$\psi_K = 0,25 + \frac{8}{100 + 20v} \quad (4.11)$	0,330	0,277	0,266	0,261	0,259
<i>Тепловозы</i>						
Все се- рии, кро- ме ТЭ10 и 2ТЭ10Л ТЭ10 и 2ТЭ10Л	$\psi_K = 0,118 + \frac{5}{27,5 + v} \quad (4.12)$	0,300	0,251	0,223	0,205	0,192
	$\psi_K = 0,118 + \frac{4}{22 + v} \quad (4.13)$	0,300	0,243	0,213	0,195	0,182

* Для локомотивов всех индексов.

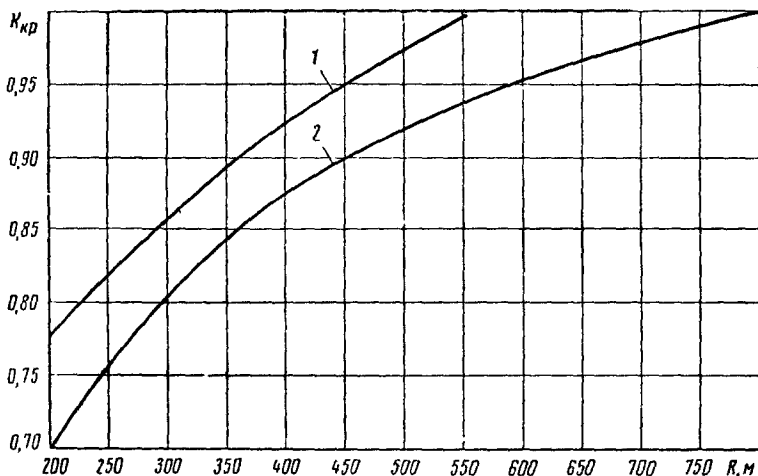


Рис. 4.21 Поправка расчетного коэффициента сцепления в зависимости от радиуса кривой для электровозов (1) и тепловозов (2)

При наличии на расчетных и труднейших подъемах кривых радиусом менее 500 м снижение расчетного коэффициента сцепления для электровозов учитывают коэффициентом $K_{кр}$ по формуле

$$K_{кр} = \frac{250 + 1,55R}{500 + 1,1R} \quad (4.14)$$

Для тепловозов при наличии на расчетных и труднейших подъемах кривых радиусом менее 800 м снижение расчетного коэффициента сцепления учитывают коэффициентом $K_{кр}$, который определяют по формуле

$$K_{кр} = \frac{3,5R}{400 + 3R} \quad (4.15)$$

На рис. 4.21 представлена зависимость поправочного коэффициента от радиуса кривой для электровозов и тепловозов.

В зимний период при особо неудовлетворительных условиях сцепления (бураны, гололед) расчетный коэффициент сцепления локомотивов уменьшается, но не более чем на 15 %. Значение силы тяги по сцеплению при расчете массы состава определяется по формуле

$$F_{сц} = 1000 \psi_{кр} P_{сц} \quad (4.16)$$

где $P_{сц}$ — сцепной вес локомотива, тс.

$$\psi_{кр} = \psi_k K_{кр} \quad (4.17)$$

При наличии на расчетных и скоростных подъемах кривых малого радиуса для всех серий электровозов, расчетные параметры которых определяются ограничением по сцеплению, необходимо учи-

тывать поправочный коэффициент $K_{кр}$, т. е. $F_{кр} = F_{кр} K_{кр}$
 $F_{кр}^{кр} = F_{кр} K_{кр}$, $F_{кр}^{разг} = F_{кр} K_{кр}$.

Для тепловозов при $F_{кр} > F_{кр\text{ сц}}$ за расчетную силу тяги принимают силу тяги по сцеплению, определенную по формуле (4.16) при расчетной скорости v_p .

Пример. Определить расчетную массу состава с электровозом ВЛ10У на участке с расчетным подъемом $i_p = 11\text{‰}$, имеющем кривую $R = 350$ м. Вагоны четырехосные, 50 % состава на роликовых подшипниках, средняя масса вагона 70 т.

Решение. По табл. 4.1 находят: $F_{кр} = 50\,200$ кгс, $\omega'_0 = 2,99$ кгс/т, $\omega''_0 = 1,57$ кгс/т, $P = 200$ т. По рис. 4.21 $K_{кр} = 0,895$. Определяют: $F_{кр}^{(кр)} = 50\,200 \cdot 0,895 = 44\,930$ кгс. Подставляя эти значения в формулу (4.1), получают:

$$Q = (44930 - (2,99 + 11) 200) / (1,57 + 11) = 3350 \text{ т}$$

Пример. На участке, обслуживаемом тепловозами 2ТЭ10Л, находится расчетный подъем $9,5\text{‰}$ с кривой радиусом 450 м. Определить расчетную массу состава, сформированного из вагонов средней массой брутто 70 т при наличии в составе 50 % вагонов на роликовых подшипниках.

Решение. Определяют силу тяги по сцеплению для тепловоза 2ТЭ10Л с учетом снижения коэффициента сцепления в кривой. По рис. 4.21 $K_{кр} = 0,9$. Тогда $F_{кр}^{(кр)} = 52\,790 \cdot 0,9 = 47\,500$ кгс. Используя данные табл. 4.2, по формуле (4.1) находят расчетную массу состава для заданного подъема:

$$Q_p = \frac{47\,500 - (2,30 + 9,5) 260}{1,22 + 9,5} = 4145 \text{ т.}$$

По табл. 4.4 определяют интерполяцией для $i_p = 9,5\text{‰}$ расчетную массу состава: $Q_p = 4365$ т, тогда $\Delta Q_p = 4365 - 4145 = 220$ т.

Таким образом, из-за влияния кривой малого радиуса расчетная масса состава оказалась на 220 т меньше.

Пример. Проверить расчетную массу состава $Q_p = 5200$ т с электровозом ВЛ80с (3 секции) по условиям разгона с остановочного пункта, за которым следует подъем 9‰ и кривая $R = 400$ м. Средняя масса вагона 80 т. Весь состав (100 %) на роликовых подшипниках.

Решение. Определяют по табл. 4.9 силу тяги при разгоне: $F_{кр}^{разг} = 71\,550$ кгс, $\omega'_0^{разг} = 2,95$ кгс/т. По табл. 1.3 или формуле (1.3) для роликовых подшипников и $v_{разг} = 44,5$ км/ч сопротивление $\omega''_0 = 1,33$ кгс/т. По рис. 4.21 находят поправочный коэффициент $K_{кр} = 0,925$, тогда $F_{кр}^{(кр)} = 71\,550 \cdot 0,925 = 66\,184$ кгс. По формуле (4.1)

$$Q_{разг}^{(кр)} = \frac{66\,184 - (2,95 + 9) 285}{1,33 + 9} = 6077 \text{ т.}$$

Так как $Q_p < Q_{разг}^{(кр)}$, то поезда расчетной массы можно останавливать на станции, за которой расположен проверяемый подъем.

Т а б л и ц а 4.17. Данные для учета кривых малого радиуса

Радиус кривой, м	Тепловозы серий				
	2ТЭ10Л	3ТЭ10М	2ТЭ11Б, 2ТЭ10М, 2ТЭ10В	ТЭ3	2М62
800	$F_{\text{КСЦ}} > F_{\text{КР}}$	$F_{\text{КСЦ}} > F_{\text{КР}}$	$F_{\text{КСЦ}} > F_{\text{КР}}$	$F_{\text{КСЦ}} > F_{\text{КР}}$	$F_{\text{КСЦ}} > F_{\text{КР}}$
750					
700					
650					
600					
550	50 350	74 440	48 690	38 850	37 150
500	49 560				
450	48 610				
400	47 500				
350	46 180				
300	44 600	71 180	47 510	38 850	37 150
250	42 650	67 040	44 750		
200	40 160	61 670	41 160		
200	36 940				

Несложно указанную проверку повторить для подъема $i_c = 11\text{‰}$ с кривой такого же радиуса:

$$Q_{\text{разг}}^{(\text{кр})} = \frac{66\,184 - (2,95 + 11) 285}{1,33 + 11} = 5045 \text{ т.}$$

Так как при этом $Q_p > Q_{\text{разг}}^{(\text{кр})}$ ($5200 > 5045$), то по станциям, за которыми имеется подъем 11‰ с кривой $R = 400$ м, данный поезд следует пропускать безостановочно.

В табл. 4.17 указаны значения силы тяги по сцеплению с учетом кривой малого радиуса для основных серий тепловозов.

5. РАСЧЕТ СКОРОСТИ И ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

5.1. Способы решения уравнения движения поезда

Уравнение движения поезда используется при решении различных задач тяги поездов: определение массы поезда, скорости и времени его движения, условий разгона и торможения. Некоторые задачи решают в предположении движения поезда с равномерной скоростью (расчет массы поезда при заданной равномерной скорости или определение равномерной скорости, которую может развить заданный локомотив при известной массе состава). Задачи, связанные с разгоном, торможением поезда, использованием кинетической энергии для преодоления подъемов, определением скорости и времени хода поезда по перегонам, решают при условии движения поезда с неравномерной скоростью.

Для решения всех этих задач интегрируют следующее уравнение:

$$\frac{dv}{dt} = \zeta (f_k \pm w_k). \quad (5.1)$$

Для этого исходное уравнение (5.1) преобразуют и для всех эксплуатационных расчетов значение ζ принимают равным 120 км/ч за 1 ч, 2 км/ч за 1 мин, 1/30 км/ч за 1 с.

Для интегрирования преобразованного уравнения движения поезда необходимо иметь характеристики удельных ускоряющих сил для режимов тяги, холостого хода и торможения с учетом профиля пути. В инженерной практике известны следующие способы определения скорости движения поезда: 1) графический, 2) интеграторами, 3) автоматическими счетно-решающими устройствами, 4) на ЭВМ.

Кривую скорости движения поезда $v(s)$ строят по имеющейся диаграмме удельных ускоряющих и замедляющих сил:

$$[f_k - w_k](v); w_k(v);$$

$$[b_T + w_k](v); [b_{TP} + w_k](v).$$

Диаграммы удельных ускоряющих и замедляющих сил $[f_k - w_0](v)$ и $w_{0x}(v)$ для основных серий локомотивов и наиболее часто встречающихся в эксплуатации масс составов представлены на рис. 4.3—4.12.

5.2. Расчет диаграмм ускоряющих и замедляющих сил

Диаграммы удельных ускоряющих и замедляющих сил рассчитывают исходя из тяговых характеристик локомотивов, сил основного сопротивления движению, тормозных сил, массы состава и локомотива.

Порядок расчета удельных ускоряющих и замедляющих сил рассмотрим на примерах.

Пример 1. Рассчитать удельные ускоряющие силы, удельное сопротивление движению и удельные замедляющие силы при торможении для электровоза ВЛ80^к массой $P = 184$ т (двигатель НБ-418К), с составом массой $Q = 3800$ т, сформированным из четырехосных вагонов на подшипниках скольжения, со средней массой, приходящейся на ось, 17,5 т.

Решение. А. Сначала определяют значения удельных ускоряющих сил. Результаты расчетов удобно представлять в табличной форме (табл. 5.1).

Порядок подсчета данных табл. 5.1 состоит в следующем.

1. Согласно действующим Правилам тяговых расчетов при построении диаграмм ускоряющих сил силу тяги электровозов принимают по толстым линиям, нанесенным на тяговых характеристиках. Для электровоза ВЛ80^к силы тяги в интервале скоростей 0—57,1 км/ч принимают из таблицы ограничения по сцеплению, а в интервале 57,5—110 км/ч — из таблицы ограничения по ослаблению возбуждения. Значения скоростей из указанных таблиц тяговой характеристики электровоза ВЛ80^к записывают в графе 1 табл. 5.1, а соответствующие им значения силы тяги — в графе 2.

2. По формуле (1.14) или из табл. 1.10 определяют удельное основное сопротивление электровоза w'_0 и заносят в графу 3.

3. Полное основное сопротивление электровоза при движении под током определяют как $W'_0 = Pw'_0$ и записывают в графу 4.

4. Определяют по формуле (1.1) или из табл. 1.1 удельное основное сопротивление движению четырехосных вагонов на подшипниках скольжения при массе, приходящейся на ось, $q_0 = 17,5$ т.

Таблица 5.1. Значения удельных ускоряющих сил (к примеру 1)

v , км/ч	F_K , кгс	ω'_0 , кгс/т	$P\omega'_0$, кгс	ω''_0 , кгс/т	$Q\omega''_0$, кгс	W_0 , кгс	$F_K - W_0$, кгс	$f_K - \omega_0$, кгс/т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	66 200	1,90	350	1,16	4 408	4 758	61 442	15,4
8,7	57 800	2,01	370	1,21	4 598	4 968	52 832	13,2
16,2	54 700	2,15	396	1,29	4 902	5 298	49 402	12,4
23,5	52 800	2,31	425	1,38	5 244	5 669	47 131	11,8
31,0	51 200	2,50	460	1,48	5 624	6 084	45 116	11,3
38,0	50 000	2,72	500	1,57	5 966	6 466	43 534	10,9
44,2	49 000	2,94	541	1,69	6 422	6 963	42 037	10,5
50,5	48 000	3,17	583	1,81	6 878	7 461	40 539	10,1
53,5	47 600	3,30	607	1,88	7 144	7 751	39 849	10,0
57,5	47 000	3,47	638	1,97	7 486	8 124	38 876	9,7
60,0	43 200	3,58	659	2,01	7 638	8 297	34 903	8,8
70,0	30 200	4,07	749	2,26	8 588	9 337	20 863	5,2
80,0	22 150	4,62	850	2,53	9 614	10 464	11 686	2,9
90,0	17 300	5,23	962	2,82	10 716	11 678	5 622	1,4
100,0	13 700	5,90	1086	3,16	12 008	13 094	606	0,2
110,0	10 800	6,63	1202	3,52	13 376	14 578	-3 778	-1,0

Значения ω''_0 приведены в графе 5.

5. Находят полное основное сопротивление движению состава массой $Q = 3800$ т по выражению $W'_0 = Q\omega'_0$ и заносят в графу 6.

6. Общее сопротивление движению поезда определяют как $W_0 = P\omega'_0 + Q\omega''_0$ (графа 7).

7. Приводят в графе 8 полное значение ускоряющей силы, равное $F_K - W_0$ (разница граф 2 и 7).

8. В графе 9 записывают удельную ускоряющую силу:

$$f_K - \omega_0 = \frac{F_K - W_0}{P + Q}.$$

По данным граф 1 и 9 строят кривую удельных ускоряющих сил (рис. 5.1).

Б. Затем определяют удельное основное сопротивление движению поезда на выбеге (без тока). Результаты расчета приводят в табл. 5.2.

Порядок расчета удельного основного сопротивления движению поезда ω_{0x} состоит в следующем.

1. Удельное основное сопротивление движению электровоза на выбеге ω_x определяют по формуле (1.15) или из табл. 1.10 для значений скорости через интервал 10 км/ч и записывают в графу 2.

2. Полное основное сопротивление движению электровоза на выбеге, равное $W_x = P\omega_x$, приводят в графе 3.

3. В графу 4 записывают полное основное сопротивление движению поезда на выбеге, равное $W_{0x} = P\omega_x + Q\omega''_0$. Значения $Q\omega''_0$ принимают по графе 6 табл. 5.1.

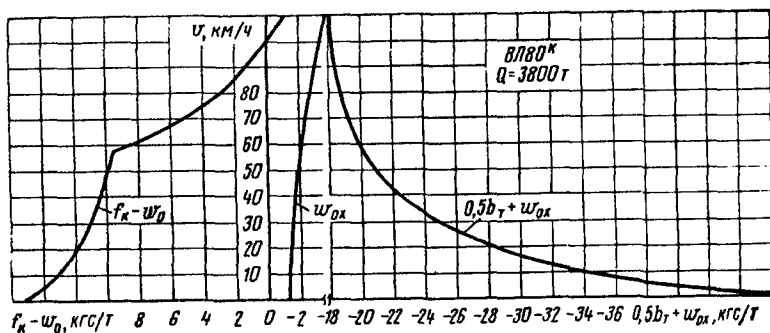


Рис. 5.1. Диаграмма удельных ускоряющих и удельных замедляющих сил электровоза ВЛ80^к (к примеру 1)

4. Удельное основное сопротивление движению поезда на выбеге определяют как $w_{0x} = \frac{W_{0x}}{P+Q} = \frac{P w_x + Q w_0''}{P+Q}$ и приводят в графе 5.

По данным граф 1 и 5 строят зависимость w_{0x} от v (см. рис. 5.1).

В. Далее рассчитывают удельные замедляющие силы для служебного торможения, применяемого при построении кривой $v(s)$, на остановках по отдельным пунктам. Результаты расчетов приводят также в табл. 5.2 (графы 6—11).

1. Для значений скоростей движения через 10 км/ч определяют расчетный коэффициент трения $\phi_{кр}$ по формуле (2.14) и записывают в графу 6.

Таблица 5.2. Значения удельных замедляющих сил (к примеру 1)

v , км/ч	w_x , кгс/т	$P w_x$, кгс	W_{0x} , кгс	w_{0x} , кгс/т	$\phi_{кр}$	$1000\phi_{кр}$	ϕ_v	b_T , кгс/т	$0,5b_T$, кгс/т	$0,5b_T + w_{0x}$, кгс/т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	2,40	442	4 850	1,22	0,270	270	0,33	89,1	44,6	45,8
10	2,55	469	5 143	1,29	0,198	198	0,33	65,3	32,7	34,0
20	2,76	508	5 562	1,40	0,162	162	0,33	53,5	26,7	28,1
30	3,05	561	6 109	1,53	0,140	140	0,33	46,2	23,1	24,6
40	3,40	626	6 744	1,69	0,126	126	0,33	41,6	20,8	22,5
50	3,83	705	7 545	1,89	0,116	116	0,33	38,3	19,1	21,0
60	4,32	795	8 433	2,12	0,108	108	0,33	35,6	17,8	19,9
70	4,89	900	9 488	2,38	0,102	102	0,33	33,7	16,8	19,2
80	5,52	1016	10 630	2,67	0,097	97	0,33	32,0	16,0	18,7
90	6,23	1146	11 862	2,98	0,093	93	0,33	30,7	15,4	18,3
100	7,00	1288	13 296	3,34	0,090	90	0,33	29,7	14,9	18,2
110	7,85	1444	14 820	3,72	0,087	87	0,33	28,7	14,4	18,1

**Таблица 53 Расчет диаграммы удельных ускоряющих сил
(к примеру 2)**

v , км/ч	$F_{кр}$, кгс	w'_0 , кгс/т	Pw'_1 , кгс	$w''_{0.4}$, кгс/т	$w''_{0.8}$, кгс/т	$w''_{0.см.}$, кгс/т	Qw''_0 , кгс	$W_{0.}$, кгс	$F_{кр} - W_{0.}$, кгс	$f_{кр} - w_{0.}$, кгс/т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	76 500	1,90	494	1,16	1,0	1,15	4 600	5 094	71 406	16,8
10	62 000	2,03	528	1,23	1,02	1,22	4 880	5 408	56 592	13,3
15	57 800	2,12	551	1,28	1,04	1,27	5 080	5 631	52 169	12,2
22	53 280	2,27	590	1,37	1,07	1,35	5 400	5 990	47 290	11,1
23,4	50 600	2,31	601	1,38	1,08	1,36	5 440	6 041	44 559	10,5
27,5	44 100	2,40	624	1,44	1,1	1,43	5 720	6 344	37 756	8,9
35,0	35 700	2,62	681	1,55	1,15	1,53	6 120	6 801	28 899	6,8
38,0	33 160	2,75	715	1,59	1,17	1,57	6 280	6 995	26 105	6,1
43,0	28 800	2,89	751	1,67	1,21	1,65	6 600	7 351	21 449	5,0
50,0	25 100	3,15	819	1,8	1,28	1,77	7 080	7 899	17 201	4,0
55,0	22 800	3,36	874	1,92	1,33	1,82	7 560	8 434	14 366	3,4
62,5	20 000	3,7	962	2,08	1,41	2,05	8 200	9 162	10 838	2,5
70,0	18 000	4,07	1058	2,26	1,51	2,23	8 920	9 978	8 022	1,9
80,0	15 600	4,62	1201	2,53	1,65	2,48	9 920	11 121	4 479	1,0
90,0	14 000	5,23	1360	2,82	1,81	2,77	11 080	12 440	1 560	0,4
100	12 200	5,9	1534	3,16	1,98	3,1	12 400	13 934	-1 734	-0,4

2. В графе 7 приводят произведение $1000 \Phi_{кр}$.

3. Для стандартных чугунных колодок расчетный тормозной коэффициент поезда Φ_p равен 0,33 (графа 8).

4. Значения удельной тормозной силы при экстренном торможении определяют как $b_T = 1000 \Phi_{кр} \Phi_p$ и записывают в графе 9.

5. При остановках на станциях и раздельных пунктах расчетный тормозной коэффициент Φ_p принимают равным 0,5 его полного значения. Поэтому в графе 10 записывают значение 0,5 b_T .

6. В графе 11 приведены итоговые значения удельных замедляющих сил, определяемых как $0,5 b_T + w_{0x}$, причем w_{0x} принимают из графы 5.

На рис. 5.1 также изображена кривая $[0,5b_T + w_{0x}] (v)$. Учитывая малое влияние серии локомотива и массы состава на удельные замедляющие силы при служебном торможении, кривая $[0,5 b_T + w_{0x}] (v)$ (см. рис. 5.1) может быть использована для любого грузового поезда.

Пример 2. Рассчитать и построить кривые удельных ускоряющих сил для тепловоза 2ТЭ10Л (двигатели ЭД-107А) с составом массой $Q = 4000$ т, сформированным из 95 % четырехосных вагонов ($q_0 = 17,5$ т) на подшипниках скольжения и 5 % восьмиосных вагонов ($q_0 = 20$ т) на роликовых подшипниках.

Решение. Результаты расчетов представляют в табл. 5.3, данные для построения которой определяют следующим образом.

1. В графах 1 и 2 записывают значения скоростей и соответствующих им сил тяги из тяговых характеристики тепловоза 2ТЭ10Л. В зонах перехода с ПП на ОП-1 и с ОП-1 на ОП-2 силу тяги определяют как среднюю на обоих режимах.

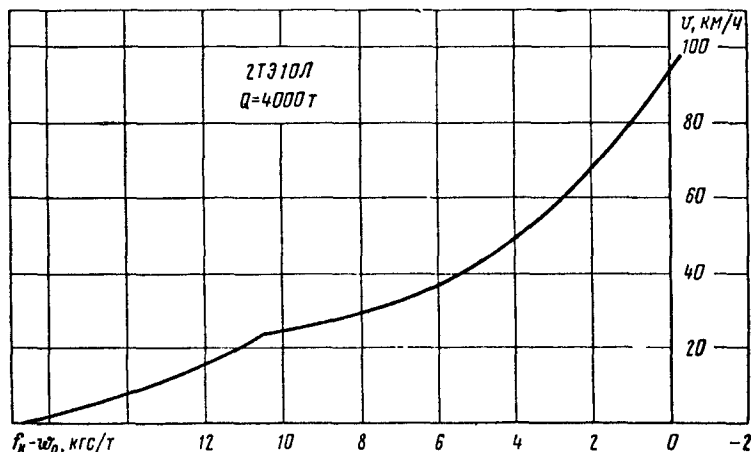


Рис. 5.2. Диаграмма удельных ускоряющих сил тепловоза 2ТЭ10Л (примеру 2)

2. Удельное основное сопротивление движению тепловоза как повозки (в режиме тяги) w'_0 определяют по формуле (1.14) или из табл. 1.10. Значения w'_0 записывают в графе 3.

3. Полное основное сопротивление движению тепловоза определяют по формуле $W'_0 = Pw'_0$ и заносят в графу 4.

4. Удельное основное сопротивление четырехосных вагонов на подшипниках скольжения принимают по формуле (1.1) или из табл. 1.1 и записывают в графе 5.

5. То же определяют для восьмиосных вагонов по формуле (1.5) или из табл. 1.5 и значения приводят в графе 6.

6. Удельное основное сопротивление движению состава определяют как $w''_0 = 0,95 w''_{04} + 0,05 w''_{08}$, где 0,95 и 0,05 — коэффициенты, учитывающие наличие в составе четырех- и восьмиосных вагонов. Полученные результаты приведены в графе 7.

7. Полное основное сопротивление движению состава определяют как $W''_0 = Qw''_0$ и записывают в графе 8.

8. Подсчитывают полное основное сопротивление движению поезда: $W_0 = Pw'_0 + Qw''_0$ и заносят в графу 9.

9. Определяют полную ускоряющую силу: $F_k - W_0$ (значения графы 2 минус значение графы 9) и найденные значения указывают в графе 10.

10. Находят удельную ускоряющую силу: $f_k - w_0 = \frac{F_k - W_0}{P + Q}$

и записывают в графу 11.

По данным граф 1 и 11 строят кривую удельных ускоряющих сил $[f_k - w_0]$ (v) (рис. 5.2).

Кривые удельных замедляющих сил на холостом ходу и торможении рассчитывают и строят аналогично пп. Б и В из предыдущего примера для электрической тяги.

5.3. Масштабы для графического построения диаграмм

Кривые удельных ускоряющих и замедляющих сил, а также кривые скорости и времени строят на отдельных листах миллиметровой бумаги в соответствующих масштабах. Выбранные масштабы должны находиться в следующей зависимости:

$$y = \zeta \frac{m^2}{k} \quad (5.2)$$

$$\text{и } x = \zeta \frac{\Delta m}{60k} \quad (5.3)$$

Масштабы при графических построениях принимают согласно табл. 5.4.

Т а б л и ц а 5.4. Масштабы при графических построениях

Параметр	Для грузовых и пассажирских поездов			Для электро- поездов		Для тормоз- ных и спе- циальных расчетов	
Сила, 1 кгс/т— k , мм	12	6	10	2	3	2	1
Скорость, 1 км/ч— m , мм	2	1	2	1	1,5	2	1
Путь, 1 км— y , мм	40	20	48	60	90	240	120
Постоянная — Δ , мм	30	30	25	50	50	—	—
Время, 1 ч— X , мм	600	600	600	—	—	—	—
Время, 1 мин— x , мм	10	10	10	50	50	—	—

5.4. Спрямление профиля пути

При построении кривых скорости и времени движения поезда необходимо спрямлять профиль пути. Спрямленный профиль пути наносят в выбранном масштабе y на миллиметровую бумагу. Окончательный уклон спрямляемого участка при наличии на нем кривых определяют по формуле

$$i_c = i'_c + i''_c \quad (5.4)$$

Уклон спрямляемого участка i'_c определяют по формуле

$$i'_c = \frac{(H_K - H_H) 1000}{s_c} \quad (5.5)$$

или

$$i'_c = \frac{i_1 s_1 + i_2 s_2 + \dots + i_n s_n}{s_c} \quad (5.6)$$

где i , s — соответственно уклон (‰) и длина (м) каждого из элементов профиля, входящих в спрямляемый участок.

Кривые на спрямляемом участке заменяют фиктивными подъемами, крутизну которых определяют по формуле

$$i_c'' = \frac{700}{s_c} \sum_1^n \frac{s_{кр} i}{R_i}. \quad (5.7)$$

Спрявление производят по подробному профилю пути, имеющему указание высоты головки рельсов над уровнем моря для каждого спрямляемого элемента. Спрявлению подлежат только близкие по крутизне элементы профиля одного знака. Элементы профиля на раздельных пунктах с прилегающими элементами профиля перегонов спрявлению не подлежат.

Возможность спрямления проверяют для каждого элемента действительного профиля, входящего в спрямляемый участок, по формуле

$$s_i \leq \frac{2000}{\Delta i}. \quad (5.8)$$

После нанесения спрямленного профиля на миллиметровую бумагу с указанием осей и границ раздельных пунктов производят построение кривых $v(s)$ и $t(s)$.

5.5. Построение кривой скорости графическим способом

Построение кривой скорости $v(s)$ на площадке (рис. 5.3) начинают с момента трогания поезда со станции A . Задают первое приращение скорости Δv_1 ($v_0 = 0$, $v_1 = 10$ км/ч) и на кривой ускоряющих сил, совмещенной с профилем, отмечают точку B , соответствующую среднему значению скорости, с которой поезд будет следовать на данном отрезке пути, равному $\frac{\Delta v_1}{2} = \frac{v_1 - v_0}{2}$ (5 км/ч).

К началу координат O и к точке B на кривой ускоряющих сил прикладывают линейку. К линейке и началу построения к точке A

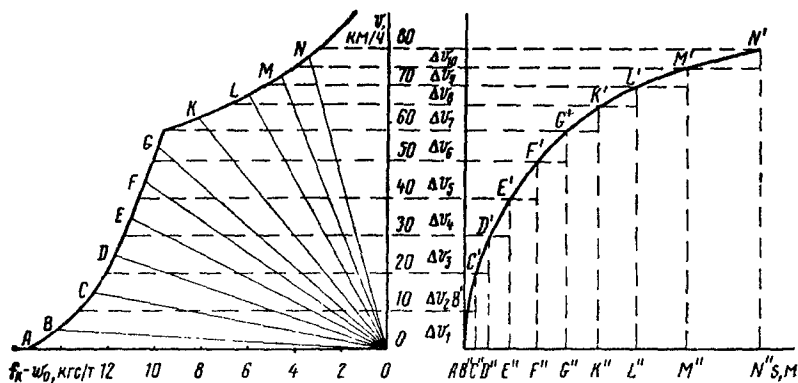


Рис. 5.3. Построение кривой скорости на площадке графическим способом

прикладывают катетом прямоугольный треугольник. Через точку A и по другому катету проводят прямую до пересечения в точке B' с горизонталью, соответствующей приращению скорости Δv_1 . Отрезок AB' образует первое звено кривой скорости.

Дальнейшее построение выполняют аналогично. При этом линию, перпендикулярную лучу, соединяющему начало координат O с точкой C (на кривой ускоряющих сил), соответствующей среднему принятому значению $v_1 + \frac{v_2 - v_1}{2}$, проводят из точки B' до конечной величины новой скорости $\Delta v_1 + \Delta v_2$ до точки C' и т. д.

Таким же будет построение кривой скорости не только на площадке, но и на уклонах. В этих случаях линейку прикладывают не к началу координат O , а к точке, соответствующей значению уклона (т. е. прибавляют к силе $f_k - w_0$ сопротивление уклона $\pm w_1$). Значения подъема откладывают по диаграмме ускоряющих сил влево от начала координат, а спуска — вправо. Основные положения для построения кривой скорости $v(s)$ предусматриваются действующими ПТР [1, 24].

5.6. Построение кривой времени графическим способом

Кривую времени движения поезда $t(s)$ строят по имеющейся кривой скорости $v(s)$. Построение ведут с использованием некоторого постоянного отрезка Δ , который выбирают с таким расчетом, чтобы получился удобный масштаб времени, из уравнения

$$\Delta = \frac{60 k x}{\zeta m} \quad (5.9)$$

Рассмотрим построение кривой $t(s)$ (рис. 5.4).

Кривую скорости $v(s)$ условно разбивают на отдельные отрезки: $O - A$, $A - B$, $B - C$, $C - D$ и т. д., которые определяют, как правило, точками перелома кривой $v(s)$. В пределах каждого изменения скорости определяют средние значения $v_{\text{ср}}$ (точки a , b , c , d

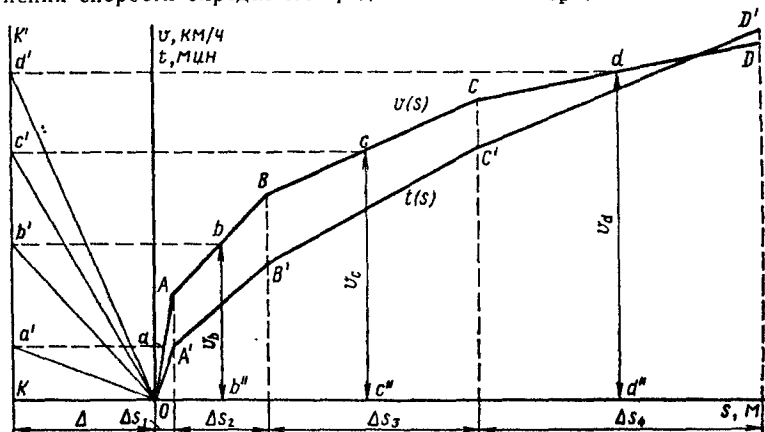


Рис. 5.4. Построение кривой времени графическим способом

т. д.), находящиеся в середине участков $O - A$, $A - B$, $B - C$, $C - D$ и т. д. Затем откладывают от точки O влево отрезок OK , равный Δ , и через точку K проводят вертикальную линию KK' , на которую проектируют точки a, b, c, d и т. д. Полученные проекции a', b', c', d' и т. д. соединяют отрезками Oa', Ob', Oc', Od' с точкой O . К линейке, положенной на луч Oa' (точка a' характеризует $v_{\text{ср}}$ первого промежутка изменения скорости), прикладывают треугольник и через точку O проводят прямую OA' , характеризующую время прохождения первого отрезка пути Δs_1 . Второе звено кривой $t(s)$ строят перпендикулярно линии Ob' из точки A' в пределах отрезка пути Δs_2 и т. д. Построив отрезки остальных элементов, получают кривую времени для перегона. Общее время, соответствующее пройденному пути, определяют по оси ординат.

Пример 3. Определить скорость и время хода грузового поезда массой $Q = 3400$ т, сформированного из четырехосных вагонов на подшипниках скольжения, при $q_0 = 17,5$, т по перегонам участка $A - C$; участок обслуживается электровозами ВЛ8. Максимально допустимые скорости по состоянию пути и конструкции локомотива на перегонах и главных путях станций B и C 80 км/ч, станции $A - 70$ км/ч, по боковым — 40 км/ч.

Решение. А. Спрямление профиля пути заданного участка производят в такой последовательности.

1. Соседние элементы однородного профиля группируют в участки для спрямления (станционные площадки с элементами перегонов не спрямляют).

2. Определяют уклон спрямляемого участка по формуле (5.6), учитывая, что профиль задан не отметками, а длинами и уклонами элементов. При наличии отсечек профиля спрямление упрощается, и его ведут по формуле (5.5).

3. Проверяют возможность спрямления по формуле (5.8) для каждого элемента спрямляемого участка.

4. Встречающиеся на спрямляемом участке кривые заменяют фиктивными подъемами, используя формулу (5.7).

5. Определяют окончательный уклон спрямляемого участка по формуле (5.4).

Все расчеты по спрямлению профиля приведены в табл. 5.5.

Спрямленный профиль пути (графы 6 и 9 табл. 5.5) наносят на миллиметровой бумаге в одном из масштабов (см. табл. 5.4) с обозначением осей и границ раздельных пунктов, километровых отметок. Отмечают заданные максимально допустимые скорости по состоянию пути, безопасности движения, конструкции локомотива.

Б. Расчет и построение диаграмм удельных ускоряющих и замедляющих сил выполняют в соответствии с указаниями п. 5.2. Все расчеты приведены в табл. 5.6, а диаграммы — на рис. 5.5 и 5.6. Для данной массы и типа состава можно использовать готовую диаграмму ускоряющих сил и сил сопротивления (замедляющих) движению, приведенную на рис. 4.9.

Замедляющие силы при служебном торможении мало зависят от серии локомотива и массы состава и отличаются только при изменении тормозного нажатия. Для облегчения построения кривых $v(s)$ при служебном торможении можно использовать готовые кривые для различных уклонов, приведенные на рис. 5.7. Учитывая возможность применения рекуперации, дополнительно рассчитывают диаграмму удельных замедляющих сил, используя тормозные характеристики электровоза ВЛ8, при рекуперативном торможении. Расчеты удельных замедляющих сил при рекуперативном торможе-

Т а б л и ц а 5.5. Расчеты по спрямлению профиля (к примеру 3)

Номер элемента	s	i	Кривые		s _c Σs	i' _c	i'' _c	i _c = i' + i''	Номер спрямлен- ных участков	Примечания и расчеты
			R	s _{кр}						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	800	0	—	—	800	0	—	0	1	Ст. А; выходная стрелка —650 м; до ст. В—13 050 м $i''_c = \frac{700}{1000} \frac{320}{760} = 0,3$ $i'_c = \frac{-500 \cdot 7,5 - 1000 \cdot 5,8 - 600 \cdot 5,1}{2100} = -6,0$ $\left\{ \begin{array}{l} s_5 = 500 < \frac{2000}{15} = 1335; \\ s_6 = 1000 < \frac{2000}{0,2} = 10\,000; \quad s_7 = 600 < \frac{2000}{0,9} = 2220 \end{array} \right.$ $i'_c = \frac{850 \cdot 10,6 + 700 \cdot 10,5 + 540 \cdot 10,8 + 600 \cdot 11,5 + \dots}{4800}$ $\dots \frac{+1490 \cdot 10,9 + 620 \cdot 10,0}{4800} = \frac{51\,680}{4800} = 10,8$
2	1000	+5,6	760	320	1000	+5,6	+0,3	+5,9	2	
3	500	+1,8	—	—	500	+1,8	—	+1,8	3	
4	650	-2,0	—	—	650	-2,0	—	-2,0	4	
5	500	-7,5	—	—	2100	-6,0	—	-6,0	5	
6	1000	-5,8	—	—						
7	600	-5,1	—	—						
8	950	-3,5	600	400	950	-3,5	+0,5	-3,0	6	
9	550	+2,0	—	—	550	+2,0	—	+2,0	7	
10	850	+10,6	600	180	4800	+10,8	+0,5	11,3	8	

Номер элемента	s	i	Кривые		s_c	i'_c	i''_c	$i_c = i'_c + i''_c$	Номер спряжен- ных участков	Примечания и расчеты
			R	$s_{кр}$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	700	+10,5	732	500						$\left\{ \begin{aligned} s_{10} &= 850 < \frac{2000}{0,2} = 10\,000; & s_{11} &= 700 < \frac{2000}{0,3} = 6667, \\ s_{14} &= 540 < \frac{2000}{0}; & s_{13} &= 600 < \frac{2000}{0,7} = 2860; \\ s_{14} &= 1490 < \frac{2000}{0,1} = 20\,000; & s_{15} &= 620 < \frac{2000}{0,8} = 2500; \\ i''_c &= \frac{700}{4800} \left(\frac{180}{600} + \frac{500}{732} + \frac{600}{765} + \frac{650}{665} + \frac{600}{840} \right) = 0,5 \end{aligned} \right.$
12	540	+10,8	—	—						
13	600	+11,5	765	600						
14	1490	+10,9	665	650						
15	620	+10,0	840	600						
16	900	+5,5	—	—	900	+5,5	—	+5,5	9)	Ст. В; входная стрелка—550 м; выходная стрелка—750 м; до ст. С—13 000 м;
17	1600	0	800	200	1600	0	+0,1	+0,1	10)	
18	900	+2,3	850	440	900	+2,3	+0,4	+2,7	11	$i''_c = \frac{700}{900} \frac{440}{850} = 0,4;$
19	1400	-3,3	700	500	1400	-3,3	+0,4	-2,9	12	
20	600	-6,7	—	—	600	-6,7	—	-6,7	13	$i''_c = \frac{700}{1400} \frac{500}{700} = 0,4;$

										$i'_c = \frac{-1000 \cdot 10,5 - 1300 \cdot 11,8 - 1400 \cdot 10,0}{3700} = \frac{-39\,900}{3700} = -10,8$
21	1000	-10,5	—	—	3700	-10,8	+0,2	-10,6	14	$\left\{ \begin{aligned} s_{21} &= 1000 < \frac{2000}{0,3} = 6667; \quad s_{22} = 1300 < \frac{2000}{1,0} = 2000; \\ s_{23} &= 1400 < \frac{2000}{0,8} = 2500; \quad i''_c = \frac{700}{3700} \left(\frac{180}{900} + \frac{700}{700} \right) = 0,2 \end{aligned} \right.$
22	1300	-11,8	900	180						
23	1400	-10,0	700	700						
24	1300	-7,5	850	500	2900	-8,0	+0,2	-7,8	15	$\left\{ \begin{aligned} s_{24} &= 1300 < \frac{2000}{0,5} = 4000; \quad s_{25} = 600 < \frac{2000}{1,0} = 2000; \\ s_{26} &= 1000 < \frac{2000}{0} = \infty; \quad i''_c = \frac{700}{2900} \frac{500}{850} = 0,2 \end{aligned} \right.$
25	600	-9,0	—	—						
26	1000	-8,0	—	—						
27	1500	-2,5	—	—	1500	-2,5	—	-2,5	16)	
28	1200	0	—	—						

Станция С, входная стрелка — 800 м

Таблица 5.6. Расчет удельных ускоряющих и замедляющих сил (к примеру 3)

v , км/ч	F_K , кгс	w'_0 , кгс/т	Pw'_0 , кгс	w''_0 , кгс/т	Qw''_0 , кгс	W_0 , кгс	$F_K - W_0$, кгс	$f_K - w_0$, кгс/т	w'_x , кгс/т	Pw'_x , кгс	W_{0x} , кгс	w_{0x} , кгс/т	$\Phi_{кр}$	$1000 \Phi_{кр}$	ϕ_p	b_T , кгс/т	$0,5b_T$, кгс/т	$0,5b_T + w_{0x}$, кгс/т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	60 700	1,90	350	1,16	3 944	4 294	56 756	15,8	2,40	442	4 386	1,22	0,270	270	0,33	89,10	44,55	45,77
10,0	51 000	2,03	374	1,23	4 182	4 556	46 444	13,0	2,55	469	4 651	1,30	0,198	198	0,33	65,34	32,67	33,97
20,0	49 000	2,22	408	1,33	4 522	4 930	44 070	12,3	2,76	508	5 030	1,40	0,162	162	0,33	53,46	26,73	28,13
30,0	48 100	2,47	454	1,46	4 964	5 418	42 682	11,9	3,05	561	5 525	1,54	0,140	140	0,33	46,20	23,10	24,64
39,7	47 600	2,77	510	1,61	5 474	5 984	41 616	11,6	3,39	624	6 098	1,70	0,126	126	0,33	41,58	20,79	22,49
43,3	46 500	2,90	534	1,67	5 678	6 212	40 288	11,3	3,53	650	6 328	1,77	0,122	122	0,33	40,26	20,13	21,90
48,3	42 200	3,09	569	1,77	6 018	6 587	35 613	9,9	3,75	690	6 708	1,87	0,117	117	0,33	38,61	19,31	21,18
53,2	38 400	3,29	605	1,87	6 358	6 963	31 437	8,8	3,98	732	7 090	1,98	0,113	113	0,33	37,29	18,65	20,63
55,0	34 200	3,37	620	1,91	6 494	7 114	27 086	7,6	4,06	747	7 241	2,02	0,112	112	0,33	36,83	18,42	20,43
60,0	25 300	3,58	659	2,01	6 834	7 493	17 807	5,0	4,32	795	7 629	2,13	0,108	108	0,33	35,64	17,82	19,95
70,0	16 000	4,07	749	2,26	7 684	8 430	7 567	2,1	4,89	900	8 584	2,40	0,102	102	0,33	33,66	16,83	19,33
80,0	11 400	4,62	850	2,53	8 602	9 452	1 948	0,5	5,52	1016	9 618	2,68	0,097	97	0,33	32,01	16,00	18,68
90,0	8 800	5,23	962	2,82	9 588	10 550	-1 750	-0,5	6,23	1146	10 734	2,99	0,093	93	0,33	30,69	15,35	18,34
100,0	6 800	5,90	1086	3,16	10 744	11 830	-5 030	-1,4	7,0	1288	12 032	3,36	0,090	90	0,33	29,70	14,85	18,21

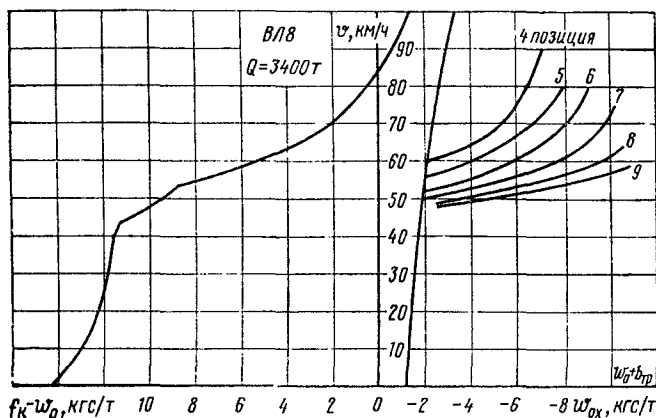


Рис. 5.5. Диаграмма удельных ускоряющих и удельных замедляющих сил электровоза ВЛ8 при следовании под током, на выбеге и рекуперативном торможении (к примеру 3)

нии приведены в табл. 5.7, заполнение граф которой производят следующим образом: в графе 1 указывают тормозные позиции контроллера. Рекуперативное торможение на спуске применяют, как правило, в зоне скоростей 50—80 км/ч. Поэтому для заданного электровоза ВЛ8 замедляющие силы принимают на 4—9 тормозных позициях параллельного соединения

В графе 2 приведены скорости движения для позиций, в графе 3 — соответствующее скоростям сопротивление движению поезда: $W_0 = w_0' P + w_0'' Q$ (движение электровоза под током), принимаемое

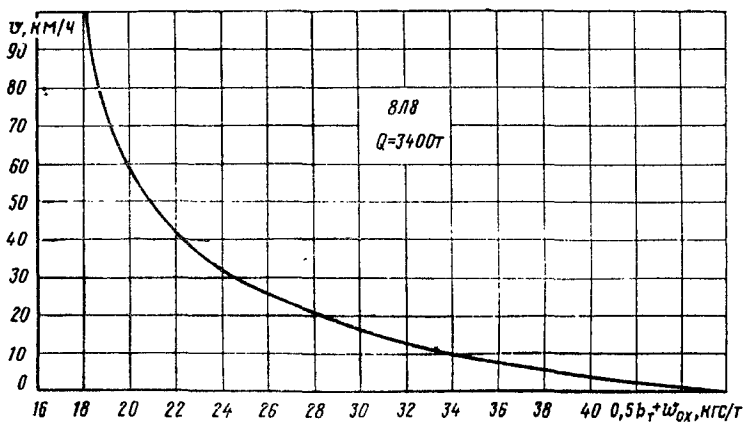


Рис. 5.6. Диаграмма удельных замедляющих сил электровоза ВЛ8 для служебного торможения (к примеру 3)

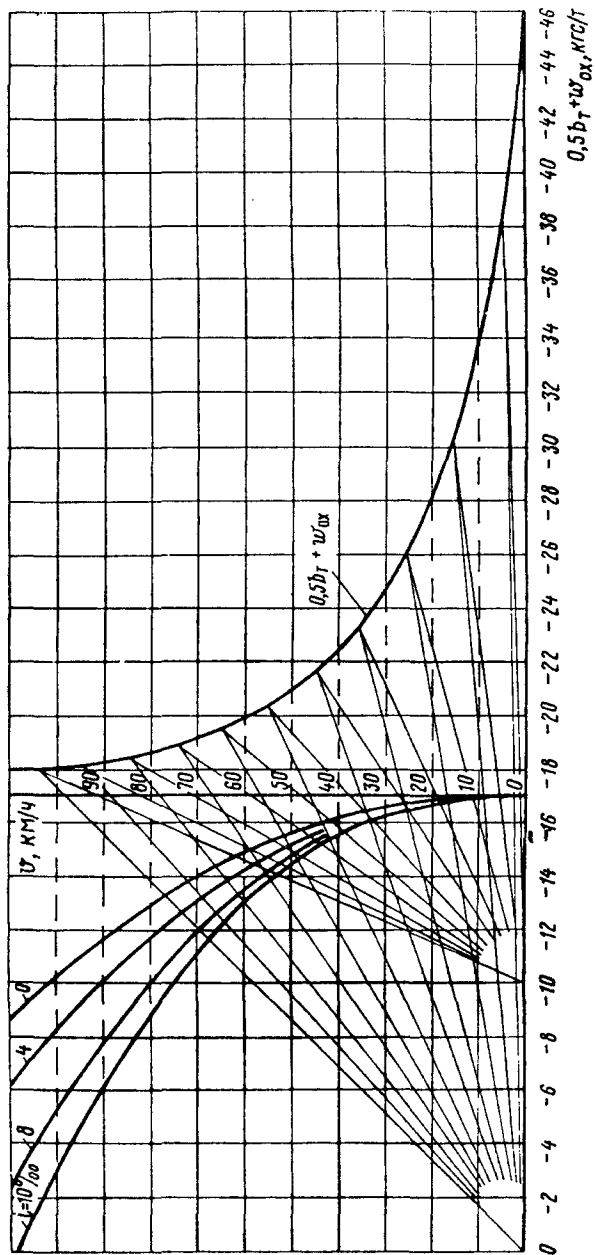


Рис. 5.7. Вспомогательные кривые $v(s)$ при служебном торможении грузового поезда для спусков различной крутизны

Т а б л и ц а 5.7. Расчет удельных замедляющих сил электровоза ВЛ8 при рекуперативном торможении (к примеру 3)

Тормозная позиция контроллера	v , км/ч	W_0 , кгс	B_{TP} , кгс	$W_0 + B_{TP}$, кгс	$w_0 + b_{TP}$, кгс/т
1	2	3	4	5	6
4	60	7 490	0	7 490	2,09
	65	7 950	7 000	14 950	4,17
	70	8 430	10 800	19 230	5,37
	75	8 940	12 800	21 740	6,06
	80	9 450	13 800	23 250	6,48
	90	10 550	14 500	25 050	6,99
5	56	7 170	0	7 170	2,00
	60	7 490	7 200	14 690	4,10
	65	7 950	12 500	20 450	5,71
	70	8 430	15 400	23 830	6,65
	75	8 940	17 400	26 340	7,35
	80	9 450	18 800	28 250	7,88
6	52	6 880	0	6 880	1,92
	55	7 120	6 000	13 120	3,67
	60	7 490	13 000	20 490	5,72
	65	7 950	18 000	25 950	7,23
	70	8 430	21 000	29 430	7,93
	75	8 940	22 300	31 240	8,71
	80	9 450	23 000	32 450	9,05
7	50	6 700	400	7 100	1,98
	55	7 120	12 200	19 320	5,39
	60	7 490	19 800	27 290	7,61
	65	7 950	24 700	32 650	9,10
	70	8 430	26 800	35 230	9,83
	75	8 940	27 600	36 540	10,20
8	49	6 620	2 100	8 720	2,43
	55	7 120	18 000	25 120	7,02
	60	7 490	26 500	33 990	9,48
	64	7 820	30 000	37 820	10,55
9	48	6 590	2 900	9 490	2,63
	50	6 700	9 000	15 700	4,38
	55	7 120	24 000	31 120	8,68
	59	7 380	31 500	38 880	10,85

по графе 7 табл. 5.6, для отсутствующих значений применяют интерполяцию. В графе 4 табл. 5.7 записывают значения тормозных сил $B_{тр}$ на соответствующих позициях, которые выбирают по тормозным характеристикам ВЛ8. В графе 5 подсчитаны значения замедляющих сил $W_0 + B_{тр}$, а в графе 6 — значения удельных замедляющих сил, определяемых как $w_0 + b_{тр} = (W_0 + B_{тр})/(P + Q)$. Например, при $v = 70$ км/ч на пятой позиции тормозной рукоятки контроллера машиниста тормозная сила электровоза при рекуперативном торможении определится как $B_{тр} = 15\,400$ кгс, а сопротивление движению поезда (графа 7 табл. 5.6) $W_0 = 8430$ кгс. Тогда замедляющая сила $W_0 + B_{тр} = 8430 + 15\,400 = 23\,830$ кгс, а удельная замедляющая сила $w_0 + b_{тр} = \frac{23\,830}{184 + 3400} = 6,65$ кгс/т.

Диаграмма удельных замедляющих сил при рекуперативном торможении для данного примера приведена на рис. 5.5. Диаграмму удельных ускоряющих и замедляющих сил наносят в масштабе, соответствующем выбранному масштабу пути, на отдельном листе миллиметровой бумаги с таким расчетом, чтобы под ним мог свободно перемещаться развернутый рулон с профилем участка. Так же отдельно имеются готовые кривые $v(s)$ при служебном торможении на различных уклонах, взятые по рис. 5.7.

В. Построение кривой скорости $v(s)$ и времени хода $t(s)$ (рис. 5.8) для заданного участка $A - C$ производят графическим методом МПС в одном из масштабов, рекомендованных в табл. 5.4. Задавая приращение скорости Δv , определяют среднюю скорость $v_{ср}$ и проводят отрезок кривой скорости для того элемента, по которому движется с данной скоростью поезд.

Кривые $v(s)$ и $t(s)$ построены в двух вариантах:

1) для следования поезда без остановок по всему участку от станции A до станции C ;

2) для следования поезда с остановками по всем раздельным пунктам.

При остановках учитывались прием поезда на боковые пути и ограничение скорости по станционным (главным и боковым) путям от входной до выходной стрелок.

На кривой $v(s)$ сделаны отметки о соединении электродвигателей ($C, СП, П$), включении и снятии позиций ослабления возбуждения ($ОП1, ОП2$ и т. д.), отключении тока (O), включении рекуперативного торможения на соответствующей позиции ($4тр, 5тр$ и т. д.), отключении рекуперации ($РО$), включении и отключении воздушных тормозов ($ТД$ и $ТО$), производстве пробы тормозов на эффективность действия ($ПТ$).

Пневматические тормоза перед остановкой применяют с таким расчетом, чтобы поезд остановился на станции. Для этого построение начинают от оси раздельного пункта в обратном порядке от $v = 0$ до пересечения кривой торможения с кривой движения на выбеге, что и является точкой начала торможения. Кривая времени построена также по методу МПС с использованием вспомогательного отрезка Δ , выбранного в масштабе, соответствующем масштабам пути и скорости. Кривую времени обрывают частями по 5 мин для уменьшения размеров чертежа по вертикали и на каждом раздельном пункте — в целях получения итогов по каждому перегону.

Расчетное время хода, разгона и замедления указано на рис. 5.8 у оси раздельных пунктов. Для графика движения принимают времена с округлением до целых минут. Расчетные и принятые времена хода представляют в расчетной ведомости перегонных вре-

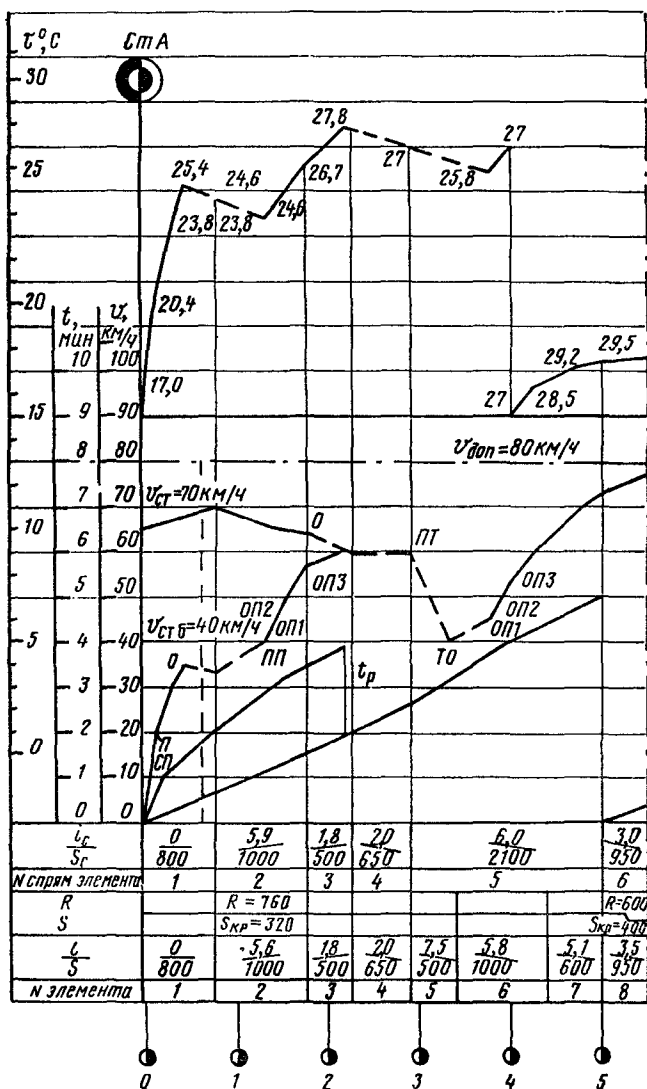


Рис. 58 (1). Построение кривых скорости $v(s)$, времени $t(s)$ и температуры перегрева $t(s)$ для участка А—С (к примеру 3)

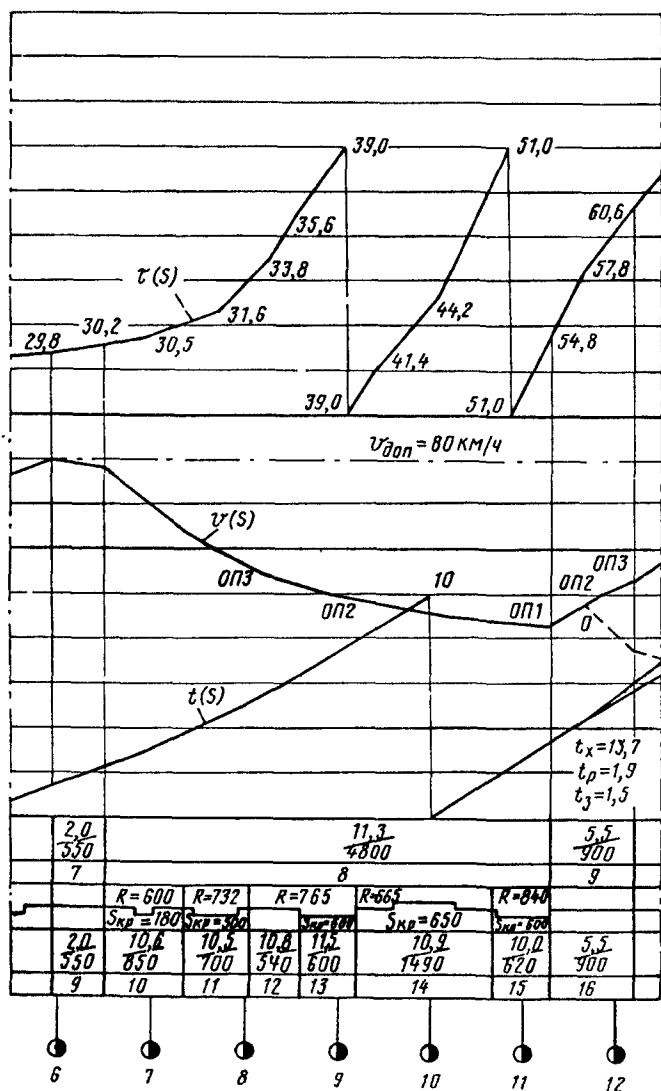


Рис. 5.8 (2). Построение кривых скорости $v(s)$, времени $t(s)$ и температуры перегрева $\tau(s)$ для участка А—С (к примеру 3)

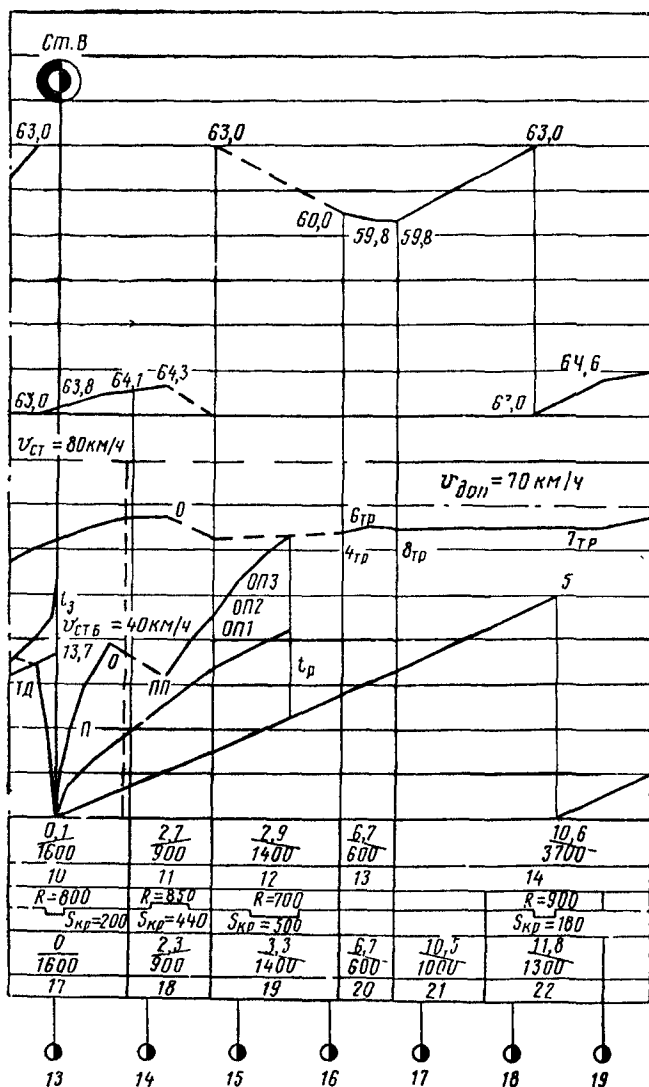


Рис. 5.8 (3). Построение кривых скорости $v(s)$, времени $t(s)$ и температуры перегрева $\tau(s)$ для участка А—С (к примеру 3)

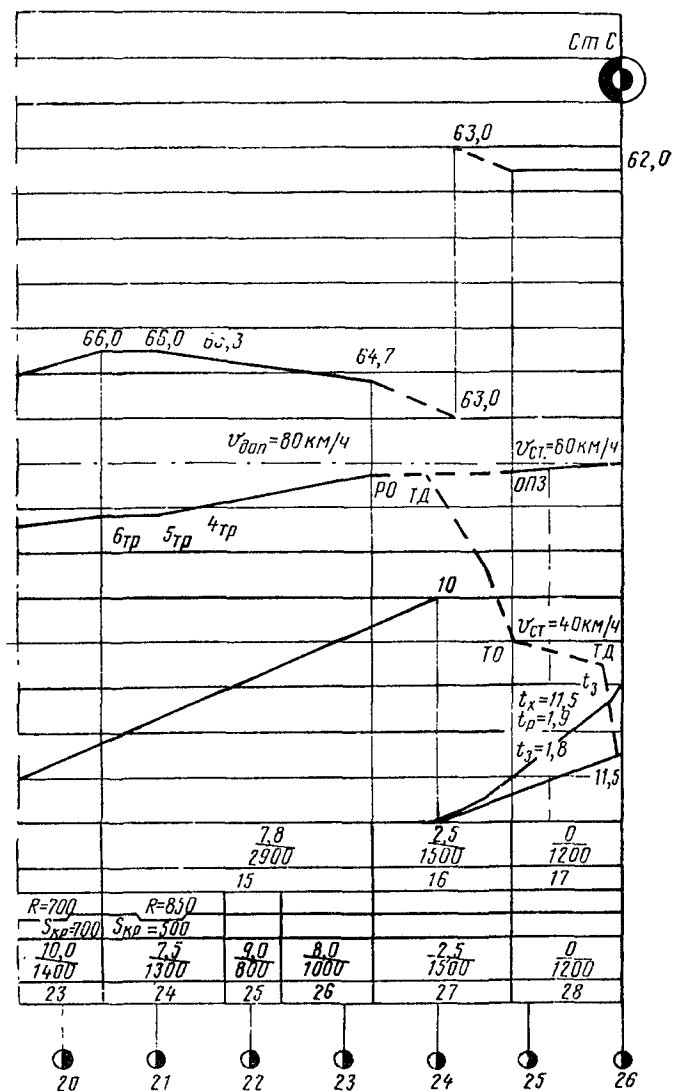


Рис. 5.8 (4). Построение кривых скорости $v(s)$, времени $t(s)$ и температуры перегрева $\tau(s)$ для участка А—С (к примеру 3)

Таблица 5.8. Ведомость перегонных времен хода (к примеру 3)

Расстояние, км		Время хода (без времени на разгон и замедление), мин		Время на разгон/замедление	Допустимая скорость, км/ч		Раздельные пункты
общее	между раздельными пунктами	расчетное	принятое по новому графику		по станционным/главным/боковым путям	на перегонах	
0	—	13,7	14	2/1	70/40	80	А
13,05	13,05	11,5	12	2/2	80/40	80	В
26,05	13,00	—	—	—	80/40	—	С
Итого		25,2	26,0				

мен хода (табл. 5.8). Расчетные времена хода должны быть проверены в опытных поездках с динамометрическим вагоном или без него. Результаты опытных поездок, учитывающих местные условия, представляют также в расчетной ведомости. Кроме кривых $v(s)$ и $t(s)$, на рис. 5.8 приведена кривая температуры перегрева $\tau(s)$, построенная графическим методом, предложенным инж. А. И. Матвеевко.

5.7. Расчет нагревания электрических машин

Все расчеты на нагревание тяговых электродвигателей и тягового генератора производят путем определения превышения температуры (перегрева) лимитирующих обмоток над температурой наружного воздуха. Перегрев обмоток тяговых электродвигателей определяют аналитически по формулам и зависимостям, приведенным в ЦТР, либо графически по методу А. И. Матвеевко. Согласно этому методу температура перегрева электрических машин определяется путем графического построения кривой $\tau(s)$ по рассчитанным заранее диаграммам тепловых коэффициентов $\frac{vT}{60}$ (τ_{∞}) и характери-

кам локомотивов — аналогично построению кривой времени $t(s)$, т. е. с помощью линейки и угольника по кривой $v(s)$. При этом значительно ускоряется определение температуры перегрева и обеспечивается наглядность результатов расчета.

Построение кривой $\tau(s)$ ведут на рабочем рулоне тягового расчета с использованием имеющейся кривой $v(s)$ и диаграммы тепловых коэффициентов.

Рассмотрим построение диаграммы тепловых коэффициентов на примере, заполнив расчетную табл. 5.9 соответствующими данными для электровоза ВЛ22М.

Порядок заполнения табл. 5.9 следующий: графы 1, 2, 3 заполняют данными тепловых параметров из таблиц, имеющих при тепловых характеристиках тяговых электродвигателей и главных генераторов; графы 4, 5, 6 — значениями скоростей, приведенных в

Т а б л и ц а 5.9. Расчетные данные для построения кривой $\frac{vT}{60}(\tau_{\infty})$
(электровоз ВЛ22М)

J	τ_{∞}	T	v			vT/60		
			ПП	ОП1	ОП2	ПП	ОП1	ОП2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
75	44	34	80	—	—	45,3	—	—
100	49	34	67,6	—	—	38,3	—	—
150	66	34	52,5	64,3	80	29,8	36,4	45,3
200	90	34	46,3	54,2	64,1	26,2	30,7	36,3
250	124	34	42,2	49,3	56,6	23,9	27,9	32,1
300	166	34	37,3	43,5	49,5	21,1	24,6	28,1
400	277	34	35,5	41,5	47,0	20,1	23,5	26,6
450	430	34	33,7	39,5	44,8	19,1	22,4	25,4

таблицах электромеханических характеристик тяговых двигателей для силы токов, указанных в графе 1; в графах 7, 8, 9 записаны значения параметра $vT/60$, полученные путем умножения значений T из графы 3 на соответствующие скорости из граф 4, 5, 6 и деления результата на 60. По значениям $vT/60$ и τ_{∞} для каждой степени ослабления возбуждения параллельного соединения тяговых двигателей строят кривые на миллиметровой бумаге. Затем на них наносят соответствующие значения скорости v , для чего используют вспомогательную кривую $v(\tau_{\infty})$. Построив эту кривую и пользуясь временной ее шкалой (например, 10 мм в 1 км/ч), производят порядком, указанным на рис. 5.9, перенос целых значений скорости через каждый 1 км/ч с временной шкалы на кривую $vT/60$. Однако если значения $vT/60$ определены через 1 км/ч, как это сделано в прилагаемых ниже таблицах для основных серий локомотивов, то построения вспомогательной кривой не требуется, а на ординатах кривых $vT/60$ ставят

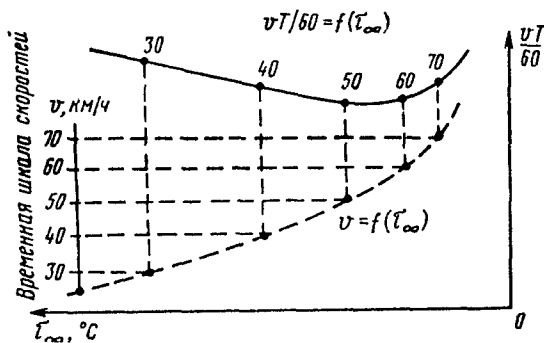


Рис. 5.9. Перенос значений скорости на кривую $vT/60$

засечки и соответствующие цифры скорости, для которых они подсчитаны.

Построение кривой температуры перегрева электрических машин при следовании под током выполняют в следующем порядке (рис. 5.10, а). Прикладывают линейку к двум точкам: одна из них (А) находится на кривой $vT/60 = f(\tau_{\infty})$ и соответствует среднему значению скорости, в пределах которой ведут графическое построение кривой температуры, а вторая (В) — на оси абсцисс и соответствует начальной температуре. К линейке прикладывают угольник и из точки А, соответствующей начальной температуре, проводят прямую линию. Точка В в конце рассчитываемого элемента будет соответствовать конечной температуре на данном элементе и начальной температуре на следующем.

Для режима выбега или автоматического торможения параметр T имеет постоянное значение, а τ_{∞} равна нулю. Поэтому значения $vT/60$ представляют собой прямолинейную шкалу на оси ординат при нулевом значении оси абсцисс (начало координат). Так, например, для электровоза ВЛ8 значение $T_0 = 27,8$; тогда для $v = 10$ км/ч отношение $vT/60 = 10 \cdot 27,8 / 60 = 4,6$, а для $v = 20$ км/ч $vT/60 = 20 \cdot 27,8 / 60 = 9,2$ и т. д.

Рассмотрим порядок построения кривой $\tau(s)$ для режима выбега и торможения автоматическими тормозами, показанный на рис. 5.10.

Для построения кривой $\tau(s)$ линейку прикладывают к точке А, находящейся на шкале $vT_0/60$ и соответствующей значению $v_{ср}$, и к точке В, расположенной на оси τ_{∞} и соответствующей начальной температуре на рассчитываемом участке. Дальнейшее построение кривой температуры выполняют аналогично построению для режима тяги.

Трогание и разгон поезда, как правило, производят при максимально допустимом токе тягового электродвигателя; этот ток будет постоянным до выхода на автоматическую характеристику. Так как здесь T имеет постоянное значение, соответствующее пусковому (максимальному) току, то значения $vT/60$, как и при режиме выбега, будут представлять собой прямолинейную шкалу на оси ординат. Построение этой шкалы выполняют из точки на оси абсцисс, значение которой выбирают для пускового тока каждой серии локомотива. Так, для электровоза ВЛ8 пусковой ток $J_n = 510$ А. При этом ток $T = 59,6$. Разбивку шкалы производят по следующим точкам: для скорости $v = 10$ км/ч значение $vT/60 = 10 \cdot 59,6 / 60 = 9,9$; при $v = 20$ км/ч значение vT в два раза больше и т. д.

Построение кривой на разгоне представлено на рис. 5.10, в, и его производят обычным порядком. Точка А находится на шкале $vT/60$, а точка В — на оси абсцисс. Расчет будет тем точнее, чем меньше принятый интервал изменения скорости. Отрезки кривой температуры следует сопрягать в тех местах, где имеются переломы кривой скорости. Данные для построения кривых $vT/60$, τ_{∞} приведены в табл. 5.10—5.16.

Диаграммы тепловых коэффициентов к примеру 6 при следовании электровоза ВЛ8 под током, на выбеге и разгоне представлены на рис. 5.11, а при рекуперативном торможении — на рис. 5.12.

Для правильности графического расчета следует выбирать масштабы построения диаграмм тепловых коэффициентов и кривой температур в соответствии с ранее выбранным масштабом пути. В зависимости от наиболее часто применяемых в тяговых расчетах масшта-

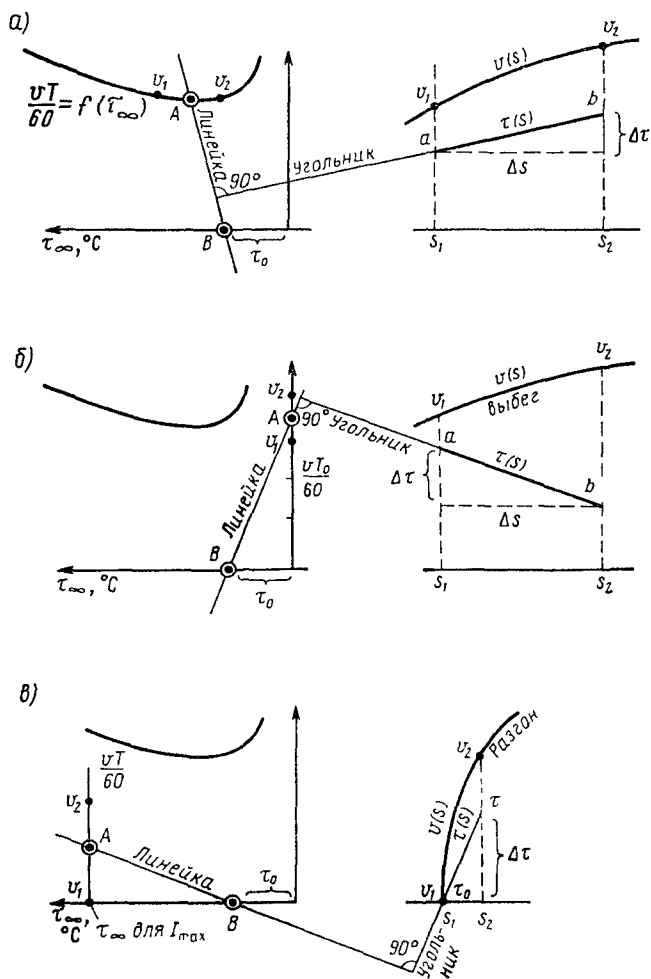


Рис. 5.10. Построение кривой температур $\tau(s)$ при следовании:

а — под током; б — на выбеге; в — при разгоне

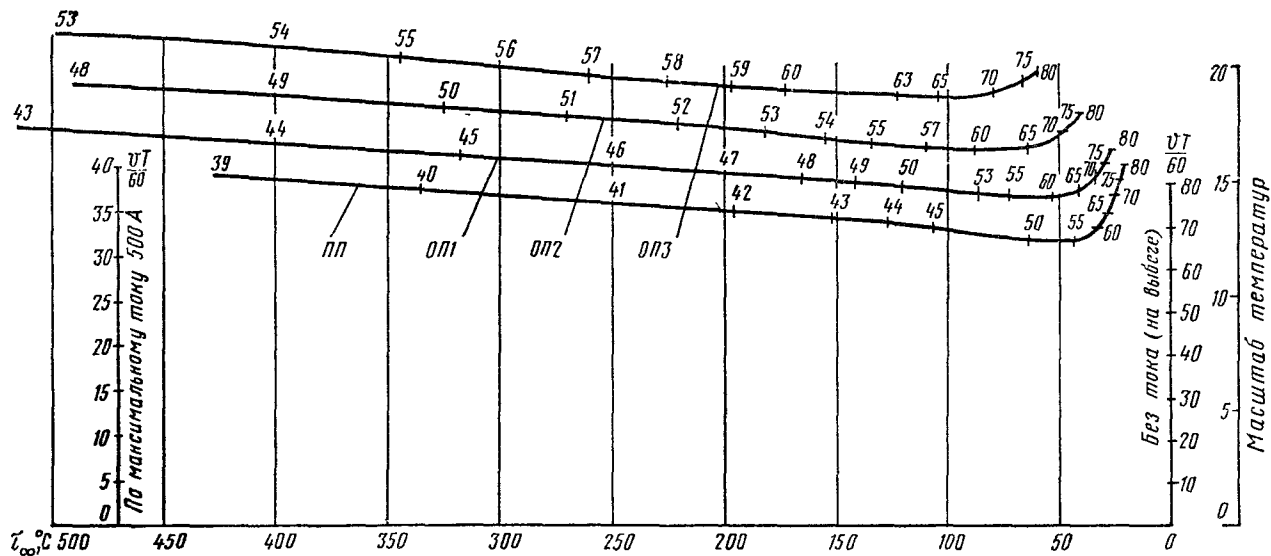


Рис. 5.11. Диаграмма тепловых коэффициентов электровоза ВЛ8 при следовании под током, на выбеге и при разгоне

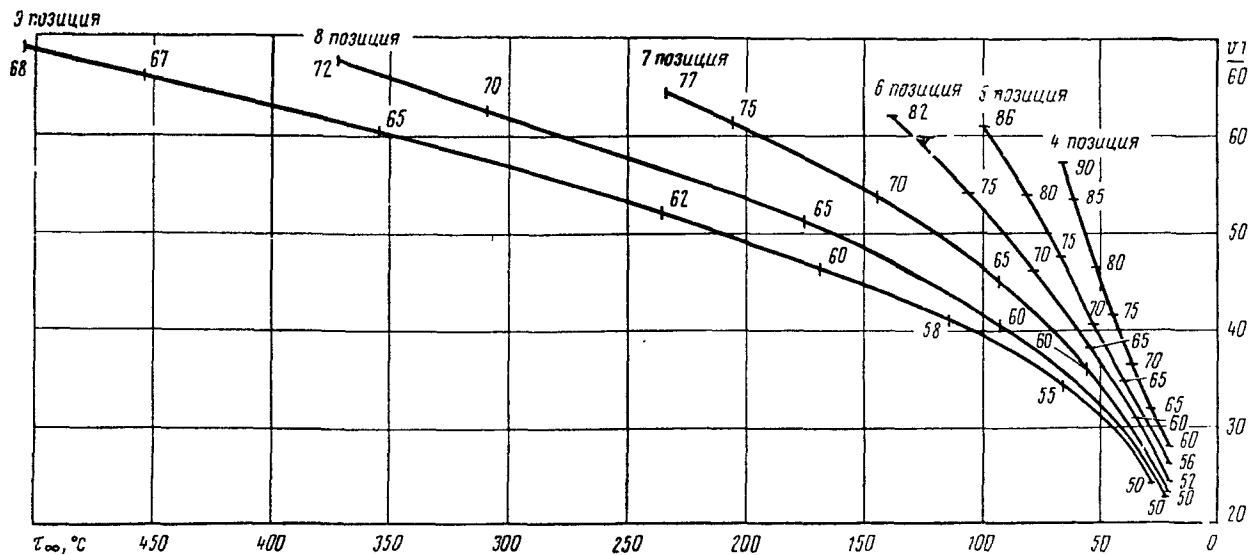


Рис. 5.12. Диаграмма тепловых коэффициентов электровоза ВЛ8 при рекуперативном торможении

Т а б л и ц а 5.10. Тепловые коэффициенты $\nu T/60$ при разгоне

Локомотивы серий	J_d	τ_∞	T	ν , км/ч			
				10	20	30	40
ВЛ23, ВЛ8	500	430	58,5	9,75	19,5	29,2	39,0
ВЛ60 ^к	800	383	26,0	4,3	8,7	13,0	17,3
ВЛ80 ^к	1400	472	23,0	3,8	7,7	11,5	15,3
ТЭ3	3200	204	67,2	11,2	22,4	—	—
ТЭ10	1000	260	47,8	8,0	15,9	23,9	—

бов пути рекомендуются масштабы температур и тепловых коэффициентов, приведенные в табл. 5.17.

Между масштабами кривой температуры и масштабами диаграмм должно соблюдаться следующее соотношение:

$$\text{масштаб } s / \text{масштаб } \tau = \text{масштаб } \nu T/60 / \text{масштаб } \tau_\infty.$$

Например, для первой строчки рекомендуемых масштабов это правило выполняется следующим образом.

$$40/5 = 8/1.$$

Как уже указывалось, графическое построение кривой температуры производят на рулоне тяговых расчетов. По мере построения кривой температуры кривую тепловых коэффициентов постепенно перемещают вдоль рулона, на котором вычерчена кривая скорости, и обязательно следя за тем, чтобы совпадали оси абсцисс.

Как видно из рис. 5.8, кривую температур удобнее периодически обрывать (так же как и кривую времени) через определенные интервалы. Продолжение ее переносят на нулевую линию рулона. Начало построения кривой температур сделано в соответствии с ПТР с 15°С. Точка начальной температуры расположена не на оси абсцисс, а выше, с расчетом, чтобы не затемнять кривые скорости и времени. В итоге проведенного расчета температура перегрева тяговых двигателей электровоза ВЛ8 с поездом массой 3400 т на участке А — С составила 62°С.

Т а б л и ц а 5.11. Тепловые коэффициенты $\nu T/60$ на выбеге

Локомотивы серий	T_0	ν , км/ч							
		10	20	30	40	50	60	70	80
ВЛ23, ВЛ8	27,8	4,6	9,2	13,9	18,5	23,2	27,8	32,4	37,1
ВЛ60 ^к	26,0	4,3	8,7	13,0	17,3	21,6	26,0	30,3	34,7
ВЛ80 ^к	23,0	3,8	7,7	11,5	15,3	19,1	23,0	26,8	30,6
ТЭ3	38,0	6,3	12,7	19,0	25,4	31,7	38,0	44,3	50,7
ТЭ10	25,0	4,2	8,3	12,5	16,7	20,8	25,0	29,2	33,4

**Т а б л и ц а 5.12. Тепловые коэффициенты $\nu T/60$
для электровозов ВЛ23 и ВЛ8 при следовании под током**

ν	τ_{∞}	$\nu T/60$	ν	τ_{∞}	$\nu T/60$	ν	τ_{∞}	$\nu T/60$
<i>ПП</i>			<i>ОП1</i>			<i>ОП2</i>		
37	750	41,6	41	850	47,8	46	890	53,2
38	570	39,9	42	660	45,5	47	613	50,0
39	427	38,2	43	515	43,5	48	490	48,1
40	335	36,8	44	400	41,6	49	400	46,7
41	252	35,6	45	318	40,3	50	325	45,5
42	196	34,6	46	252	39,2	51	270	44,6
43	152	33,8	47	200	38,4	52	220	43,6
44	127	33,2	48	166	37,9	53	182	43,0
45	107	32,6	49	142	36,9	54	155	42,2
46	95	32,3	50	121	36,9	55	135	41,8
47	85	31,8	51	107	36,7	56	120	41,5
48	76	31,7	52	96	36,4	57	110	41,3
49	70	31,5	53	86	36,3	58	102	41,1
50	64	31,3	54	79	36,2	59	94	41,1
51	59	31,2	55	73	36,2	60	88	41,1
52	55	31,1	56	68	36,0	61	83	41,1
53	51	31,1	57	63	36,0	62	78	41,1
54	47	31,1	58	59	35,9	63	73	41,1
55	44	31,1	59	56	35,9	64	69	41,3
56	42	31,2	60	53	36,0	65	65	41,3
57	40	31,4	61	51	36,0	66	62	41,5
58	38	31,5	62	49	36,2	67	60	41,7
59	35	31,7	63	47	36,3	68	57	48,8
60	33	32,1	64	45	36,4	69	55	42,0
61	32	32,4	65	42	36,5	70	53	42,2
62	31,5	32,8	66	40	36,7	72,5	49	42,7
63	31	33,2	67	39	36,9	75	46	43,5
64	30	33,5	68	37	37,1	77,5	44	44,2
65	29	33,8	69	36	37,4	80	42	45,0
66	28	34,2	70	35	37,6	85	37	46,7
67	27	34,6	72,5	32,5	28,4	90	34	48,5
68	26,5	35,0	75	30	39,4	95	32	50,3
69	26	35,5	77,5	28,5	40,3	100	30	51,9
70	25	35,8	80	27	41,3			
72,5	24	36,8	85	25	43,2			
<i>ОП3</i>								
75	23	37,6	90	24,5	45,5	51	770	57,8
77,5	22,5	38,6	95	24,5	47,8	52	613	55,5
80	22	39,5	100	24	50,0	53	495	53,5
						54	400	52,1
						55	345	51,0
						56	300	50,0
						57	260	49,0
						58	225	48,5

Т а б л и ц а 5.13. Тепловые коэффициенты $vT/60$ при рекуперативном торможении для электровоза ВЛ8 при $\mu=3,90$

v	1-я позиция		2-я позиция		3-я позиция		4-я позиция		5-я позиция		6-я позиция		7-я позиция		8-я позиция	
	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	23,3	22	23,8
51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	24,2	24	24,9
52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	24,1	23	25,1	26	26,0
53	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	24,8	24	26,2	29	27,4
54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	25,6	26	27,2	33	28,9
55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23	26,4	29	28,5	40	30,5
56	—	—	—	—	—	—	—	—	20	26,0	24	27,2	33	29,8	48	32,2
57	—	—	—	—	—	—	—	—	21	26,7	25	28,1	38	31,2	57	34,2
58	—	—	—	—	—	—	—	—	22	27,4	27	29,2	43	32,7	67	36,2
59	—	—	—	—	—	—	—	—	24	28,2	29	30,2	49	34,4	79	38,0
60	—	—	—	—	—	—	20	27,6	26	29,1	33	31,4	55	36,0	92	40,2
61	—	—	—	—	—	—	21	28,4	29	30,0	37	32,7	62	37,6	105	42,2
62	—	—	—	—	—	—	22	29,3	31	31,1	42	34,0	69	39,4	120	44,5
63	—	—	—	—	—	—	24	30,2	33	32,2	46	35,5	77	41,3	137	46,7
64	—	—	—	—	20	29,8	26	31,0	36	33,4	50	36,9	85	43,1	154	49,0
65	—	—	—	—	21	30,6	28	31,8	39	34,6	55	38,3	93	45,0	174	51,3

v	1-я позиция		2-я позиция		3-я позиция		4-я позиция		5-я позиция		6-я позиция		7-я позиция		8-я позиция	
	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
66	—	—	—	—	22	31,1	29	32,8	41	35,9	59	39,8	102	47,0	196	53,8
67	—	—	—	—	23	31,8	31	33,8	43	37,1	64	41,5	112	48,8	220	56,2
68	—	—	—	—	24	32,5	33	34,8	46	38,4	69	42,9	122	50,5	248	58,5
69	—	—	20	32,1	25	33,3	34	35,6	49	39,5	74	44,7	132	52,1	279	60,5
70	—	—	20	32,6	25	33,9	36	36,5	52	41,0	79	46,1	143	53,8	309	62,5
71	—	—	20	33,2	26	34,8	38	37,4	55	42,3	84	47,8	154	55,6	340	65,0
72	—	—	20	33,7	26	35,5	39	38,6	57	43,7	89	49,3	166	57,1	372	67,6
73	—	—	21	34,3	27	36,2	41	39,5	60	45,2	94	50,8	178	58,5	—	—
74	—	—	21	35,0	27	37,1	42	40,7	63	46,5	99	52,7	192	60,0	—	—
75	—	—	21	35,6	28	37,9	44	41,7	65	47,8	104	54,0	205	61,4	—	—
76	20	35,2	21	36,2	29	38,6	46	42,7	69	49,0	109	55,5	220	62,8	—	—
77	20	35,8	22	36,9	30	39,5	47	43,6	72	50,2	114	56,8	234	64,2	—	—
78	20	36,4	22	37,5	30	40,3	49	44,8	75	51,8	119	58,2	—	—	—	—
80	21	37,5	23	38,8	31	41,8	52	46,9	80	54,0	129	60,3	—	—	—	—
82	21	38,6	23	40,2	32	43,5	55	49,0	85	56,5	139	62,2	—	—	—	—
84	22	39,8	24	41,5	33	44,8	58	51,1	93	58,8	—	—	—	—	—	—
86	22	41,0	24	42,7	34	46,5	60	53,2	99	61,0	—	—	—	—	—	—
88	23	42,2	25	44,0	36	47,8	63	55,3	—	—	—	—	—	—	—	—
90	23	43,5	26	45,2	37	49,3	66	57,2	—	—	—	—	—	—	—	—

v	9-я позиция		10-я позиция		11-позиция		12-я позиция		13-я позиция		14-я позиция		15-я позиция	
	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$	τ_{∞}	$vT/60$
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
44,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	20,4
44,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	20,6	—	—
45,0	—	—	—	—	—	—	20	20,9	21	21,0	22	21,2	25	21,7
45,5	—	—	—	—	20	21,1	—	—	—	—	—	—	—	—
46,0	—	—	20	21,3	21	21,5	23	21,8	26	22,2	32	23,8	40	25,0
47	—	—	21	22,0	24	22,7	28	23,5	38	25,2	50	27,3	65	29,0
48	—	—	23	22,8	30	24,4	41	26,4	56	28,8	79	31,5	103	34,0
49	—	—	28	24,3	41	26,9	59	29,8	85	31,1	104	34,8	200	39,8
50	26	24,7	36	26,5	52	29,4	78	33,0	125	36,9	220	41,3	354	46,7
51	30	26,2	45	29,0	71	32,7	110	36,6	200	41,7	350	46,3	590	53,5
52	36	27,8	55	31,5	90	35,7	150	40,0	310	46,3	510	52,1	876	62,2
53	45	29,8	69	34,4	122	39,4	225	43,9	430	51,1	670	58,2	—	—
54	55	32,1	88	37,0	175	42,6	305	47,8	575	56,3	850	64,5	—	—
55	65	34,4	108	39,8	230	46,1	395	51,5	710	61,0	—	—	—	—
56	78	36,5	136	42,8	300	49,5	495	55,9	—	—	—	—	—	—
57	94	39,0	178	45,5	380	52,9	620	60,3	—	—	—	—	—	—
58	114	41,3	225	48,3	470	56,5	750	65,0	—	—	—	—	—	—
59	140	44,0	275	51,3	560	61,0	—	—	—	—	—	—	—	—
60	168	46,7	340	54,7	665	65,4	—	—	—	—	—	—	—	—
61	202	49,5	410	58,2	750	69,5	—	—	—	—	—	—	—	—
62	236	51,8	480	61,8	835	73,0	—	—	—	—	—	—	—	—
63	270	54,4	550	65,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
64	312	57,1	630	69,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
65	355	60,3	720	73,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
66	405	62,9	820	77,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
67	455	65,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
68	505	69,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
69	560	72,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Т а б л и ц а 5.14. Тепловые коэффициенты $\nu T/60$
для электровоза ВЛ60^к на 33-й позиции контроллера
(тяговый двигатель НБ-412К)**

ν	$\nu T/60$	τ_{∞}			ν	$\nu T/60$	τ_{∞}		
		НП	ОП1	ОП2			НП	ОП1	ОП2
41,1	17,8	383	—	—	56	24,3	109	146	193
42	18,2	344	—	—	58	25,1	99	130	173
43	18,6	292	—	—	60	26,0	91	119	152
44	19,1	258	—	—	62	26,9	83	109	141
45	19,5	227	—	—	64	27,7	76	100	127
45,15	19,6	—	383	—	66	28,6	70	94	118
46	19,9	205	348	—	68	29,5	65	88	110
47	20,4	188	315	—	70	30,3	60	82	105
48	20,8	175	273	383	72	31,2	57	77	99
49	21,2	162	241	352	74	32,1	53	72	94
50	21,7	151	217	324	76	32,9	50	69	90
51	22,1	145	200	288	78	33,8	48	65	85
52	22,5	137	186	260	80	34,7	46	62	82
53	23,0	128	174	239	85	36,8	41	56	73
54	23,4	121	163	220	90	39,0	—	50	65

**Т а б л и ц а 5.15. Тепловые коэффициенты $\nu T/60$
для электровоза ВЛ80^к на 33-й позиции контроллера
(тяговый двигатель НБ-418К)**

ν	$\nu T/60$	τ_{∞}			ν	$\nu T/60$	τ_{∞}		
		НП	ОП1	ОП2			НП	ОП1	ОП2
40,8	15,7	472	—	—	54	20,7	116	161	227
42	16,1	356	—	—	56	21,5	103	141	200
43	16,5	308	—	—	58	22,2	94	127	178
43,8	16,8	—	472	—	60	23,0	85	114	161
44	16,9	270	470	—	62	23,8	78	106	146
45	17,3	242	368	—	65	24,9	68	94	131
46	17,6	221	317	—	68	26,1	61	85	117
47	18,0	201	280	—	70	26,8	57	80	110
48	18,4	183	253	—	72	27,4	54	76	103
48,1	18,4	—	—	472	75	28,8	50	70	95
49	19,8	167	235	395	80	30,7	43	63	84
50	19,2	155	217	336	85	32,6	39	56	75
51	19,6	143	201	300	90	34,5	35	51	68
52	19,9	133	185	267	95	36,4	33	47	63
53	20,3	124	171	245	—	—	—	—	—

Таблица 516 Тепловые коэффициенты $vT/60$ для тепловоза ТЭ10 при следовании под током

v	τ_{∞}	$vT/60$	v	τ_{∞}	$vT/60$	v	τ_{∞}	$vT/60$
СП			ОП1			ОП2		
11	396	9,9	30	137	16,7	50	122	26,4
12	339	10,2	31	138	16,9	51	118	26,6
13	306	10,5	32	128	17,2	52	114	26,8
14	280	10,8	33	123	17,5	53	112	27,1
15	254	11,1	34	118	17,8	54	110	27,4
16	232	11,3	35	114	18,1	55	107	27,7
17	212	11,5	36	111	18,3	56	105	28,0
18	196	11,8	37	108	18,6	57	104	28,3
19	181	11,9	38	104	18,9	58	102	28,6
20	168	12,2	39	101	19,3	59	99	28,9
21	156	12,3	40	99	19,5	60	98	29,3
22	146	12,6	41	97	19,8	61	97	29,7
23	137	12,8	42	95	20,2	62	96	30,0
24	130	13,0	43	93	20,5	63	95	30,3
25	123	13,2	44	91	20,8	64	94	30,6
26	115	13,4	45	89	21,2	65	93	31,0
27	110	13,7	46	88	21,5	70	90	32,9
28	105	14,0	47	86	21,8	75	86	34,8
29	101	14,3	48	85	22,2	80	83	36,5
30	98	14,6	49	84	22,4	85	81	38,3
31	94	14,9	50	83	22,7	90	79	40,2
32	92	15,2	51	82	23,0	95	77	42,1
33	90	15,5	52	81	23,4	100	75	43,7
34	88	15,8	53	80	23,8	—	—	—
35	86	16,2	54	79	24,1	—	—	—
36	84	16,6	55	78	24,5	—	—	—
37	83	16,9	56	77	24,8	—	—	—
38	82	17,4	57	76	25,2	—	—	—
39	81	17,7	—	—	—	—	—	—
40	81	18,1	—	—	—	—	—	—

Таблица 517. Масштабы для построения кривой температур $\tau(s)$ и диаграмм $vT/60$

Для кривой температур $\tau(s)$ мм		Для диаграмм $vT/60$, мм	
Путь, s	Температура перегрева, τ°	Коэффициент, $vT/60$	Установившаяся температура, τ_{∞}
40	5	8	1
40	10	4	1
48	5	9,6	1
48	10	4,8	1
20	5	2	0,5

5.8. Тяговые расчеты на ЭВМ для графика движения поездов

Тяговые расчеты для графика движения поездов выполняют по заданию МПС, предусматривающему унифицированные и параллельные весовые нормы, участки обращения и серии локомотивов, составы поездов. Информационная база тягового расчета состоит из нормативного раздела и библиотек: тяговых подвижных средств, участков дорог

Нормативный раздел формируют на базе ПТР, справочника по тяговым расчетам, инструкций (по тормозам, сигнализации, движению поездов и маневровой работе), ПТЭ и нормативов по тормозам.

Библиотеку участков составляют по следующим материалам: продольному профилю и плану участков;

техничко-распорядительным актам станций;

ведомостям ординат светофоров;

ведомостям допустимых скоростей движения поездов на перегонах, раздельных пунктах, в кривых и предупреждений об ограничении скоростей движения.

Библиотеки подвижного состава разрабатывают на основе характеристик локомотивов и документов, используемых в нормативном разделе.

Тяговые расчеты на ЭВМ осуществляют в следующей последовательности.

1. Ввод задания на расчет, выбор нужных единиц хранения из библиотек и подготовки их к расчету

2. Расчет основной кривой движения поезда $v(s)$ (кривая движения без остановок на раздельных пунктах).

3. Расчет вспомогательных кривых движения поезда (разгон и торможение), обеспечение ограничений скорости по предупреждениям.

4. Расчет требуемых по заданию показателей: времени хода, замедления, разгона, расхода электроэнергии (топлива), температуры перегрева, токов.

5. Выдача результатов на печать.

Участок, по которому производят тяговый расчет, как правило, соответствует участку работы локомотивных бригад. В качестве границ участков выбираются станции, где происходит перелом весовых норм поездов или замена вида тяги. Допускается выбор участка с толканием на небольшом расстоянии, которое нецелесообразно выделять в отдельный участок. Каждому участку присваивают трехзначный цифровой код. Отдельно готовят участки нечетного и четного направлений.

Информацию по участкам готовят по макетам. Эти макеты позволяют ввести и затем использовать в расчете следующие сведения об участке:

действительный километраж на участке;

профиль спрямленный с приведенными кривыми;

перегонные расстояния, названия раздельных пунктов;

допустимые скорости на станционных путях (боковых и главных), на перегонах, в кривых малого радиуса;

предупреждения об ограничении скорости, расположение нейтральных вставок на электрифицированных линиях, кривые малого радиуса, снижающие коэффициент сцепления.

Результаты расчетов выдаются двух видов: пошаговая выдача параметров и итоговая выдача параметров по перегонам.

Перфокарты нумеруются по каждому макету отдельно*. На каждой перфокарте указывается ее трехзначный номер и признак конца макета, равный: 0 — если перфокарта не последняя в макете, 8 — если перфокарта последняя. Знак десятичной точки в макетах не перфорируется.

Форма 0 — содержит сведения о фактических указателях расстояния от некоторого пункта. Построение кривой скорости движения поезда проводится в соответствии с геометрической длиной, с которой связана вся последующая информация по формам 1—8. Выдаваемые результаты согласовываются с фактическим километражом на местности, для чего используется информация формы 0. Если на участке не меняется точка отсчета и действительные расстояния совпадают с вычисленными по указателям, то в форме 0 следует указать s_n и s_k — координаты начала и конца участка. В противном случае участок следует разбить на интервалы. По каждому интервалу в порядке их следования на участке должны быть указаны координаты начала и конца интервала. При этом сумма длин интервалов должна совпадать с длиной участка по форме 2. Начало первого интервала должно совпадать с осью первого раздельного пункта на участке.

Форма 1 — содержит сведения о профиле пути, которые записываются в виде последовательности элементов определенного профиля с учетом кривых и вредных спусков. Знак уклона кодируется следующим образом: 0 — спуск, 1 — подъем. Начало первого элемента отсчитывается от оси первого раздельного пункта, остальные элементы задаются независимо от осей раздельных пунктов в направлении от первого раздельного пункта к последнему.

Форма 2 — информация о раздельных пунктах и скоростях на станционных путях. В форму 2 заносятся сведения о тех раздельных пунктах, для которых при тяговом расчете потребуется выдача итоговых временных и энергетических показателей по предшествующим перегонам. Предварительно эти раздельные пункты нумеруются в порядке их следования на участке. Номер раздельного пункта не перфорируется, он печатается при выдаче результатов тяговых расчетов. В столбце 6 формы 2 последнего раздельного пункта вместо расстояния до следующего раздельного пункта указывается нуль. Если на раздельном пункте нет станционных путей или не ограничивается скорость ни по главному, ни по боковому пути, то в столбцы 7—10 заносятся нули. Если на главном станционном пути, длина которого указана в столбцах 7 и 8, действует ограничение скорости, указанное в форме 4, в столбец 9 заносят нули. В столбец 10 заносят нули, если нет боковых путей или они не учитываются при тяговых расчетах.

Форма 3 — дополнительные сведения об установленных скоростях на станционных путях, действующие на какой-либо части главного или бокового пути. Задавая ограничение скорости v на какой-либо части бокового пути, в столбец 8 следует занести $800+v$. Указываемый в форме 3 отрезок с ограничением скорости на боковом пути должен находиться в пределах соответствующего станционного пути, заданного в форме 2. Для обеспечения последнего условия допускается задание в столбцах 7 и 8 условного станционного пути с нулевыми показателями в столбцах 9 и 10. Интервалы дополни-

* Согласно типовой программе тяговых расчетов на ЕС ЭВМ (язык программирования PL/I), разработанной Т. С. Чуковой во ВНИИЖТЕ.

тельных ограничений скорости следует задавать в порядке возрастания их расстояний от начала участка.

Форма 4 — сведения об установленных скоростях на перегонах. В форму заносят интервалы с определенной допускаемой скоростью в порядке их чередования на участке. Начало первого интервала должно совпадать с осью первого раздельного пункта.

Форма 5 — сведения об ограничениях скорости на кривых участках пути, заносят в порядке следования кривых на участке. Если допускаемые скорости на смежных кривых совпадают, то рекомендуется эти кривые объединять. Кривые, на которых ограничение заведомо выше скорости, установленной на данном отрезке пути по формам 2 и 4, можно не указывать. Кривые не должны пересекаться.

Форма 6 — сведения о постоянных и длительных предупреждениях об ограничении допускаемой скорости. При производстве основного варианта тягового расчета используется информация, заданная формами 1—5 и 7—9. Кроме этого проводится до трех вариантов расчетов с учетом ограничений по форме 6 для выдачи добавок времени, необходимых на случай действия предупреждений. Интервалы с предупреждениями об ограничении скорости не должны пересекаться и должны быть заданы в порядке их следования на участке.

Форма 7 — сведения о нейтральных вставках на электрифицированных участках. Нейтральные вставки задают в порядке следования их на участке.

Форма 8 — сведения о местах пробы тормозов на участке. Может быть задано несколько мест пробы тормозов. Номер линии, где нужна проба, кодируется следующим образом: 0 — пробу тормозов делать на основной (безостановочной) кривой и на разгонной; 1 — пробу тормозов делать только на основной кривой; 2 — пробу тормозов делать только на разгонной. Места пробы тормозов следует задавать в порядке роста их расстояний от начала участка.

Форма 9 — содержит информацию о кривых малого радиуса, влияющих на ограничение по сцеплению. Смежные кривые одинакового радиуса можно объединять. В расчете учитывается влияние кривых с радиусом от 800 до 200 м для тепловозов и от 500 до 200 м для электровозов.

Форма А — содержит названия или коды единой сетевой разметки раздельных пунктов, перечисленных в форме 2. Указывается номер раздельного пункта по порядку в форме 2 и его название. В форме А могут быть перечислены не все раздельные пункты из формы 2, а только те, по которым при выполнении тяговых расчетов необходима выдача названий. Формы 2 и А могут быть объединены. Перфокарты 0, 1 и 9 вводятся один раз как постоянная информация, характеризующая участок независимо от вида движения и других условий проведения тяговых расчетов. Если от этих условий зависят формы 0, 1 и 9, следует оформлять самостоятельный участок. Перфокарты форм 2—8, А вводятся отдельно для каждого расчетного варианта участка.

Подготовку информации нормативного раздела выполняют в такой последовательности.

Макет Н01 — формулы основного удельного сопротивления движению поезда и удельного сопротивления при трогании с места. Используется ключевой способ задания коэффициентов и скоростных

границ: записывают наименование коэффициента, знак равенства и величину коэффициента. Перечисленные коэффициенты разделяют запятыми, в конце перечня ставят точку с запятой. На одной перфокарте может быть задана одна формула. Коэффициенты, равные нулю, можно опускать, так же как и скоростные границы, если они задают весь диапазон возможных скоростей движения поезда. Формулы нумеруют внутри макета, начиная от 01.

Макет Н02 — формулы расчетного коэффициента трения для различных типов колодок. На каждой перфокарте набивают по одной формуле. Правила подготовки макета те же, что и для Н01.

Макет Н03 — формулы расчетного коэффициента сцепления и формулы учета влияния кривых малого радиуса на расчетный коэффициент сцепления. На каждой перфокарте набивают по одной формуле с указанием диапазонов скоростей или радиусов кривых, в которых она действует.

Макет Н05 — дополнительное сопротивление движению, обусловленное низкой температурой воздуха. Задается в виде таблицы коэффициентов, учитывающих увеличение основного удельного сопротивления по каждому требуемому значению температуры, для скоростей движения от 20 до 160 км/ч с шагом 20 км/ч. Макет позволяет задавать варианты таблиц. Номера вариантов указывают в столбце 2. Различные варианты макета используют для задания таблиц по разным типам составов. Для задания одной таблицы по всем значениям температуры требуется несколько перфокарт. На одной перфокарте может быть набито не более двух значений температуры, она набивается без знака. Тип состава (поезда) кодируют следующим образом: пассажирский — П_; грузовой — Г_; электропоезд — ПМ; дизельпоезд — ПД; одиночный локомотив — О_.

Макет Н06 — дополнительное сопротивление движению грузовых поездов, обусловленное ветром, задается в виде таблицы коэффициентов, учитывающих увеличение основного удельного сопротивления по каждому требуемому значению скорости ветра, для скоростей движения от 10 до 160 км/ч с шагом 10 км/ч. На одной перфокарте набивают одну строку таблицы для определенного значения скорости ветра.

Макет Н07 — нормативы для определения дополнительного сопротивления движению от подвагонных генераторов. По каждому варианту макета задается скорость движения поезда, начиная с которой следует учитывать дополнительное сопротивление и мощность подвагонного генератора для вагонов с кондиционированием воздуха и без него. Одна перфокарта содержит один вариант макета.

Макет Н08 — характеристика климатических условий участка. Выделены два основных сезона, по которым задаются температура наружного воздуха, атмосферное давление и скорость ветра.

Макет Н09 — таблица $\Delta v(i)$ для получения средней скорости движения поезда на затяжных спусках при замене кривой скорости $v(s)$ горизонтальной линией. Каждая строка таблицы готовится для определенного типа состава и типа тормозных устройств и набивается на отдельной перфокарте. Тип тормозных устройств в составе кодируется следующим образом: пневматические ПН; электропневматические — ЭП; ручные — Р.

Макет Н10 — нормы скоростей поездов на спусках, больших 10‰. На одной перфокарте набивают одну строку таблицы, соответствующую определенному варианту макета.

Макет Н11 — содержит следующие нормативы, определяющие порядок выполнения расчета: длина состава, время выбега перед торможением; величина ускорения и номер формулы для расчета сопротивления от подвагонных генераторов; минимальное расстояние от оси раздельных пунктов до нейтральных вставок и максимальное допустимое расстояние движения поезда на скорости, равной или меньше расчетной; коэффициент для расчета средней скорости проследования элементов легкого профиля; нормативы для тягового расчета с исключением перегрева электрических машин, норматив для объединения интервалов с предупреждением.

Макет Н12 — коэффициенты приведения тока двигателя при кратной тяге. Кратность тяги задается десятичным числом с одним знаком до и после десятичной точки. Значение коэффициента — десятичное число с одним знаком до десятичной точки и двумя после нее.

Макеты Н30, Н04 — содержат остальные нормативные формулы и наиболее часто используемые варианты задания.

Необходимая корректировка и обновление нормативно-справочной информации, хранящейся на перфокартах, и непосредственно тяговые расчеты выполняют в Вычислительных центрах дорог.

Условные обозначения

Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3
A	кВт·ч	Расход электроэнергии на токоприемнике электровоза
B_T	кгс	Общая тормозная сила поезда от действия тормозных колодок
B	кгс	Тормозная сила от электрического (рекуперативного) торможения
C	—	Последовательное соединение тяговых электродвигателей
$СП$	—	Последовательно-параллельное соединение тяговых электродвигателей
b_T	кгс/т	Удельная тормозная сила поезда
D	мм	Диаметр движущих колес локомотива
d	мм	Диаметр тормозного цилиндра
E	кг	Общий расход натурального топлива
E_y	кг	Общий расход условного топлива
$жс$	кгс/см	Жесткость пружин тормоза
$жн$	тс/м	Жесткость поглощающих аппаратов автосцепки
F	кгс	Усилие пружин тормоза
F_K	кгс	Касательная сила тяги локомотива
$F_{Kд}$	кгс	Касательная сила тяги, отнесенная к одному тяговому электродвигателю
$F_{Kтр}$	кгс	Касательная сила тяги при трогании с места
$F_{Kр}$	кгс	Расчетное значение касательной силы тяги
$F_K \text{ разг}$	кгс	Касательная сила тяги локомотива до выхода на автоматическую характеристику
$F_K \text{ сц}$	кгс	Касательная сила тяги по сцеплению
$F_{Kч}$	кгс	Касательная сила тяги электровоза, соответствующая часовому току тяговых электродвигателей
$F_{K\infty}$	кгс	Касательная сила тяги локомотива, соответствующая длительному току тяговых электродвигателей
F_{K0}	кгс	Касательная сила тяги тепловоза при стандартных атмосферных условиях
f_K	кгс/т	Удельная касательная сила тяги
G	кг/мин	Расход топлива дизелем тепловоза в режиме тяги
q	м/с ²	Ускорение свободного падения
q_x	кг/мин	Расход топлива дизелем тепловоза на холостом ходу

Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3
H_n	м	Начальная отметка профиля для участка пути
H_k	м	Конечная отметка профиля для участка пути
h	мм	Возвышение наружного рельса
$H_{бар}$	гПа	Атмосферное давление
I	А	Ток
I_z	А	Ток возбуждения тягового электродвигателя
I_r	А	Ток тягового генератора тепловоза
I_d	А	Ток одного тягового электродвигателя
I_∞	А	Ток тягового электродвигателя (тягового генератора) в продолжительном режиме работы
i	‰	Уклон (подъем или спуск). Знак (+) ставится при подъеме, знак (—) — при спуске
i_p	‰	Расчетный подъем
i_k	‰	Приведенный уклон, т. е. с учетом влияния кривой
$i_{тр}$	‰	Крутизна участка пути, на котором происходит трогание поезда
i_c	‰	Уклон участка пути, спрямленного в продольном профиле и плане
i'_c	‰	Уклон участка пути, спрямленного в продольном профиле
i''_c	‰	Уклон участка пути, спрямленного в плане
Δi	‰	Абсолютная разность между уклоном спрямленного участка и уклоном любого элемента, входящего в спрямленный участок
K	тс	Сила нажатия на одну тормозную колодку
K_p	тс	Расчетная сила нажатия на одну тормозную колодку
k	мм	Масштаб сил, применяемый для построения диаграмм ускоряющих и замедляющих усилий
K_B	—	Коэффициент, учитывающий увеличение основного сопротивления движению от встречного и бокового ветра
$K_{кр}$	—	Коэффициент снижения силы тяги локомотива или моторного вагона по сцеплению при движении его в кривых участках пути

Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3
$K_{\text{нв}}$	—	Коэффициент приведения превышения температуры тяговых электрических машин к расчетной температуре окружающего воздуха
$K_{\text{нт}}$	—	Коэффициент, учитывающий увеличение основного сопротивления движению от низкой температуры наружного воздуха
$K_{\text{п}}$	—	Коэффициент, учитывающий уменьшение расхода охлаждающего воздуха при работе тепловоза на промежуточных позициях, используемый при расчете температуры обмоток тяговых электродвигателей
$K_{\text{сз}}$	—	Коэффициент, учитывающий влияние устройств снегозащиты на нагревание обмоток тяговых электродвигателей
K_{Id}	—	Коэффициент приведения тока тягового электродвигателя наиболее нагруженного электровоза при кратной тяге
k_p	—	Коэффициент, учитывающий изменение мощности дизеля тепловоза от атмосферного давления
k_t	—	Коэффициент, учитывающий изменение мощности дизеля тепловоза от температуры наружного воздуха
k_z	—	Коэффициент эффективности тормозных колодок
L	км	Длина тягового участка
$l_{\text{ш}}$	мм	Выход штока тормозного цилиндра
$l_{\text{п}}$	м	Длина поезда
$l_{\text{с}}$	м	Длина состава
$l_{\text{л}}$	м	Длина локомотива
$l_{\text{поп}}$	м	Длина приемо-отправочных путей
l_i	м	Длина вагона данного типа по осям автосцепки
$M_{\text{л}}$	кг	Масса локомотива
m	мм	Масштаб скорости при построении графиков $v = v(s)$ способом МПС
m_i	кг	Масса вагона
$m_{\text{дп}}$	шт.	Число вагонов дизель-поезда
$m_{\text{л}}$	шт.	Число локомотивов в поезде
$m_{\text{п}}$	шт.	Число вагонов в пассажирском поезде
$m_{\text{м}}$	шт.	Число моторных вагонов дизель-поезда
$m_{\text{к}}$	шт.	Число тормозных колодок

Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3
n	об/мин	Частота вращения якоря тягового электродвигателя
$n_{БК}$	шт	Число вагонов пассажирского поезда без кондиционеров
n_d	об/мин	Частота вращения коленчатого вала дизеля тепловоза
n_K	—	Положение (позиция) контроллера машиниста
n_{KB}	шт.	Число вагонов с кондиционированием воздуха в составе пассажирского поезда
n_p	—	Передаточное число тормозной рычажной передачи
n_i	шт.	Число одиотипных вагонов в составе
P	т	Расчетная масса локомотива, моторных вагонов; для тепловозов и дизель-поездов при $\frac{2}{3}$ запаса топлива и песка
$P_{ГК}$	кВт	Мощность подвагонного генератора, расходуемая на кондиционирование воздуха
$P_{ц}$	МПа	Давление воздуха в тормозных цилиндрах
$P_{пг}$	кВт	Фактическая мощность подвагонного генератора
$P_{сц}$	тс	Сцепной вес локомотива (для тепловоза при $\frac{1}{3}$ запаса топлива и песка)
P'	кВт	Средняя условная мощность подвагонного генератора
P	—	Параллельное соединение тяговых электродвигателей
PP	—	Полное возбуждение тяговых электродвигателей
Q	т	Масса состава (вагонов) В электропоезде и дизель-поезде — масса прицепных вагонов
$Q_{тр}$	т	Масса состава, рассчитанная по условиям трогания его локомотивом с места
q_0	т	Масса, приходящаяся на ось колесной пары
q'_0	тс	Нагрузка от колесной пары на рельсы наименее нагруженного вагона
R	м	Радиус кривой
R_l	м	Радиус кривой в пределах спрямляемого участка пути
S	тс	Продольное усилие в поезде
s	м	Расстояние, путь, длина элементов профиля
$s_{кр i}$	м	Длина кривой данного радиуса в пределах спрямляемого участка пути

Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3
$s_{кр}$	м	Длина кривого участка пути
s_c	м	Длина спрямляемого участка профиля
s_d	м	Условный тормозной путь, который проходит поезд при полном действии тормозных колодок
$s_{п}$	м	Путь, проходимый поездом при подготовке тормозов к действию
s_T	м	Полный (расчетный) тормозной путь
s_k	м	Расстояние между кругами катания колес
T	мин	Тепловая постоянная времени в уравнении нагревания
t	ч, мин, с	Время
$t_{ст}$	ч, мин	Время стоянок
$t_{п}$	с	Время подготовки тормозов к действию
t_x	мин	Время работы дизеля на холостом ходу
Δt	мин, с	Интервал времени
$t_{нв}$	°C	Температура наружного воздуха
$t_{ген}$	°C	Температура воздуха, охлаждающего генератор
$U_э$	В	Номинальное напряжение на токоприемнике электровоза, моторного вагона электропоезда
U_d	В	Напряжение на коллекторе тягового электродвигателя
v	км/ч	Скорость движения
v_k	км/ч	Конечная скорость
v_n	км/ч	Начальная скорость
v_o	км/ч	Скорость поезда в начале торможения
v_v	м/с	Скорость ветра
v_p	км/ч	Расчетная скорость
$v_ч$	км/ч	Скорость электровоза, соответствующая часовому току тягового электродвигателя
v_∞	км/ч	Скорость электровоза, соответствующая длительному току тягового электродвигателя
Δv	км/ч	Потеря скорости от максимально допустимой при применении регулировочного торможения во время движения поезда по затяжному спуску
w_i	кгс/т	Дополнительное удельное сопротивление движению подвижного состава от уклона

Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3
ω'_0	кгс/т	Основное удельное сопротивление движению локомотива, дизель-поезда или электропоезда как повозки (при движении с тягой)
ω''_0	кгс/т	Основное удельное сопротивление движению состава (вагонов)
ω_0	кгс/т	Основное удельное сопротивление движению поезда
ω_{0x}	кгс/т	Основное удельное сопротивление движению поезда при холостом ходе локомотива, дизель-поезда или электропоезда
ω_x	кгс/т	Основное удельное сопротивление движению локомотива на холостом ходу
$\omega_{пг}$	кгс/т	Дополнительное удельное сопротивление движению поезда от подвагонных генераторов
$\omega_{тр}$	кгс/т	Удельное сопротивление состава при трогании с места (основное и дополнительное — суммарно)
ω_r	кгс/т	Дополнительное удельное сопротивление подвижного состава при движении по кривой
ω_k	кгс/т	Общее удельное сопротивление движению поезда
x	мм	Масштаб времени (мин), применяемый при построении графика $t=t(s)$ способом МПС
X	мм	Масштаб времени (ч), применяемый при построении графика $t=t(s)$ способом МПС
y	мм	Масштаб пути, применяемый при построении графиков $v=v(s)$ и $t=t(s)$ способом МПС
y_i	мм	Сжатие поглощающих аппаратов автосцепки
α	%	Степень ослабления магнитного возбуждения тяговых электродвигателей
α°	град	Центральный угол кривой
α_i	—	Доля (по массе) состава, приходящаяся на данную группу однотипных вагонов
β	тс·с/м	Коэффициент вязкости междувагонной связи
Δ	мм	Постоянный отрезок, применяемый при построении графика $t=t(s)$ способом МПС

Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3
δ_p	—	Расчетный коэффициент силы нажатия тормозных колодок
ζ	км/ч ² /(кгс/т)	Ускорение или замедление поезда при удельной силе 1 кгс/т
$\eta_{ц}$	—	Коэффициент полезного действия рычажной тормозной передачи
θ	тс/т	Тормозной коэффициент поезда
θ_p	тс/т	Расчетный тормозной коэффициент поезда
μ	—	Передаточное число зубчатой передачи на движущую ось
ρ	кг/м ³	Плотность воздуха
τ	°C	Превышение температуры обмотки генератора или тягового электродвигателя над температурой охлаждающего воздуха
$\tau_{дп}$	°C	Перегрев обмотки добавочных полюсов тягового электродвигателя
$\tau_{доп}$	°C	Допустимое превышение температур обмоток тяговых электрических машин над температурой охлаждающего воздуха
τ_k	м/с ²	Непогашенное центробежное ускорение поезда в кривой
τ_o	°C	Начальное превышение температуры обмоток тяговых электрических машин для расчетного промежутка времени
τ_p	°C	Превышение температуры обмоток тяговых электрических машин, приведенное к расчетной температуре охлаждающего воздуха с учетом устройств снегозащиты
τ_{∞}	°C	Установившееся превышение температуры обмоток тяговых электрических машин над температурой охлаждающего воздуха
φ_k	—	Коэффициент трения тормозной колодки о колесо
φ_{kp}	—	Расчетный коэффициент трения тормозной колодки о колесо
ψ_k	—	Расчетный коэффициент сцепления движущих колес локомотива или моторного вагона с рельсами
$\psi_{k\text{ кр}}$	—	Расчетный коэффициент сцепления движущих колес локомотива или моторного вагона с рельсами при движении его по кривым малого радиуса

Номограммы для определения тормозных путей

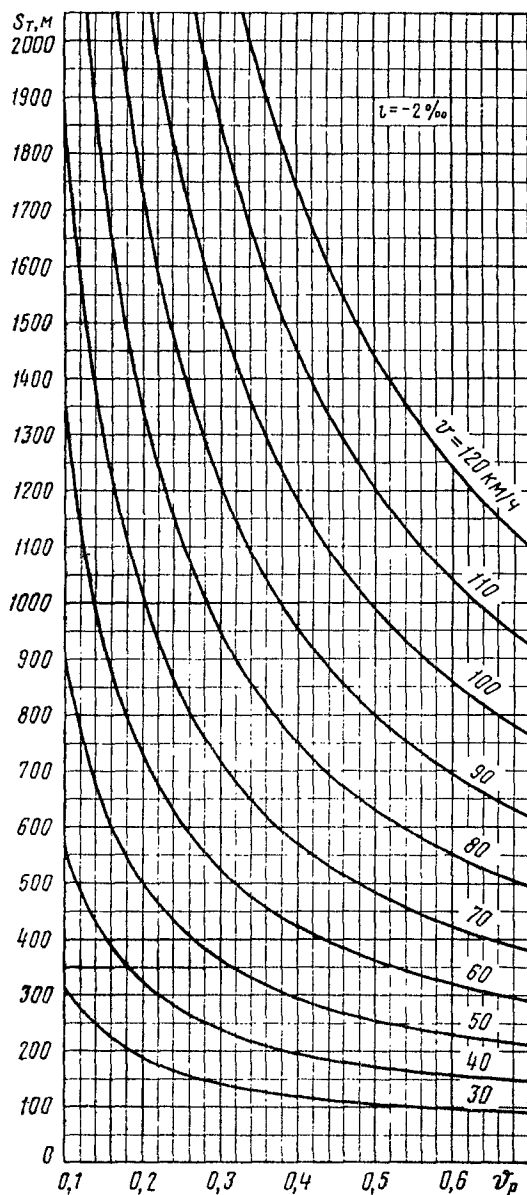


Рис. П.2.1. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -2\text{‰}$ (колотки чугунные стандартные)

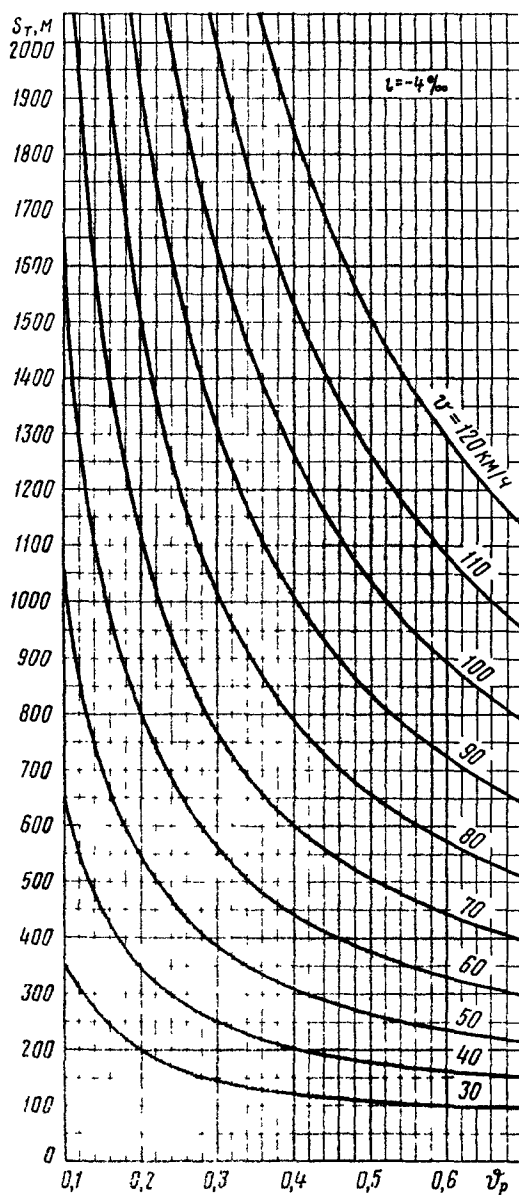


Рис П 22 Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -4 \text{ ‰}$ (колески чугунные стандартные)

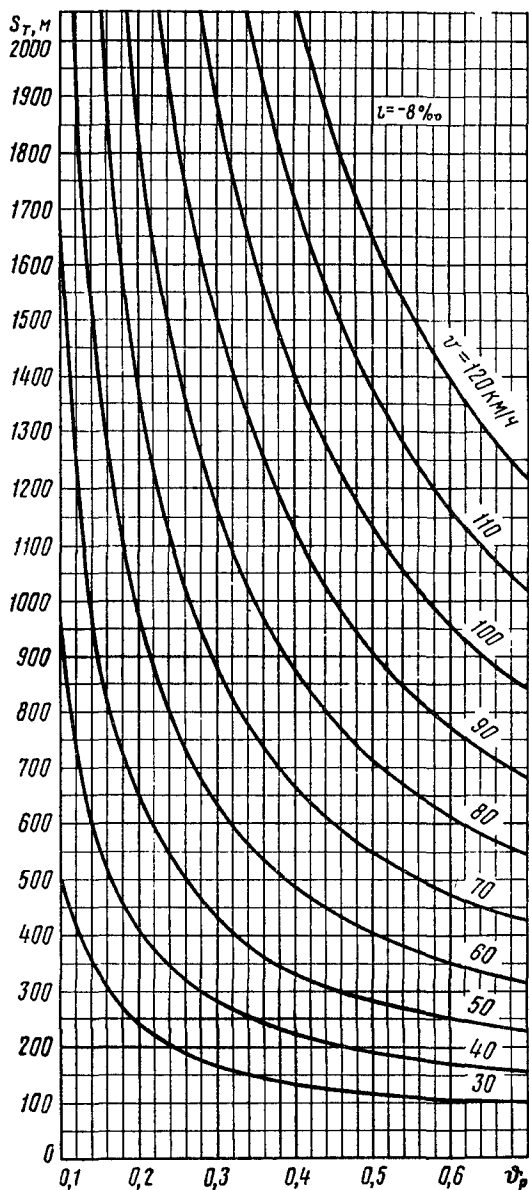


Рис. П.2.3. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -8\text{‰}$ (колески чугунные стандартные)

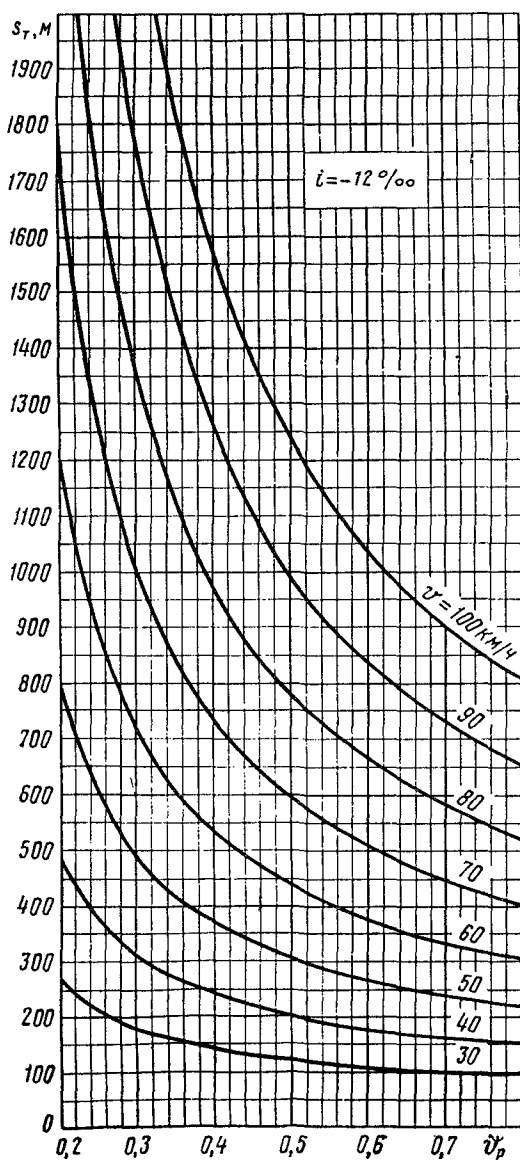


Рис. П.2.4. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -12\text{‰}$ (коэффициенты трения стандартные)

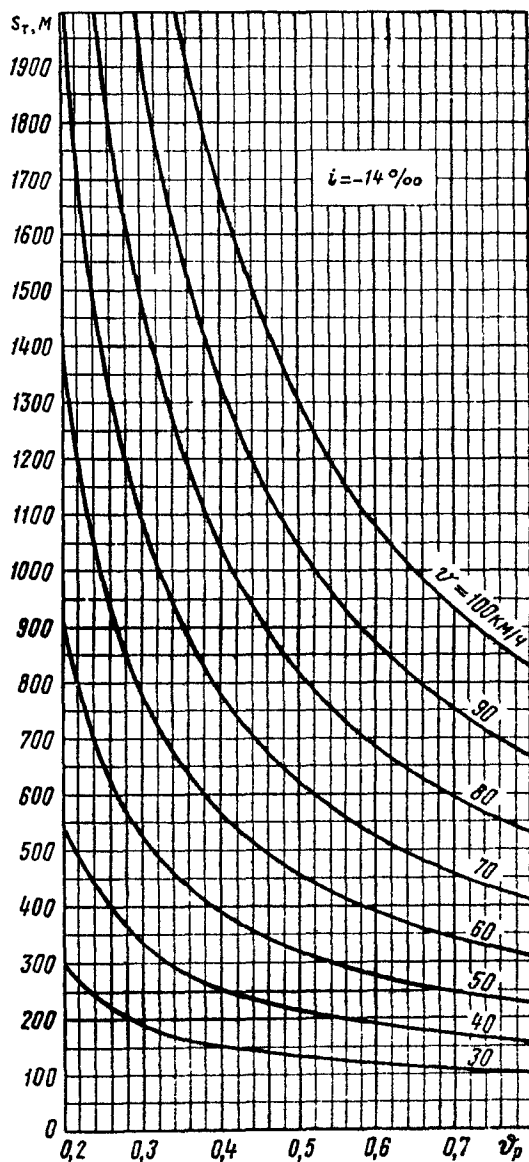


Рис. П.2.5. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -14\text{‰}$ (колески чугунные стандартные)

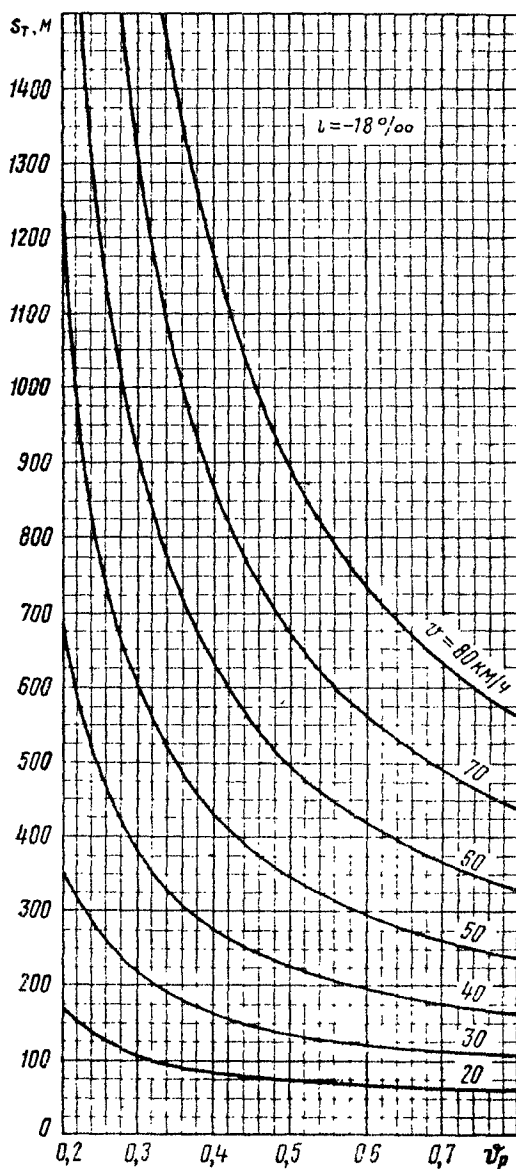


Рис П 2 6. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -18\text{‰}$ (ко-лодки чугунные стандартные)

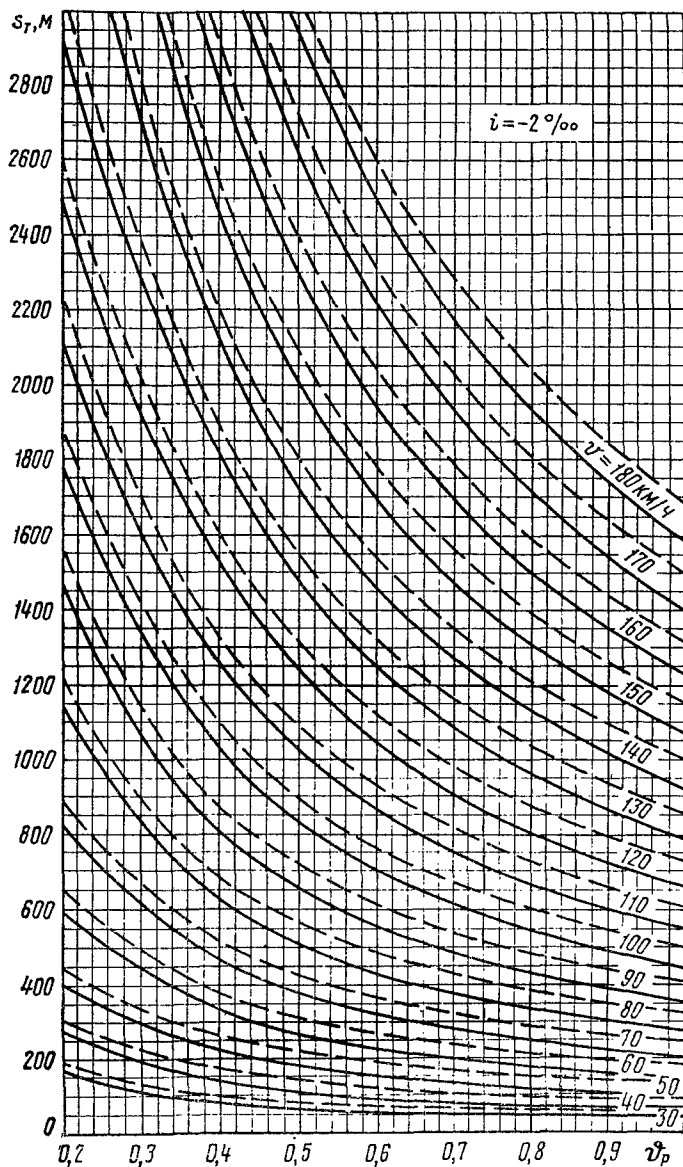


Рис. П.2.7. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -2\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные):

сплошные линии — электропневматическое торможение; штриховые линии — пневматическое торможение

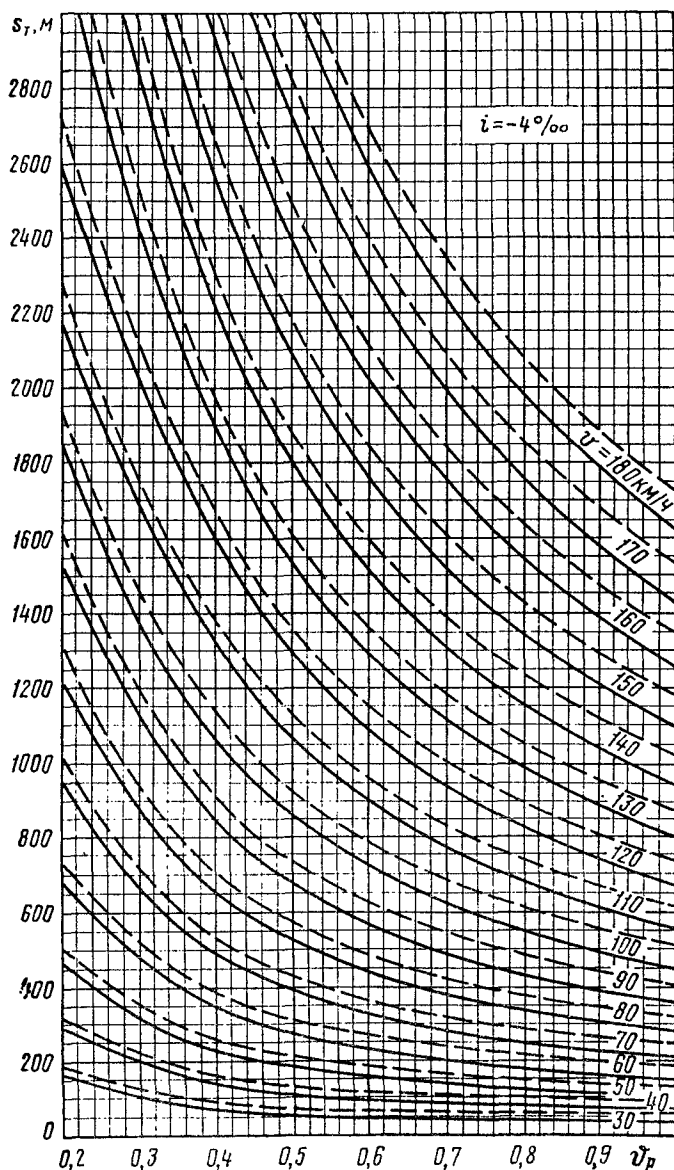


Рис. П.2.8. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -4\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные):

сплошные линии — электропневматическое торможение; штриховые линии — пневматическое торможение

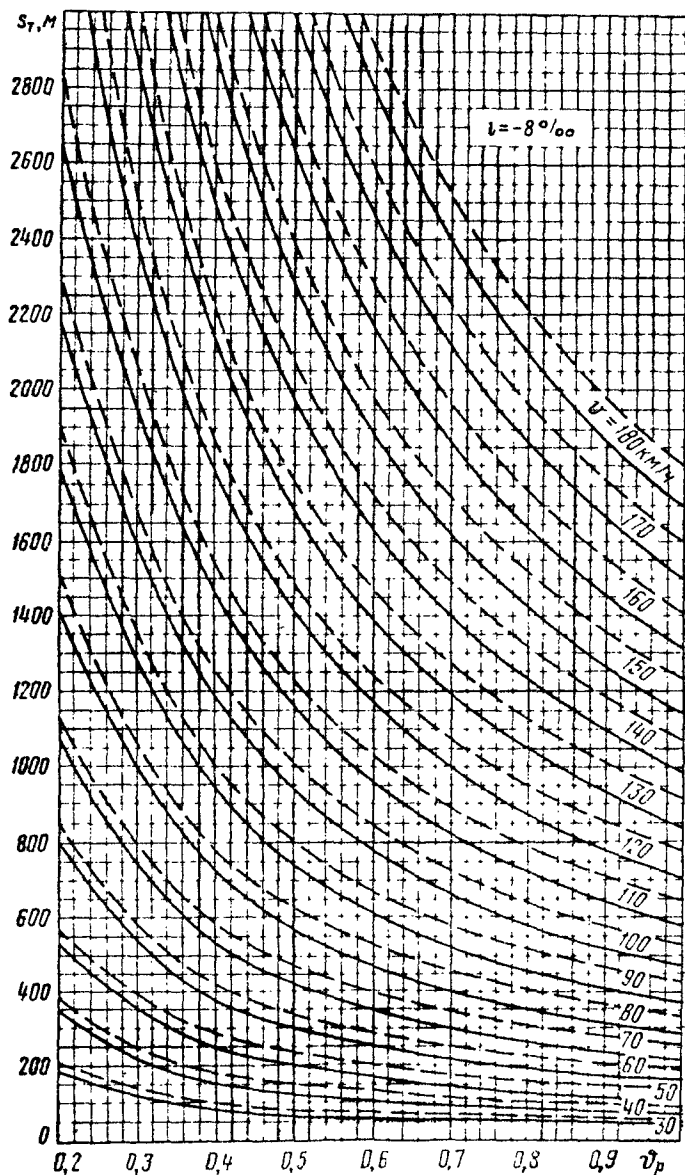


Рис. П.2.9. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -8\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные)

сплошные линии — электропневматическое торможение; штриховые линии — пневматическое торможение

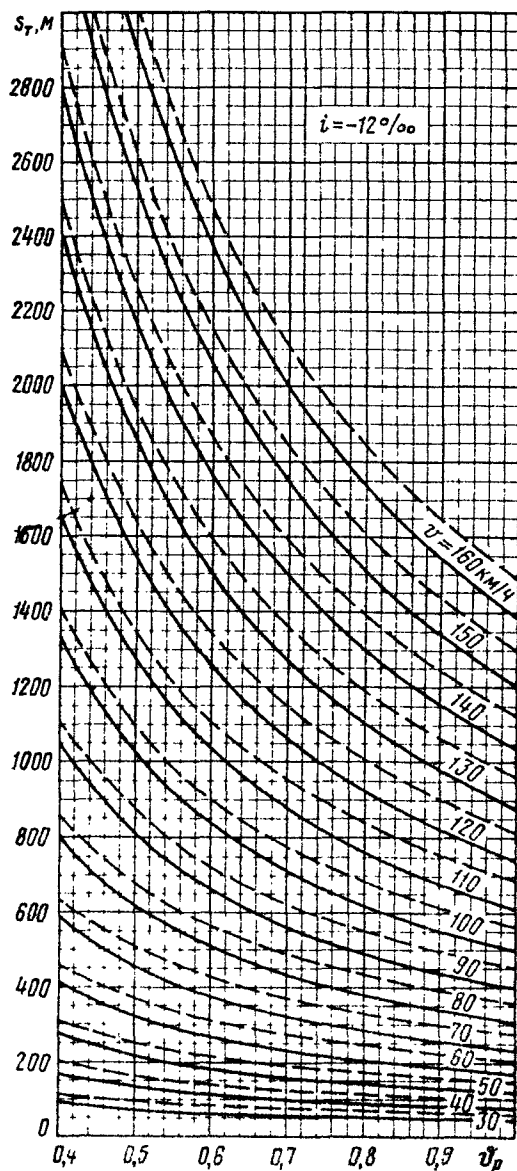


Рис. П 2.10. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -12\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные):
сплошные линии — электропневматическое торможение;
штриховые линии — пневматическое торможение

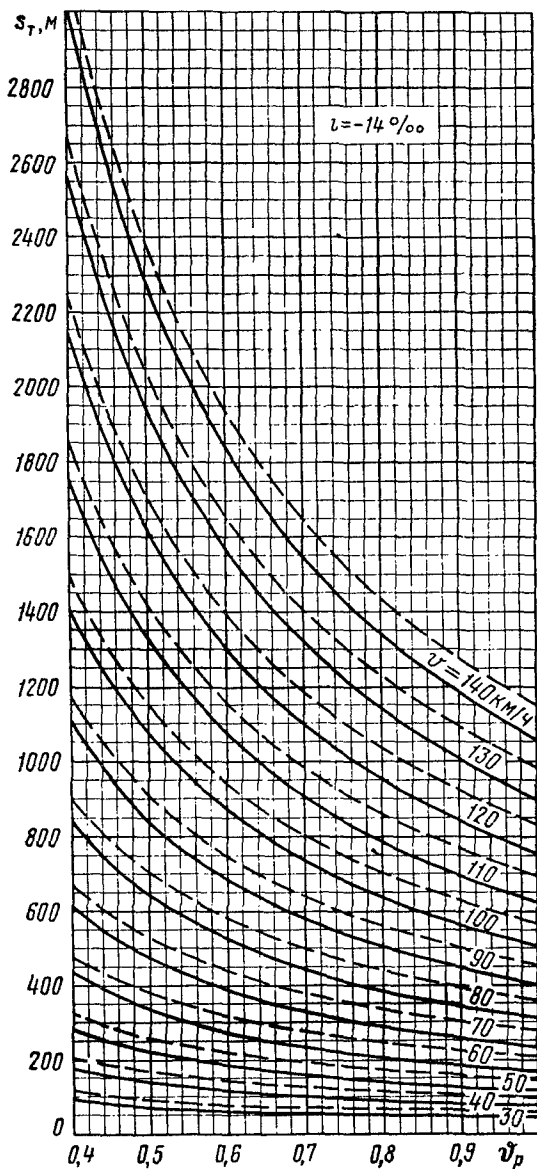


Рис. П 2 11 Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -14\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные)
 сплошные линии — электропневматическое торможение;
 штриховые линии — пневматическое торможение

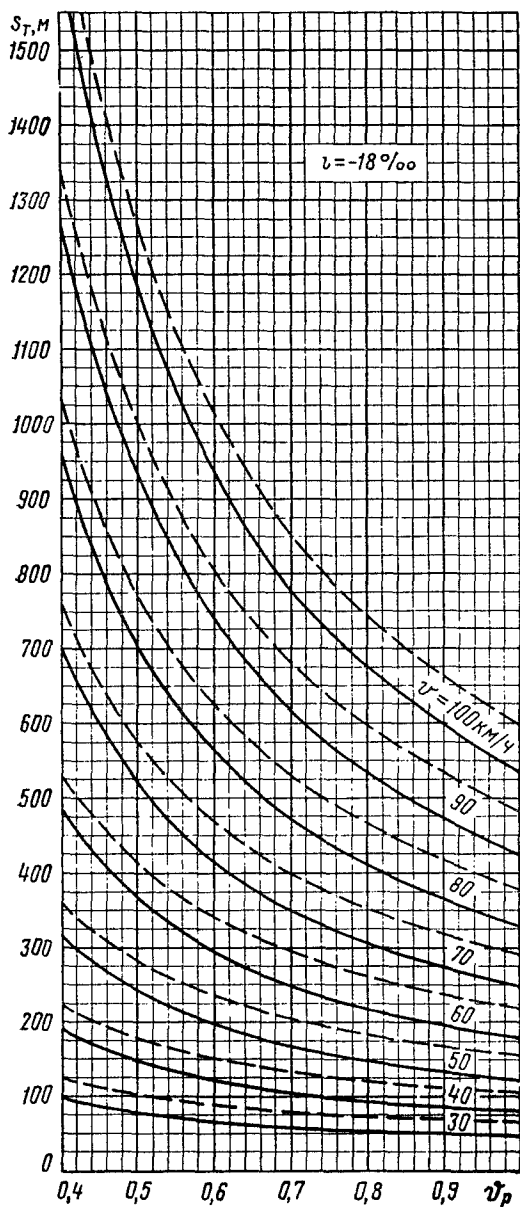


Рис. П 2 12 Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -18\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные)

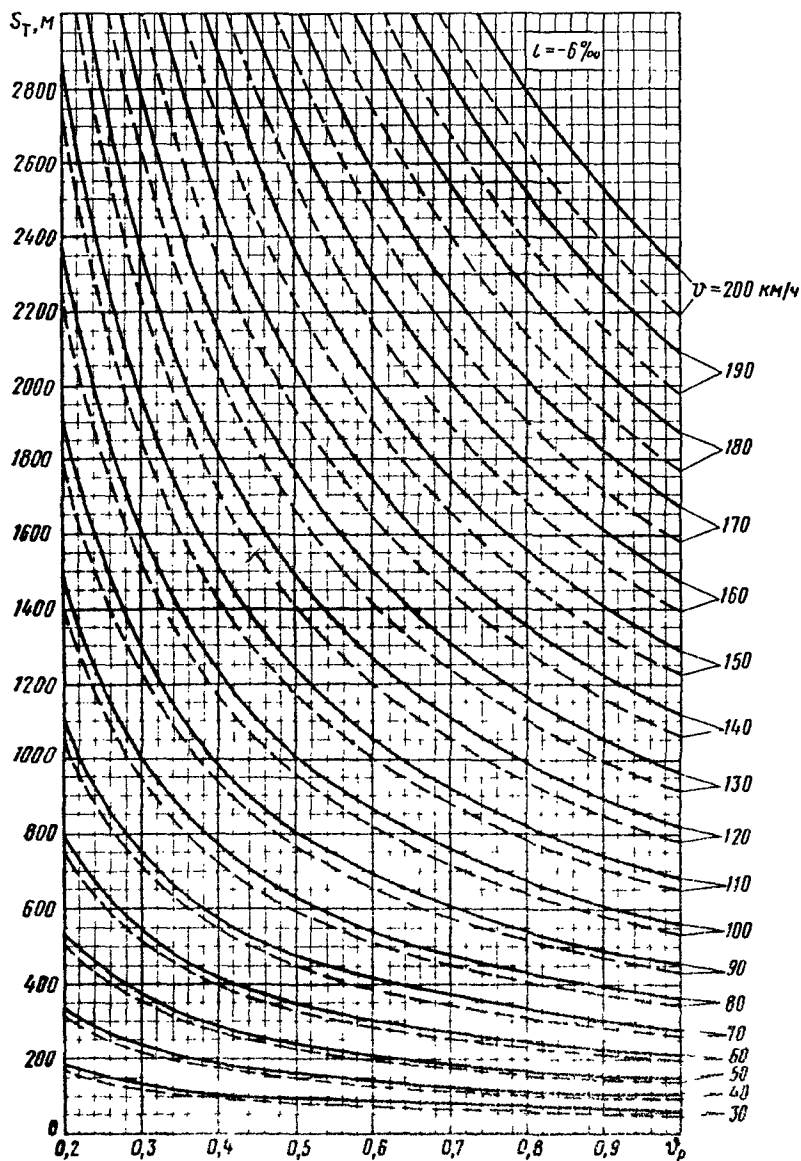


Рис П 2 13 Тормозной путь одиночно следующих локомотивов на спуске $i = -6\text{‰}$.

сплошные линии — электровоз, штриховые линии — тепловоз

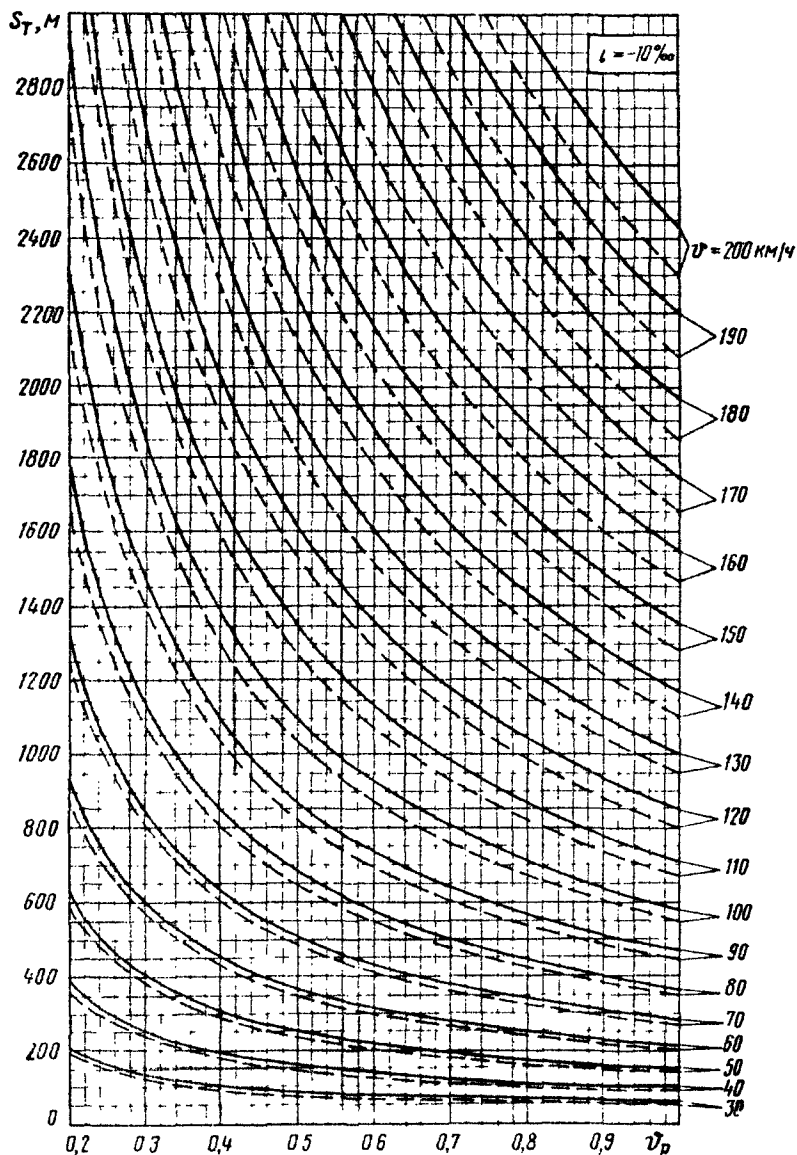


Рис П214 Тормозной путь одиночно следующих локомотивов на спуске $i = -10\text{‰}$
сплошные линии — электровоз, штриховые линии — тепловоз

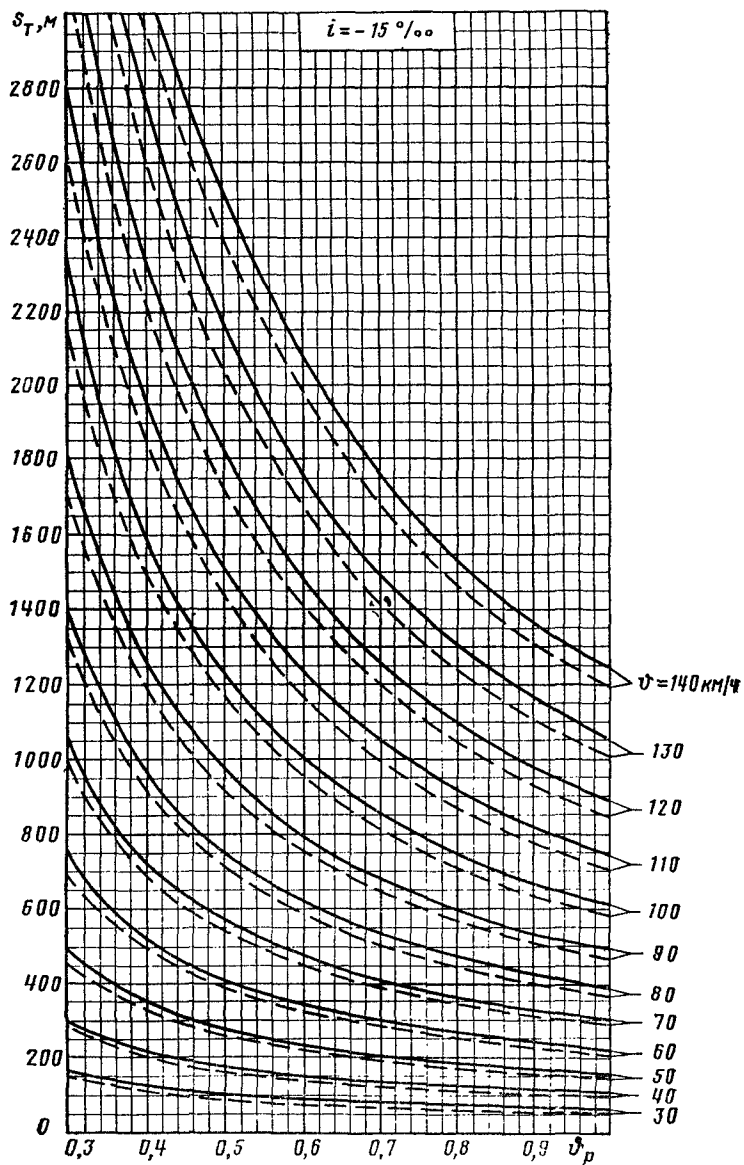


Рис П 2.15. Тормозной путь одиночно следующих локомотивов на спуске $i = -15\text{‰}$:

сплошные линии — электровоз; штриховые линии — тепловоз

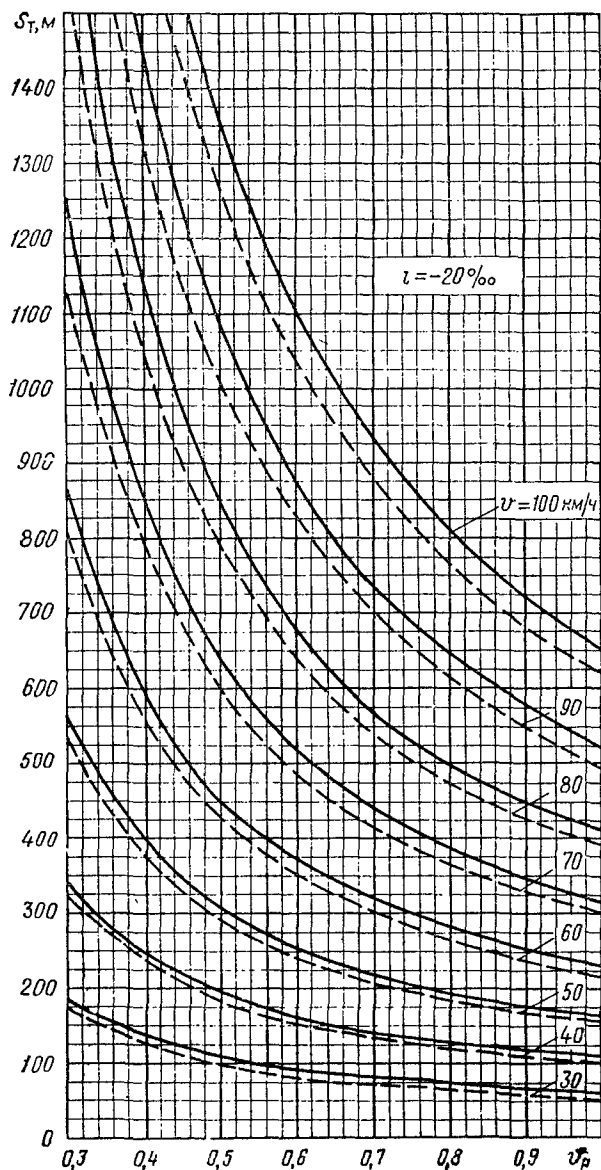


Рис. П.2.16. Тормозной путь одиночно следующих локомотивов на спуске $i = -20\text{‰}$:
сплошные линии — электровоз; штриховые линии — тепловоз

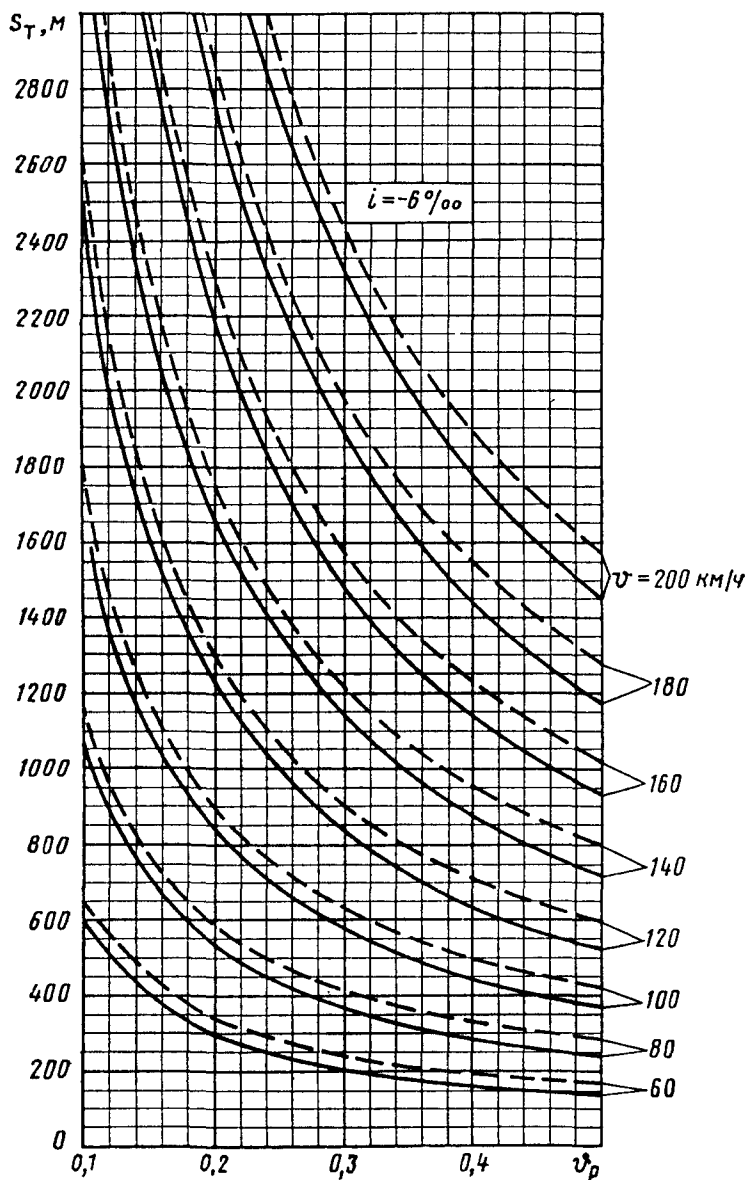


Рис. П.2.17. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -6\text{‰}$ (колодки композиционные). сплошные линии — электропневматическое торможение; штриховые линии — пневматическое торможение

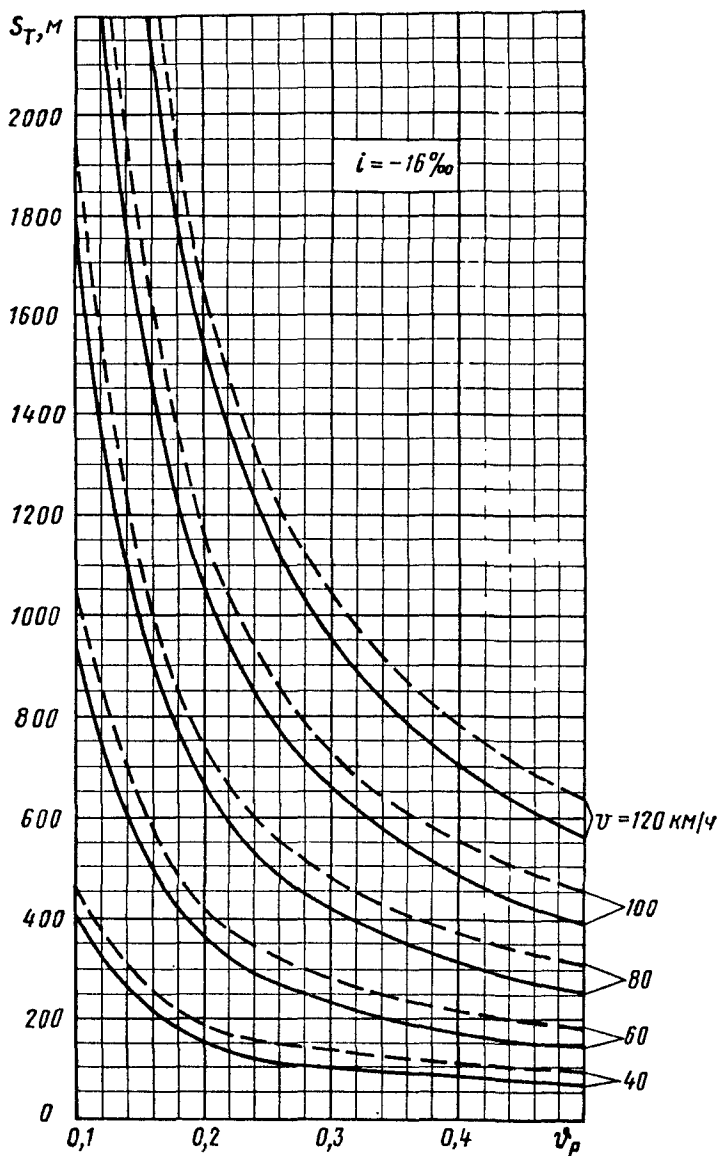


Рис. П.2.18. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -16\text{‰}$ (колодки композиционные):

сплошные линии — электропневматическое торможение; штриховые линии — пневматическое торможение

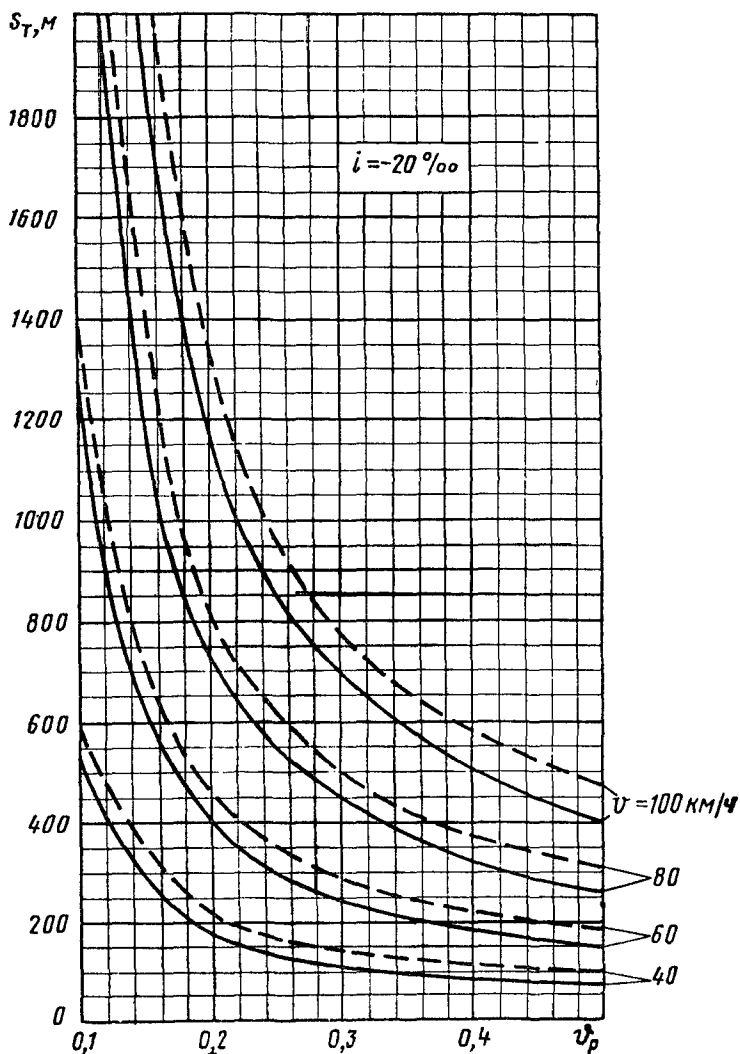


Рис. П.2.19. Тормозной путь пассажирского поезда при экстренном торможении на спуске $i = -20\text{‰}$ (колодки композиционные):

сплошные линии — электропневматическое торможение; штриховые линии — пневматическое торможение

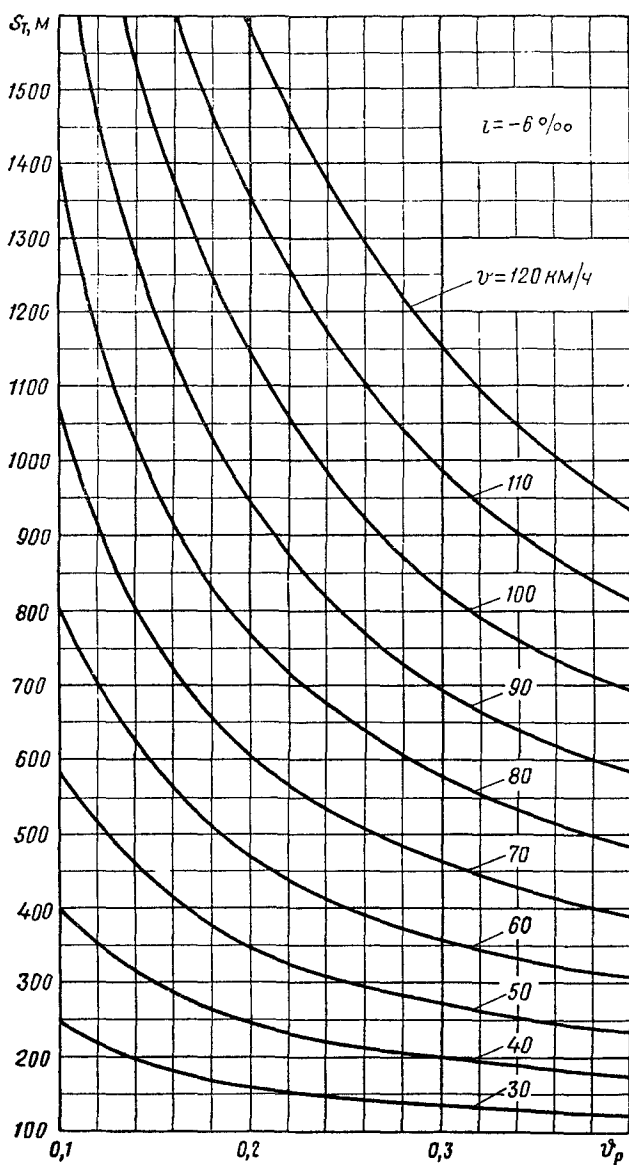


Рис. П.2.20. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -6\text{‰}$ (колодки композиционные)

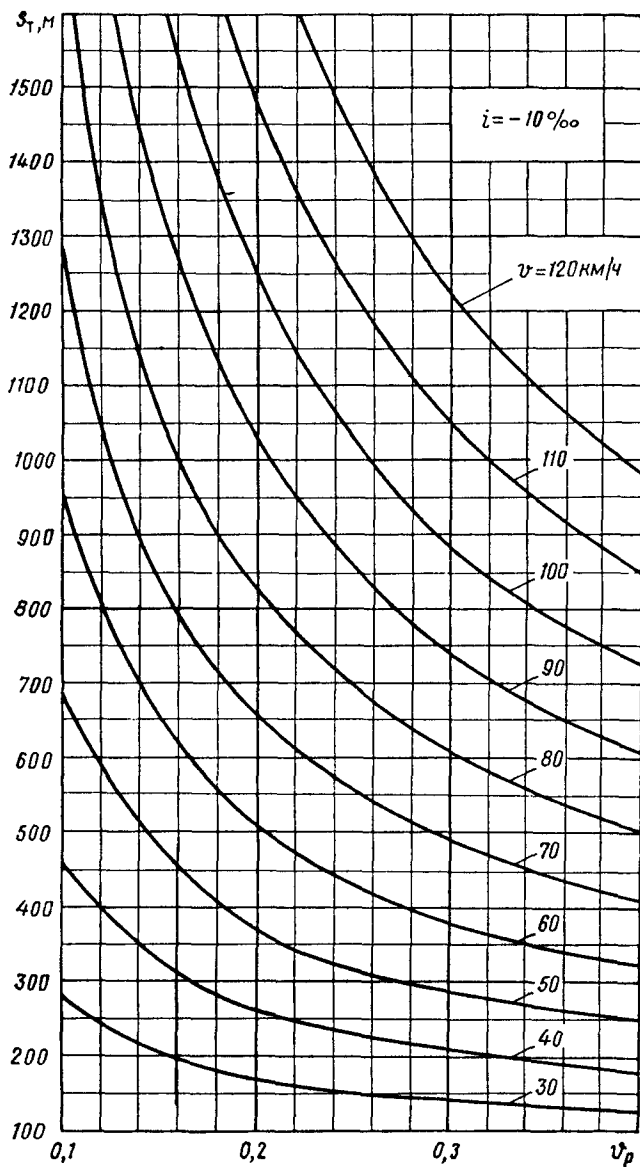


Рис. П.2.21. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -10\text{‰}$ (колодки композиционные)

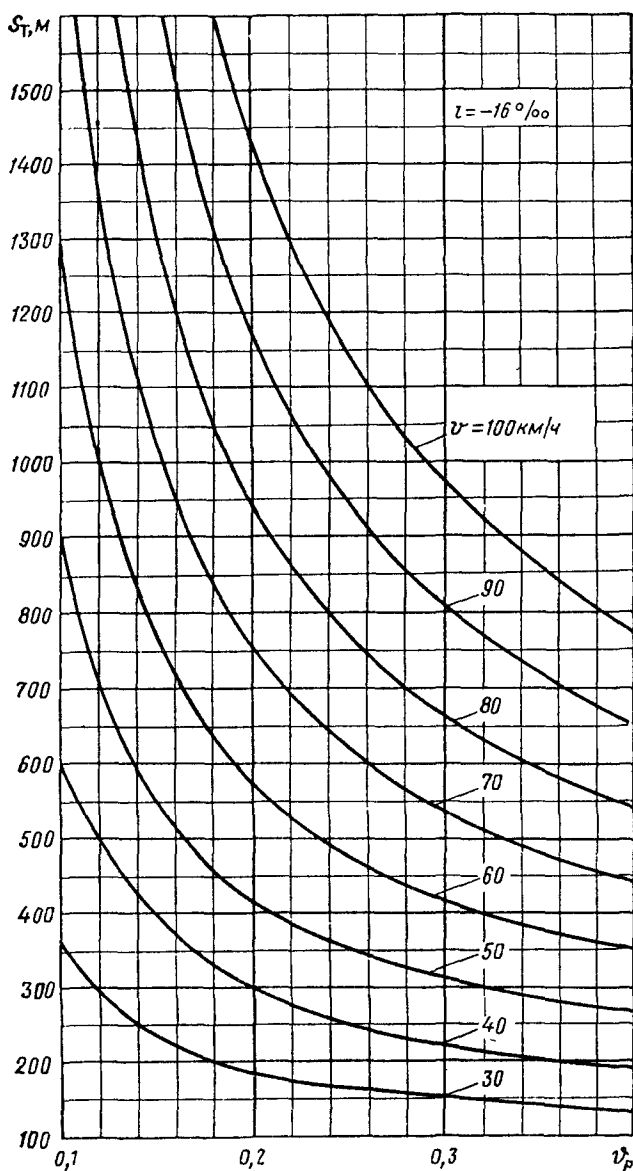


Рис. П.2.22. Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -16\text{‰}$ (колодки композиционные)

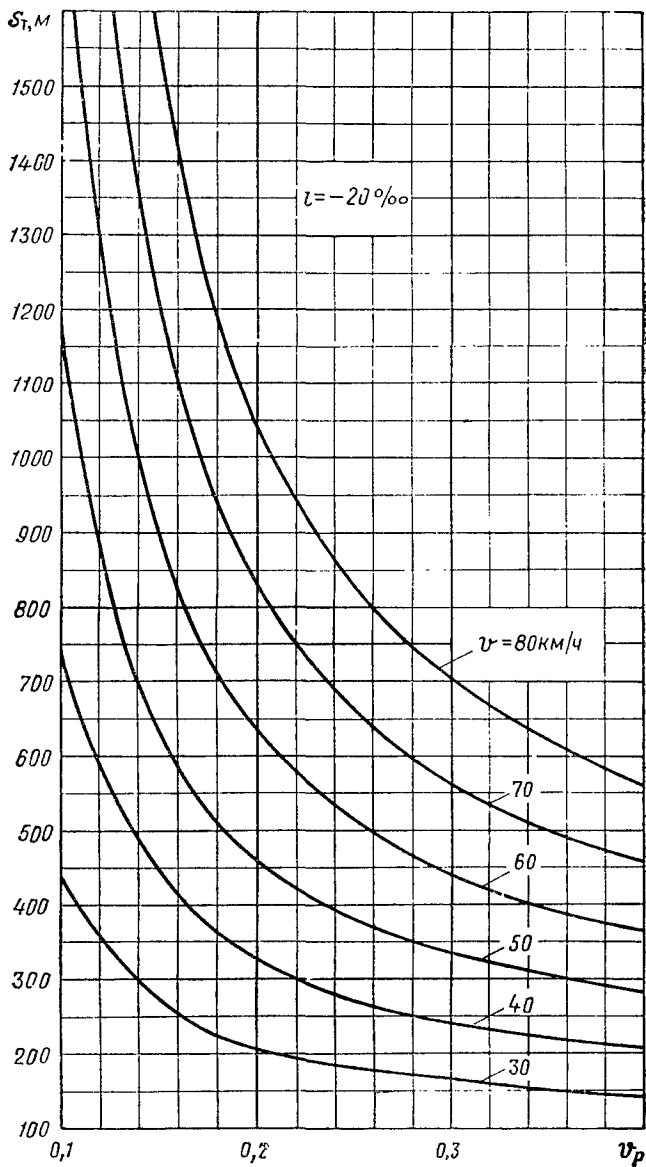


Рис П 2 23 Тормозной путь грузового поезда при экстренном торможении на спуске $i = -20\text{‰}$ (колодки композиционные)

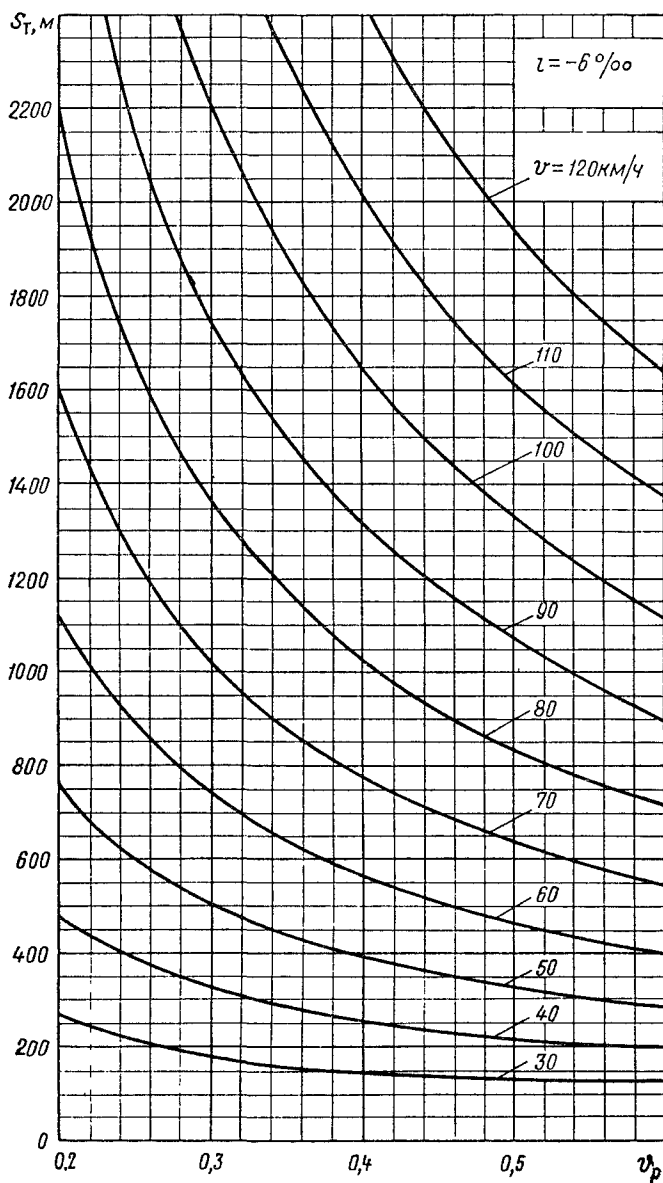


Рис П 2 24. Тормозной путь грузового поезда при полном служебном торможении на спуске $i = -6\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные)

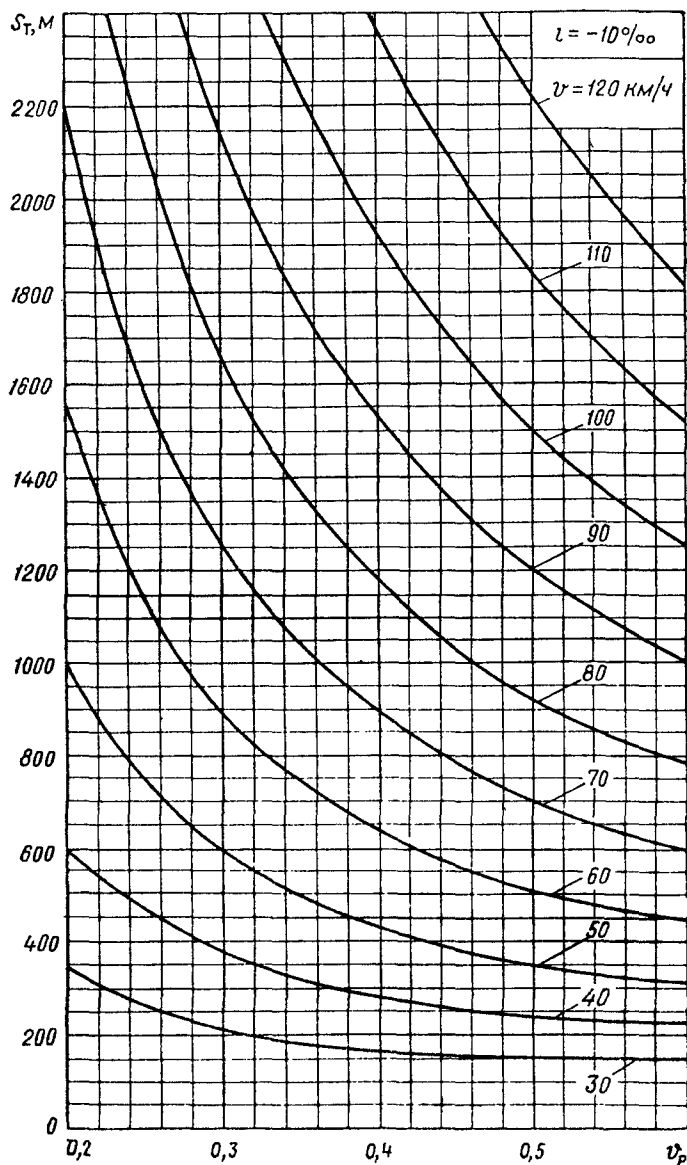


Рис. П.2.25. Тормозной путь грузового поезда при полном служебном торможении на спуске $i = -10\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные)

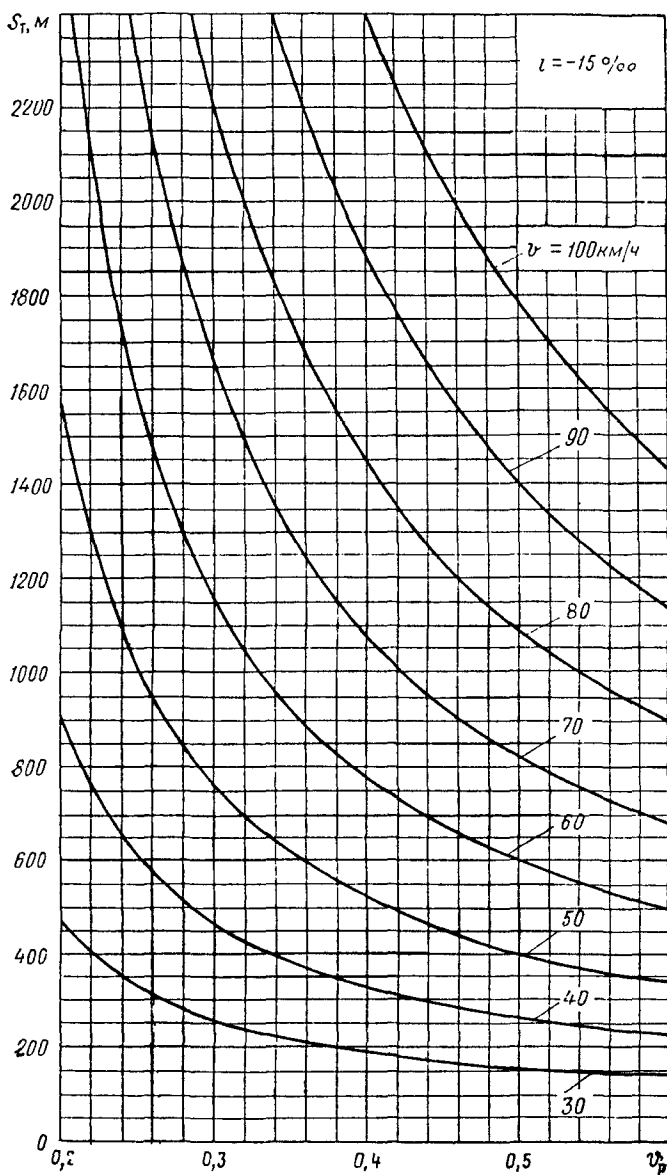


Рис. П.2.26. Тормозной путь грузового поезда при полном служебном торможении на спуске $i = -15\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные)

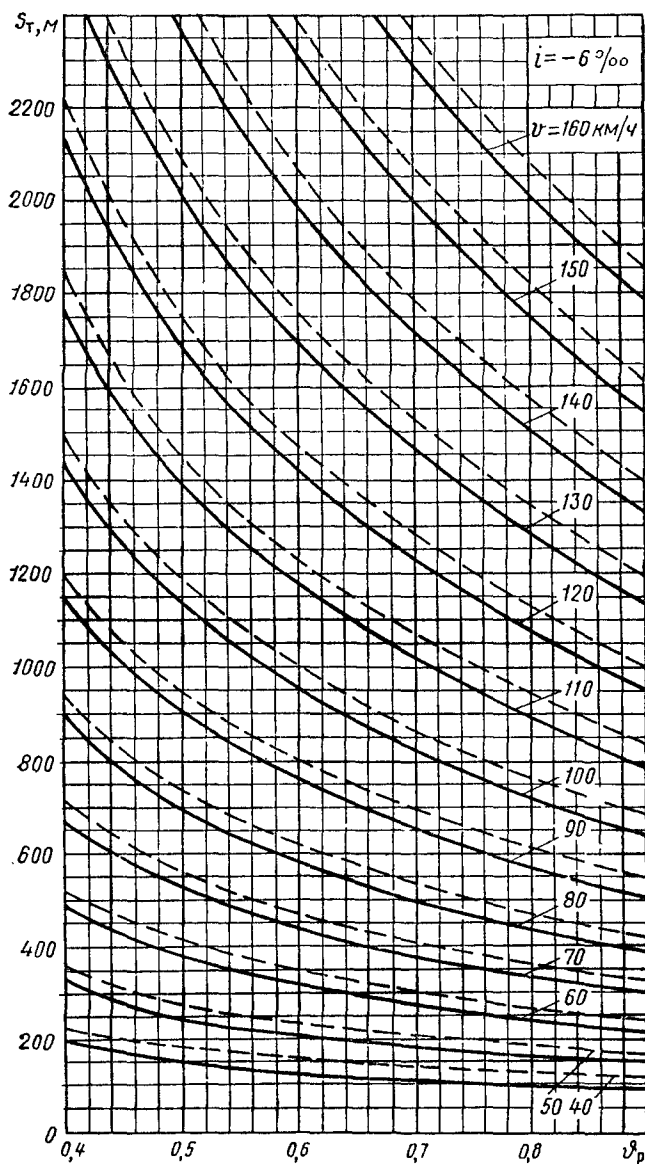


Рис. П.2.27. Тормозной путь пассажирского поезда при полном служебном торможении на спуске $i = -6\text{‰}$ (колодки чугунные стандартные)

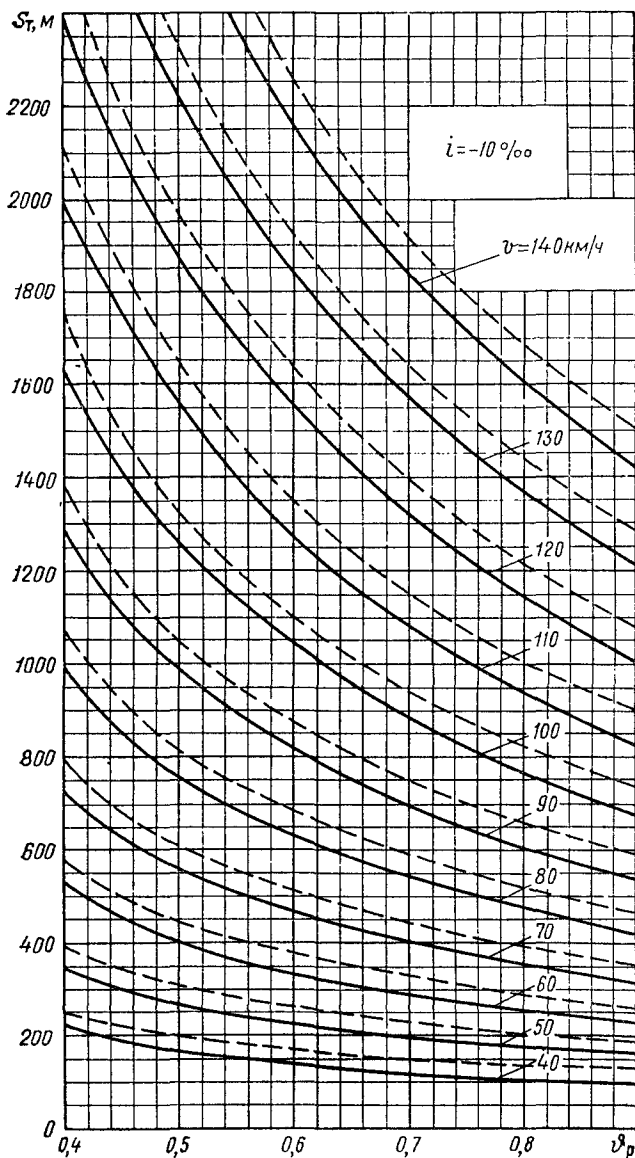


Рис. П.2.28. Тормозной путь пассажирского поезда при полном служебном торможении на спуске $i = -10\text{‰}$ (колески чугунные стандартные)

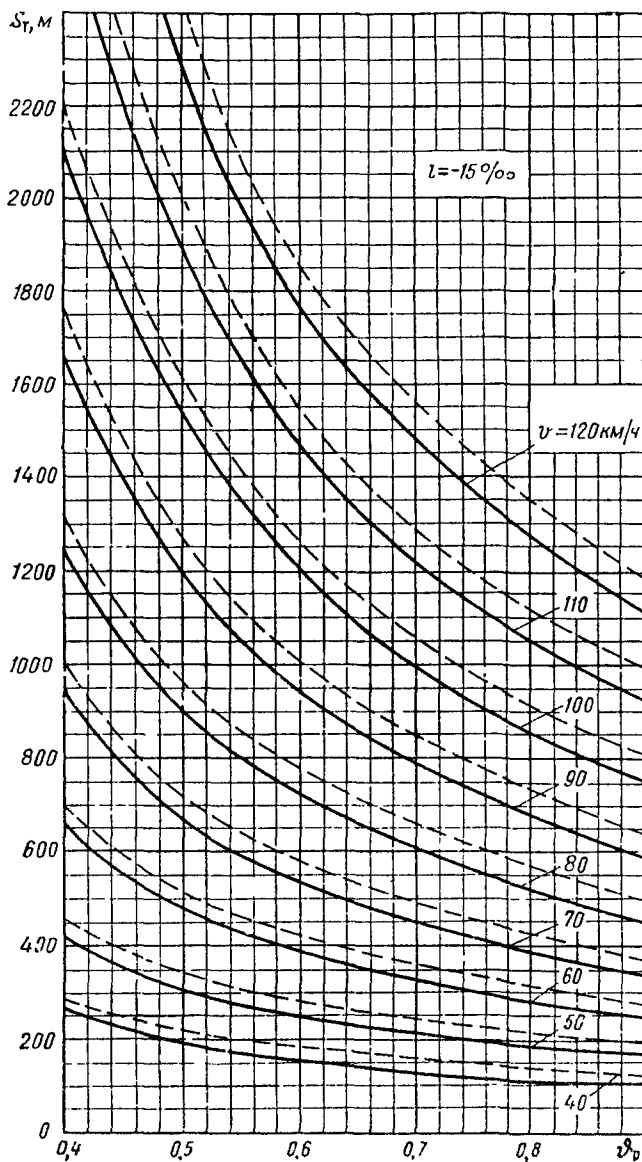


Рис. П.2.29. Тормозной путь пассажирского поезда при полном служебном торможении на спуске $i = -15\text{‰}$ (ко лошки чугунные стандартные)

**Характеристики локомотивов, не вошедшие в ПТР
издания 1985 г.**

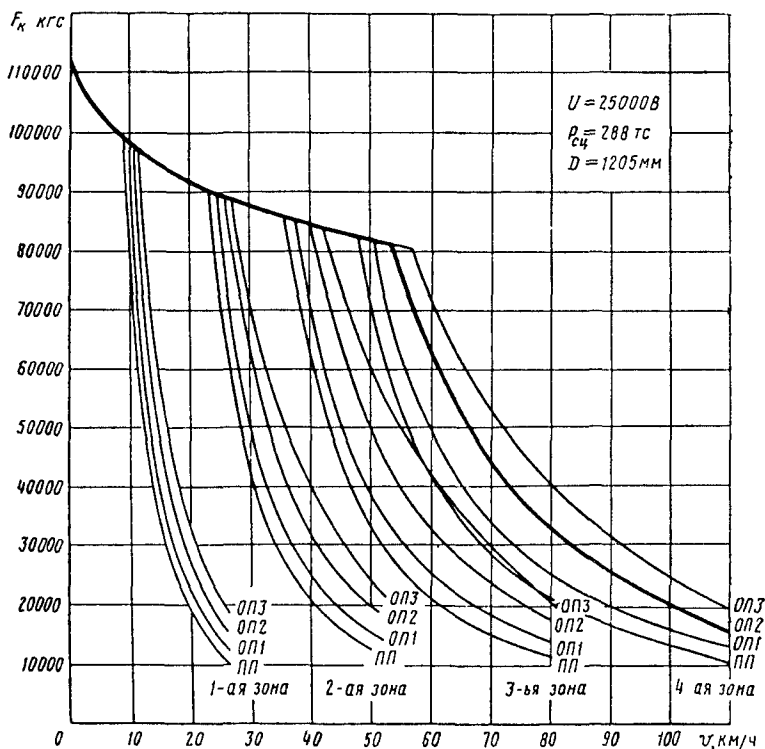


Рис. П 3.1 Тяговые характеристики электровоза ВЛ85 с тяговыми электродвигателями НБ514 (по данным завода).

$F_{к\infty} = 67\,000 \text{ кгс}$, $v_{\infty} = 50,2 \text{ км/ч}$; $F_{кч} = 74\,000 \text{ кгс}$, $v_{ч} = 49,1 \text{ км/ч}$; $\psi_k = 0,3 + \frac{4,4}{50 + 6v}$, $0,00065 \text{ в}$

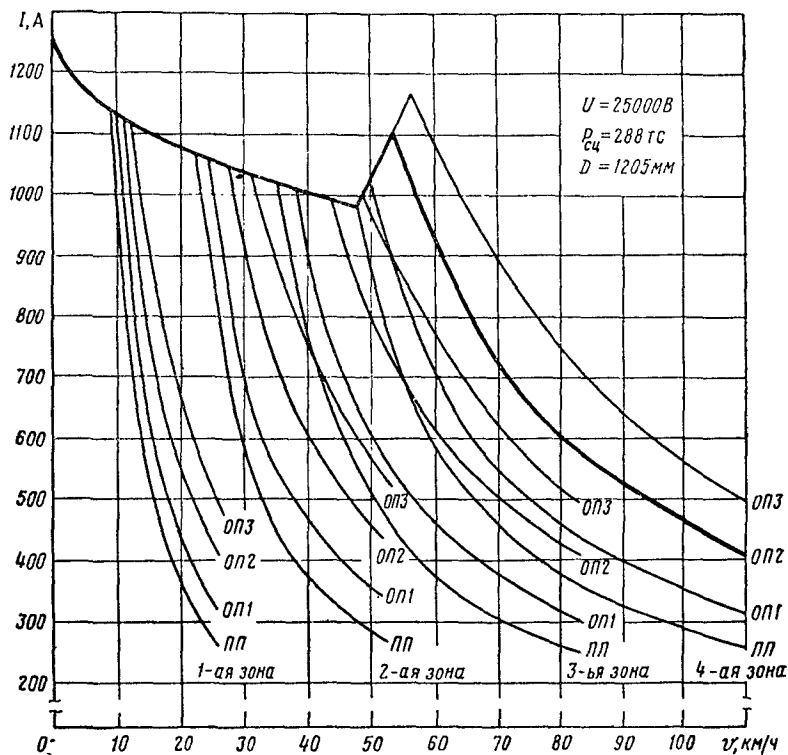


Рис. П.3.2. Токовые характеристики электровоза ВЛ85 с тяговыми электродвигателями НБ514.

$F_{к\infty} = 67\,000 \text{ кгс}$, $v_{\infty} = 50.2 \text{ км/ч}$; $F_{кч} = 74\,000 \text{ кгс}$, $v_{ч} = 49.1 \text{ км/ч}$; $\Psi_1 = -0.3 +$
 $+ \frac{4.4}{50 + 6v} - 0.00065 v$

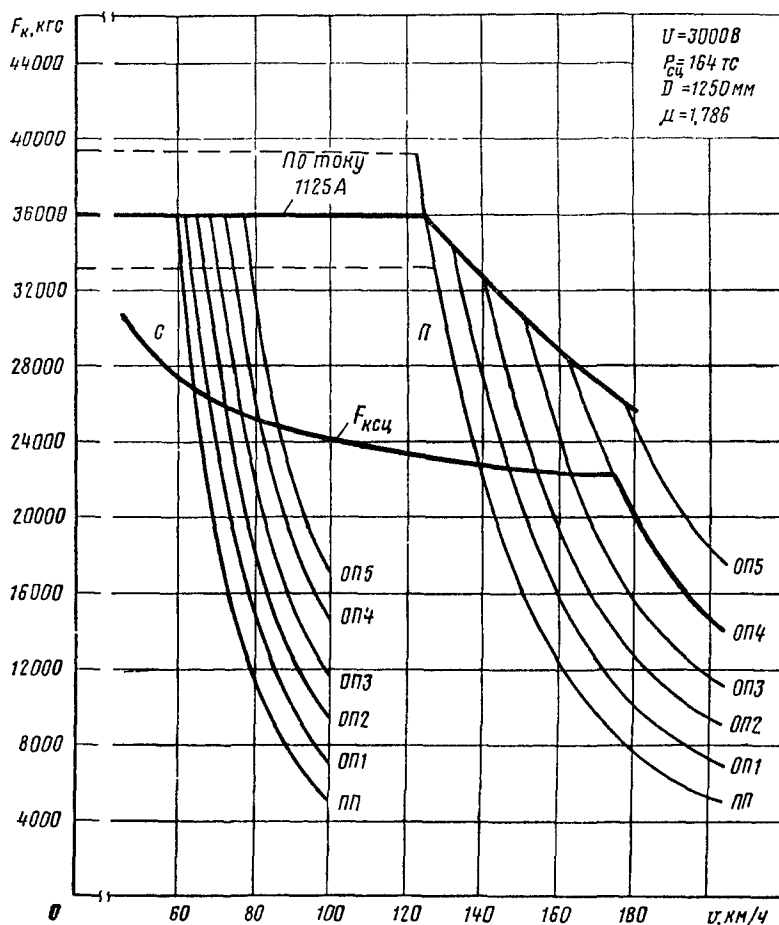


Рис. П.3.3. Тяговые характеристики электровоза ЧС200 с тяговыми электродвигателями AL4741FLT:

$$\psi_k = 0,126 + \frac{4,2}{30 + v} \quad 0,0001 \quad v$$

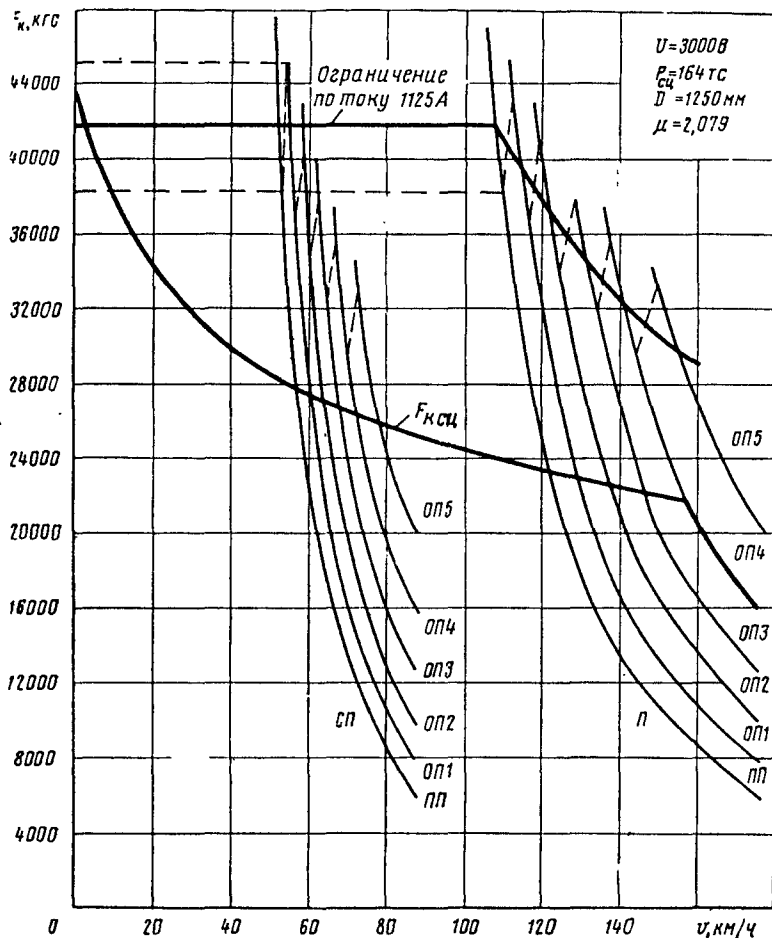


Рис. П.3.4. Тяговые характеристики электровоза ЧС6 с тяговыми электродвигателями AL 4741 FLT

$F_{к\infty}=23\,500$ кгс, $v_{\infty}=121,7$ км/ч; $F_{кч}=25\,000$ кгс, $v_{ч}=120,1$ км/ч, $\psi_k=0,126 + \frac{4,2}{30+v} - 0,0001 v$

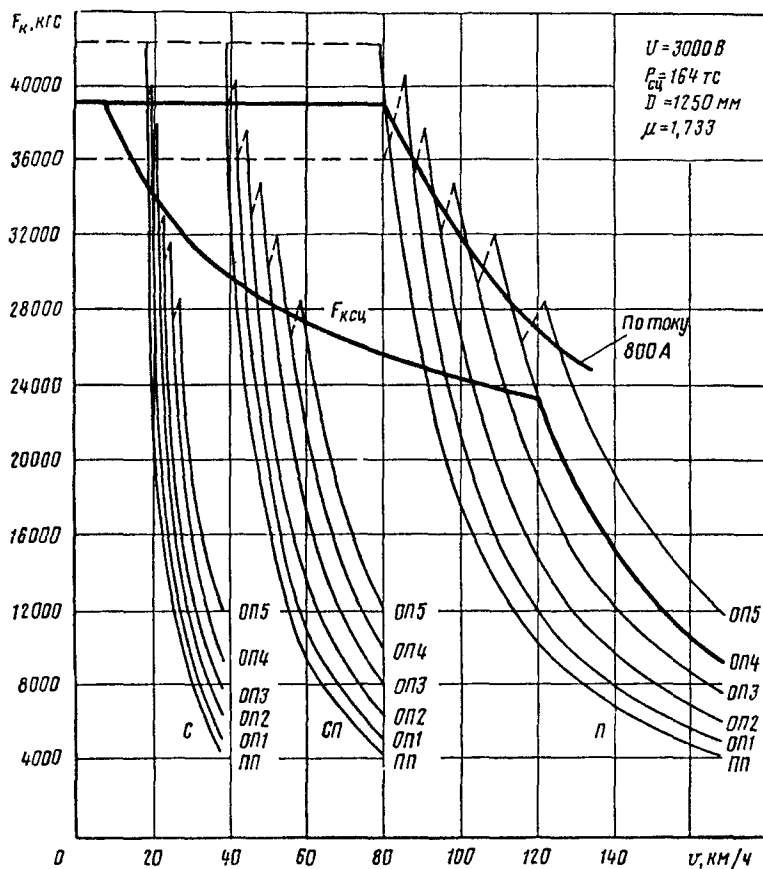


Рис П.3.5. Тяговые характеристики электровоза ЧС7 с тяговыми электродвигателями АЛ 4846 дТ

$F_{\text{к}\infty} = 24\,200 \text{ кгс}$, $v_{\infty} = 91,1 \text{ км/ч}$, $F_{\text{кч}} = 28\,500 \text{ кгс}$, $v_{\text{ч}} = 87,8 \text{ км/ч}$; $\psi_{\text{к}} = 0,126 + \frac{4,2}{30 + v}$ 0,0001 v

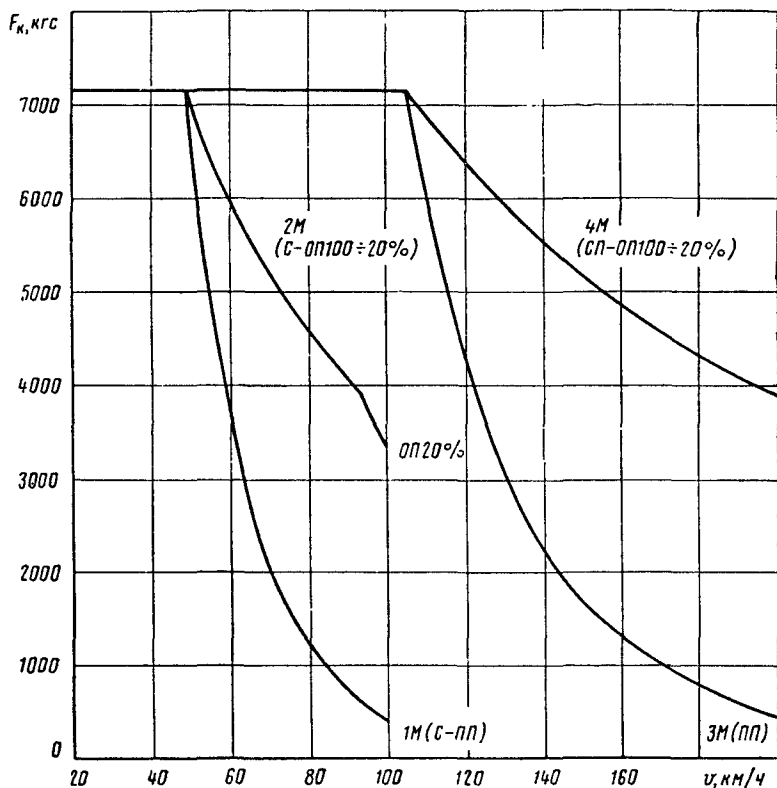


Рис. П.3.6. Тяговые характеристики секции (МТ-М) электропоезда ЭР200 при положениях контроллера машиниста [16].

1М — последовательное соединение (С), полное возбуждение; 2М — С, регулирование возбуждения; 3М — последовательно-параллельное соединение (СП), полное возбуждение; 4М — СП, регулирование возбуждения ($U_d = 3000$ В, $D = 950$ мм, $\mu = 2,35$, $\omega'_0 = 1,3 + 0,01 v + 0,000164 v^2$, $\omega_x = 1,54 + 0,021 v + 0,000164 v^2$)

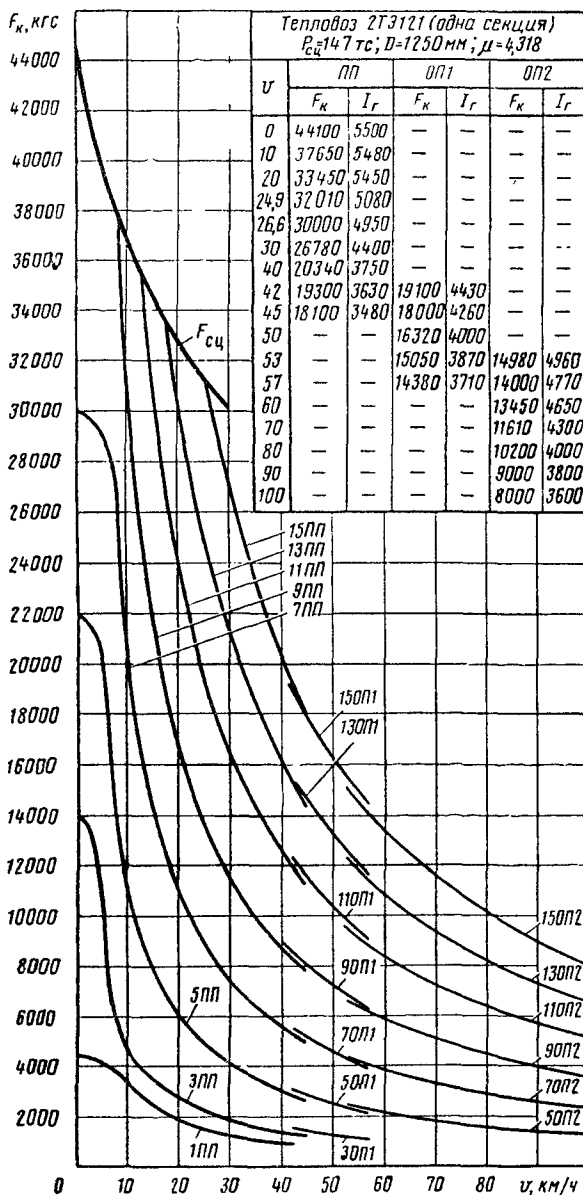


Рис. П.3.7. Тяговые характеристики тепловоза 2ТЭ121 (одна секция)

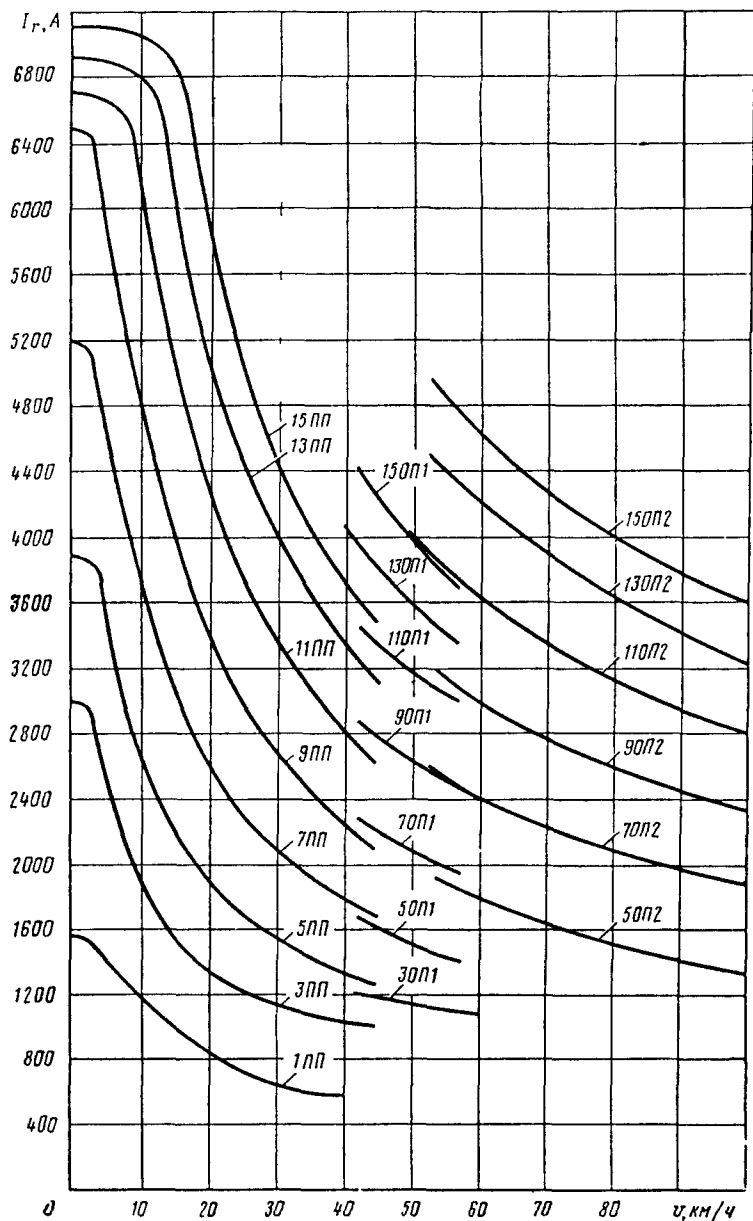


Рис. П.3.8. Токовые характеристики тепловоза 2ТЭ121

- 1 Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985. 287 с.
- 2 Гребенюк А. Т., Долганов А. Н., Некрасов О. А. Совершенствование тяговых расчетов — Электрическая и тепловозная тяга, 1984, № 8, с. 11—14.
- 3 Паспортные характеристики и результаты испытаний теплового 2ТЭ10Л/Долганов А. Н., Гребенюк П. Т. и др. М.: Транспорт, 1972. 62 с.
- 4 Паспортные характеристики и результаты испытаний теплового ТЭП60/Силин С. И., Гребенюк П. Т. и др. М.: Транспорт, 1972. 55 с.
- 5 Бабичков А. М., Егорченко В. Ф. Тяга поездов. М.: Транспорт, 1966. 263 с.
- 6 Стромский П. П. Сопротивление движению пассажирских поездов при скоростях до 200 км/ч. Вестник ВНИИЖТ, 1971, № 4, с. 26—30.
- 7 Астахов П. Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава. М. Транспорт, 1966. 178 с.
- 8 Гребенюк П. Т. Сопротивление движению подвижного состава в S-образных кривых. — Вестник ВНИИЖТ, 1987, № 1, с. 32—35.
- 9 Основное сопротивление троганию с места и движению подвижного состава колес 1067 мм. Вестник ВНИИЖТ, 1984, № 7, с. 29—32; 1985, № 8, с. 27—31.
- 10 Гребенюк П. Т. Основные положения по расчету тормоза вагона при проектировании. — В кн.: Современные методы расчета вагонов на прочность, надежность и устойчивость. Сб. науч. тр. М. Транспорт, 1986, с. 66—76.
- 11 Гребенюк П. Т., Клыков Е. В. Тормозные расчеты подвижного состава. М.: Транспорт, 1969. 72 с.
- 12 Иноземцев В. Г., Казаринов В. М., Ясеинцев В. Ф. Автоматические тормоза. М.: Транспорт, 1981. 464 с.
- 13 Иноземцев В. Г., Гребенюк П. Т. Нормы и методы расчета автотормозов. М. Транспорт, 1971. 56 с.
- 14 Гребенюк П. Т. Анализ механического тормозного оборудования локомотивов — Труды ВНИИЖТ, 1968, Вып. 353, с. 57—66.
- 15 Астахов П. Н., Гребенюк П. Т., Скворцова А. И. Справочник по тяговым расчетам. М.: Транспорт, 1973. 256 с.
- 16 Исследование высокоскоростного электропоезда ЭР200/Под ред. В. Г. Иноземцева: Сб. науч. тр. М.: Транспорт, 1985. 83 с.
- 17 Правила технической эксплуатации железных дорог Союза ССР. М.: Транспорт, 1986. 142 с.

18. Г р е б е н ю к П. Т. Динамика торможения тяжеловесных поездов. М.: Транспорт, 1977. 152 с.
19. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов/Под ред. Е. П. Блохина. М.: Транспорт, 1986. 263 с.
20. Повышение массы грузовых поездов/Под ред. А. Л. Лисицина. Сб. науч. тр. М.: Транспорт, 1985. 147 с.
21. М а н ч е в Д., Т о н е в С., Ц а н ч е в Г. Эксплуатация на БДЖ советских грузовых вагонов, прибывающих паромом Ильичевск—Варна. — Бюллетень ОСЖД, 1984, № 5, с. 9—14
22. Развитие локомотивной тяги/Под ред. Н. А. Фуфрянского А. Н. Бевзенко. М.: Транспорт, 1982. 303 с.
23. Совершенствование энергетики транспорта/А. С. Нестрахов, Н. А. Балычева и др. М.: Наука, 1987. 240 с.
24. Метод построения кривой скорости при интенсивном движении поездов/П. Т. Гребенюк, Н. Н. Корнев и др.—Тр. ВНИИЖТ, 1979, вып. 604, с. 30—39

Автостоп — прибор на локомотиве, автоматически останавливающий поезд при подходе к закрытому сигналу; воздействует на тормозную систему поезда и тяговые электродвигатели локомотива в соответствии с путевыми сигналами железнодорожной автоблокировки, с которой связан через рельсовые цепи — 72, 77, 125.

Блок-участок — часть межстанционного перегона при автоблокировке (при автоматической локомотивной сигнализации, применяемой как самостоятельное средство сигнализации и связи), ограниченная проходными светофорами или проходным светофором и станцией — 124.

Вагон динамометрический — специальный вагон с измерительным оборудованием для тяговых и энергетических испытаний локомотивов и проверки сопротивления движению подвижного состава; имеет динамометр для измерения силы тяги по сцепке с записью ее в виде кривой на ленте, движущейся со скоростью, пропорциональной проходимому пути, и скоростемер с непрерывной записью скорости. На дорогах динамометрический вагон используют для проверки весовых норм грузовых поездов по фактическим эксплуатационным условиям — 201.

Вагон для испытания автотормозов — специально оборудованный вагон повышенной прочности, применяемый при поездных испытаниях тормозных систем; имеет электронную тензометрическую аппаратуру и автосцепки-динамометры для определения продольных динамических усилий в поезде — 141.

Вес локомотива сцепной — часть общего веса локомотива, передающаяся на его движущие оси (для тепловозов при $\frac{1}{3}$ запасов топлива и песка). Используется для создания между движущими колесами и рельсами силы сцепления позволяющей превратить окружающее усилие на ободе движущих колес в силу тяги для передвижения поезда — 6, 7, 222.

Весовые нормы грузовых поездов максимальные (критические) — устанавливают на участках работы локомотивных бригад для каждой серии используемых локомотивов и утверждаются начальником дороги. При этом определенные тяговыми расчетами весовые нормы по условиям реализации сцепления колес с рельсами, перегрева электрических машин, мощности устройств энергоснабжения и с учетом использования кинетической энергии проверяют в опытных поездках с динамометрическим вагоном, в соответствии с действующими инструктивными указаниями. Максимальные весовые нормы и длина грузовых поездов должны отвечать требованиям безопасности движения с обеспечением прочности подвижного состава и условий нормального управления в режимах тяги и торможения. Вожение поездов весом более критического для данного локомотива запрещается — 8.

Весовые нормы параллельные — устанавливаются МПС для оперативных маршрутов, сформированных из вагонов с определенным родом груза. Формирование и пропуск таких поездов производят с условиями соответствия длины поезда и приемо-отправочных путей станций по конечным пунктам следования, с безостановочным пропуском по главным путям промежуточных станций. Устанавливаются также для поездов, обслуживаемых многосекционными локо-

мотивами, работающими по системе многих единиц, или кратной тягой, или с применением подталкивания на лимитирующих перегонах. Пропуск таких поездов на участках осуществляется по дифференцированным перегонным временам хода, сообщаемым в книжках служебного расписания — 162, 163.

Весовые нормы расчетные — определяют тяговыми расчетами, в соответствии с действующими Правилами (ПТР) на каждом участке работы локомотивов. В зависимости от характера профиля пути данного участка расчет массы состава грузового поезда выполняют из условий безостановочного движения по расчетному подъему с равномерной скоростью, по труднейшим скоростным подъемам с учетом использования кинетической энергии. Для обеспечения устойчивой работы локомотивов на тех участках, где климатические условия значительно изменяются в зависимости от времени года, расчетную массу состава определяют для летнего и зимнего периодов. В тяговых расчетах, выполняемых при проектировании новых железных дорог и электрификации действующих линий, для определения массы состава силу тяги электровозов принимают на 5 %, а тепловозов на 7 % меньше расчетных значений, приведенных в ПТР. При кратной тяге расчетные значения силы тяги локомотивов принимают за 100 %, для подталкивающих локомотивов — также 100 %. Для предупреждения разрыва поездов наибольшую суммарную силу тяги локомотивов, находящихся в голове, при трогании поезда с места определяют исходя из максимально допустимого продольного усилия на автосцепке, равного 95 тс, а наибольшую суммарную силу тяги при разгоне и движении по труднейшему подъему определяют из максимально допустимого продольного усилия на автосцепке, равного 130 тс — 143—156.

Весовые нормы унифицированные — нормативные для расчета перегонных времен хода сквозных поездов, по которым разрабатывается график движения поездов. Устанавливают МПС по направлениям вагонопотока в зависимости от погонной нагрузки, стандарта длин приемо-отправочных путей станций, рода подвижного состава, тяговых качеств локомотивов, мощности устройств энергоснабжения. Участковые весовые нормы применяются для участковых, сборных, вывозных и передаточных поездов — 166, 171, 177.

Вспомогательный локомотив — локомотив, высылаемый на перегон для поезда, имеющего вынужденную остановку, если он не может быть вывезен целиком или по частям ведущим — 158, 159.

Двойная тяга — вид кратной тяги, которую применяют для увеличения провозной способности. При этом в голове поезда находятся два действующих локомотива, работающих по системе многих единиц, оборудованных синхронным управлением, или обслуживаемых раздельно двумя локомотивными бригадами — 159.

Динамика поезда продольная — область механики, в которой рассматриваются задачи о движении железнодорожного поезда как механической системы, и выбираются рациональные режимы вождения длинносоставных тяжеловесных грузовых поездов, устанавливаются оптимальные характеристики систем управления локомотивами, параметры автотормозов и поглощающих аппаратов автосцепки, нормы проектирования продольного профиля пути. Продольные усилия в поезде рассчитываются численным интегрированием дифференциальных уравнений нелинейной механической системы — 128, 129.

Динамика торможения поезда — составная часть динамики поезда, в которой изучаются неусоглаившиеся и установившиеся ре-

жимы торможения с учетом допустимых продольных усилий и тормозных путей. При неустановившемся торможении источник возмущений движется вдоль состава со скоростью тормозной волны, тормозная сила переменная, а при установившемся — постоянная, что определяет различный характер продольных динамических и квазистатических усилий. Распространение нелинейных волн ударов зависит от размеров и силовых характеристик междвагонных связей. Максимальные продольные усилия возникают при критическом соотношении скоростей тормозной и ударной волны. Работа тормозных приборов рассматривается во взаимной связи с поглощающими аппаратами автосцепки — 130—142.

Коэффициент динамики торможения — отношение максимального продольного усилия, возникающего при торможении растянутого поезда, к усилию в сжатом поезде — 141.

Коэффициент продольной динамики — отношение максимального продольного усилия, возникающего при трогании поезда, к силе тяги локомотива — 129.

Коэффициент силы нажатия — отношение суммарной силы нажатия тормозных колодок вагона (локомотива) к его весу — 68.

Коэффициент трения физический — действительный коэффициент трения тормозной колодки и колеса, отличающийся от приведенного расчетного, принимаемого как условный усредненный для различного подвижного состава — 53—55.

Кратная тяга — тяга двумя или несколькими локомотивами, при которой сохраняется на участке унифицированная масса поезда при наличии на участке уклонов круче расчетного — 143, 159.

Масса учетная — масса локомотива с топливом и песком, вагона с грузом, состава с пассажирами и грузом, принимаемая при тормозных расчетах — 63—66

Одиочная тяга — движение поезда с одним ведущим локомотивом — 144—147.

Опробование автотормозов — проверка действия тормозов. Полное опробование с проверкой состояния тормозной магистрали и действия тормозов у всех вагонов производят перед отправлением поезда, сокращенное — с проверкой хвостового вагона. В пути следования действие тормозов проверяется ступенью торможения — 196 197.

Опытное кольцо — экспериментальная база со специализированными лабораториями и замкнутым рельсовым путем, имеющим точную горизонтальную окружность длиной 6 км и радиусом 956 м, что обеспечивает равное сопротивление движению и дает возможность длительно поддерживать постоянные режимы работы локомотива, соединяет характерные особенности лабораторных и эксплуатационных испытаний подвижного состава — 6.

Отпуск тормозов — прекращение или ослабление действия тормозов при повышении давления в магистрали краем машиниста — 70.

Перегон — часть железнодорожной линии, ограниченная смежными раздельными пунктами — 179.

Подвижной состав — локомотивы, вагоны — 5.

Подъем расчетный — подъем, по которому производятся тяговые расчеты для определения расчетных весовых норм поезда на отдельном участке или в целом на направлении. Скорость движения поезда с расчетной массой по расчетному подъему устанавливается равномерной — 143 — 148.

Подъем труднейший (скоростной) — подъем, круче расчетного по которому исходя из условий безостановочного движения с неравномерной скоростью определяют расчетную весовую норму с учетом использования кинетической энергии поезда — 148 — 158.

Подталкивание поездов — заключается в применении добавочных локомотивов в помощь основному ведущему локомотиву для освоения унифицированной весовой нормы или для сокращения времени хода по лимитирующим перегонам, ограничивающим пропускную способность — 8, 130.

Поезд — сформированный и сцепленный состав вагонов с одним или несколькими действующими локомотивами или моторными вагонами, имеющий установленные сигналы — 5.

Поезд грузовой длинносоставный — поезд, длина которого превышает максимальную норму, установленную графиком движения на участке следования этого поезда — 97 — 99.

Поезд грузовой тяжеловесный — поезд, масса которого для соответствующих серий локомотивов на 100 т и более превышает установленную графиком движения весовую норму на участке следования этого поезда — 129, 130.

Поезд грузовой соединенный — поезд, составленный из двух и более сцепленных между собой грузовых поездов с действующими локомотивами в голове каждого поезда — 127, 128.

Поезд пассажирский длинносоставный — поезд, длина которого превышает установленную схемой формирования — 129

Поезд пассажирский нормальной длины и короткосоставный — поезд соответственно с составом из 12—19 вагонов и до 11 вагонов — 67, 124. —

Поезд пассажирский сдвоенный — поезд с составом более 25 вагонов — 142.

Поезд пассажирский соединенный — поезд, составленный из двух пассажирских поездов, сцепленных между собой, с действующими локомотивами в голове каждого поезда — 142.

Поезд пассажирский повышенной длины — поезд, имеющий в составе 20 и более вагонов — 106.

Поезд грузовой повышенных веса и длины — поезд, имеющий:

1) состав массой 6 тыс. т и более, с числом осей 350 и более;
2) с локомотивом в голове состава из порожних вагонов с числом осей до 480 или массой до 8 тыс. т с числом осей до 400;

3) с локомотивом в голове и хвосте состава массой до 12 тыс. т с числом осей до 540, с использованием пневмоэлектрического датчика № 418 и включением хвостового локомотива в тормозную сеть;

4) локомотивы в голове и последней трети состава массой 8—12 тыс. т и более; локомотивы в голове и середине состава массой до 8 тыс. т с использованием пневматической синхронизации управления тормозами и отключения тяги на втором локомотиве, массой до 12 тыс. т с числом осей до 540 с объединенной тормозной магистралью, из порожних вагонов с числом осей более 480 с объединенной тормозной магистралью или массой до 12 тыс. т с числом осей до 520 с автономными тормозными магистралями — 136—141.

Поездной локомотив — действующий локомотив, устанавливаемый в голове, хвосте поезда (в соединенных поездах — в голове и середине или в последней трети состава), сцепленный с составом и включенный в тормозную сеть — 5, 143.

Связь упруго-фрикционная — междувагонное соединение с ударно-тяговыми приборами, в которых воспринимаемая при сжатии

энергия затрачивается на работу сил трения и потенциальную энергию упругой деформации пружин — 141.

Силы, действующие на поезд, — внешние и внутренние силы при движении, действующие на поезд. Внешние силы разделяются на силы, направленные по линии движения, и составляющие этих сил, действующие перпендикулярно направлению движения поезда. Внутренние силы возникают в процессе неустановившегося движения и действуют между отдельными единицами подвижного состава. При тяговых расчетах определяют силы тяги локомотива, силы сопротивления движению подвижного состава, силы торможения, продольные динамические (квазистатические) усилия в междувagonных соединениях — 128, 129.

Сила тяги — создаваемая двигателем локомотива во взаимодействии с рельсом управляемая внешняя сила, приложенная к движущим колесам локомотива в направлении его движения. Различают касательную силу тяги, силу тяги на сцепке, динамометрическую, силу тяги по сцеплению — 129, 143 — 146.

Сила тяги касательная — действительная сила тяги, приложенная к ободу движущих колес локомотива — 129.

Сила тяги по сцеплению — касательная сила тяги локомотива, которая ограничивается сцеплением колес с рельсами — 178, 179.

Сила тяги динамометрическая — действительная сила, измеряемая динамометром на сцепном приборе первого вагона. При ускоренном движении меньше силы тяги на сцепке, так как часть силы расходуется на повышение кинетической энергии самого локомотива и не передается составу — 129.

Сила тяги на сцепке — сила тяги, приложенная к автосцепке между локомотивом и первым вагоном. При равномерном движении измеряется непосредственно и равняется динамометрической, при неравномерном определяется прибавлением или вычитанием силы, требующейся на ускорение или замедление локомотива — 145, 146.

Сила продольная динамическая — сила ударного характера, возникающая при переходных режимах движения, действующая в течение короткого промежутка времени, содержащая один или несколько пиков нагрузки — 128.

Сила продольная квазистатическая — медленно изменяющаяся сила, возникающая в процессе установившегося движения, с плавным характером роста и действием в течение нескольких секунд ($> 2с$) — 128.

Скорость маршрутная — среднесуточная скорость движения поезда на всем пути следования от пункта формирования до пункта расформирования — 188.

Скорость конструкционная — скорость движения, на которую рассчитываются прочность конструкции и ходовые качества единицы подвижного состава — 143 — 146.

Скорость равновесная — установившаяся равномерная скорость движения поезда под действием равных ускоряющих и замедляющих сил — 143.

Скорость техническая — скорость движения поезда без учета времени стоянок на промежуточных станциях — 184.

Скорость участковая — скорость движения поезда с учетом стоянок на промежуточных станциях — 188.

Скорость ходовая — средняя скорость движения поезда по переездам при безостановочном пропуске его через раздельные пункты, отличается от технической скорости тем, что она исчисляется без

учета поправок на разгон и замедление, необходимых при остановах — 201.

Соппротивление движению поезда — неуправляемые силы, направленные противоположно движению поезда. Различают основное сопротивление, действующее постоянно при движении подвижного состава, и дополнительное, появляющееся при движении по уклону, кривым, при трогании с места. Соппротивление, отнесенное к 1 т массы, называют удельным. Основное сопротивление движению складывается из сопротивлений от трения между шейками осей и подшипниками, от качения колес по рельсам, от трения скольжения между колесами и рельсами, от потери кинетической энергии при ударах и колебаниях, от сопротивления воздушной среды. К дополнительному сопротивлению относятся также сопротивление от подвижных генераторов, от низкой температуры наружного воздуха, от ветра — 10 — 46.

Спуск затяжной — спуск при следующих значениях крутизны и протяженности — 127:

Крутизна, ‰	8—10	11—14	15—17	18—20	21 и более
Протяженность, км, и более	8	6	5	4	2

Спуск руководящий — наибольший по крутизне спуск (с учетом сопротивления кривых) протяжением не менее тормозного пути — 124 — 126.

Спуск вредный — спуск, на котором для поддержания установленной скорости необходимо применять тормоза — 125.

Тормозной коэффициент — отношение суммарной силы нажатия тормозных колодок состава (поезда) к его массе — 68 — 70, 106—108.

Тормозной путь — расстояние, проходимое поездом за время от момента перевода ручки краиа машиниста или краиа экстренного торможения в тормозное положение до полной остановки. Тормозные пути различаются в зависимости от вида торможения: автостопное, полное служебное, экстренное — 71 — 83.

Торможение автостопное — экстренное торможение, вызываемое срабатыванием автостопа на локомотиве, учитывающее время, необходимое для воздействия устройств автоматической локомотивной сигнализации и автостопа на тормозную систему поезда — 77, 78.

Торможение служебное — торможение ступенями любого значения для плавного снижения скорости или остановки поезда в заранее предусмотренном месте — 97.

Торможение подное служебное — торможение служебное, достигаемое снижением давления в магистрали в один прием на 0,15—0,17 МПа от установленного зарядного, для сокращения скорости поезда на более коротком расстоянии или его остановки — 8, 76 — 78.

Торможение ступенчатое регулировочное — торможение служебное, достигаемое снижением давления в магистрали ступенями для регулирования скорости движения поезда или его остановки в заранее предусмотренном месте — 102—105, 131.

Торможение экстренное — торможение, применяемое в случаях, когда требуется немедленная остановка поезда, достигаемое путем экстренной разрядки магистрали и обеспечивающее максимальную тормозную силу и наименьший тормозной путь — 8, 72—76, 131.

Торможение рекуперативное — торможение, при котором используется сила тяжести движущегося по спуску поезда для враще-

ния тяговых двигателей электровоза, работающих как генераторы, с передачей вырабатываемой энергии в контактную сеть — 68, 69, 188—196.

Торможение реостатное — торможение, при котором тяговые двигатели локомотива или моторных вагонов, работающих как генераторы, подключаются к реостатам, в которых гасится вырабатываемая во время тормозного процесса электрическая энергия. Для обеспечения устойчивости вагонов от выжимания продольными усилиями при электрическом торможении локомотивами, находящимися в голове поезда, наибольшее значение тормозной силы не должно превышать 100 тс для состава из груженых четырехосных вагонов — 128—130.

Тормоз фрикционный — устройство, осуществляющее торможение единицы подвижного состава за счет сил трения между колодкой (накладкой) и колесом (диском, рельсом) — 47—52, 63.

Тяга поездов — прикладная наука, изучающая механику движения поезда, содержит теорию тяги, тяговые расчеты, испытания локомотивов, технику вождения поездов — 3.

Тяговые расчеты — область прикладной механики, в которой с учетом материалов испытаний и эксплуатационного опыта теоретически определяются условия ведения поезда: весовая норма, скорость и время хода, расход электроэнергии (топлива) 3—9.

Уклон — элемент продольного профиля железнодорожного пути, имеющий наклон к горизонтальной линии. Уклон для поезда, движущегося от низшей точки к высшей, называют подъемом, а обратно — спуском — 185.

Характеристика силовая междувагонного соединения — зависимость суммарного сжатия двух смежных поглощающих аппаратов автосцепки от продольного усилия. Различают жесткие (вогнутые), мягкие (выпуклые) и линейные силовые характеристики связей в области собственной деформации поглощающих аппаратов — 130, 131, 140—142.

Характеристика токовая, тормозная, тяговая локомотива — зависимость силы тока, тормозной силы, силы тяги локомотива от скорости движения — 9, 70, 188—194, 255—262.

Центр масс — материальная точка, в которой сосредоточена масса всей системы и на которую действуют все внешние силы, приложенные к системе — 130.

Язык программирования — правила, устанавливающие способы и последовательность соединения символов, предназначенные для формирования и записи процессов решения задач на ЭВМ — 215.