**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

Методическое пособие

АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРАВИЛ ТЯГОВЫХ РАСЧЕТОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Москва 2016

gost.e-ecolog.ru

Методическое пособие (к СП 37.13330.2012 «СНиП 2.05.07-91* Промышленный транспорт») разработано Проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ».

Авторский коллектив: РАТ В.А. Сидяков (руководитель темы), д.т.н. Л.А. Андреева, к.т.н. А.Г. Колчанов, инженеры И.П. Потапов, Н.И. Карганова, А.В. Багинов, В.Е.Сидяков, И.Т. Демченко, В.П. Глухман.

Методическое пособие представляет переработанные и дополненные Правила тяговых расчетов для поездной работы электровозов, тяговых агрегатов и локомотивов на промышленном транспорте, разработанные ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ» в 1977 г.

Настоящие Правила тяговых расчетов включают теоретические и экспериментальные исследования по совершенствованию методов расчета локомотивной и тормозной тяги, расхода топлива и электроэнергии для колеи 1520 мм и 750 мм.

Методическое пособие рекомендуется использовать в расчетах при проектировании и строительстве железных дорог промышленного транспорта.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 5
1 Нормативные ссылки 8
2 Термины и определения 8
3 Основные положения для расчетов 16
3.1 Область применения 16
3.2 Общие положения 16
3.3 Особенности тяговых расчетов для грузовых поездов на тепловозной и электрической тяге 20
4 Основное удельное сопротивление движению поезда 23
5 Дополнительные удельные сопротивления движению поезда 29
6 Полное сопротивление движению поезда 34
7 Тормозные силы 36
8 Сила тяги локомотивов 43
9 Определение массы состава поезда 48
10 Ограничения скорости и решение тормозной задачи 53
11 Подготовка продольного профиля к выполнению расчетов 56
12 Определение скорости, времени и энергозатрат на движение поезда 58
13 Проверка электродвигателей на перегрев 63
14 Сопротивление движению и троганию подвижного состава и тормозные расчеты для поездов узкой колеи 64
15 Тяговые и другие характеристики локомотивов 67
Приложение А
Условные обозначения, единицы измерения величин и их точность 72
Приложение Б
Коэффициенты, учитывающие дополнительное удельное сопротивление движению поезда от низкой температуры наружного воздуха 76
Приложение В
Коэффициенты, учитывающие дополнительное удельное сопротивление движению поезда от встречного и бокового ветра 78
Приложение Г
Пример решения тормозной задачи – определения допустимых скоростей движения 87
Приложение Д
Пример тягового расчета 88

Приложение Е

Примерный алгоритм тяговых расчетов при использовании вычислительных программных средств..... 90

Библиография..... 93

ВВЕДЕНИЕ

Тяговые расчеты – важная составная часть науки о тяге поездов, одно из основных мероприятий, проводимых для организации поездной работы и проектирования железнодорожных линий. Методы тяговых расчетов включают комплекс способов и приемов определения массы состава, скорости движения и времени хода по перегону, расхода топлива и электроэнергии на тягу, решение тормозных задач. Проведение тяговых расчетов позволяет определить количество необходимых тяговых мощностей для организации движения определенного количества грузов. От точности проведения тяговых расчетов напрямую зависит экономический эффект предприятий железнодорожного транспорта, эффективность использования локомотивного и вагонного парка.

Разработка настоящего Пособия обусловлена появлением новых моделей локомотивов, изменением нормативно-правовой базы промышленного транспорта (в частности СП 37.13330.2012 «СНиП 2.05.07-91* Промышленный транспорт») и усилением требований, связанных с энергоэффективностью работы локомотивного парка. В основу разработки положены Правила тяговых расчетов для промышленных электровозов и тяговых агрегатов постоянного тока, разработанные ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ», изданные в 1971–1977 гг., а также правила для поездной работы на общей сети железных дорог, изданные в 1985 г.

Методические материалы предназначены для специалистов и руководителей проектно-изыскательских и строительных организаций, учреждений и служб заказчика (инвестора) и других заинтересованных организаций, с целью обеспечения их организационно–методическими материалами, которые позволяют разрабатывать и применять высокоэффективные технологические процессы проектирования предприятий, зданий и сооружений, обеспечивающие качество и конкурентоспособность этих объектов.

Методические материалы разрабатываются в развитие положений СП 37.13330.2012 «СНиП 2.05.07-91* Промышленный транспорт».

Применение настоящих Методических материалов даст проектировщику механизм реализации требований, заложенных в строительных нормах и правилах

для более грамотного и рационального проектирования в соответствии с положениями, заложенными в нормах.

Применение Методического пособия позволит повысить качество выполняемых проектных работ, сократить сроки и снизить стоимость проектирования за счет использования типовых единых практических подходов к выполнению работ.

В методике дополнительно учитывается:

– сопротивление от поворота тележек экипажей на кривых, направленных в разные стороны (так называемых S-образных или обратных кривых);

– сопротивление на стрелочных переводах при движении на боковое направление;

– зависимость сопротивления от состояния пути или уровня его;

– снижение силы тяги при температуре наружного воздуха 20 °С и выше, а также при атмосферном давлении ниже 1013 гПа (760 мм рт. ст.)

– сопротивление движению локомотива в связи с тем, что на промышленном транспорте тяговые расчеты выполняются не только для поездного движения, но и для маневровых передвижений с небольшим количеством вагонов, а также для движения локомотива без вагонов или специального подвижного состава;

– сопротивление движению от низкой температуры наружного воздуха – аппроксимированы опытные данные для логически обоснованного их учета;

– сопротивление движению от встречного и бокового ветра – аппроксимированы опытные данные для логически обоснованного их учета (в Правилах для промышленного транспорта учитывается значительно заниженным коэффициентом 1,2 без зависимости от скорости поезда, силы ветра и плотности воздуха).

Также в Пособии рекомендовано:

– учитывать понижающий коэффициент на снижение силы тяги локомотивов с большим сроком службы;

– включать в длину кривых в плане половину длин переходных кривых.

В Пособии впервые применена методика определения максимально допустимых скоростей движения по условиям торможения численной интеграцией с

помощью программных средств, а также произведен учет дополнительных сопротивлений.

На основе данного пособия возможна разработка особой программы для повышения достоверности тяговых расчетов, устраняющей неточности действующих методик.

1 Нормативные ссылки

В настоящей методике использованы ссылки на следующие документы:

СП 37.13330.2012 «СНиП 2.05.07-91* Промышленный транспорт»

СП 119.13330.2012 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм»

СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»

ГОСТ Р 51685-2000 Рельсы железнодорожные. Общие технические условия

2 Термины и определения

В настоящем пособии применяются следующие термины с соответствующими определениями:

2.1 Автоматический пневматический тормоз подвижного состава: Пневматический тормоз подвижного состава, обеспечивающий экстренное торможение при разъединении и/или разрыве тормозной магистрали воздухопровода.

2.2 Автостопное торможение: Экстренное торможение, вызванное срабатыванием автостопа на локомотиве, учитывающее время, необходимое для воздействия устройств автоматической локомотивной сигнализации и автостопа на тормозную систему поезда.

2.3 Вредный спуск: Спуск, на котором для поддержания установленной скорости необходимо применять тормоза.

2.4 Временные пути: Пути, предназначенные для выполнения погрузочно- разгрузочных операций, строительных работ и обеспечения производственной деятельности, со сроком эксплуатации, как правило, не более одного года. К временным путям относятся передвижные (переукладываемые) пути карьеров и отвалов, пути для подачи грузов на строящийся объект, строящиеся пути, используемые до ввода их в постоянную эксплуатацию для доставки строительных грузов, движения построечных машин, а также для временной эксплуатации в производственных целях.

2.5 Выбег: Движение локомотива с вагонами или без вагонов, когда тяговый двигатель локомотива работает на холостом ходу (на спуске, в других

случаях снижения скорости движения, на нейтральной вставке при электрической тяге).

2.6 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.

2.7 Дизельная секция: Секция тягового агрегата с дизель-генераторной установкой, обеспечивающей автономное питание аналогично тепловозу.

2.8 Затяжной спуск: Спуск, соотношение крутизны и протяженности которого установлено в правилах технической эксплуатации железных дорог.

2.9 Кран экстренного торможения: Тормозной кран, служащий для выпуска воздуха из тормозной магистрали подвижного состава и приведения в действие автоматических тормозов в случае необходимости экстренной остановки.

2.10 Кратная тяга: Тяга двумя или несколькими локомотивами на участке уклонов круче расчетного, при которой сохраняется унифицированная масса поезда.

2.11 Локомотив: Железнодорожный тяговый подвижной состав, предназначенный для обеспечения передвижения по железнодорожным путям поездов, групп или отдельных вагонов, специального нетягового подвижного состава.

2.12 Магниторельсовый тормоз подвижного состава: Тормоз подвижного состава, создающий тормозное усилие электромагнитным прижатием тормозного башмака к рельсу.

2.13 Маневровый порядок движения: Организация движения на путях промышленных предприятий, при которой прием и отправление маневровых составов осуществляется по маневровым сигналам порядком, установленным в технико-распорядительном акте и инструкции о порядке обслуживания и организации движения.

2.14 Моторный вагон: Вагон, в котором тележки имеют тяговые двигатели (дизельные или электрические) для одновременного выполнения функций локомотива и вагона для перевозки пассажиров или грузов. Тяговое и тормозное усилия передаются посредством механической связи обмоторенной колесной пары

с кузовом. На промышленном транспорте моторный вагон представлен грузовым моторным думпкаром.

2.15 Пневматический тормоз подвижного состава: Тормоз подвижного состава с пневматическим управлением.

2.16 Подталкивающий локомотив: Локомотив в хвосте поезда, назначаемый в помощь ведущему локомотиву на отдельных перегонах или части перегона для освоения унифицированной массы поезда или для сокращения времени хода по лимитирующим перегонам, ограничивающим пропускную способность.

2.17 Поезд: Сформированный и сцепленный состав вагонов с одним или несколькими действующими локомотивами или моторными вагонами, имеющий установленные сигналы, а также отправляемые на перегон и находящиеся на перегоне локомотивы без вагонов и специальный самоходный железнодорожный подвижной состав.

2.18 поездной порядок движения: Организация движения на подъездных и соединительных железнодорожным путях, при которой прием и отправление поездов осуществляются по одному из средств сигнализации и связи при движении поездов, установленным в Правилах технической эксплуатации железнодорожного транспорта.

2.19 полезная длина пути: Часть полной длины пути, на которой устанавливается подвижной состав без нарушения безопасности движения по смежным путям. Полезная длина может ограничиваться выходными или маневровыми светофорами, изолирующими стыками путевого участка рельсовой цепи, предельными столбиками, стрелочными переводами, упорами (началом засыпки балластной призмы упора).

2.20 Противоюзная система: Система, предохраняющая колесные пары от повреждения при торможении из-за скольжения, когда сила сцепления колес с рельсами меньше тормозной силы.

2.21 Расчетная масса локомотива: Служебная (учетная) масса локомотива, учитываемая при расчетах массы поезда, сил сопротивления движению, тормозных сил. Расчетную массу локомотива принимают с 2/3 запаса топлива и песка (при электротяге – песка).

2.22 Рекуперативное торможение: Электрическое торможение тягового подвижного состава, осуществляемое электродинамическим тормозом, при котором высвобождаемая при переводе тяговых электродвигателей в генераторный режим электрическая энергия передается в контактную сеть.

2.23 Реостатное торможение: Электрическое торможение тягового подвижного состава, осуществляемое электродинамическим тормозом, при котором высвобождаемая при переводе тяговых электродвигателей в генераторный режим электрическая энергия рассеивается в тормозных резисторах, установленных на тяговом железнодорожном подвижном составе.

2.24 Руководящий спуск: Наибольший по крутизне спуск протяжением не менее тормозного пути, рассчитываемого с учетом сопротивления в кривых при их наличии.

2.25 Руководящий уклон (расчетный подъем): Наибольший затяжной подъем, по значению которого устанавливается норма массы поезда при одиночной тяге и расчетной минимальной равномерной скорости движения.

2.26 Сила продольная динамическая: Сила ударного характера, возникающая при переходных режимах движения, действующая в течение короткого промежутка времени и содержащая один или несколько пиков нагрузки.

2.27 Сила тяги: Создаваемая двигателем локомотива во взаимодействии с рельсом управляемая внешняя сила, приложенная к движущим колесам локомотива в направлении его движения. Различают силы тяги: касательную, по сцеплению, на сцепке, динамометрическую.

2.28 Сила тяги динамометрическая: Действительная сила, измеряемая динамометром на сцепном приборе первого вагона. При ускоренном движении эта сила меньше силы тяги на сцепке, так как часть ее расходуется на повышение кинетической энергии самого локомотива и не передается составу.

2.29 Сила тяги касательная: Действительная сила тяги, приложенная к ободу движущих колес локомотива.

2.30 Сила тяги на сцепке: Сила тяги, приложенная к автосцепке между локомотивом и первым вагоном. При равномерном движении измеряется непосредственно и равняется динамометрической, при неравномерном движении

определяется прибавлением или вычитанием силы, требующейся на ускорение или замедление локомотива.

2.31 Сила тяги по сцеплению: Касательная сила тяги, которая ограничивается сцеплением колес с рельсами.

2.32 Скорость конструкционная: Скорость движения, на которую рассчитываются прочность конструкции и ходовые качества единицы подвижного состава.

2.33 Скорость равновесная: Установившаяся равномерная скорость движения поезда под действием равных ускоряющих и замедляющих сил.

2.34 Служебная (учетная) масса локомотива: Масса снаряженного (готового к работе) локомотива, учитываемая в тяговых расчетах. Массу тепловоза (дизельной секции, моторного вагона с дизельными двигателями) учитывают с 1/3 или 2/3 запаса топлива и песка, электровоза (моторного вагона с электрическими двигателями) – с 1/3 или 2/3 запаса песка. Служебная масса локомотива в определенных случаях может изменяться за счет его пригрузки (см. сцепной вес локомотива).

Примечание – Масса локомотива (дизельной секции, моторного вагона) без снаряжения (в порожнем состоянии) учитывается при транспортировке в составе поезда как нетягового средства (например, в ремонт, при передислокации, поставке заводом). Если тяговое средство транспортируется для работы на другом объекте в снаряженном состоянии, его масса в составе поезда учитывается с 2/3 запаса топлива и песка (при электротяге – песка).

2.35 Служебное торможение: Торможение, обеспечивающее плавное снижение скорости или остановку подвижного состава в заранее предусмотренном месте путем постепенного увеличения тормозной силы (постепенной разрядки тормозной магистрали). Служебное торможение может быть регулировочное и полное (на более коротком расстоянии).

2.36 Сопротивление движению поезда: Неуправляемые силы, направленные противоположно движению поезда. Различают основное сопротивление[1], действующее постоянно, и дополнительные, появляющиеся в

[1] Основное сопротивление движению поезда возникает от: трения в подшипниках букс; качения колес по рельсам; неровности рельсового пути; скольжения колес по рельсам; давления на рельсы подвижного состава; работы поглощающих аппаратов автосцепок и др.

зависимости от условий движения. Сопротивление, отнесенное к одной тонне массы локомотива, вагонов или поезда, называют удельным.

2.37 Специальный самоходный тяговый подвижной состав: Несъемные самоходные подвижные единицы на железнодорожном ходу, предназначенные для обеспечения строительства и функционирования инфраструктуры железнодорожного транспорта (мотовозы, дрезины, специальные автомотрисы, железнодорожно-строительные машины с автономным двигателем и тяговым приводом).

2.38 Стояночный тормоз подвижного состава: Тормоз подвижного состава с ручным или автоматическим приводом, расположенный на единице подвижного состава и предназначенный для ее закрепления на стоянке от самопроизвольного ухода, а также для принудительной аварийной остановки при наличии ручного и/или автоматического привода внутри единицы подвижного состава.

2.39 Сцепной вес локомотива: Служебная (учетная) масса локомотива, действующая в виде силы на рельсы и обеспечивающая сцепление с ними колес тягового средства, позволяющего преобразовать окружное усилие на ободе движущих колес в силу тяги. Сцепной вес принимают по служебной (учетной) массе с 1/3 запаса топлива и песка (при электротяге – песка). Сцепной вес маневровых локомотивов, если это конструктивно предусмотрено, может быть увеличен за счет укладки специальных плит, других тяговых средств – за счет массы перевозимого груза.

Примечание – При выполнении тяговых расчетов следует обращать внимание на то, что во многих источниках, в том числе и заводских данных, сцепной вес локомотива (вопреки Правилам тяговых расчетов для поездной работы) представлен при 2/3, а не 1/3 запаса топлива и/или песка, что требует корректировки тяговой характеристики (ограничения по сцеплению), а также изменения длительных или расчетных силы тяги и скорости. Это же относится и к случаям изменения сцепного веса за счет специальных плит или груза.

2.40 Тепловоз: Автономный локомотив, силовой установкой которого является двигатель внутреннего сгорания.

2.41 Тормозной путь: Расстояние, проходимое поездом за время от

момента воздействия на приборы и устройства для управления тормозной системой до полной остановки. Длина тормозного пути зависит от вида торможения.

2.42 Труднейший (скоростной) подъем: Подъем, круче расчетного, по которому, исходя из условий безостановочного движения с неравномерной скоростью, определяют расчетную массу поезда с учетом использования его кинетической энергии.

2.43 Тяговый агрегат: Двух- или трехсекционный промышленный локомотив, состоящий из электровоза управления (ЭУ) и различных комбинаций дизельной секции (ДС) и моторных думпкаров (МД), например, ЭУ+ДС+МД, ЭУ+ДС+ДС, ЭУ+МД+МД, ЭУ+ДС, ЭУ+МД.

2.44 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.

2.45 Фрикционный тормоз подвижного состава: Тормоз подвижного состава, в котором торможение осуществляется прижатием специальных фрикционных элементов к вращающимся поверхностям ходовых частей.

2.46 Экстренное торможение: Торможение, применяемое в случаях, требующих немедленной остановки подвижного состава путем применения максимальной тормозной силы (экстренной разрядки магистрали).

2.47 Электрическое торможение: Торможение тягового подвижного состава, при котором тормозная сила создается при преобразовании кинетической энергии в электрическую энергию путем перевода тяговых электродвигателей в генераторный режим, а получаемая электроэнергия или возвращается в тяговую сеть, или рассеивается в тормозных резисторах.

2.48 Ээлектровоз: Неавтономный локомотив, приводимый в движение установленными на нем тяговыми электродвигателями, получающими энергию от энергосистемы через тяговые подстанции, контактную сеть или от собственной аккумуляторной батареи.

2.49 Электропневматический тормоз подвижного состава: Тормоз подвижного состава с электрическим управлением пневматическими тормозами.

2.50 Холостой ход локомотива: Движение или стоянка локомотива, когда его тяговый двигатель не выключен, но не работает в режиме тяги (во время выбега, торможения, остановки).

3 Основные положения для расчетов

3.1 Область применения

Настоящие Правила определяют порядок и методику тяговых расчетов, устанавливают основные нормативы, принимаемые в расчетах, а также являются основой для расчета расхода электроэнергии и топлива на тягу поездов.

Правила применяются при тяговых расчетах для поездной работы локомотивов и моторвагонного подвижного состава на эксплуатируемых и проектируемых железных дорогах промышленного железнодорожного транспорта колеи 1520 мм и 750 мм.

3.2 Общие положения

3.2.1 Единицы физических величин, принятые в методическом пособии, соответствуют правилам тяговых расчетов для поездной работы и Международной системе единиц (СИ).

Условные буквенные обозначения, единицы измерения величин, необходимая их точность при выполнении тяговых расчетов приведены в приложении А.

3.2.2 Определение скорости, времени движения и энергозатрат поезда в данном методическом пособии предполагается выполнять в программе Microsoft Office Excel с шагом интегрирования 50 м (основной шаг) и менее (в случае изменения условий движения), на котором поезд представляется материальной точкой,

в которой сосредоточена вся его масса (условно в середине поезда). На начальном участке движения, ввиду возможного быстрого набора скорости поездом и соответственного изменения (уменьшения) силы тяги, шаги интегрирования принимаются длиной 5, 5, 10, 15 и 15 м (или другими, выбранными в зависимости от конкретных условий, составляющими в сумме 50 м).

При назначении шага интегрирования менее 50 м для удобства использования

пикетажа следующий шаг рекомендуется назначать длиной, дополняющей предыдущий шаг до кратности 50 м (кроме резаных пикетов).

3.2.3 Тяговые расчеты по данной методике выполняются как для поездного, так и для маневрового движения, включая и движение локомотива без вагонов, а при установлении соответствующих расчетных характеристик – также для специального самоходного тягового подвижного состава.

3.2.4 Тяговые расчеты позволяют комплексно устанавливать: массу поезда (маневрового состава), вид тяги, требуемую или оптимальную мощность и потребный парк локомотивов, время и энергоресурсы, затрачиваемые на поездную и маневровую работу, и связанные с этими показателями общие технико-экономические показатели железнодорожного транспорта.

Основными путями экономии ресурсов, затрачиваемых на движение поездов и маневровую работу (что следует учитывать и при выполнении тяговых расчетов), являются:

– повышение статической нагрузки грузовых вагонов – уменьшается сопротивление движению и соответственно затраты энергии силы тяги локомотива на перевозку груза;

– снижение порожнего (холостого) пробега подвижного состава за счет рационального его использования – уменьшается потребный парк подвижного состава и продолжительность перевозки грузов;

– оптимальный подбор типа подвижного состава (локомотивов – без завышения мощности, вагонов – с минимальной массой тары) – повышается эффективность использования подвижного состава;

– смягчение плана и профиля пути за счет увеличения радиуса кривых участков пути и уменьшения крутизны подъемов, а также «вредных» спусков, на которых необходимо применять регулировочное торможение – уменьшается сопротивление движению и потери ранее накопленной кинетической энергии поезда;

– модернизация и усиление конструкции пути – способствует комплексному снижению эксплуатационных расходов и сопротивления движению;

– правильное формирование составов из разнотипных вагонов.

Однотипные вагоны целесообразно сосредотачивать в отдельные группы. Наименьшее сопротивление имеет состав, в котором группы вагонов расположены с головы поезда в последовательности снижения сопротивления воздушной среды (обтекаемости): крытые, полувагоны, цистерны, платформы. Сопротивление воздушной среды снижается при закрытых дверях и люках вагонов;

– смазывание гребней колес локомотива при прохождении кривых участков пути – снижается сопротивление движению и износ колес и рельсов;

– устройство ветрозащитных лесополос и установка снегозащитных устройств, снижающих силу бокового ветра и снегозаносимость пути;

– поддержание надлежащего технического состояния и уровня содержания подвижного состава и пути, способствующего снижению основного сопротивления движению;

– обеспечение соответствия сорта смазки буксовых подшипников подвижного состава сезону эксплуатации;

– содержание тормозной системы подвижного состава в исправном состоянии, исключающем касание тормозных колодок колес в нетормозных режимах;

– сокращение числа и продолжительности стоянок составов, особенно в зимнее время при низких температурах воздуха, когда быстро остывает смазка букс.

При этом перечисленные мероприятия сокращают трудозатраты на организацию перевозок и содержание подвижного состава и путевого хозяйства.

3.1.5 В данном методическом пособии под понятием «поезд» (если не оговорено конкретно) следует понимать также и маневровый состав, а под понятием «локомотив» – любой тяговый подвижной состав, определение которого приведено в терминах.

3.2.6 Максимальная скорость движения поезда – 80 км/ч – принята в соответствии с СП 37.13330.

3.2.7 Устаревшая паровозная тяга в данном методическом пособии не рассматривается.

3.2.8 Исходными данными, указываемыми в задании на выполнение тяговых расчетов (или в приложениях к заданию), являются:

– продольный профиль и план пути;

– тип (серия) локомотива и количество секций с учетом при необходимости двойной или кратной тяги, подталкивания; для тяговых агрегатов указывается их состав (применяемые единицы агрегата); технические характеристики (паспортные или фактические данные) локомотива;

– данные при необходимости учета в сцепном весе локомотива пригрузки – укладка или снятие специальных плит или перевозимого груза и их масса;

– понижающий коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля (снижение силы тяги) – при необходимости учета износа локомотива или перспективы износа;

– необходимость учета магниторельсового торможения при использовании тяговых агрегатов;

– число вагонов в составе поезда (маневрового состава) по типам и статическим нагрузкам с выделением порожних (при проектировании устанавливается исполнителем);

– характер движения (поездной, маневровый, локомотивом или вагонами вперед);

– ограничение скорости движения (по кривым в плане, стрелочным переводам, по категории пути, конструкционные для локомотива и вагонов при проектировании устанавливаются исполнителем);

– расчетная длина тормозного пути при ее отличии от 300 м;

– характеристика пути (звеньевой, бесстыковой, временный, передвижной), а также уровень его содержания (по оценке от 1 (высокий уровень, соответствующий нормам и правилам) до 0,7);

– длина приемо-отправочных или иных путей, с которых отправляется и на которые прибывает поезд или маневровый состав (при проектировании устанавливается исполнителем);

– данные по вагонам прикрытия при перевозке опасных грузов и в иных случаях их расчета;

– расчетные климатические условия (температура наружного воздуха,

скорость ветра, атмосферное давление). Если требуются два расчета – для летнего и зимнего периодов.

3.2.9 Методическое пособие разработано с учетом особенностей эксплуатации промышленного железнодорожного транспорта при вывозной и маневровой работе на путях обращения подвижного состава широкой (1520 мм) и узкой (750 мм) колеи.

В методике реализована возможность практического использования программных средств для трудоемких тяговых расчетов, что обеспечивает необходимую их точность и значительное сокращение затрат времени.

Данное пособие исключает неопределенность в толковании различных положений тяговых расчетов и доступна для специалистов любого уровня квалификации.

Примечания.

1 При выполнении тяговых расчетов следует иметь в виду то, что большинство формул, числовых значений величин, коэффициентов и справочных данных, которые используются в расчетах, имеют статистический или эмпирический характер и точно не устанавливают фактическое состояние как подвижного состава, так и состояние пути, другие местные условия. Поэтому даже при использовании высокоточных методов численной интеграции уравнения движения поезда результаты расчетов будут приближенными и подлежат уточнению перед эксплуатацией по данным опытных поездок.

2 Технические характеристики подвижного состава, тяговые характеристики локомотивов, ввиду их значительного разнообразия и пополнения парка новым современным подвижным составом, предусматривается уточнять и пополнять достоверными (проверенными) данными при выполнении первого расчета с конкретным типом подвижного состава. Первоначально выполненный расчет для определенного локомотива рекомендуется сохранять и применять в дальнейшем для выполнения всех последующих расчетов с использованием данного локомотива.

3.3 Особенности тяговых расчетов для грузовых поездов на тепловозной и электрической тяге

В связи с тем, что в тяговых расчетах, как при тепловозной, так и при электрической тяге на переменном или постоянном токе основными являются силы, действующие на поезд (сила тяги локомотива – положительная, силы сопротивления движению – отрицательные), принцип действия и определения которых при любом

виде тяги не различаются, для универсальности и компактности методики, учитывая также и нецелесообразность разработки нескольких компьютерных программ тяговых расчетов, основные положения, правила и формулы приняты в данной методике едиными (без выделения в отдельные структурные элементы (главы) по признаку «вид тяги»).

В случаях наличия особенностей для разных видов тяги, такие положения изложены с четкой оговоркой вида тяги, для которой их следует применять.

Едиными положениями в тяговых расчетах являются:

– основное сопротивление движению поезда (локомотива и вагонов);

– дополнительные сопротивления движению поезда (от уклона, от кривой в плане и стрелочных переводов, от низкой температуры наружного воздуха, от встречного и бокового ветра, при движении вагонами вперед и от состояния пути);

– тормозные силы;

– сила тяги локомотива;

– проверка массы состава на трогание с места и непревышение длины приемо-отправочных путей;

– ограничения скорости и решение тормозной задачи;

– подготовка продольного профиля к выполнению расчетов;

– определение скорости и времени движения поезда;

– расчет механической работы локомотива.

В отдельно оговоренные для разных видов тяги выделены положения:

– снижение сцепления в кривых участках пути (величина радиусов, при которых учитывается снижение сцепления для тепловозной и электрической тяги);

– определение массы состава по руководящему уклону;

– определение скорости выхода и касательной силы тяги тепловоза для автоматической характеристики;

– снижение силы тяги тепловоза при определенных атмосферных условиях;

– расчет расхода топлива или электроэнергии при переменном или постоянном токе.

4 Основное удельное сопротивление движению поезда

4.1 Расчетные формулы для определения основного удельного сопротивления движению подвижного состава в Н/т учитывают среднеэксплуатационные условия при температуре наружного воздуха в диапазоне от минус 10 до плюс 20 °С и скоростях ветра, не превышающих 5 м/с.

4.2 Основное удельное сопротивление движению локомотивов в зависимости от скорости определяется по формулам:

а) в режиме тяги

$$w_o' = 9.81 \cdot (a_o' + b_o' \cdot V + c_o' \cdot V^2), \quad (4.1)$$

б) на холостом ходу

$$w_x' = 9.81 \cdot (a_x' + b_x' \cdot V + c_x' \cdot V^2), \quad (4.2)$$

где V – скорость движения, км/ч (в расчетах принимается в начале шага интегрирования); a, b, c – расчетные коэффициенты с соответствующими индексами, значения которых принимаются по таблице 4.1.

4.3 Основное удельное сопротивление движению вагонов (на роликовых подшипниках) в зависимости от скорости определяется по формулам:

а) для грузовых вагонов общего назначения колеи 1520 мм при массе брутто, приходящейся на одну ось, $q_o > 6$ т

$$w_o'' = 9.81 \cdot (0{,}7 + \frac{a_o'' + b_o'' \cdot V + c_o'' \cdot V^2}{q_o}), \quad (4.3)$$

где V – скорость движения, км/ч (в расчетах принимается в начале шага интегрирования); a, b, c – соответственно доли в составе по массе четырех-, шести-, восьмиосных вагонов и вагонов различного назначения, значения которых принимаются по таблице 4.2.

Примечание – По этой формуле рассчитывается также основное удельное сопротивление движению порожних восьмиосных и других вагонов с $q_o > 6$ т.

б) для грузовых вагонов общего назначения колеи 1520 мм при массе брутто, приходящейся на одну ось, $q_o \leq 6$ т (в основном, порожних)

$$w_o'' = 9.81 \cdot (a_{ox}'' + b_{ox}'' \cdot V + c_{ox}'' \cdot V^2); \quad (4.4)$$

в) для промышленных груженых вагонов колеи 1520 мм и грузовых груженых вагонов колеи 750 мм

$$w_o'' = 9.81 \cdot (a_o'' + b_o'' \cdot V + c_o'' \cdot V^2); \quad (4.5)$$

г) для промышленных порожних вагонов колеи 1520 мм и грузовых порожних вагонов колеи 750 мм

$$w_o'' = 9.81 \cdot (a_{ox}'' + b_{ox}'' \cdot V + c_{ox}'' \cdot V^2). \quad (4.6)$$

Если состав формируется из вагонов разного типа, с разной массой брутто, приходящейся на одну ось, груженых и порожних вагонов, основное удельное сопротивление движению вагонов определяется как средневзвешенное по массе по формуле:

$$w_o'' = \frac{w_o'' \cdot Q_1 + \ldots + w_{on}'' \cdot Q_n}{Q}, \quad (4.7)$$

где $w_o'' + \ldots + w_{on}''$ – основные удельные сопротивления движению вагонов (с различающейся характеристикой), Н/т; $Q_1 + \ldots + Q_n$ – массы частей состава (вагонов), т (соответствующие определенным w_o'); Q – масса состава (вагонов) общая, т ($Q = Q_1 + \ldots + Q_n$).

Таблица 4.1

Типы локомотивов	Характеристика пути	a'_o	b'_o	c'_o	a'_{ox}	b'_{ox}	c'_{ox}
Колея 1520 мм							
Промышленные тепловозы							
с электропередачей	Звеньевой	3,00	0,010	0,00020	3,50	0,010	0,00020
с гидропередачей (маневровый режим)	Звеньевой	2,50	0,013	0,00300	2,40	0,050	0
с гидропередачей (поездной режим)	Звеньевой	2,00	0,040	0,00200	2,40	0,050	0
Промышленные электровозы и тяговые агрегаты переменного тока	Звеньевой	2,60	0,070	0,00250	2,80	0,023	0,00075
Промышленные электровозы постоянного тока с нагрузкой на ось до 25 т	Звеньевой	2,90	0,080	0	3,70	0,090	0
Промышленные электровозы и тяговые агрегаты постоянного тока с нагрузкой на ось 30 т	Звеньевой	2,75	0,080	0	3,54	0,090	0
Тепловозы и электровозы общей сети	Звеньевой	1,90	0,010	0,00030	2,40	0,011	0,00035
	Бесстыковой	1,90	0,008	0,00025	2,40	0,009	0,00035
Колея 750 мм							
Локомотивы с гидропередачей	Звеньевой	2,48	0,062	0,00050	4,28	0,053	0,00210

Примечания.

1 Данные для промышленных локомотивов колеи 1520 мм приняты по Правилах тяговых расчетов на промышленном транспорте, для локомотивов общей сети колеи 1520 мм и для локомотивов колеи 750 мм – по Правилам тяговых расчетов для поездной работы.

2 Увеличение сопротивления на временных путях, в том числе на передвижных (переукладываемых) путях карьеров и отвалов, учтено в дополнительных сопротивлениях движению.

Таблица 4.2

Типы вагонов	Характеристика пути	a''_o	b''_o	c''_o	a''_{ox}	b''_{ox}	c''_{ox}
Колея 1520 мм							
Общего назначения на роликовых подшипниках							
4-осные	Звеньевой	3	0,100	0,0025	1	0,044	0,00024
6-осные		8	0,100	0,0025	1	0,044	0,00024
8-осные		6	0,038	0,0021	–	–	–
4-осные	Бесстыковой	3	0,090	0,0020	1	0,042	0,00016
6-осные		8	0,080	0,0020	1	0,042	0,00016
8-осные		6	0,026	0,0017	–	–	–
Промышленные							
думпкары ВС100, 2ВС105, 2ВС180	Звеньевой	3,6	0,040	0	4,8	0,050	0
думпкары ВС80, ВС85		3,1	0,020	0	4,0	0,030	0
думпкары 3ВС50, 6ВС60		2,7	0,030	0	3,5	0,040	0
хоппер, 57 т		1,5	0,030	0	2,5	0,040	0
ковш шлаковозный, 11 м^3		3,4	0,020	0	4,7	0,050	0
ковш шлаковозный, 16 м^3		3,5	0,050	0	3,8	0,070	0
чугуновоз		4,1	0,140	0	4,6	0,090	0
слитковозная тележка четырехосная		4,0	0	0	5,0	0	0
слитковозная тележка двухосная		5,5	0	0	6,0	0	0
Колея 750 мм							
Грузовые вагоны	Звеньевой	1	0,040	0,00032	1,2	0,020	0,00170

Примечания.

1 Данные для вагонов общего назначения колеи 1520 мм и для вагонов колеи 750 мм приняты по Правилам тяговых расчетов (ПТР), для промышленных вагонов – по ПТРпром[2].

2 Увеличение сопротивления на временных путях, в том числе на передвижных (переукладываемых) путях карьеров и отвалов, учтено в дополнительных сопротивлениях движению.

[2] ПТРпром – Правила тяговых расчетов на промышленном транспорте (обобщенное наименование выпусков 4322, 4323, 4324)

4.4 Основное удельное сопротивление движению поезда определяется как средневзвешенное для локомотива и состава (вагонов) по формулам:

а) в режиме тяги

$$w_o = \frac{w_o' \cdot P + w_o'' \cdot Q}{P+Q}, \tag{4.8}$$

где P – расчетная масса локомотива, т; Q – масса состава (вагонов), т;

б) на холостом ходу

$$w_{ox} = \frac{w_x' \cdot P + w_o'' \cdot Q}{P+Q}. \tag{4.9}$$

4.5 При проверке массы состава по троганию с места основное удельное сопротивление состава (вагонов) определяется в зависимости от массы брутто, приходящейся на одну ось вагона q_o, по формуле:

а) для подвижного состава общего назначения

$$w_{o\,тр} = 9.81 \cdot k \frac{28}{q_o + 7}, \tag{4.10}$$

где k – коэффициент, учитывающий количество вагонов в составе (принимается: 1,0 при 7 и более вагонах; 1,1 – 6 вагонах; 1,2 – 5 вагонах; 1,3 – 4 вагонах; 1,4 – 3 вагонах; 1,6 – 2 вагонах; 1,8 – 1 вагоне);

б) для промышленного подвижного состава

$$w_{o\,тр} = 9{,}81 \cdot \frac{20}{q_o}. \tag{4.11}$$

Если состав формируется из вагонов с разной нагрузкой на ось, основное удельное сопротивление состава по троганию с места определяется как средневзвешенное по массе по формуле:

$$w_{o\,тр} = \frac{w_{отр1} \cdot Q_1 + \ldots + w_{отрn} \cdot Q_n}{Q}, \tag{4.12}$$

где $w_{o\,тр1} + \ldots + w_{o\,трn}$ – удельные сопротивления вагонов, Н/т (с различающейся массой брутто, приходящейся на одну ось); $Q_1 + \ldots + Q_n$ – массы частей состава

(вагонов), т (соответствующие определенным w_{omp}); Q – масса состава (вагонов) общая, т ($Q = Q_1 + \ldots + Q_n$).

4.6 Основное удельное сопротивление движению поезда и основное удельное сопротивление состава при проверке массы состава по троганию с места суммируются с дополнительными удельными сопротивлениями движению поезда в порядке, изложенном в разделе 6.

Пример

Исходные данные:

путь – звеньевой, колея 1520 мм;

скорость движения – 50 км/ч;

локомотив – две единицы ТЭМ7А (двойная тяга), расчетная масса одной единицы – 180 т;

вагоны – грузовые общего назначения.

Основное удельное сопротивление движению тепловоза:

а) в режиме тяги по формуле (4.1)

$$w_o' = 9{,}81 \cdot (3{,}00 + 0{,}010 \cdot 50 + 0{,}00020 \cdot 50^2) = 39{,}24 \text{ Н/т}$$

б) на холостом ходу по формуле (4.2)

$$w_x' = 9{,}81 \cdot (2{,}40 + 0{,}011 \cdot 50 + 0{,}00035 \cdot 50^2) = 44{,}15 \text{ Н/т}$$

Данные по вагонам

Тип вагона	Коли чество ваго-нов	Тара вагона, т	Загрузка (статнагр.) вагона, т	Масса одного вагона (брутто), т	Масса брутто на одну ось qo, т	Масса части состава, т	Длина части состава, м
4-осн. полувагон	4	22	40	22+40=62,0	62/4=15,5	62×4=248	13,92× 4 = 55,7
4-осн. полувагон	10	21,1	70	21,1+70=91,1	91,1/4=22,8	91,1×10=911	13,92×10=139,2
8-осн. цистерна	5	48,8	110	48,8+110=158,8	158,8/8=19,9	158,8×5=794	21,12× 5 =105,6

Тип вагона	Количество вагонов	Тара вагона, т	Загрузка (статнагр.) вагона, т	Масса одного вагона (брутто), т	Масса брутто на одну ось q_o, т	Масса части состава, т	Длина части состава, м
4-осн. крытый	30	22,7	–	22,7	22,7/4= 5,7	22, 7×30=681	14,73×30=441,9
Всего	49	–	–	–	–	2634	742,4

Основное удельное сопротивление движению вагонов w_o' и основное удельное сопротивление вагонов при трогании $w_{o\,тр}$, Н/т:

Тип вагона и q_o	w_o'' по формуле (4.3)	$w_{отр}$ по формуле (4.10)
4-осн. полувагон; 15,5	$9,81\cdot(0,7+(3+0,1\cdot 50+0,0025\cdot 50^2)/15,5)=15,89$	$9,81\cdot 28/(15,5+7)=12,16$
4-осн. полувагон; 22,8	$9,81\cdot(0,7+(3+0,1\cdot 50+0,0025\cdot 50^2)/22,8)=13,05$	$9,81\cdot 28/(22,8+7)=9,22$
8-осн. цистерна; 19,9	$9,81\cdot(0,7+(6+0,038\cdot 50+0,0021\cdot 50^2)/19,9)=13,34$	$9,81\cdot 28/(19,9+7)=10,2$
4-осн. крытый; 5,7	$9,81\cdot(1+0,044\cdot 50+0,00024\cdot 50^2)=37,28$	$9,81\cdot 28/(5,7+7)=21,58$

Средневзвешенное основное удельное сопротивление движению вагонов по формуле (4.7):

$$w_o''=(15,89\cdot 248+13,05\cdot 911+13,34\cdot 794+3,80\cdot 681)/2634=10,03 \text{ Н/т}$$

Основное удельное сопротивление движению поезда:

а) в режиме тяги по формуле (4.8)

$w_o=(39,24\cdot 180\cdot 2+10,03\cdot 2634)/(180\cdot 2+2634)=13,54$ Н/т, 2 – количество тепловозов.

б) на холостом ходу по формуле (4.9)

$$w_{ox}=(44,15\cdot 180\cdot 2+10,03\cdot 2634)/(180\cdot 2+2634)=14,13 \text{ Н/т}$$

Средневзвешенное основное удельное сопротивление при проверке массы состава по троганию с места по формуле (4.12):

$$w_{o\,тр}=(12,16\cdot 248+9,22\cdot 911+10,2\cdot 794+21,58\cdot 681)/2634=12,99 \text{ Н/т}.$$

5 Дополнительные удельные сопротивления движению поезда

5.1 Дополнительное удельное сопротивление движению от уклона w_i в Н/т принимается равным числу промилле (‰) спрямленного уклона i_c (на подъеме со знаком «+», на спуске со знаком «–»):

$$w_i = 9.81 \cdot i_c, \tag{5.1}$$

Пример

Элементы продольного профиля пути имеют уклоны i_{c1} = –12 ‰ (спуск) и i_{c2} = 7,5 ‰ (подъем). Удельные сопротивления движению от уклона на этих участках равны:

$$w_{i1} = -117{,}72 \text{ Н/т}; \; w_{i2} = 73{,}58 \text{ Н/т}.$$

5.2 Дополнительное удельное сопротивление при движении поезда по кривой w_{ro} в Н/т определяется по формуле:

$$w_{ro} = 9.81 \cdot \frac{700 \cdot S_{kp}}{R \cdot L_n} \cdot k_s \cdot k_y, \tag{5.2}$$

где R – радиус кривой, м; S_{kp} – длина кривой, м; соотношение длины кривой и длины поезда учитывается только при $S_{kp} < L_n$; L_n – длина поезда, м; k_s – коэффициент на сопротивление от поворота тележек экипажей[3], вводимый при наличии кривых малого радиуса (для колеи 1520 мм не более 700 м, для колеи 750 мм не более 425 м), направленных в разные стороны (S-образных или обратных кривых), принимаемый при непосредственной стыковке кривых или расстоянии между ними менее 1/3 длины поезда: при двух разнонаправленных кривых – 1,1, при трех разнонаправленных кривых – 1,26, при четырех разнонаправленных кривых – 1,5, а при расстоянии между кривыми до 1/2 длины поезда – соответственно 1,05, 1,13 и 1,25; k_y – коэффициент, принимаемый для колеи 750 мм 0,607·(425/700).

Примечание – Длина кривой S_{kp} при наличии переходных кривых принимается за вычетом из суммарной длины кривой половины суммы длин переходных кривых.

[3] Коэффициенты приняты с учетом исследований ВНИИЖТ (Москва, 1987) и ДВГУПС (Хабаровск, 2005).

Дополнительное удельное сопротивление при движении поезда по стрелочному переводу на боковое направление определяется аналогично движению по кривой. При движении поезда по стрелочным переводам на боковые разносторонние направления (условно кривые, направленные в разные стороны) необходимо также учитывать сопротивление от поворота тележек экипажей.

Усредненные данные по стрелочным переводам для расчетов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Марка стрелочного перевода	Радиус кривой* R_{nk}, м	Длина кривой* L_{nk}, м	Марка стрелочного перевода	Радиус кривой* R_{nk}, м	Длина кривой* L_{nk}, м
1/11	300	27	1/7***	160	20
1/11** криволин.	600/300	33	1/6***	142	20
1/9	254	27	1/5***	75	14
1/7	145	19	1/4,5*** симметр.	181	18
1/6 симметр.	200	15	1/3,5*** симметр.	121	15

* Радиусы кривых (в том числе составных) и их длины округлены.

** Радиусы по криволинейному переводу указаны: перед чертой – по основному направлению, после черты – по боковому направлению.

*** Стрелочные переводы для промышленного транспорта колеи 1524 мм.

При выполнении тяговых расчетов следует учитывать допускаемые скорости движения по кривым в зависимости от радиуса и возвышения наружного рельса и по стрелочным переводам в зависимости от их конструкции (так же, как и расчетные скорости движения в зависимости от категории (конструкции) пути, допускаемые скорости движения подвижного состава – конструкционные скорости, а для специального подвижного состава – скорости, установленные правилами технической эксплуатации).

Примеры

1 Определение удельных сопротивлений от кривых при длине поезда 584 м

а) на кривой с радиусом 480 м и переходными кривыми длиной 60 и 40 м (суммарная длина кривой 665 м, а учитываемая в расчетах: 665 – (60 + 40)/2=615 м – более длины поезда)

$w_{го}$ = 9,81·700/480 = 14,3 Н/т (без учета длин кривой и поезда);

б) на кривой с радиусом 250 м и переходными кривыми длиной 20 и 30 м (суммарная длина кривой 402 м, а учитываемая в расчетах: 402 – (20 + 30)/2=377 м – менее длины поезда)

$w_{го}$= 9,81·700/250·377/584= 17,73 Н/т (с учетом длин кривой и поезда);

в) если эти кривые S-образные, то удельные сопротивления будут увеличены на 1,1 и составят соответственно 14,3·1,1 = 15,73 Н/т и 17,73·1,1 = 19,5 Н/т.

2 Определение удельного сопротивления при движении поезда длиной 584 м на боковое направление по стрелочному переводу марки 1/9 при радиусе 254 м и длине кривой 27 м

$w_{го}$= 9,81·700/254·27/584 = 1,25 Н/т (с учетом длин кривой и поезда).

5.3 Дополнительное удельное сопротивление движению поезда при низкой температуре наружного воздуха $w_{нт}$ в Н/т (учитывается при температуре наружного воздуха ниже минус 10°С) определяется по формуле:

$$w_{нт} = k_{нт} \cdot w_o \,, \qquad (5.3)$$

где $k_{нт}$ – коэффициент, принимаемый по приложению Б (по таблицам или номограммам в таблице Б.1) в зависимости от температуры наружного воздуха и скорости движения поезда; w_o – основное удельное сопротивление движению поезда, Н/т.

На промышленном железнодорожном транспорте расчетная (низкая) температура наружного воздуха принимается транспортным подразделением предприятия, как правило, такой же, как и на близлежащем участке железных дорог общей сети. В предварительных расчетах допускается принимать расчетную (низкую) температуру наружного воздуха по нормативному документу «Строительная климатология» или по научно-прикладным справочникам по климату (параметр «абсолютная минимальная температура воздуха»).

5.4 Дополнительное удельное сопротивление движению поезда от встречного и бокового ветра $w_в$ в Н/т определяется по формуле:

$$w_в = k_в \cdot w_o \,, \tag{5.4}$$

где $k_в$ – коэффициент, принимаемый по приложению В в зависимости от скорости ветра и скорости движения поезда; w_o – основное удельное сопротивление движению поезда, Н/т.

Коэффициент $k_в$ принимается при скорости ветра от 6 до 12 м/с по таблице В.1 приложения В, а при скорости ветра более 12 м/с – по таблице В.2 приложения В (на период особо неблагоприятных погодных условий) в зависимости от плотности воздуха ρ в кг/м^3, которая определяется в зависимости от его температуры и атмосферного давления (для значений 904 гПа (680 мм рт. ст.) и выше) по формуле:

$$\rho = 0{,}35 \cdot \frac{H_{бар}}{t_{нв}+273} \,, \tag{5.5}$$

где $H_{бар}$ – атмосферное давление, гПа (если задается в мм рт. ст., следует переводить в гПа умножением на 1,33); $t_{нв}$ – температура наружного воздуха, °С; 273 – температура по шкале Кельвина, соответствующая 0 °С.

На промышленном железнодорожном транспорте скорость ветра принимается транспортным подразделением предприятия, как правило, такой же, как и на близлежащем участке железных дорог общей сети. В предварительных расчетах допускается принимать скорость ветра по нормативному документу СП 131.13330 или по научно-прикладным справочникам по климату.

5.5 Дополнительное удельное сопротивление при движении поезда вагонами вперед $w_{вв}$ в Н/т в зависимости от уклона определяется по формуле:

$$w_{вв} = \left(0{,}15 + \frac{i}{1000}\right) \cdot w_o \,, \tag{5.6}$$

где i – уклон, ‰ (на спуске уклон принимается без знака минус); w_o – основное удельное сопротивление движению поезда, Н/т.

5.6 Дополнительное удельное сопротивление движению поезда в зависимости от состояния пути[4] $w_{сп}$ в Н/т или уровня его содержания (наличие неровностей, дефектов, засорителей и т.п.), определяется по формуле:

$$w_{сп} = (k_{сп} - 1) \cdot w_o \,, \qquad (5.7)$$

где $k_{сп}$– коэффициент, принимаемый по таблице 5.2; w_o– основное удельное сопротивление движению поезда, Н/т.

Коэффициент $k_{сп}$ по таблице 5.2 рекомендуется принимать при проектировании железных дорог. Для эксплуатируемых путей коэффициент уточняется при обследовании их фактического состояния. На бесстыковых путях, как правило, $k_{сп}$ принимается равным 1.

Таблица 5.2

Характеристика пути	$k_{сп}$
Подъездные пути	1,05
Соединительные пути, приемо-отправочные пути на раздельных пунктах	1,10
Другие пути предприятий	1,15
Малодеятельные и временные погрузочно-разгрузочные пути	1,20
Передвижные (переукладываемые) пути	1,30

[4] В Правилах тяговых расчетов на промышленном транспорте этот фактор учитывался на передвижных путях увеличением сопротивления примерно на 30%.

6 Полное сопротивление движению поезда

6.1 Полное сопротивление движению поезда в тяговом режиме W в Н определяется как сумма основного и дополнительных сопротивлений, определяемых в зависимости от массы локомотива и состава (вагонов) по формуле:

$$W = (w_o' \cdot P + w_o'' \cdot Q + (P + Q) \cdot (w_i + w_{ro} + w_{нт} + w_в + w_{вв} + w_{сп})), \quad (6.1)$$

где P и Q – расчетная масса локомотива и масса состава (вагонов), т; w – удельные сопротивления движению по разделам 4 и 5 (с соответствующими индексами), Н/т.

6.2 Удельное сопротивление движению поезда в тяговом режиме w в Н/т определяется по формуле:

$$w = \frac{W}{P+Q}. \quad (6.2)$$

6.3 Полное и удельное сопротивление движению поезда при холостом ходе локомотива определяется по формулам (6.1, 6.2) с заменой в формуле (6.1) w_o' на w_x'.

6.4 Полное сопротивление движению поезда при проверке массы состава по троганию с места $W_{тр}$ в Н определяется по формуле:

$$W_{тр} = (w_o' \cdot P + w_{отр} \cdot Q + (P + Q) \cdot (i + w_{ro} + w_{нт} + w_в + w_{вв} + w_{сп})), \quad (6.3)$$

где P и Q – расчетная масса локомотива и масса состава (вагонов), т; w – удельные сопротивления движению по разделам 4 и 5 (с соответствующими индексами), Н/т; i – уклон, на котором происходит трогание поезда Н/т (‰).

Примечание – В связи с тем, что тяговые расчеты могут выполняться для маневровых передвижений с небольшим количеством вагонов, а также для движения локомотива без вагонов или специального подвижного состава, сопротивление движению тягового средства (локомотива) в расчетах учитывается.

6.5 Удельное сопротивление движению поезда при проверке массы состава по троганию с места $w_{тр}$ в Н определяется по формуле:

$$w_{тр} = \frac{W_{тр}}{P+Q}, \quad (6.4)$$

6.6 Для обеспечения устойчивой работы локомотивов в регионах, где климатические условия значительно изменяются в зависимости от времени года, сопротивление движению поезда и соответственно расчетную массу состава необходимо определять для летнего и зимнего периодов (согласно заданию, в котором указываются расчетные климатические условия).

7 Тормозные силы

7.1 Для торможения используется пневматическое тормозное колодочное оборудование локомотива и вагонов. Кроме того, при применении тяговых агрегатов может использоваться магниторельсовое торможение.

Электрическое реостатное торможение (регулировочное) в расчетах не учитывается – используется, главным образом, для подтормаживания поездов на затяжных спусках.

7.2 Полная тормозная сила поезда (локомотива и вагонов) при колодочном торможении B_m в Н определяется в зависимости от действительного коэффициента трения тормозной колодки о колесо и действительной силы нажатия тормозных колодок на ось по формуле:

$$B_m = \sum(\varphi \cdot K), \tag{7.1}$$

где φ – действительный коэффициент трения тормозной колодки о колесо; K – действительная сила нажатия тормозных колодок на ось (табл. 7.2 и 7.3), Н.

Действительный коэффициент трения тормозной колодки о колесо φ определяется по формуле:

$$\varphi = a_1 \cdot \frac{a_2 \cdot K + a_3}{a_4 \cdot K + a_5} \frac{a_6 \cdot K + a_7}{a_8 \cdot K + a_9}, \tag{7.2}$$

где $a_1 - a_9$ – расчетные коэффициенты с соответствующими индексами, значения которых принимаются по таблице 7.1.

Таблица 7.1

Тип колодок	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
Для транспорта общего назначения									
стандартные чугунные	0,600	0,016	100	0,080	100	1	100	5,000	100
чугунные с содержанием фосфора (1,0 – 1,4)%	0,500	0,016	100	0,052	100	1	100	5,000	100
композиционные	0,440	0,001	20	0,004	20	1	150	2,000	150
Для карьерного транспорта									

Окончание таблицы 7.1

стандартные чугунные	0,780	0,016	100	0,080	100	0	100	3,180	100
композиционные	0,603	0,005	100	0,020	100	0	100	1,406	100
Для транспорта колеи 750 мм	0,450	1	10	8	10	0	25	1	25

Действительная сила нажатия тормозных колодок на ось K для вагонов общего назначения принимается по таблице 7.2, для промышленного транспорта – по таблице 7.3.

Таблица 7.2

Тип вагона	Количество осей	Количество колодок	Тип колодок	K, Н при режиме торможения		
				грузовом	среднем	порожнем
Полувагон, цементовоз	4	8	Чугунные	3 800	2 300	1 260
			Композиц.	2 400	1 480	820
Платформа, крытый, цистерна	4	8	Чугунные	3 820	2 340	1 280
			Композиц.	2 500	1 540	850
Полувагон	8	16	Чугунные	3 500	2 180	1 240
			Композиц.	2 200	1 350	750
Цистерна	8	16	Чугунные	3 700	2 300	1 300
			Композиц.	2 500	1 500	860

Таблица 7.3

Подвижной состав и тип колодок (ч – чугунные, к – композиционные)	$K/\sum K$, Н при давлении в тормозном цилиндре, кПа		
	390 (груж. режим)	255 (средн. режим)	135 (порожн. режим)
Тепловозы			
ТЭ10 1 секция (ч)	7100 / 85200	4300 / 51600	1900 / 22800
ТЭ3 1 секция (ч)	6000 / 72000	2300 / 27600	1000 / 12000
ТЭМ7	13500 /108000	9450 / 64800	5500 / 44000
ТЭМ2 (ч)	6000 / 72000	3000 / 36000	1300 / 15600
ТЭМ1 (ч)	6000 / 72000	3000 / 36000	1300 / 15600
ТГМ6А 1 секция (ч)	6750 / 54000	3400 / 27200	1500 / 12000
ТГМ4 (ч)	6700 / 53600	3400 / 27200	1500 / 12000
ТГМ3 (ч)	4900 / 39200	2700 / 21600	1200 / 9600
ТГМ23, ТГМ1 (ч)	3800 / 22800	2500 / 15000	1300 / 7800

Продолжение таблицы 7.3

ТГК2 (ч)	2200 / 17600	1400 / 11200	900 / 7200
Электровозы			
IVKП-1A (ч)	6400 / 51200	3900 / 31200	1800 / 14400
ЕЛ2 (ч)	6900 / 55200	4200 / 33600	2000 / 16000
ЕЛ1 (ч)	6900 / 82800	4200 / 50400	2000 / 24000
26Е2М (ч)	7100 / 85200	4400 / 52800	2200 / 26400
Д94 (ч)	3800 / 60800	2400 / 38400	1200 / 19200
Тяговые агрегаты			
ПЭ2М, ПЭ1, ПЭ3Т – электровоз управления или моторный думпкар (ч)	4300 / 68800	2600 / 41600	1200 / 19200
ПЭ2М, ПЭ1, ПЭ3Т – электровоз управления или моторный думпкар (к)	1900 / 30400	1200 / 19200	500 / 8000
ЕЛ10 – электровоз управления или моторный думпкар (ч)	2400 / 38400	1500 / 24000	600 / 9600
Тяговые агрегаты			
ОПЭ1 – электровоз управления, дизельная секция или моторный думпкар (ч)	5000 / 80000	3200 / 51200	1500 / 24000
ОПЭ1А, ОПЭ2 – электровоз управления, дизельная секция или моторный думпкар (ч)	4300 / 68800	2600 / 41600	1200 / 19200
ОПЭ1А, ОПЭ2 – электровоз управления, дизельная секция или моторный думпкар (к)	1900 / 30400	1200 / 19200	500 / 8000
Думпкары			
3ВС50 (ч)	3200 / 25600	2000 / 16000	1000 / 8000
6ВС60 (ч)	3700 / 29600	2300 / 18400	1100 / 8800
6ВС60 (к)	2400 / 19200	1500 / 12000	700 / 5600
ВС80, ВС85 (ч)	4500 / 36000	2800 / 22400	1400 / 11200
ВС80, ВС85 (к)	3000 / 24000	1900 / 15200	900 / 7200
2ВС85 (ч)	3500 / 42000	2200 / 26400	1100 / 13200
ВС100 – 1 вариант (ч)	4200 / 50400	2700 / 32400	1300 / 15600
ВС100 – 2 вариант (ч)	3600 / 43200	2200 / 26400	1100 / 13200
ВС100 – 3 вариант (ч)	$\frac{4100}{1400}$ / 44000	$\frac{2600}{900}$ / 28000	$\frac{1300}{400}$ / 13600

Окончание таблицы 7.3

ВС100 – 3 вариант (к)	$\frac{2300}{800}$ / 24800	$\frac{1500}{500}$ / 16000	$\frac{700}{200}$ / 7200
2ВС105 – 1 вариант (ч)	$\frac{3800}{800}$ / 36800	$\frac{2400}{500}$ / 23200	$\frac{1200}{300}$ / 12000
2ВС105 – 1 вариант (к) 2ВС105 – 2 вариант	$\frac{2200}{500}$ / 21600	$\frac{1400}{300}$ / 13600	$\frac{700}{100}$ / 6400
2ВС105 – 3 вариант (ч)	$\frac{7200}{2800}$ / 80000	$\frac{4500}{1800}$ / 50400	$\frac{2200}{900}$ / 24800
2ВС105 – 3 вариант (к)	$\frac{4100}{1600}$ / 45600	$\frac{2600}{1000}$ / 28800	$\frac{1300}{500}$ / 14400
2ВС180 (к)	2200 / 35200	1400 / 22400	700 / 11200

Примечания.

1 Над чертой приведены значения для крайних осей трехосных тележек думпкара, под чертой для средней оси.

2 Нажатие колодок в думпкарах следует уточнять по конкретной модификации.

3 Действительная сила нажатия тормозных колодок на ось для вагонов колеи 750 мм принимается по Правилам тяговых расчетов для поездной работы (т. 37).

7.3 Удельная тормозная сила b_m в Н/т при колодочном торможении определяется по формуле:

$$b_m = \frac{B_m}{(P+Q)}, \tag{7.3}$$

где B_m – полная тормозная сила поезда, Н; P – расчетная масса локомотива, т; Q – масса состава (вагонов), т.

7.4 В процессе торможения полное значение тормозной силы не может быть реализовано мгновенно. Постепенность процесса наполнения тормозных цилиндров упрощенно можно учитываться через время подготовки тормозов к действию в секундах, которое вычисляется по формуле:

$$t_n = d_1 - \frac{d_2 \cdot i_c}{b_m}, \tag{7.4}$$

где d_1, d_2 – коэффициенты, принимаемые по таблице 7.4; i_c – спрямленный уклон (в профиле и плане) для учета удельного сопротивления; b_m – удельная тормозная сила поезда, Н/т.

Таблица 7.4

Характеристика состава (вагонов)	d_1	d_2
200 осей и менее	7	10,0
Свыше 200 до 300 осей	10	15,0
Свыше 300 осей	12	18,0
Короткие составы из нескольких вагонов		
в летний период	3	5,0
в зимний период при температуре воздуха ниже 10 °С	4	6,5
Подвижной состав колеи 750 мм	5	7,0

7.5 Для промышленного транспорта тормозные расчеты рекомендуется выполнять по методу численной интеграции с учетом постепенности наполнения тормозных цилиндров. При этом значение расчетной силы нажатия тормозных колодок K_t в Н зависит от времени, которое прошло от начала торможения t_m в секундах, и определяется произведением действительной силы нажатия тормозных колодок K в Н на коэффициент наполнения тормозных цилиндров k_t. Значение коэффициента k_t для соответствующих условий принимается по таблицам 7.5 – 7.7 или по формуле (7.5).

Таблица 7.5 – Значение коэффициента k_t для подвижного состава общего назначения

Время от начала торможения t_m, с	Экстренное торможение		Полное служебное торможение	
	при длине состава поезда, м			
	500	800	500	800
0 – 3	0,00	0,00	0,00	0,00
3 – 6	0,20	0,15	0,15	0,02
6 – 9	0,45	0,35	0,40	0,25
9 – 12	0,65	0,50	0,60	0,45
12 – 15	0,80	0,65	0,75	0,60
15 – 18	0,90	0,75	0,85	0,70
18 – 21	0,95	0,85	0,90	0,80
21 – 24	0,98	0,95	0,95	0,90
24 – 27	1,00	0,98	1,00	0,95
27 – 30	–	1,00	–	0,98
30 – 33	–	–	–	1,00

Таблица 7.6 – Значение коэффициента k_t для промышленного подвижного состава с пневматическими тормозами

Время от начала торможения t_m, с	Чугунные колодки	Композиционные колодки
0 – 3	0,15	0,15
3 – 6	0,38	0,46
6 – 9	0,55	0,66
9 – 12	0,66	0,78
12 – 15	0,76	0,86
15 – 18	0,82	0,90
18 – 21	0,88	0,93
21 – 24	0,93	0,97
24 – 27	0,96	0,98
27 – 30	0,98	1,00
30 – 30,4	1,00	–

Таблица 7.7 – Значение коэффициента k_t для промышленного подвижного состава с электропневматическими тормозами

Время от начала торможения t_m, с	k_t
0 – 1	0,25
1 – 2	0,50
2 – 3	0,75
3 – 4	1,00

Для облегчения расчетов по данным в таблицах 7.5 – 7.7 выведены зависимости k_t от t_m и формула для определения k_t имеет общий вид:

$$k_t = a \cdot t_m^3 + b \cdot t_m^2 + c \cdot t_m \,, \tag{7.5}$$

где *a, b, c* – коэффициенты, принимаемые по таблице 7.8; t_m – время от начала торможения, с.

Эта зависимость действует во времени до выхода на полное значение нажатия тормозных колодок t_{m1}, после чего k_t будет равно 1.

Таблица 7.8

Вид подвижного состава и торможения	t_{m1}, с	a	b	c
Подвижной состав общего назначения, экстренное торможение, длина состава 500 м	27,0	-0,0000358	0,0005630	0,048
То же, 800 м	30,0	-0,0000194	0,0000535	0,049
Подвижной состав общего назначения, служебное торможение, длина состава 500 м	27,0	-0,0000191	-0,0003430	0,060
То же, 800 м	33,0	-0,0000255	0,0007660	0,033
Промышленный подвижной состав с пневматическим торможением и чугунными колодками	30,4	0,0000107	-0,0017300	0,076
То же, с композиционными колодками	30,0	0,0000237	-0,0025300	0,088
Промышленный подвижной состав с электропневматическим торможением	4,0	0	0	0,250

7.6 При использовании тяговых агрегатов с магниторельсовыми тормозами при экстренном торможении следует учитывать дополнительную тормозную силу B_M в Н, определяемую в зависимости от скорости по эмпирической формуле:

$$B_M = 21940 \cdot e^{-0,0184 \cdot V}, \qquad (7.6)$$

где e – основание натурального логарифма; V – скорость движения поезда, км/ч.

Полное значение эта тормозная сила набирает через время $t_{m1} = 4,6$ с после начала торможения, поэтому в диапазоне времени t_m от 0 до 4,6 секунд значения умножать на $\frac{1}{4,6} \cdot t_m$.

7.7 Удельная тормозная сила b_M в Н/т при использовании тяговых агрегатов с магниторельсовыми тормозами определяется по формуле:

$$b_M = \frac{B_M}{(P+Q)}, \qquad (7.7)$$

где B_M – полная тормозная сила при магниторельсовом торможении, Н; P – расчетная масса локомотива, т; Q – масса состава (вагонов), т.

8 Сила тяги локомотивов

8.1 Зависимость силы тяги локомотива от скорости определяется позицией контроллера (для тепловозов), типом включения электродвигателей и ограничением магнитного поля (для электровозов), коэффициентом сцепления колеса и рельса. Рельсы должны соответствовать ГОСТ Р 51685. Для предварительных тяговых расчетов допускается использовать расчетные тяговые, топливные и токовые характеристики, приведенные в разделе 15.

8.2 На начальных участках тяговых характеристик максимальное значение силы тяги ограничивается, как правило, сцеплением рельса и колеса (величиной $P_{сц}$). Значение коэффициента сцепления Ψ для разных типов локомотивов и условий эксплуатации определяется по формуле:

$$\Psi = a_\Psi + \frac{b_\Psi}{c_\Psi + d_\Psi V} - e_\Psi \cdot V, \qquad (8.1)$$

где a_Ψ, b_Ψ, c_Ψ, d_Ψ, e_Ψ – коэффициенты, принимаемые по таблице 8.1; V – скорость движения поезда, км/ч.

Таблица 8.1

Тип локомотива и условия	a_Ψ	b_Ψ	c_Ψ	d_Ψ	e_Ψ
Тепловозы промышленного транспорта	0,250	8,0	100,0	20	0
Промышленные электровозы постоянного тока					
на постоянных путях	0,225	7,2	100,0	20	0
на передвижных путях	0,010	54,0	250,0	21	0
Промышленные электровозы переменного тока					
на подъездных путях	0,228	7,0	53,0	3	0
на постоянных путях	0,210	7,0	53,0	3	0
на передвижных путях	0,010	54,0	250,0	21	0
Тепловозы ТЭ10	0,118	4,0	22,0	1	0
Другие магистральные тепловозы	0,118	5,0	27,5	1	0
Магистральные электровозы постоянного тока	0,250	8,0	100,0	20	0
Магистральные электровозы переменного тока	0,280	4,0	50,0	6	0,0006
Тепловозы колеи 750 мм	0,200	10,0	100,0	12	0

8.3 При движении локомотива на расчетном и труднейшем подъемах при тепловозной тяге в кривых участках пути радиусом менее 800 м, а при электрической тяге – менее 500 м коэффициент сцепления Ψ снижается до значения Ψ_R, которое определяется по формуле:

$$\Psi_R = \Psi \cdot \frac{h_\Psi + m_\Psi \cdot R}{n_\Psi + z_\Psi \cdot R}, \tag{8.2}$$

где h_Ψ, m_Ψ, n_Ψ, z_Ψ – коэффициенты, принимаемые по таблице 8.2; Ψ – коэффициент сцепления; R – радиус кривой, м.

Для узкой колеи в формуле (8.2) вместо второго множителя, выраженного дробью, принимаются значения при радиусах, м: 200 – 0,91, 150 – 0,89, 125 – 0,87, 100 – 0,85, 75 – 0,82, 60 – 0,80, 40 – 0,75.

Таблица 8.2

Вид тяги и радиус кривой	h_Ψ,	m_Ψ	n_Ψ	z_Ψ
Тепловозная тяга, радиус менее 800 м	0	3,50	400	3,0
Электрическая тяга, радиус менее 500 м	250	1,55	500	1,1

8.4 Касательная сила тяги локомотива F_k в Н на участках ограничения по сцеплению определяется по формулам:

а) для прямых участков пути

$$F_k = P_{сц} \cdot \Psi, \tag{8.3}$$

где $P_{сц}$ – сцепной вес локомотива, Н; Ψ – коэффициент сцепления.

б) для кривых участков пути (с учетом условий в 8.3)

$$F_k = P_{сц} \cdot \Psi_R, \tag{8.4}$$

где $P_{сц}$ – сцепной вес локомотива, Н; Ψ_R – коэффициент сцепления в кривых участках пути.

Примечание – Сцепной вес маневровых локомотивов, если это конструктивно предусмотрено, может быть увеличен за счет укладки специальных плит, других тяговых средств – за счет массы перевозимого груза.

Эксплуатация тепловозов должна производиться на скоростях выше скорости выхода (на данной позиции контроллера) на автоматическую характеристику V_a в км/ч, которая определяется по формуле:

$$V_a = \frac{0{,}367 \cdot \eta \cdot N}{9.81 \cdot \Psi_T \cdot P} \tag{8.5}$$

где η – коэффициент приближения реальной тяговой характеристики тепловоза к идеальной; N – мощность локомотива, кВт; Ψ_T – коэффициент тяги для тепловозов; P – расчетная масса локомотива, т.

Коэффициент тяги Ψ_T для средних условий эксплуатации принимается в размере 0,14 при электрической передаче и 0,19 – при гидравлической, а при чистых рельсах соответственно 0,18 и 0,25. Коэффициенты приближения реальной тяговой характеристики тепловоза к идеальной η, значения V_a и N для тепловозов, применяющихся
на промышленном транспорте в нормальных условиях эксплуатации, приведены в таблице 8.3. В этой же таблице приведены значения расчетной массы P и максимальной конструкционной скорости V_{max} тепловозов.

Таблица 8.3

Серия тепловоза	P, т	η	V_a, км/ч	N, кВт	V_{max}, км/ч
ТГК2	28	0,58	4,0*	162	60
ТГМ1	46	0,60	4,0*	294	60
ТГМ23	44	0,60	6,5*	368	60
ТГМ3А	68	0,62	8,5	552	70
ТГМ4	80	0,63	5,0*	552	55
ТГМ6А	90	0,64	5,0*	883	80
ТЭМ1	120	0,70	9,0	736	90
ТЭМ2	120	0,70	11,0	883	100
ТЭ3 – 1 секция	127	0,70	20,5	1472	100
ТЭМ7	180	0,73	10,3	1472	100
ТЭ10Л – 1 секция	130	0,75	23,4	2208	100

* При маневровом режиме.

Примечание – Сцепной вес $P_{сц}$ локомотивов колеи 750 мм составляет, тс: ТУ2 – 31,75, ТУ3 – 32,9, ТУ4 – 20, ТУ5 – 24; максимальная скорость 50 км/ч.

8.6 Касательная сила тяги тепловоза F_k в Н для автоматической характеристики может определяться по формуле:

$$F_k = 9.81 \cdot \frac{367 \cdot \eta \cdot N}{V}, \quad (8.6)$$

где η – коэффициент приближения реальной тяговой характеристики тепловоза к идеальной; N – мощность локомотива, кВт; V – скорость движения, км/ч.

8.7 Удельная касательная сила тяги в f_k Н/т определяется по формуле:

$$f_k = \frac{F_k}{(Q+P)}, \quad (8.7)$$

где F_k – касательная сила тяги, Н; $Q + P$ – расчетная масса локомотива и масса состава, т.

8.8 При эксплуатации тепловозов и тяговых агрегатов с дизельными двигателями в атмосферных условиях, отличающихся от стандартных (температура наружного воздуха $t_{нв}$ = 20 °С и выше, атмосферное давление $H_{бар}$ ниже 1013 гПа (760 мм рт. ст.)), следует учитывать снижение силы тяги локомотивов коэффициентом k_a, определяемым по формуле:

$$k_a = 1 - k_m - k_p\,, \quad (8.8)$$

где k_m – коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения температуры наружного воздуха; k_p – коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения атмосферного давления.

Коэффициенты k_m и k_p принимаются по таблице 8.4.

Расчетные атмосферные условия для летнего и зимнего периодов устанавливает транспортное подразделение предприятия.

Таблица 8.4

Тип дизеля	Серия тепловоза	k_m при $t_{нв}$, °С			k_p при $H_{бар}$, гПа (мм рт. ст.)				
		≤20	30	40	906 (680)	933 (700)	960 (720)	987 (740)	1013 (760)
2Д50	ТЭМ1	0	0,030	0,060	0,061	0,046	0,030	0,015	0
М753	ТГМ3	0	0,017	0,034	0,045	0,034	0,022	0,011	0

2Д100	ТЭ3, ТЭ7	0	0,045	0,090	0,105	0,078	0,051	0,025	0
2Д100, 11Д45, Д50	ТЭ1, ТЭ2, ТЭ10	0	0,050	0,100	0,115	0,086	0,057	0,028	0

8.9 При эксплуатации локомотивов с большим сроком службы или новых с учетом их износа в перспективе транспортным подразделением предприятия может устанавливаться понижающий коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля (снижение силы тяги). В предварительных расчетах этот коэффициент может быть принят 0,95.

9 Определение массы состава поезда

9.1 Масса состава поезда Q в тоннах при тепловозной тяге определяется из условия движения поезда с постоянной расчетно-минимальной скоростью на расчетном (руководящем) уклоне на подъеме по формуле:

$$Q = \frac{9.81\frac{367\cdot\eta\cdot N}{V_p} - (w_o' + i_p + w_{ro} + w_{нт} + w_в + w_{вв} + w_{сп})\cdot P}{w_o'' + i_p + w_{ro} + w_{нт} + w_в + w_{вв} + w_{сп}}, \qquad (9.1)$$

где η – коэффициент приближения реальной тяговой характеристики тепловоза к идеальной; N – мощность локомотива, кВт; V_p – расчетно-минимальная скорость движения локомотива, км/ч; w – удельные сопротивления движению по разделам 4 и 5 (с соответствующими индексами), Н/т; i_p – расчетный (руководящий) уклон на подъеме Н/т, (‰); P – расчетная масса локомотива, т;

или в упрощенном виде:

$$Q = \frac{9.81\frac{367\cdot\eta\cdot N}{V_p} - P}{w_o'' + i_p + w_{ro} + w_{нт} + w_в + w_{вв} + w_{сп}}. \qquad (9.2)$$

Значения V_p для тепловозов в формулах (9.1, 9.2) принимается не менее скорости выхода на автоматическую характеристику V_a. Значения w принимаются для скорости V_p.

Возможность применения большей массы состава поезда или больших уклонов за счет использования кинетической энергии поезда следует проверять тяговыми расчетами и в соответствии требованиям СП 37.13330 и СП 119.13330.

9.2 Масса состава поезда Q в тоннах при электровозной тяге определяется из условия движения поезда с постоянной расчетно-минимальной скоростью V_p на руководящем подъеме i_p по формуле:

$$Q = \frac{F_{kp} - (w_o' + i_p + w_{ro} + w_{нт} + w_в + w_{вв} + w_{сп})\cdot P}{w_o'' + i_p + w_{ro} + w_{нт} + w_в + w_{вв} + w_{сп}}, \qquad (9.3)$$

где F_{kp} – расчетное значение касательной силы тяги локомотива при расчетно-минимальной скорости, Н. Остальные обозначения те же, что и в формуле (9.1).

Значения P, V_p, F_{kp} и другие параметры для электровозов приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Серия электровоза	Ток	P, т	V_p, км/ч	F_{kp}, Н	V_{max}, км/ч	Ток часовой, А	Ток длительный, А
IV КП	Постоянный	80	20,2	180500	70	280	235
ЕЛ2	Постоянный	100	28,0	225600	65	250	205
ЕЛ1	Постоянный	150	28,0	338400	65	250	205
13Е и 21Е	Постоянный	150	25,6	338400	65	190	148
26Е2М	Постоянный	180	25,5	407100	65	304	264
ПЭ2М	Постоянный	368	28,0	814200	65	335	300
ПЭ1	Постоянный	368	28,0	814200	65	335	300
ПЭ3Т	Постоянный	372	26,5	961400	65	335	300
Д94	Переменный	94	25,0	245300	85	380	340
Д100М	Переменный	100	26,5	255100	70	315	265
НП1	Переменный	368	25,0	1049700	65	–	–
ЕЛ10	Переменный	360	23,0	922100	65	500	445
ОПЭ1	Переменный	360	27,0	922100	65	560	476
ОПЭ2	Переменный	368	25,4	961400	65	330	300
ОПЭ1А	Переменный	372	25,0	941800	65	330	300

9.3 При проверке массу состава следует считать определившейся, если скорость движения в конце проверяемого подъема получилась равной или несколько более расчетной скорости для данной серии локомотива. В отдельных случаях для эксплуатируемых путей в зависимости от местных условий разрешается выходную скорость со скоростных подъемов снижать (в зависимости от вида тяги и локомотива), но во всех случаях протяженность пути, проходимого со скоростью меньшей, чем расчетная, не должна превышать 500 м. Отступление от этой величины может быть допущено с разрешения руководства предприятия при наличии резервов пропускной способности и соблюдении установленных норм по нагреву тяговых электрических машин.

9.4 Полученную массу состава поезда следует проверять на трогание с места, на непревышение длиной поезда длины приемо-отправочных путей, а также на перегрев тяговых электродвигателей.

При выполнении тяговых расчетов следует учитывать то, что масса состава (количество вагонов) на металлургических и других производствах должна удовлетворять технологии производства – массе груза в одновременной подаче (например, при загрузке шихты), количеству вагонов под слив жидких грузов (например, чугуна, шлака) и т.п. Для опасных грузов и производств необходимо также учитывать постановку в состав вагонов прикрытия.

9.5 Проверка массы состава поезда Q в тоннах на трогание с места выполняется по условию:

а) для подвижного состава общего назначения

$$Q \leq \frac{F_{тр}}{w_{тр}} - P, \tag{9.4}$$

где $F_{тр}$ – расчетное значение касательной силы тяги локомотива при трогании поезда с места, Н; $w_{тр}$ – удельное сопротивление движению поезда при трогании с места, Н/т (по разделу 6); P – расчетная масса локомотива, т.

б) для промышленного подвижного состава

$$Q \leq \frac{F_{тр}}{100 \cdot a + w_{тр}} - P, \tag{9.5}$$

где a – ускорение поезда при трогании с места, м/с^2, принимаемое равным 0,05 при вывозной работе и 0,10 при маневровой работе. Остальные обозначения те же, что и в формуле (9.4).

Для карьерного транспорта необходимо обеспечить трогание поезда с места на расчетном (руководящем) уклоне на подъеме.

Значения силы тяги локомотивов при трогании с места при нормальных условиях эксплуатации принимаются по таблице 9.2.

Таблица 9.2

Серия локомотива	$F_{тр}$, Н	Серия локомотива	$F_{тр}$, Н	Серия локомотива	$F_{тр}$, Н
ТГК2	82 400	II КП	103 000	НП1	1 177 200
ТГМ1	135 400	IV КП	196 200	ЕЛ10	1 177 200*

ТГМ23	129 500	ЕЛ2	294 300	ОПЭ1	1 177 2 00*
ТГМ3А	219 700	ЕЛ1	441 450	ОПЭ2	1 177 200*
ТГМ4	235 40	13Е и 21Е	441 450	ОПЭ3, 4	80 000*
ТГМ6	259 900	26Е2М	529 700	ОПЭ1А	1 177 200*
ТЭМ1	347 200	ПЭ2М	1 079 100*	Колея 750 мм:	
ТЭМ2	347 200	ПЭ1	1 079 100*	ТУ2, ТУ3	83 300
ТЭМ7	494 400	ПЭ3Т	1 177 200*	ТУ4	52 900
ТЭ3 – 1 секция	285 500	Д94	313 900*	ТУ5	70 600
ТЭ10Л – 1 секция	374 700	Д100м	323 700		
* Значения приведены при полной нагрузке моторных думпкаров.					

9.6 Полезная длина приемо-отправочных путей должна быть больше длины поезда с учетом неточности его установки и возможности восприятия сигнала машинистом. Длины локомотивов и вагонов приведены в таблице 9.3.

Примечание – Полезная длина железнодорожного пути – часть пути, ограниченная:

– при наличии светофоров и электрической изоляции железнодорожного пути: с одной стороны – выходным (маршрутным, маневровым) светофором, с другой – изолирующим стыком путевого участка рельсовой цепи;

– при отсутствии светофоров (при наличии групповых выходных светофоров) и электрической изоляции железнодорожного пути – изолирующими стыками путевого участка рельсовой цепи;

– при наличии светофоров и отсутствии электрической изоляции железнодорожного пути: с одной стороны – светофором, с другой – предельным столбиком;

– при отсутствии светофоров и электрической изоляции железнодорожного пути – предельными столбиками с обеих сторон.

Таблица 9.3

Подвижной состав	Длина единицы, м
ТГК2	9,0
ТГМ1	10,0
ТГМ23	9,0
ТГМ3	13,0
ТГМ4	12,6
ТГМ6	14,0
ТГМ40	11,3
ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭМ3, ТЭ3 – 1 секция, ТЭ10Л – 1 секция	17,0
ТЭМ7	22,0
ТЭМ12	16,0
II КП	11,0
IV КП	12,2
ЕЛ2	13,8
ЕЛ1	21,3
13Е, 21Е	22,0
26Е2М	21,5
ПЭ2М, ПЭ1, ПЭ3Т	51,3
Д94	16,4
ЕЛ10	52,3
ОПЭ1	55,2
ОПЭ2, ОПЭ1А, ОПЭ1Б	51,3
Восьмиосные полувагоны магистральные	20,0
Четырехосные вагоны магистральные (полувагоны и платформы)	14,0
Четырехосные цистерны и думпкары магистральные	12,0
Думпкары 3ВС50, 6ВС60, ВС85	12,0
Думпкары ВС80, ВС82	14,0
Думпкары ВС100	16,0
Думпкары 2ВС105	15,0
Думпкары 2ВС140, 2ВС180	17,6
* Длины единиц подвижного состава рекомендуется уточнять при выборе конкретной модификации.	

9.7 Проверка массы состава поезда на перегрев тяговых электродвигателей локомотива производится при выполнении тяговых расчетов.

10 Ограничения скорости и решение тормозной задачи

10.1 Полученные по тяговым расчетам скорости движения поездов должны обеспечивать остановку поезда имеющимся тормозным оборудованием в любой момент движения без превышения расчетной длины тормозного пути и не должны превышать максимальных скоростей в нормальных условиях, установленных в СП 37.13330[5]:

- 80 км/ч – по путям категории I-п; 40 км/ч – по путям категории II-п;
- 25 км/ч – по путям категории III-п и передвижным соединительным путям; 10 км/ч – по соединительным путям;
- 5 км/ч – по погрузочно-разгрузочным путям;
- 3 км/ч – по ремонтным и отстойным путям и при въезде в здания.

Крутизна спусков в пределах подходов к погрузочно-разгрузочным фронтам при движении поезда (подачи) вагонами вперед с выключенными тормозными средствами вагонов определяется тормозными расчетами. При этом должна быть обеспечена остановка вагонов тормозными средствами локомотива перед фронтом при скорости движения в начале торможения 25 км/ч. В трудных условиях допускается скорость в начале торможения принимать 15 км/ч, а в особо трудных условиях – 10 км/ч.

Кроме того, по условиям обеспечения безопасности движения следует учитывать допускаемые скорости движения по кривым в зависимости от радиуса и возвышения наружного рельса, по стрелочным переводам в зависимости от их конструкции, по нагрузкам на мостовые сооружения, а также конструкционные скорости движения подвижного состава, а для специального подвижного состава – скорости, установленные правилами технической эксплуатации).

На промышленном транспорте скорость поезда и его тормозное оборудование должны обеспечить остановку поезда на расстоянии, не превышающем 300 м.

Примечание – На подъездных и соединительных путях при поездном порядке движения и применении соответствующих средств СЦБ (сигнализация, централизация, блокировка) длина тормозного пути может устанавливаться транспортным подразделением предприятия по нормам, применяемым на общей сети железных дорог.

[5] Допускаемые скорости движения в трудных и особо трудных условиях снижаются по нормам, приведенным в этом своде правил.

10.2 Полученные скорости движения в кривых участках пути необходимо сравнить с максимально допускаемыми скоростями, полученными при расчетах параметров кривых, а также с минимально допускаемыми скоростями движения грузовых поездов и при необходимости уточнить тяговые расчеты.

При превышении максимально допускаемых скоростей в кривых в тяговых расчетах следует задать ограничение скорости, а если минимально допускаемые скорости грузовых поездов (в том числе расчетно-минимальная скорость для определенного локомотива) не достигнуты – снизить массу поезда или увеличить силу тяги (принять более мощный локомотив, применить двойную (кратную) тягу или подталкивание). Также в этих случаях могут быть пересмотрены параметры плана и продольного профиля пути, а также применены разные массы поездов в четном и нечетном направлениях с учетом рациональности принимаемых проектных решений – по оптимальным технико-экономическим показателям.

10.3 Определение максимально допустимых скоростей движения по условиям торможения рекомендуется выполнять численной интегрицией с помощью программных средств, повышающих точность и достоверность расчетов, а также значительно сокращающих трудозатраты.

Приняв, что в интервале времени Δt равнодействующая сила не изменяется, уменьшение скорости ΔV при торможении можно определить по формуле:

$$\Delta V = \frac{r}{30}, \tag{10.1}$$

где r – общая удельная тормозная сила поезда, Н.

Значение r в Н/т определяется суммой удельной тормозной силы поезда b_m и удельной тормозной силы, которая реализуется магниторельсовыми тормозами b_M) и принимается для начальной скорости V_n. После определения ΔV вычисляется интервал пройденного пути ΔS в метрах по формуле:

$$\Delta S = \frac{V_n - \frac{\Delta V}{2}}{3{,}6}. \tag{10.2}$$

Расчеты повторяются до момента, когда $V_n - \Delta V \leq 0$. Таким образом вычисляется путь S, который пройдет поезд от начала торможения до остановки.

Изменяя начальную скорость, находят ее значение, при котором полный путь торможения не превысит 300 м. Выполнив расчеты при нескольких значениях уклонов, получают зависимость максимальной скорости по условиям торможения от уклона.

Расчеты рекомендуется выполнять для всего диапазона уклонов, пока начальная скорость не превысит конструкционную скорость подвижного состава.

После ввода исходных данных и вычислений в расчете находят момент достижения нулевой скорости и, изменяя начальное значение скорости, находят такую ее величину, при которой путь торможения достигнет, но не превысит 300 м.

Результаты зависимости скорости от уклона, при которых путь торможения не превышает 300 м, заносят в таблицу и строят по этим данным график $V = f(i)$. Добавив на графике линию тренда (линейная аппроксимация), получают ее формулу – коэффициенты аппроксимации, которые используются при выполнении тягового расчета (например, $y = 0{,}6429x + 52{,}89$, то есть используется формула ограничения максимальной скорости $V_{max} = a_{max}\, i + b_{max} = 0{,}62429i + 52{,}89$).

Для движения поезда в прямом и обратном направлениях расчеты выполняются отдельно, поскольку значение массы вагонов и соответствующее ей сопротивление движению отличаются.

Пример определения допустимых скоростей движения с помощью Microsoft®Office Excel приведен в приложении Г[6]. В приведенном примере также наглядно отражен алгоритм расчета.

Примерный алгоритм тормозных расчетов в помощь разработчику программы приведен в приложении Е.

[6] Исходные данные для расчета приняты по аналогу для тягового расчета (Приложение Д).

11.Подготовка продольного профиля к выполнению расчетов

11.1 При спрямлении профиля, если не используется специализированная компьютерная программа, объединяются смежные элементы профиля и учитывается сопротивление от кривых. Объединяются только элементы с близкими по значению уклонами одного знака. Допускается совмещать элементы, если разница между действительным и спрямленным элементами профиля по высоте не превышает 2 м.

Примечание – При использовании программных средств тяговые расчеты для условий промышленного транспорта (пилообразный профиль, невозможность спрямления профиля по установленным правилам, в том числе на раздельных пунктах) рекомендуется вести участками (шагами) интегрирования, учитывающими все переломы в продольном профиле, а также начало и конец кривых в плане, то есть напрямую использовать фактические данные. Кроме обеспечения повышенной точности и исключения подготовительных расчетов, в этом случае также исключаются ошибки, которые могут быть допущены при спрямлении профиля с учетом кривых в плане, а также упрощается проверка вводимых в расчеты исходных данных.

11.2 Спрямленный уклон профиля i_c в ‰ (на подъеме со знаком «+», на спуске со знаком «–») для n объединенных элементов определяется по формуле:

$$i_c = \sum_{j=1}^{n}(i_j \cdot l_j) / \sum_{j=1}^{n} l_j, \qquad (11.1)$$

где i_j – уклоны на элементах профиля, ‰; l_j – длины соответствующих уклонам элементов профиля, м.

Длина спрямленного участка профиля l_c принимается равной общей длине спрямляемых элементов. Для каждого из элементов, которые объединяются, должно выполняться условие $l_j \cdot |i_j - i_c| \leq 2000$.

Для каждой кривой, которая приходится на спрямленный участок профиля (учитывая и кривые на стрелочных переводах), вычисляется дополнительный уклон Δi_c в ‰, отнесенный к спрямленному участку, по формуле:

$$\Delta i_c = \frac{700}{R} \cdot \frac{S_{kp}}{l_c} \cdot k_s, \qquad (11.2)$$

где R – радиус кривой, м; S_{kp} – длина кривой, м; l_c – длина спрямленного участка

профиля, м; k_s – коэффициент на сопротивление от поворота тележек экипажей[7], вводимый при наличии кривых малого радиуса (для колеи 1520 мм не более 700 м, для колеи 750 мм не более 425 м), направленных в разные стороны (S-образных или обратных кривых), принимаемый при непосредственной стыковке кривых или расстоянии между ними менее 1/3 длины поезда: при двух разнонаправленных кривых – 1,1, при трех разнонаправленных кривых – 1,26, при четырех разнонаправленных кривых – 1,5, а при расстоянии между кривыми до 1/2 длины поезда – соответственно 1,05, 1,13 и 1,25.

Примечание – Длина кривой S_{kp} при наличии переходных кривых принимается за вычетом из суммарной длины кривой половины суммы длин переходных кривых.

Если на участке спрямления расположена только часть кривой, S_{kp} принимается равной этой части.

Ввиду того, что сопротивление от кривых всегда имеет положительное значение, спрямленный профиль создается отдельно для прямого и обратного направлений движения. Полный спрямленный уклон определяется алгебраической суммой i_c и Δi_c.

[7] Коэффициенты приняты с учетом исследований ВНИИЖТ (Москва, 1987) и ДВГУПС (Хабаровск, 2005).

12. Определение скорости, времени и энергозатрат на движение поезда

12.1 Определение скорости, времени и энергозатрат на движение поезда рекомендуется выполнять численной интеграцией с шагом по пройденному пути ΔS с помощью программных средств, повышающих точность и достоверность расчетов, а также значительно сокращающих трудозатраты.

12.2 При трогании и разгоне поезда на подъеме и в пунктах, за которыми расположен трудный подъем, должно обеспечиваться увеличение скорости или движение с установившейся скоростью, соответствующей режимам работы локомотивов; при этом допускается на расстоянии не более 500 м снижение скорости движения не свыше 3 км/ч с последующим ее увеличением, не вызывающим перегрев обмоток тяговых электрических машин локомотива.

12.3 Для расчетов скорости в тяговом режиме используются формулы:

а) ΔV при спрямлении профиля

$$\Delta V = \sqrt{V_n^2 + 0{,}24 \cdot (f_k - (w - w_i - w_{ro}) - i_c - \Delta i_c) \cdot \Delta S} - V_n, \quad (12.1)$$

б) ΔV без спрямления профиля

$$\Delta V = \sqrt{V_n^2 + 0{,}24 \cdot (f_k - w) \cdot \Delta S} - V_n; \quad (12.2)$$

$$V_k = V_n + \Delta V; \quad (12.3)$$

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{500 \cdot (V_n + V_k)}, \quad (12.4)$$

где ΔV – изменение скорости, км/ч; V_n – скорость поезда в начале шага интегрирования, км/ч; f_k – удельная касательная сила тяги локомотива, определяемая по формуле (8.5), Н/т; w – удельное сопротивление движению поезда в тяговом режиме, определяемое по формуле (6.2), Н/т; w_i – дополнительное удельное сопротивление движению от уклона, определяемое по формуле (5.1), Н/т; w_{ro} – дополнительное удельное сопротивление движению по кривой, определяемое по формуле (5.2), Н/т; i_c – спрямленный уклон профиля, определяемый по формуле

(11.1) в Н/т, (‰); Δi_c – дополнительный уклон от кривых, отнесенный к спрямленному участку, определяемый по формуле (11.2) в Н/т, (‰); ΔS – пройденный путь на шаге интеграции, м; V_K – скорость поезда в конце шага интегрирования, км/ч; Δt – время движения на шаге интегрирования, мин.

12.4 Для расчетов скорости в режиме служебного торможения (расчет в обратном направлении – от места остановки поезда) используются формулы:

а) ΔV при спрямлении профиля

$$\Delta V = \sqrt{V_n^2 + 0{,}24 \cdot (k_{cm} b_m + (w - w_i - w_{ro}) + i_c + \Delta i_c) \cdot \Delta S} - V_n, \quad (12.5)$$

б) ΔV без спрямления профиля

$$\Delta V = \sqrt{V_n^2 + 0{,}24 \cdot (k_{cm} \cdot b_m + w) \cdot \Delta S} - V_n; \quad (12.6)$$

$$V_k = V_n + \Delta V; \quad (12.7)$$

$$\Delta t = \frac{60 \cdot \Delta S}{1000 \cdot (V_n + \frac{\Delta V}{2})}, \quad (12.8)$$

где k_{cm} – коэффициент использования тормозной силы во время служебного торможения. При применении полного служебного торможения принимается 0,8, при предусмотренных остановках на раздельных пунктах – 0,5; b_m – удельная тормозная сила поезда, Н/т, определяемая по формуле (7.3). Остальные обозначения те же, что и в формулах (12.1 – 12.4).

12.5 При ограничении скорости следует определить необходимую для ее обеспечения ограниченную силу тяги F_k в Н по формуле:

а) при спрямлении профиля

$$F_k = (P + Q) \cdot (w - w_i - w_{ro} + i_c + \Delta i_c), \quad (12.9)$$

б) без спрямления профиля

$$F_k = (P + Q) \cdot w, \quad (12.10)$$

где P и Q – расчетная масса локомотива и масса состава, т. Остальные обозначения

те же, что и в формулах (12.1 – 12.4).

При отрицательных величинах F_k принимается с нулевым значением.

12.6 Механическая работа локомотива R_M в МДж определяется суммированием произведений силы тяги локомотива F_k в Н на интервалы пути ΔS в м, пройденные в тяговом режиме, по формуле:

$$R_M = \sum(9{,}81 \cdot F_k \cdot \Delta S)/1000000. \quad (12.11)$$

12.7 Определение механической работы и расходов топлива или электроэнергии производится их подсчетом на каждом интервале.

12.8 Для упрощения расчетов (особенно при неполном использовании силы тяги) можно предварительно определить линейную зависимость потребляемой электровозом силы тока I в A от силы тяги F_k в Н, построив график зависимости и линию тренда с формулой, полученной в виде:

$$I = a_I \cdot F_k + b_I, \quad (12.12)$$

где a и b – коэффициенты линейной аппроксимации.

12.9 Почасовые расходы топлива g_m в кг/ч при фиксированной мощности двигателя являются практически постоянными и определяются из справочных данных. При ограниченном использовании силы тяги (ограничении скорости) почасовые расходы топлива определяются по мощности, которая соответствует установленному положению контроллера.

12.10 Расходы топлива G в кг или электроэнергии A в кВт·ч в тяговом режиме определяются суммированием этих расходов по интервалам интегрирования по формулам:

$$G = \frac{\sum(g_m \cdot \Delta t)}{60}; \quad (12.13)$$

$$A = 1{,}17 \cdot \frac{\sum(n_d \cdot U_d \cdot I_d \cdot \Delta t)}{60}, \quad (12.14)$$

где g_m – расход топлива в тяговом режиме за час работы, кг/ч; Δt – время движения на шаге интегрирования, мин; n_d – количество электродвигателей; U_d – напряжение

электродвигателя; I_d – ток, потребляемый электродвигателем.

В расчетах можно принять, что все двигатели соединены параллельно, тогда суммарный ток, потребляемый электродвигателями $n_d \cdot I_d$, будет равен току, потребляемому локомотивом I и формула (12.14) приобретает вид:

$$A = 1{,}17 \frac{\sum(U_d \cdot I \cdot \Delta t)}{60}, \qquad (12.15)$$

Для электровозов переменного тока напряжение на электродвигателе определяется для расчетной позиции в виде линейной зависимости от тока двигателя, для постоянного тока – принимается постоянной и равной напряжению в контактной сети U.

12.11 Расходы топлива или электроэнергии на собственные нужды определяются по паспортным данным локомотивов или данным в разделе 15 и времени движения.

12.12 С достаточной точностью расходы топлива G в кг и электроэнергии A в кВт·ч можно определять через механическую работу локомотива R_M в МДж по формулам:

$$G = (0{,}8 \div 0{,}85) \cdot R_M; \qquad (12.16)$$

$$A = k_э \cdot R_M, \qquad (12.17)$$

где $k_э$ – коэффициент, принимаемый 3,2 для постоянного тока и 3,3 – для переменного тока.

12.13 Пример тягового расчета, выполненного с помощью Microsoft®Office Excel, приведен в приложении Д. В приведенном примере также наглядно отражен алгоритм расчета. Скорость движения в примере не превышает допустимых скоростей по всем положениям раздела 10 и не снижается после разгона поезда до величины менее скорости выхода на автоматическую характеристику (V_a для тепловоза ТЭМ7 составляет 10,3 км/ч).

Руководящих подъемов, где скорость должна быть не менее расчетной, не имеется.

Для движения поезда в прямом и обратном направлениях расчеты выполняются отдельно, поскольку значение массы вагонов и соответствующее ей сопротивление движению отличаются, а величина уклонов меняет знак. Также могут быть изменения и дополнительных сопротивлений, например, от ветра и при движении вагонами вперед или локомотивом в голове поезда.

Примерный алгоритм тяговых расчетов в помощь разработчику программы приведен в приложении Е.

13. Проверка электродвигателей на перегрев

13.1 Детальный расчет перегрева обмоток электродвигателей выполняется по достаточно сложным зависимостям, поэтому для проверки электродвигателей на перегрев на промышленном транспорте можно использовать упрощенную методику, по которой на самом сложном участке необходимо определить эффективный ток двигателя $I_э$ в A по формуле:

$$I_э = \sqrt{\frac{\sum(I_k^2 \cdot \Delta t)}{t}}, \qquad (13.1)$$

где I_k – ток, потребляемый электродвигателями на шаге интегрирования, А; Δt – время движения на шаге интегрирования, мин; t – суммарное время движения на сложном участке, мин.

Полученное значение тока сравнивается с 15- или 30-минутным током двигателя электровоза I_t. Если $I_э \leq (0{,}85 \div 0{,}90)\, I_t$, то можно считать, что перегрева электродвигателей не будет. При отсутствии значений соответствующего тока можно использовать значения часового тока, приведенные в таблице 9.1.

14. Сопротивление движению и троганию подвижного состава и тормозные расчеты для поездов узкой колеи

14.1 Основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов колеи 750 мм определяют по формулам:

а) для порожних вагонов

$$w_o'' = 9{,}81 \cdot (1{,}2 + 0{,}02 \cdot v + 0{,}0017 \cdot v^2) \qquad (14.1)$$

Таблица 14.1 – Значения w_o'', w_o', w_x (Н/т) для подвижного состава колеи 750 мм

Формула или параметр	v, км/ч				
	10	20	30	40	50
(15.1)	15,4	22,67	32,67	46,3	63,27
(15.2)	14,03	18,93	24,43	30,51	37,28
(15.3)	25,11	38,26	56,11	78,68	105,95
w_o'	30,6	38,75	47,09	55,72	67,20
w_x	49,05	60,63	76,81	94,37	119,68
(15.4)	62,49	84,17	107,22	131,65	157,45

б) для груженых вагонов

$$w_o'' = 9{,}81 \cdot (1 + 0{,}04 \cdot v + 0{,}00032 \cdot v^2) \qquad (14.2)$$

Значения w_o'', подсчитанные по формулам (14.1) – (14.3), приведены в таблице 15.1. Здесь также даны значения удельного сопротивления движению тепловозов w_o' 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

$$w_{x\,\text{гидр}} = 9{,}81 \cdot (4{,}3 + -0{,}2 \cdot v + 0{,}0007 \cdot v^2) \qquad (14.3)$$

или по таблице 14.1.

14.2 Дополнительное удельное сопротивление движению подвижного состава колеи 750 мм от кривизны пути определяют по формуле

$$w_r = 9{,}81 \cdot \frac{425}{R} \qquad (14.4)$$

или

$$w_r = 9{,}81 \cdot \frac{7.5\,\alpha^\circ}{S_{\text{кр}}}. \qquad (14.5)$$

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.

14.3 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 (10.2), но методика определения входящих в нее величин имеет следующие особенности. Действительные силы нажатия тормозных колодок вагонов узкой колеи принимают по таблице 14.2, а локомотивов – по таблице 14.3.

Таблица 14.2 – Действительные силы нажатия чугунных тормозных колодок вагонов колеи 750 мм

Тип вагонов	Масса тары вагона, т	Сила нажатия колодок на все оси вагона, кН, при торможении	
		Автоматическом	Ручном
Грузовые вагоны: Крытые четырехосные грузоподъемностью 16,5 т на режиме: груженом порожнем Крытые четырехосные и полувагоны грузоподъемностью 20 т на режиме: груженом порожнем	6,1 – 9,5 8 - 10	 88,3 39,24 98,1 49,05	 49,05 - 58,86 -
Платформы четырехосные грузоподъемностью 16,5 т на режиме: груженом порожнем Грузоподъемностью 20 т на режиме: груженом порожнем	6,5 – 7,5 7,5	 78,48 39,24 88,29 49,05	 49,05 - 58,86 -
Цистерны четырехосные грузоподъемностью 20 т на режиме: груженом порожнем	8 – 9	 78,48 39,244	 49,05 -

Таблица 14.3 – Действительные силы натяжения чугунных тормозных колодок локомотивов и дизель-поездов

Подвижной состав	Учетная масса, т	Сила нажатия колодок на все оси при торможении, кН	
Тепловозы			
ТУ2, ТУ3	32	15	8
ТУ4	18	12	2,5
ТУ5	24	16	2,5
ТГМ3, ТГМ7	64	24	4
ТГ16	138	48	8
Дизель-поезда			
Моторный вагон	47	30	8
Прицепной вагон	38	22	8

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

$$\varphi_k = 0{,}45 \cdot \frac{K+10}{8K+10} \frac{25}{v+25}. \quad (14.6)$$

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

$$\varphi_k = 0{,}26 \cdot \frac{25}{v+25}. \quad (14.7)$$

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

$$t_{\text{п}} = 5 - \frac{7 \cdot i_c}{1000 \cdot \delta \cdot \varphi_k}. \quad (14.8)$$

При ручном торможении время подготовки принимается равным 20 с.

Силу нажатия тормозных колодок локомотивов учитывают только при следовании резервом. Коэффициент трения тормозных колодок – по формуле (14.6).

15 Тяговые и другие характеристики локомотивов

15.1 Тяговые характеристики локомотивов промышленного транспорта, учитывая совершенствование оборудования, изменение расчетной массы и сцепного веса, следует уточнять по конкретным и достоверным характеристикам применяемых локомотивов.

15.2 Для выполнения тяговых расчетов при проектировании железнодорожных путей допускается использовать расчетную зависимость силы тяги от скорости. Для тепловозов эта зависимость после выхода на автоматическую характеристику выражается формулой (8.6) при стопроцентном использовании мощности N.

15.3 В пределах действия ограничения силы тяги по сцеплению зависимость силы тяги от скорости можно рассчитывать по формулам (8.3, 8.4). При автоматизации тяговых расчетов можно вводить значение $F_{тр}$ и определять значение силы тяги, ограниченной по сцеплению, по соответствующим формулам.

15.4 При выполнении тяговых расчетов следует обращать внимание на то, что во многих источниках, в том числе и заводских данных, сцепной вес локомотива (вопреки Правилам тяговых расчетов для поездной работы) представлен при 2/3, а не 1/3 запаса топлива и/или песка, что требует корректировки тяговой характеристики (ограничения по сцеплению), а также изменения длительных или расчетных силы тяги и скорости. Это же относится и к случаям изменения сцепного веса за счет специальных плит или груза.

15.5 Зависимости силы тяги от скорости и другие данные (справочно) приведены в таблице 15.1.

Таблица 15.1

Тепловозы							
ТГК2 (поездной режим)							
V, км/ч	0	0,5	15	30	40	50	60
F, Н	82400	58860	26500	12750	9300	6800	4900
$g_т = 40$ кг/ч				$g_{сн} = 5{,}5$ кг/ч			
ТГМ1 (поездной режим)							
V, км/ч	0	0,5	10	23	36	37	50
F, Н	135400	78500	55000	23500	22500	16700	15700

Продолжение таблицы 15.1

$g_m = 71$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = 7$ кг/ч			
ТГМ23 (поездной режим)							
V, км/ч	0	0,5	10	25	36	37	60
F, Н	1270 400	818 154	649 400	367 900	31 400	20 600	18 600
$g_m = 89$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = 7$ кг/ч			
ТГМ3А (поездной режим)							
V, км/ч	0	8,5	15	25	49,5	67,3	70
F, Н	117 700	117 700	85 500	51 000	27 000	22 400	8 730
$g_m = 135$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = 10$ кг/ч			
ТГМ4 (поездной режим)							
V, км/ч	0	14	20	27	40	50	60
F, Н	235 400	181 500	133 400	90 200	65 700	51 000	37 300
$g_m = 126$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = 10$ кг/ч			
ТГМ6 (поездной режим)							
V, км/ч	0	1	10	20	30	60	65
F, Н	260 000	2309 200	147 100	107 900	58 800	34 300	33 800
$g_m = 192$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = 11{,}5$ кг/ч			
ТЭМ1							
V, км/ч	0	5	11	22	40	60	90
F, Н	347 300	314 900	140 300	83 400	48 200	25 900	10 300
$g_m = 180$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = 11{,}5$ кг/ч			
ТЭМ2							
V, км/ч	0	7,1	15	25	40	60	100
F, Н	347 300	304 100	142 700	89 300	57 900	38 300	16 300
$g_m = 203$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = 11{,}5$ кг/ч			
ТЭ3 – 1 секция							
V, км/ч	0	13	20	30	50	70	100
F, Н	285 500	285 500	202 600	133 400	81 400	55 900	29 400
$g_m = 356$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = 27$ кг/ч			
ТЭМ7							
V, км/ч	0	7	15	25	35	60	100
F, Н	529 700	475 700	255 000	166 700	117 700	58 800	19 600
$g_m = 306$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = -$ кг/ч			

Продолжение таблицы 15.1

ТЭ10Л – 1 секция							
V, км/ч	0	10	27,5	38	50	62,5	100
F, Н	374 700	304 100	215 800	162 800	123 100	98 100	59 800
$g_m = 501$ кг/ч				$g_{\text{сн}} = 23$ кг/ч			
Тепловозы колеи 750 мм							
ТУ2							
V, км/ч	0	5	10	15	25	35	50
F, Н	85 300	71 200	54 000	40 200	23 800	16 900	10 300
$F_{kp} = 4650$ кгс $V_p = 13$ км/ч							
ТУ3							
V, км/ч	0	5	12,5	15	25	35	50
F, Н	83 400	66 200	43 300	37 700	23 800	17 600	12 000
$F_{kp} = 4420$ кгс $V_p = 12{,}5$ км/ч							
ТУ4							
V, км/ч	0	0,5	10	15	25	35	50
F, Н	59 800	54 440	40 700	29 400	12 900	9 800	3 900
$F_{kp} = 4500$ кгс $V_p = 8$ км/ч							
ТУ5							
V, км/ч	0	5	10	15	25	35	50
F, Н	70 600	62 000	48 400	35 700	30 400	20 100	14 900
$F_{kp} = 5750$ кгс $V_p = 8$ км/ч							
Электровозы постоянного тока							
IV КП							
V, км/ч	20	22	26	30	34	38	42
F, Н	176 600	117 700	64 700	35 300	21 500	14 700	10 800
$I = 0{,}0389 \cdot F_k + 78$				$a_{\text{сн}} = 25$ кВт·ч/ч			
ЕЛ2							
V, км/ч	28	30	34	38	42	46	50
F, Н	225 600	174 600	107 900	68 700	49 000	39 200	31 400
$I = 0{,}0471 \cdot F_k + 212$				$a_{\text{сн}} = 33$ кВт·ч/ч			
ЕЛ1							
V, км/ч	28	30	32	36	40	45	50
F, Н	333 500	255 000	202 000	131 400	87 300	56 900	45 100
$I = 0{,}0471 \cdot F_k + 308$				$a_{\text{сн}} = 60$ кВт·ч/ч			
13Е и 21Е							

Продолжение таблицы 15.1

V, км/ч	26	28	32	34	38	42	50
F, Н	278 600	202 000	129 500	107 900	74 600	58 900	41 200
$I = 0{,}0481 \cdot F_k + 217$				$a_{\text{сн}} =$ кВт·ч/ч			
26Е2М							
V, км/ч	28	30	32	36	40	44	50
F, Н	372 800	292 300	219 700	155 000	110 850	88 300	65 700
$I = 0{,}062 \cdot F_k + 134$				$a_{\text{сн}} = 60$ кВт·ч/ч			
ПЭ2М (3000 В)							
V, км/ч	28	30	32	35	40	44	50
F, Н	245 300	196 200	157 000	102 000	76 500	58 900	39 200
$I = 0{,}0251 \cdot F_k + 97$				$a_{\text{сн}} =$ кВт·ч/ч			
ПЭ1 (1 секция)							
V, км/ч	28	30	32	35	40	44	50
F, Н	245 300	196 200	157 000	102 000	76 500	58 900	39 200
$I = 0{,}0251 \cdot F_k + 97$				$a_{\text{сн}} = 110$ кВт·ч/ч			
Электровозы переменного тока							
Д94							
V, км/ч	30	35	40	45	50	60	70
F, Н	240 300	171 700	127 500	98 100	78 500	49 000	24 500
$I = 0{,}015 \cdot F_k + 80$			$U_d = 1{,}39 - 0{,}0005 \cdot I_d$			$a_{\text{сн}} = 72$ кВт·ч/ч	
ЕЛ10 (3 секции)							
V, км/ч	23	25	27	30	35	40	55
F, Н	941 800	735 800	588 600	441 500	319 800	240 300	132 400
$I = 0{,}0667 \cdot F_k + 1600$			$U_d = 1{,}004 - 0{,}0003 \cdot I_d$			$a_{\text{сн}} = 206$ кВт·ч/ч	
ОПЭ1 (3 секции)							
V, км/ч	26	30	35	40	45	50	60
F, Н	102 000	716 100	461 000	313 900	206 000	147 200	78 500
$I = 0{,}0632 \cdot F_k + 1560$			$U_d = 1{,}216 - 0{,}0002 \cdot I_d$			$a_{\text{сн}} = 206$ кВт·ч/ч	
ОПЭ2 (3 секции)							
V, км/ч	25,5	27	30	35	40	50	70
F, Н	971 200	824 000	618 000	371 800	273 700	156 000	76 500
$I = 0{,}0457 \cdot F_k + 820$			$U_d = 1{,}688 - 0{,}00068 \cdot I_d$			$a_{\text{сн}} = 206$ кВт·ч/ч	
ОПЭ1А (3 секции)							

Окончание таблицы 15.1

V, км/ч	25,5	27	30	35	40	50	70
F, Н	971 200	824 000	618 000	397 300	273 700	156 000	76 500
$I = 0{,}0457 \cdot F_k + 820$			$U_d = 1{,}216 - 0{,}0002 \cdot I_d$			$a_{\text{сн}} = 206$ кВт·ч/ч	

Приложение А

(справочное)

Условные обозначения, единицы измерения величин и их точность

Таблица А.1

Условное обозначение	Единица измерения	Точность	Наименование величины
V	км/ч	0,1	Скорость движения
V_a	км/ч	0,1	Скорость выхода на автоматическую характеристику
V_p	км/ч	0,1	Расчетно-минимальная скорость движения локомотива
V_{max}	км/ч	0,1	Максимальная (конструкционная) скорость движения локомотива
V_n	км/ч	0,1	Начальная скорость движения
V_k	км/ч	0,1	Конечная скорость движения
ΔV	км/ч	0,1	Изменение скорости движения
P	т	1	Расчетная масса локомотива, тягового агрегата, моторных вагонов
$P_{сц}$	кН	1	Сцепной вес локомотива, тягового агрегата, моторных вагонов
Q	т	10	Масса состава (вагонов)
q_o	т	0,1	Масса вагона брутто, приходящаяся на одну ось
i	‰	0,1	Уклон элемента продольного профиля (подъем со знаком «+», спуск со знаком «–»)
i_p	‰	0,1	Расчетный (руководящий) уклон на подъеме, по которому определяется масса состава поезда
i_c	‰	0,1	Спрямленный уклон в продольном профиле
Δi_c	‰	0,1	Дополнительный уклон, учитывающий сопротивление от кривых при спрямлении профиля
L_n	м	1	Длина поезда
l	м	1	Длина элемента продольного профиля
l_c	м	1	Длина спрямленного участка продольного профиля
R	м	1	Радиус круговой кривой в плане
S	м	1	Путь, пройденный поездом
ΔS	м	1	Интервал пройденного поездом пути или шаг интеграции
S_{kp}	м	1	Длина круговой кривой в плане
t	мин	0,1	Время движения поезда

Продолжение таблицы А.1

Δt	мин	0,1	Интервал времени движения поезда
t_n	с	0,1	Время подготовки тормозов к действию
t_m	с	0,1	Время, прошедшее от начала включения торможения
t_{m1}	с	0,1	Время, прошедшее от начала включения торможения, при котором тормозные цилиндры наполняются полностью
$t_{нв}$	°С	1	Температура наружного воздуха
ρ	кг/м^3	0,1	Плотность воздуха
$H_{бар}$	гПа	1	Атмосферное давление
w_o'	Н/т	0,01	Удельное основное сопротивление движению локомотива в тяговом режиме
w_x'	Н/т	0,01	Удельное основное сопротивление движению локомотива в холостом режиме
w_o'	Н/т	0,01	Удельное основное сопротивление движению состава (вагонов) поезда
w_o	Н/т	0,01	Удельное основное сопротивление движению поезда в тяговом режиме
w_{ox}	Н/т	0,01	Удельное основное сопротивление движению поезда в холостом режиме
$w_{отр}$	Н/т	0,01	Удельное основное сопротивление движению состава поезда при трогании с места
w_i	Н/т	0,01	Удельное сопротивление движению поезда от уклона продольного профиля. Численно равняется уклону
w_{ro}	Н/т	0,01	Удельное сопротивление движению поезда при прохождении кривых участков пути
$w_{нт}$	Н/т	0,01	Удельное сопротивление движению поезда при низкой температуре наружного воздуха
$w_в$	Н/т	0,01	Удельное сопротивление движению поезда от встречного и бокового ветра
$w_{вв}$	Н/т	0,01	Удельное сопротивление движению поезда при движении вагонами вперед
$w_{сп}$	Н/т	0,01	Удельное сопротивление движению поезда в зависимости от состояния пути
W	Н	50	Полное сопротивление движению поезда
w	Н/т	0,01	Удельное сопротивление движению поезда
$W_{тр}$	Н	50	Полное сопротивление движению поезда при проверке массы состава по троганию с места
$w_{тр}$	Н/т	0,01	Удельное сопротивление движению поезда при проверке массы состава по троганию с места

Продолжение таблицы А.1

a	м/с^2	0,01	Ускорение поезда при трогании с места
Ψ	–	0,001	Расчетный коэффициент сцепления колес локомотива с рельсами
Ψ_R	–	0,001	Коэффициент сцепления колес локомотива с рельсами в кривых участках пути
Ψ_T	–	0,001	Коэффициент тяги для тепловозов
K	Н	50	Действительная сила нажатия тормозной колодки
K_t	Н	50	Расчетная сила нажатия тормозной колодки
k_t	–	0,01	Коэффициент, учитывающий постепенность наполнения тормозных цилиндров
k_{cm}	–	0,01	Коэффициент использования тормозной силы во время служебного торможения
k_a	–	0,01	Коэффициент, учитывающий снижение силы тяги локомотивов при атмосферных условиях, отличающихся от стандартных
k_m	–	0,01	Коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля локомотива при температуре наружного воздуха 20 °С и выше
k_p	–	0,01	Коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля локомотива при атмосферном давлении ниже 1013 гПа (760 мм рт. ст.)
k_s	–	0,01	Коэффициент, учитывающий сопротивление от поворота тележек экипажей на обратных кривых
φ	–	0,001	Действительный коэффициент трения тормозной колодки о колесо
B_m	Н	50	Полная тормозная сила поезда
b_m	Н/т	0,1	Удельная тормозная сила поезда
B_M	Н	50	Тормозная сила, которая реализуется магниторельсовыми тормозами
b_M	Н/т	0,1	Удельная тормозная сила, которая реализуется магниторельсовыми тормозами
r	Н/т	0,1	Общая удельная тормозная сила поезда
N	кВт	1	Мощность локомотива
η	–	0,001	Коэффициент приближения реальной тяговой характеристики тепловоза к идеальной
F_k	Н	50	Касательная сила тяги локомотива
F_{kp}	Н	50	Расчетное значение касательной силы тяги локомотива при расчетно-минимальной скорости
F_{mp}	Н	50	Расчетное значение касательной силы тяги локомотива при трогании поезда с места

Окончание таблицы А.1

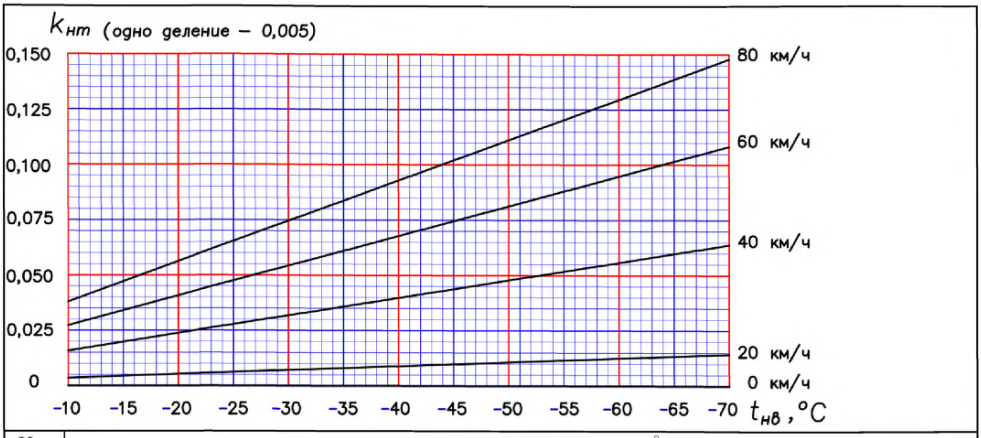
$F_{сц}$	Н	50	Касательная сила тяги локомотива по сцеплению рельса и колеса
f_k	Н/т	0,01	Удельная касательная сила тяги локомотива (на 1 т массы поезда)
R_M	МДж	1	Механическая работа локомотива
A	кВт·ч	10	Расход электроэнергии
$a_{сн}$	кВт·ч/ч	1	Расход электроэнергии на собственные нужды за час работы
I	А	1	Ток, потребляемый локомотивом (сила тока)
I_d	А	1	Ток, потребляемый электродвигателем
I_k	А	1	Ток, потребляемый электродвигателями на шаге интегрирования
$I_э$	А	1	Эффективный ток электродвигателя
I_t	А	1	Максимальный ток электродвигателя за определенное время
U	тыс. В	0,01	Напряжение в контактной сети
U_d	тыс. В	0,01	Напряжение электродвигателя
$g_{сн}$	кг/ч	0,5	Расход топлива на собственные нужды за час работы
n_d	–	–	Количество электродвигателей
g_m	кг/ч	0,5	Расход топлива в тяговом режиме за час работы
G	кг	1	Расход топлива

Приложение Б

(справочное)

Коэффициенты, учитывающие дополнительное удельное сопротивление движению поезда от низкой температуры наружного воздуха

Таблица Б.1



V, км/ч	Коэффициенты $k_{нт}$ при температуре наружного воздуха $t_{нв}$, °С														
	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25
20	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006
40	0,017	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,025	0,026	0,027	0,028
60	0,029	0,030	0,031	0,033	0,034	0,035	0,037	0,038	0,039	0,041	0,042	0,044	0,045	0,046	0,048
80	0,040	0,042	0,043	0,045	0,047	0,049	0,051	0,053	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,065

V, км/ч	Коэффициенты $k_{нт}$ при температуре наружного воздуха $t_{нв}$, °С														
	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40
20	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009
40	0,029	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,037	0,038	0,039	0,040
60	0,049	0,050	0,052	0,053	0,054	0,056	0,057	0,058	0,060	0,061	0,062	0,064	0,065	0,066	0,068
80	0,067	0,069	0,071	0,073	0,075	0,076	0,078	0,080	0,082	0,084	0,086	0,087	0,089	0,091	0,093

V, км/ч	Коэффициенты $k_{нт}$ при температуре наружного воздуха $t_{нв}$, °С														
	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-55
20	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,012
40	0,041	0,041	0,042	0,043	0,044	0,045	0,045	0,046	0,047	0,048	0,049	0,049	0,050	0,051	0,052
60	0,069	0,071	0,072	0,073	0,075	0,076	0,077	0,079	0,080	0,081	0,083	0,084	0,085	0,087	0,088
80	0,095	0,097	0,098	0,100	0,102	0,104	0,106	0,108	0,109	0,111	0,113	0,115	0,117	0,119	0,120

V, км/ч	Коэффициенты $k_{нт}$ при температуре наружного воздуха $t_{нв}$, °С														
	-56	-57	-58	-59	-60	-61	-62	-63	-64	-65	-66	-67	-68	-69	-70
20	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
40	0,053	0,053	0,054	0,055	0,056	0,057	0,057	0,058	0,059	0,060	0,061	0,061	0,062	0,063	0,064

60	0,089	0,091	0,092	0,093	0,095	0,096	0,098	0,099	0,100	0,102	0,103	0,104	0,106	0,107	0,108
80	0,122	0,124	0,126	0,128	0,130	0,131	0,133	0,135	0,137	0,139	0,140	0,142	0,144	0,146	0,148

Примечания.

1 Коэффициенты приняты по аппроксимации экспериментальных данных в Правилах тяговых расчетов для поездной работы, уменьшенных на единицу с учетом метода расчетов в данном пособии.

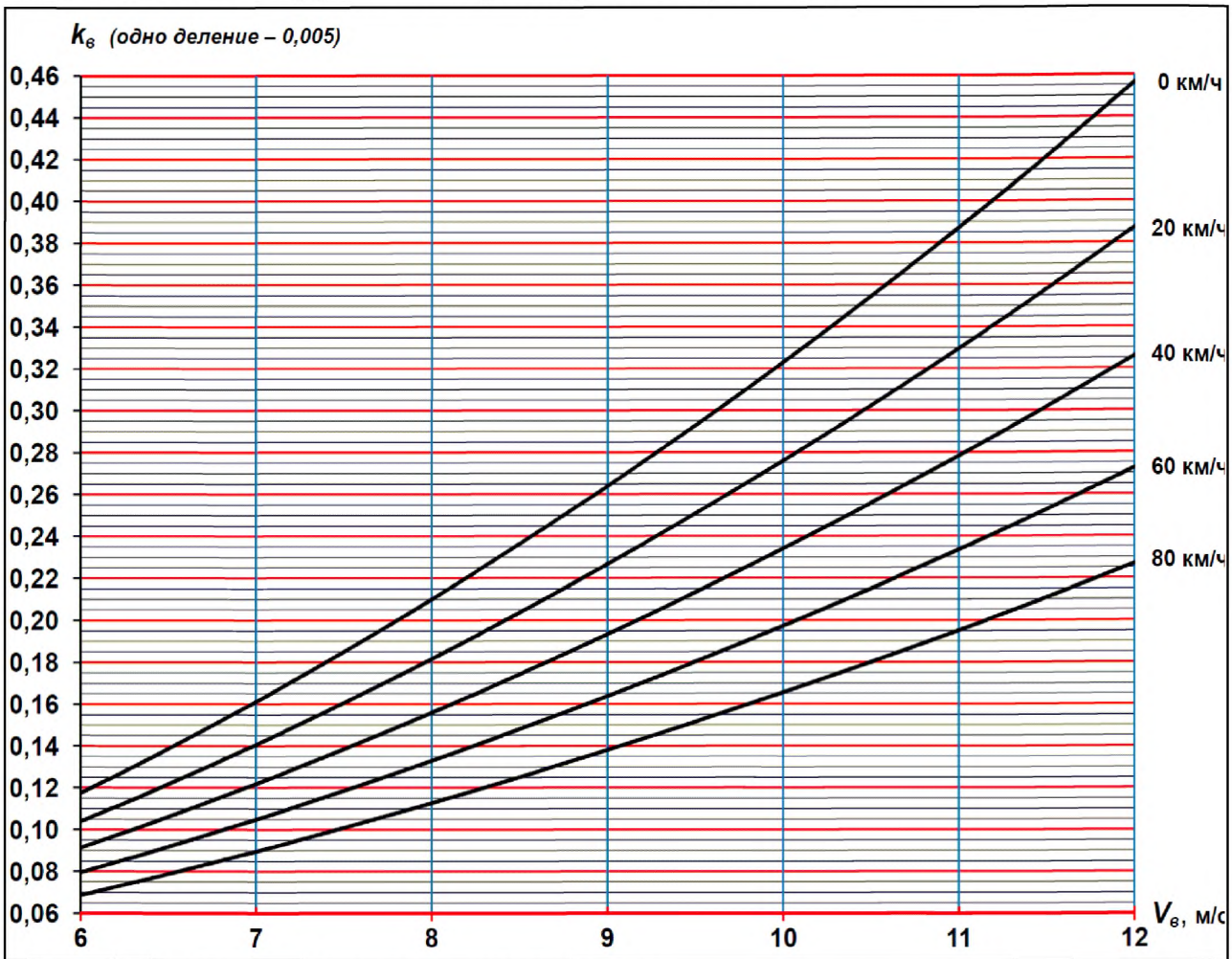
2 Для промежуточных значений скорости движения поезда коэффициенты $k_{нт}$ определяются интерполяцией (в программе выполняется автоматически). При скорости движения 0 км/ч $k_{нт} = 0$).

Приложение В

(справочное)

Коэффициенты, учитывающие дополнительное удельное сопротивление движению поезда от встречного и бокового ветра

Таблица В.1 – Коэффициенты при скорости ветра от 6 до 12 м/с



V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с						
	6	7	8	9	10	11	12
0	0,117	0,161	0,210	0,264	0,323	0,387	0,456
20	0,104	0,141	0,182	0,227	0,276	0,330	0,387
40	0,091	0,122	0,156	0,193	0,234	0,278	0,326
60	0,079	0,105	0,133	0,164	0,197	0,234	0,273
80	0,069	0,090	0,113	0,138	0,165	0,195	0,227

Примечания.

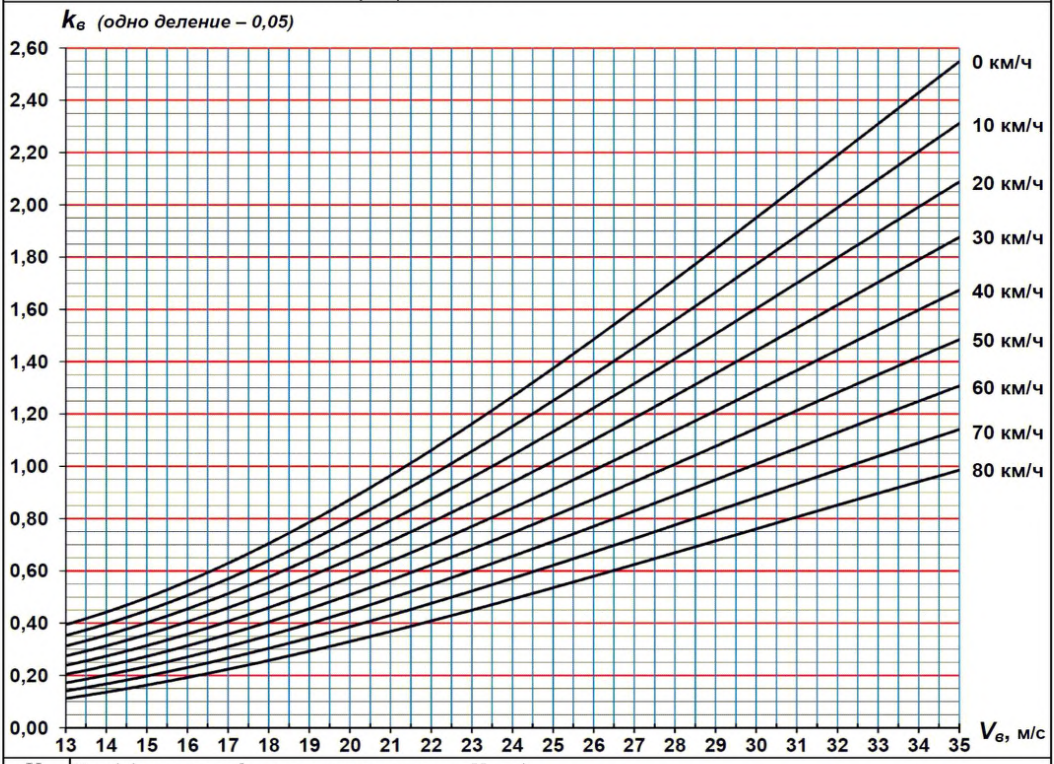
1 Коэффициенты приняты по аппроксимации экспериментальных данных в Правилах тяговых расчетов для поездной работы, уменьшенных на единицу с учетом метода расчетов в данном пособии.

2 Для промежуточных значений скорости движения поезда коэффициенты $k_в$ определяются интерполяцией (в программе выполняется автоматически).

3 Скорость ветра $V_в$ при ее дробном значении принимается с округлением в большую сторону до целого числа.

Таблица В.2 – Коэффициенты при скорости ветра от 13 до 35 м/с

Плотность воздуха $\rho = 1{,}0$ кг/м^3

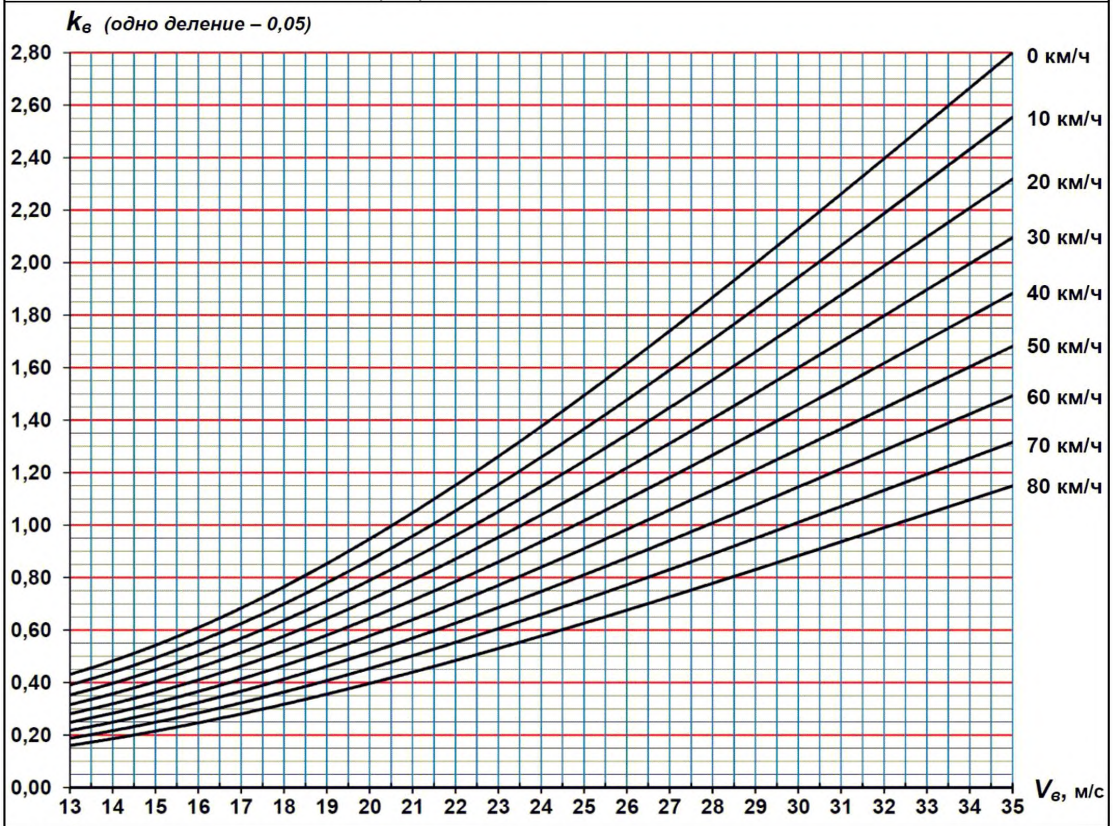


V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,394	0,442	0,497	0,560	0,629	0,705	0,786	0,873	0,965	1,061	1,162	1,267
10	0,353	0,397	0,448	0,506	0,570	0,639	0,714	0,793	0,877	0,965	1,057	1,152
20	0,313	0,354	0,402	0,455	0,513	0,577	0,645	0,717	0,794	0,874	0,957	1,043
30	0,275	0,313	0,357	0,405	0,459	0,517	0,579	0,644	0,713	0,786	0,861	0,939
40	0,239	0,274	0,314	0,358	0,407	0,459	0,515	0,575	0,637	0,702	0,770	0,840
50	0,204	0,237	0,273	0,313	0,357	0,405	0,455	0,508	0,564	0,623	0,683	0,745
60	0,171	0,201	0,234	0,271	0,310	0,353	0,398	0,446	0,495	0,547	0,601	0,656
70	0,141	0,168	0,198	0,230	0,266	0,304	0,344	0,386	0,430	0,476	0,523	0,572
80	0,112	0,136	0,163	0,192	0,224	0,257	0,293	0,330	0,368	0,408	0,450	0,492

V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,375	1,486	1,599	1,714	1,832	1,950	2,070	2,190	2,310	2,429	2,548	
10	1,251	1,351	1,454	1,559	1,665	1,773	1,881	1,989	2,097	2,205	2,312	
20	1,132	1,223	1,316	1,411	1,507	1,603	1,701	1,798	1,895	1,992	2,088	
30	1,019	1,101	1,185	1,270	1,356	1,442	1,530	1,617	1,704	1,790	1,876	
40	0,911	0,985	1,060	1,135	1,212	1,289	1,367	1,444	1,521	1,598	1,674	
50	0,809	0,875	0,941	1,008	1,076	1,145	1,213	1,282	1,350	1,418	1,485	
60	0,713	0,770	0,829	0,888	0,948	1,009	1,069	1,129	1,189	1,249	1,307	
70	0,621	0,672	0,723	0,775	0,828	0,880	0,933	0,986	1,038	1,090	1,141	

80	0,535	0,580	0,624	0,669	0,715	0,760	0,806	0,851	0,897	0,941	0,985	

Плотность воздуха $\rho = 1{,}1$ кг/м^3

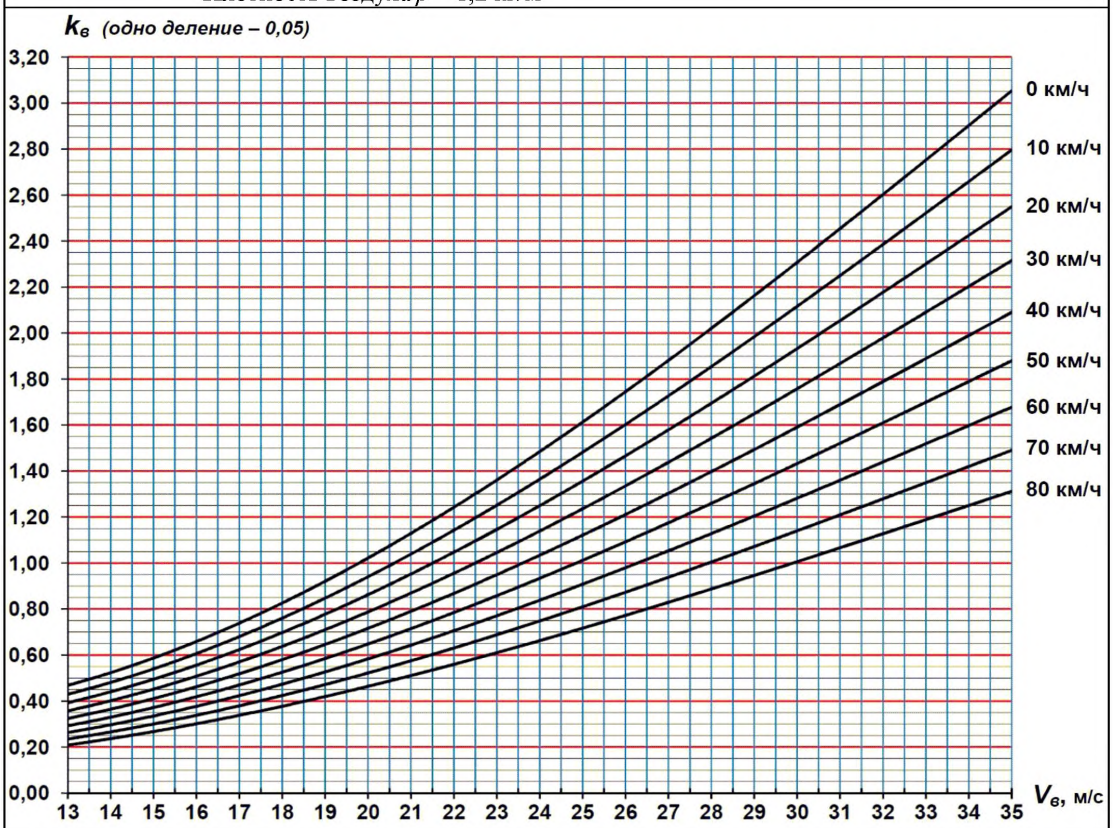


V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,431	0,483	0,542	0,609	0,684	0,765	0,853	0,947	1,047	1,152	1,262	1,376
10	0,391	0,439	0,494	0,556	0,625	0,700	0,781	0,867	0,958	1,054	1,154	1,258
20	0,353	0,397	0,448	0,505	0,568	0,637	0,711	0,790	0,873	0,960	1,052	1,146
30	0,316	0,357	0,404	0,457	0,514	0,577	0,644	0,716	0,791	0,871	0,953	1,039
40	0,281	0,319	0,362	0,410	0,463	0,520	0,581	0,645	0,714	0,785	0,860	0,937
50	0,248	0,283	0,322	0,366	0,414	0,465	0,520	0,578	0,640	0,704	0,770	0,839
60	0,217	0,249	0,285	0,324	0,367	0,413	0,462	0,514	0,569	0,626	0,686	0,747
70	0,188	0,217	0,249	0,284	0,323	0,364	0,408	0,454	0,503	0,553	0,606	0,660
80	0,160	0,186	0,215	0,247	0,281	0,317	0,356	0,397	0,440	0,484	0,530	0,577

V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,494	1,615	1,740	1,867	1,997	2,129	2,262	2,396	2,530	2,665	2,800	
10	1,366	1,477	1,591	1,707	1,825	1,944	2,065	2,187	2,309	2,432	2,554	
20	1,244	1,345	1,448	1,553	1,660	1,768	1,877	1,987	2,098	2,208	2,318	
30	1,127	1,218	1,311	1,406	1,502	1,600	1,698	1,797	1,897	1,996	2,095	
40	1,016	1,098	1,181	1,266	1,353	1,440	1,528	1,617	1,706	1,794	1,882	
50	0,910	0,983	1,058	1,134	1,211	1,289	1,367	1,445	1,524	1,603	1,681	
60	0,810	0,875	0,941	1,008	1,076	1,145	1,215	1,284	1,354	1,423	1,492	

70	0,716	0,772	0,831	0,890	0,950	1,010	1,071	1,133	1,194	1,255	1,316	
80	0,626	0,676	0,727	0,778	0,831	0,883	0,937	0,990	1,043	1,096	1,149	

Плотность воздуха $\rho = 1{,}2$ кг/м^3

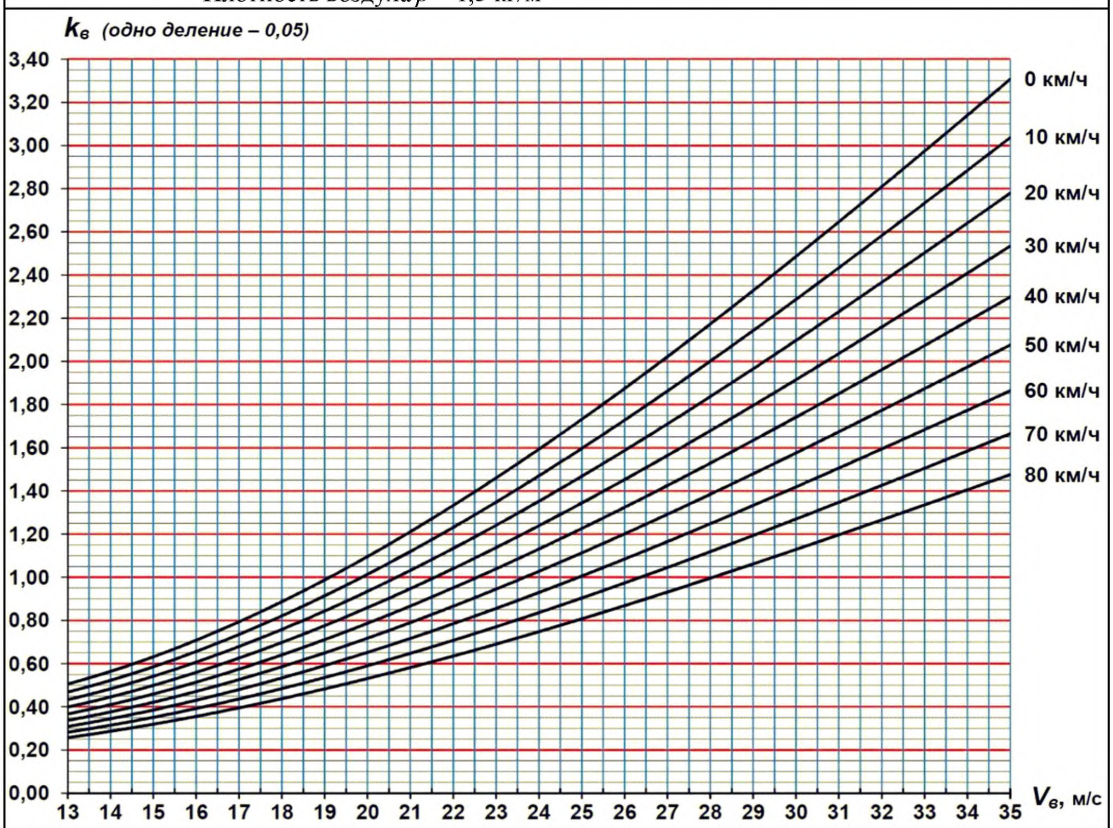


V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,468	0,523	0,587	0,659	0,739	0,826	0,921	1,022	1,129	1,242	1,361	1,484
10	0,430	0,481	0,540	0,606	0,680	0,760	0,847	0,940	1,039	1,143	1,251	1,364
20	0,393	0,440	0,495	0,556	0,624	0,698	0,777	0,862	0,952	1,047	1,146	1,249
30	0,357	0,401	0,452	0,508	0,570	0,638	0,710	0,788	0,869	0,955	1,045	1,139
40	0,324	0,365	0,411	0,462	0,519	0,580	0,646	0,716	0,790	0,868	0,949	1,034
50	0,293	0,330	0,372	0,419	0,470	0,525	0,585	0,648	0,715	0,785	0,858	0,933
60	0,263	0,297	0,335	0,377	0,423	0,473	0,527	0,583	0,643	0,706	0,771	0,838
70	0,235	0,266	0,300	0,338	0,380	0,424	0,472	0,522	0,575	0,631	0,688	0,748
80	0,209	0,236	0,267	0,301	0,338	0,378	0,420	0,464	0,511	0,559	0,610	0,663

V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,613	1,745	1,881	2,020	2,162	2,307	2,454	2,602	2,752	2,902	3,053	
10	1,482	1,602	1,727	1,854	1,984	2,116	2,250	2,385	2,522	2,659	2,796	
20	1,356	1,466	1,579	1,695	1,813	1,933	2,054	2,177	2,300	2,425	2,549	
30	1,236	1,335	1,438	1,542	1,649	1,758	1,868	1,979	2,090	2,203	2,315	
40	1,121	1,211	1,303	1,397	1,493	1,591	1,689	1,789	1,889	1,989	2,090	
50	1,012	1,092	1,175	1,259	1,345	1,432	1,521	1,610	1,699	1,789	1,879	

60	0,908	0,980	1,053	1,128	1,204	1,282	1,360	1,439	1,518	1,598	1,678	
70	0,810	0,873	0,938	1,004	1,072	1,140	1,209	1,279	1,349	1,420	1,490	
80	0,717	0,772	0,829	0,887	0,946	1,006	1,066	1,127	1,189	1,250	1,312	

Плотность воздуха ρ = 1,3 кг/м^3

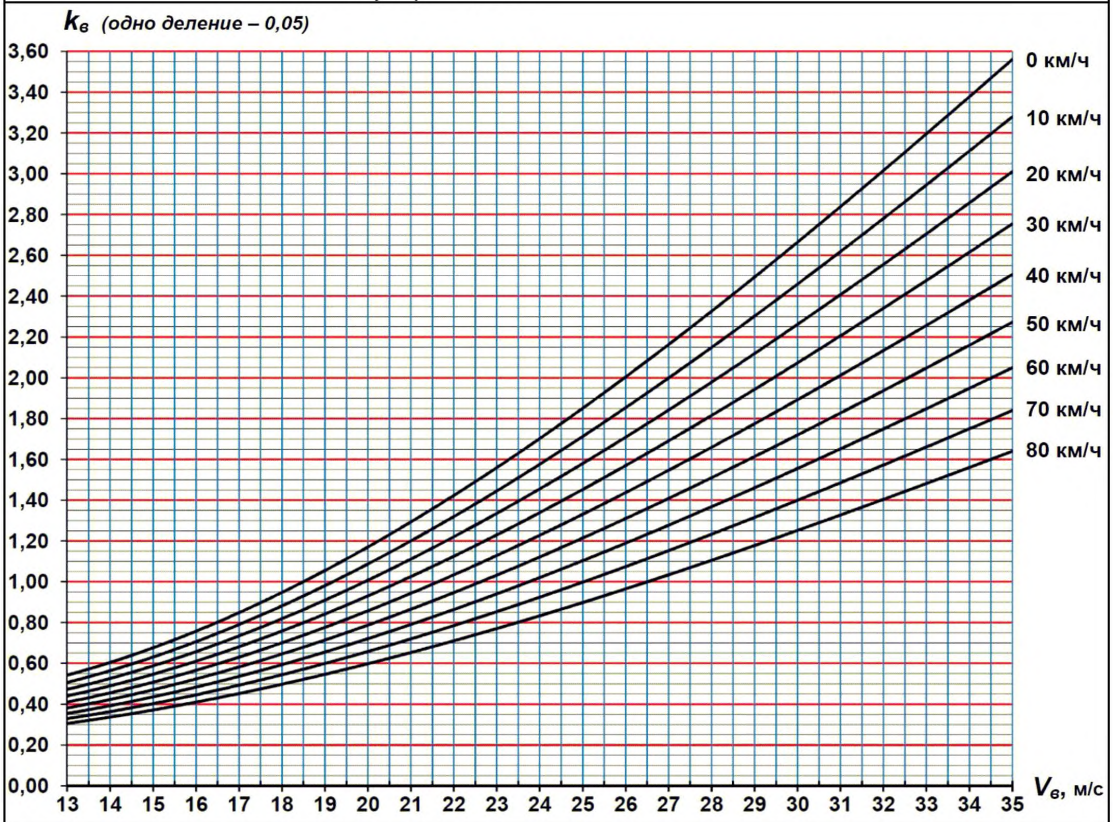


V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,505	0,564	0,632	0,708	0,794	0,887	0,988	1,096	1,211	1,333	1,460	1,593
10	0,468	0,523	0,585	0,656	0,735	0,821	0,914	1,014	1,120	1,231	1,348	1,470
20	0,433	0,483	0,541	0,607	0,679	0,758	0,844	0,935	1,032	1,134	1,241	1,352
30	0,399	0,446	0,499	0,559	0,626	0,698	0,776	0,859	0,947	1,040	1,138	1,239
40	0,367	0,410	0,459	0,514	0,575	0,640	0,711	0,787	0,867	0,951	1,039	1,131
50	0,337	0,376	0,421	0,471	0,526	0,586	0,650	0,718	0,790	0,866	0,945	1,028
60	0,309	0,345	0,385	0,430	0,480	0,533	0,591	0,652	0,717	0,785	0,856	0,930
70	0,282	0,315	0,351	0,392	0,436	0,484	0,536	0,590	0,648	0,708	0,771	0,836
80	0,257	0,286	0,319	0,356	0,395	0,438	0,483	0,531	0,582	0,635	0,690	0,748

V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,732	1,875	2,022	2,173	2,328	2,486	2,647	2,809	2,974	3,140	3,307	
10	1,597	1,728	1,863	2,001	2,143	2,287	2,434	2,583	2,733	2,885	3,037	
20	1,468	1,587	1,710	1,837	1,966	2,097	2,231	2,366	2,503	2,641	2,780	
30	1,344	1,453	1,564	1,679	1,796	1,915	2,036	2,159	2,283	2,409	2,534	
40	1,226	1,324	1,425	1,528	1,634	1,742	1,851	1,962	2,073	2,186	2,299	

50	1,113	1,201	1,292	1,385	1,479	1,576	1,674	1,773	1,874	1,975	2,076	
60	1,006	1,084	1,165	1,248	1,333	1,419	1,506	1,594	1,684	1,774	1,864	
70	0,904	0,974	1,045	1,119	1,194	1,270	1,347	1,426	1,505	1,585	1,665	
80	0,807	0,869	0,932	0,996	1,062	1,129	1,197	1,266	1,335	1,405	1,476	

Плотность воздуха $\rho = 1{,}4$ кг/м^3

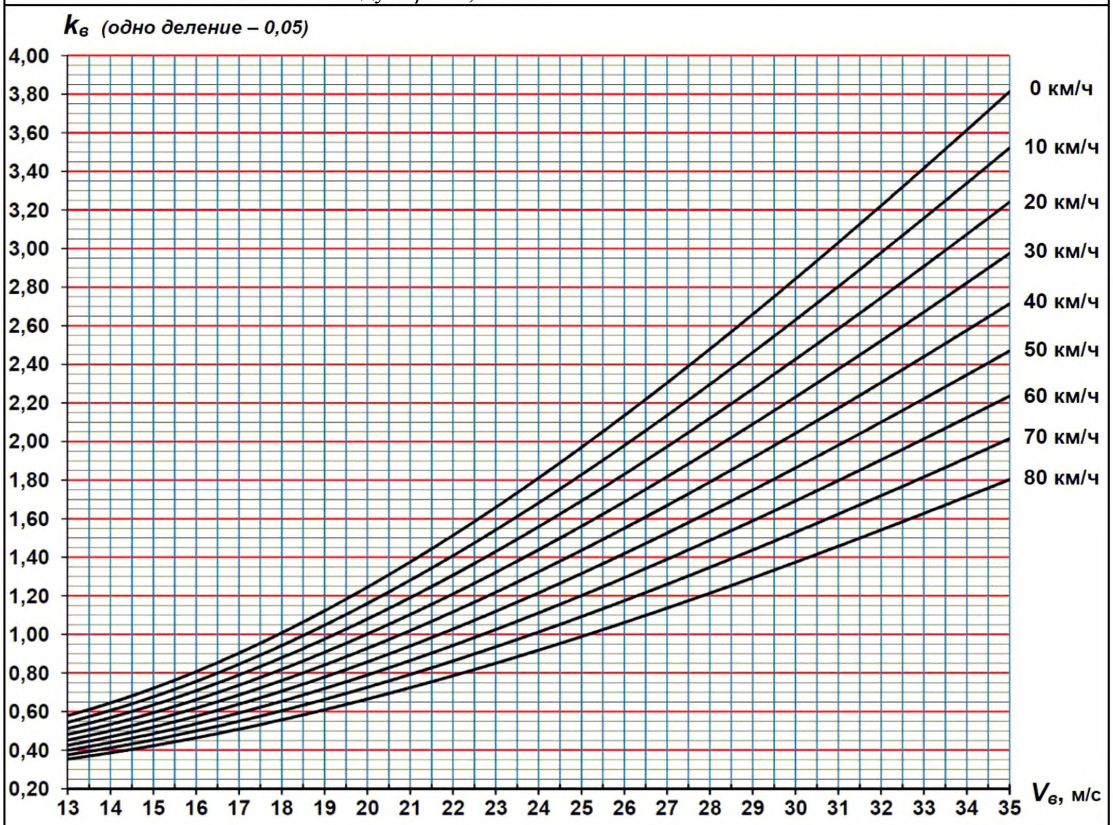


V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,542	0,605	0,676	0,758	0,848	0,948	1,055	1,171	1,293	1,423	1,560	1,702
10	0,507	0,564	0,631	0,707	0,790	0,882	0,981	1,087	1,200	1,320	1,445	1,576
20	0,472	0,526	0,588	0,657	0,735	0,819	0,910	1,008	1,111	1,220	1,335	1,455
30	0,440	0,490	0,547	0,611	0,681	0,759	0,842	0,931	1,025	1,125	1,230	1,339
40	0,410	0,455	0,508	0,566	0,630	0,701	0,777	0,857	0,943	1,034	1,129	1,228
50	0,381	0,423	0,471	0,524	0,582	0,646	0,715	0,788	0,865	0,947	1,032	1,122
60	0,354	0,392	0,435	0,484	0,536	0,594	0,655	0,721	0,791	0,864	0,941	1,021
70	0,329	0,364	0,403	0,446	0,493	0,545	0,599	0,658	0,720	0,785	0,853	0,924
80	0,306	0,337	0,371	0,410	0,452	0,498	0,546	0,598	0,653	0,710	0,771	0,833

V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,851	2,004	2,163	2,326	2,494	2,665	2,839	3,016	3,196	3,377	3,561	
10	1,712	1,853	1,999	2,149	2,302	2,459	2,619	2,781	2,945	3,112	3,279	
20	1,580	1,709	1,842	1,978	2,119	2,262	2,408	2,556	2,706	2,857	3,010	
30	1,452	1,570	1,691	1,815	1,943	2,073	2,206	2,341	2,477	2,615	2,755	

40	1,331	1,437	1,547	1,659	1,775	1,892	2,012	2,134	2,257	2,381	2,506	
50	1,214	1,310	1,409	1,510	1,614	1,720	1,827	1,937	2,048	2,160	2,273	
60	1,103	1,189	1,277	1,368	1,461	1,555	1,651	1,749	1,848	1,948	2,049	
70	0,998	1,074	1,153	1,233	1,316	1,400	1,485	1,572	1,661	1,750	1,840	
80	0,898	0,965	1,034	1,105	1,178	1,252	1,327	1,404	1,482	1,560	1,640	

Плотность воздуха ρ = 1,5 кг/м^3

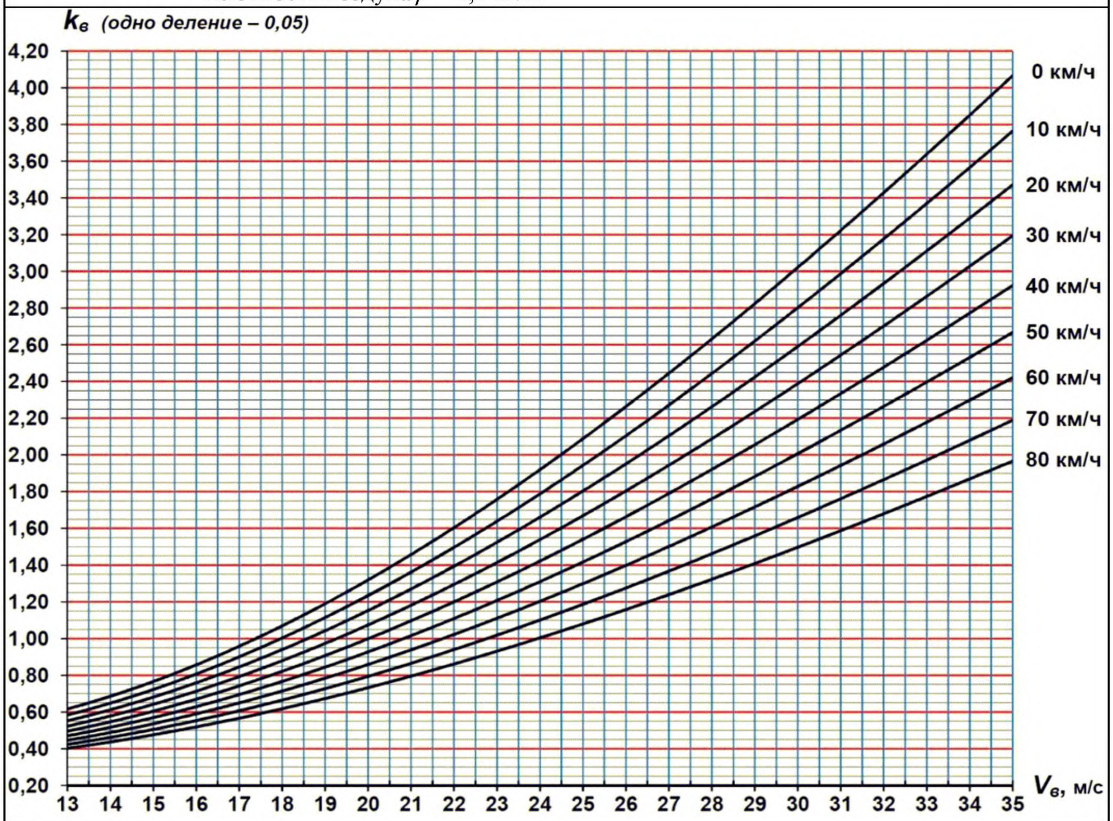


V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,580	0,645	0,721	0,807	0,903	1,008	1,122	1,245	1,375	1,514	1,659	1,811
10	0,545	0,606	0,677	0,757	0,845	0,942	1,048	1,161	1,281	1,408	1,542	1,682
20	0,512	0,569	0,634	0,708	0,790	0,880	0,976	1,080	1,191	1,307	1,430	1,558
30	0,481	0,534	0,594	0,662	0,737	0,819	0,908	1,003	1,103	1,210	1,322	1,439
40	0,453	0,501	0,556	0,618	0,686	0,761	0,842	0,928	1,020	1,117	1,219	1,325
50	0,426	0,470	0,520	0,576	0,639	0,706	0,779	0,857	0,940	1,028	1,120	1,216
60	0,400	0,440	0,486	0,537	0,593	0,654	0,720	0,790	0,865	0,943	1,026	1,112
70	0,376	0,413	0,454	0,499	0,550	0,605	0,663	0,726	0,793	0,863	0,936	1,013
80	0,354	0,387	0,424	0,464	0,509	0,558	0,610	0,665	0,724	0,786	0,851	0,919

V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	1,970	2,134	2,304	2,479	2,659	2,843	3,031	3,222	3,417	3,614	3,813	
10	1,828	1,979	2,135	2,296	2,461	2,631	2,803	2,979	3,158	3,339	3,522	
20	1,692	1,830	1,973	2,120	2,272	2,426	2,584	2,745	2,908	3,074	3,241	

30	1,561	1,687	1,818	1,952	2,090	2,231	2,375	2,522	2,671	2,822	2,975	
40	1,436	1,550	1,668	1,790	1,915	2,043	2,173	2,305	2,440	2,576	2,714	
50	1,316	1,419	1,526	1,635	1,748	1,863	1,981	2,100	2,222	2,345	2,469	
60	1,201	1,294	1,390	1,488	1,589	1,692	1,798	1,905	2,014	2,124	2,235	
70	1,092	1,175	1,260	1,347	1,438	1,529	1,623	1,719	1,816	1,915	2,015	
80	0,989	1,062	1,137	1,214	1,293	1,374	1,457	1,542	1,627	1,714	1,803	

Плотность воздуха $\rho = 1{,}6$ кг/м^3



V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	0,616	0,686	0,766	0,857	0,958	1,069	1,190	1,320	1,458	1,604	1,758	1,920
10	0,584	0,648	0,722	0,807	0,900	1,003	1,115	1,234	1,362	1,497	1,639	1,788
20	0,552	0,612	0,681	0,759	0,845	0,940	1,043	1,153	1,270	1,394	1,525	1,661
30	0,523	0,578	0,642	0,713	0,793	0,880	0,973	1,074	1,181	1,295	1,414	1,539
40	0,496	0,546	0,604	0,670	0,742	0,822	0,907	0,999	1,097	1,200	1,309	1,422
50	0,470	0,516	0,569	0,629	0,695	0,767	0,844	0,927	1,016	1,109	1,207	1,310
60	0,446	0,488	0,536	0,590	0,649	0,714	0,784	0,859	0,938	1,022	1,111	1,203
70	0,423	0,462	0,505	0,553	0,607	0,665	0,727	0,794	0,865	0,940	1,019	1,101
80	0,402	0,437	0,476	0,519	0,566	0,618	0,673	0,732	0,795	0,861	0,931	1,004

V, км/ч	Коэффициенты $k_в$ при скорости ветра $V_в$, м/с											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
0	2,088	2,264	2,445	2,632	2,824	3,022	3,223	3,429	3,638	3,851	4,066	
10	1,943	2,104	2,271	2,444	2,621	2,802	2,988	3,177	3,370	3,565	3,764	
20	1,804	1,952	2,105	2,262	2,425	2,591	2,761	2,934	3,111	3,290	3,471	

30	1,669	1,804	1,944	2,088	2,236	2,389	2,544	2,702	2,864	3,028	3,194	
40	1,541	1,663	1,790	1,921	2,056	2,194	2,334	2,478	2,624	2,773	2,923	
50	1,417	1,528	1,643	1,761	1,883	2,007	2,135	2,265	2,397	2,531	2,667	
60	1,299	1,398	1,502	1,608	1,717	1,829	1,943	2,059	2,178	2,299	2,421	
70	1,187	1,275	1,367	1,462	1,559	1,659	1,762	1,866	1,972	2,080	2,189	
80	1,079	1,158	1,239	1,323	1,409	1,497	1,588	1,680	1,774	1,870	1,967	

Примечания.

1 Коэффициенты приняты по аппроксимации экспериментальных данных в Правилах тяговых расчетов для поездной работы, уменьшенных на единицу с учетом метода расчетов в данном пособии.

2 Для промежуточных значений скорости движения поезда коэффициенты $k_в$ определяются интерполяцией (в программе выполняется автоматически). Плотность воздуха ρ принимается с округлением до одного знака после запятой, скорость ветра – в большую сторону до целого числа.

Приложение Г

(справочное)

Пример решения тормозной задачи – определения допустимых скоростей движения

i	Vн		arл	brл	crл	arв	brв	crв	Сумма Кл	P	Коэффициенты коэффициента трения колодок									Nкл
10	59,1		-0,0000191	-0,000343	0,06	-0,0000191	-0,000343	0,06	108000	177,2	0,6	0,016	100	0,08	100	1	100	5	100	8
ax'	bx'	cx'	ao''	bo''	co''	Учет МРТ	tr2л	tr2в	Сумма Кв	Q										Nкв
3,5	0,01	0,0002	3	0,1	0,0025	0	27	27	607200	2152	0,6	0,016	100	0,08	100	1	100	5	100	264

t	Vп	ktл	ktКл	фл	ktв	ktКв	фв	Br	Вм	B	w'	w''	w	r	dV	Vср	Sп	dS	Sк	Vк
																			0	59,1
1	59,1	0,05964	6440,8932	0,16571942	0,05964	36212,1329	0,2222718	9116,318	0	9116,3	4,79	17,64	16,66	30,5782	1,019	58,59	0	16,275	16,2751	58,081
2	58,081	0,11848	12795,3216	0,13385293	0,11848	71938,1414	0,2081635	16687,59	0	16688	4,755	17,24	16,29	33,4561	1,115	57,523	16,275	15,979	32,2537	56,966
3	56,966	0,1764	19050,9084	0,11633997	0,1764	107108,441	0,1967563	23290,64	0	23291	4,719	16,81	15,89	35,8888	1,196	56,367	32,254	15,658	47,9114	55,769
4	55,769	0,23329	25195,2768	0,10541592	0,23329	141653,445	0,1874265	29205,6	0	29206	4,68	16,35	15,46	38,0033	1,267	55,136	47,911	15,316	63,2269	54,502
5	54,502	0,28904	31216,05	0,09807347	0,28904	175503,57	0,1797358	34605,74	0	34606	4,639	15,88	15,02	39,879	1,329	53,838	63,227	14,955	78,1818	53,173
6	53,173	0,34353	37100,8512	0,09290429	0,34353	208589,23	0,1733676	39609,44	0	39609	4,597	15,39	14,57	41,5706	1,386	52,48	78,182	14,578	92,7597	51,787
7	51,787	0,39664	42837,3036	0,08916212	0,39664	240840,84	0,1680887	44302,08	0	44302	4,554	14,88	14,1	43,1181	1,437	51,069	92,76	14,186	106,945	50,35
8	50,35	0,44827	48413,0304	0,08641573	0,44827	272188,815	0,1637244	48747,58	0	48748	4,511	14,37	13,62	44,5515	1,485	49,608	106,95	13,78	120,725	48,865
9	48,865	0,49829	53815,6548	0,0843996	0,49829	302563,57	0,1601422	52995,22	0	52995	4,466	13,86	13,14	45,8942	1,53	48,1	120,73	13,361	134,087	47,335
10	47,335	0,5466	59032,8	0,08294244	0,5466	331895,52	0,1572412	57083,98	0	57084	4,421	13,34	12,66	47,165	1,572	46,549	134,09	12,93	147,017	45,763
11	45,763	0,59307	64052,0892	0,08192986	0,59307	360115,079	0,1549443	61045,57	0	61046	4,376	12,81	12,17	48,379	1,613	44,957	147,02	12,488	159,505	44,151
12	44,151	0,6376	68861,1456	0,0812838	0,6376	387152,663	0,1531931	64906,41	0	64906	4,331	12,29	11,68	49,5493	1,652	43,325	159,5	12,035	171,54	42,499
13	42,499	0,68007	73447,5924	0,08095044	0,68007	412938,686	0,1519441	68689,2	0	68689	4,286	11,77	11,2	50,6868	1,69	41,654	171,54	11,571	183,11	40,809
14	40,809	0,72036	77799,0528	0,08089287	0,72036	437403,564	0,1511663	72414,07	0	72414	4,241	11,24	10,71	51,8013	1,727	39,946	183,11	11,096	194,206	39,083
15	39,083	0,75836	81903,15	0,0810866	0,75836	460477,71	0,1508396	76099,54	0	76100	4,196	10,73	10,23	52,902	1,763	38,201	194,21	10,611	204,818	37,319
16	37,319	0,79396	85747,5072	0,08151671	0,79396	482091,54	0,1509535	79763,25	0	79763	4,152	10,21	9,753	53,9975	1,8	36,419	204,82	10,116	214,934	35,519
17	35,519	0,82703	89319,7476	0,08217608	0,82703	502175,47	0,1515064	83422,77	0	83423	4,108	9,706	9,28	55,0961	1,837	34,601	214,93	9,6114	224,545	33,683
18	33,683	0,85748	92607,4944	0,08306441	0,85748	520659,913	0,1525062	87096,26	0	87096	4,064	9,205	8,813	56,2067	1,874	32,746	224,55	9,0961	233,642	31,809
19	31,809	0,88517	95598,3708	0,08418782	0,88517	537475,285	0,15397	90803,27	0	90803	4,02	8,71	8,354	57,3384	1,911	30,854	233,64	8,5704	242,212	29,898
20	29,898	0,91	98280	0,08555891	0,91	552552	0,1559254	94565,6	0	94566	3,978	8,225	7,901	58,5015	1,95	28,923	242,21	8,0341	250,246	27,948
21	27,948	0,93185	100640,005	0,08719729	0,93185	565820,474	0,1584121	98408,37	0	98408	3,936	7,748	7,458	59,7074	1,99	26,953	250,25	7,4869	257,733	25,958
22	25,958	0,95061	102666,01	0,08913073	0,95061	577211,121	0,1614846	102361,4	0	102361	3,894	7,28	7,023	60,9697	2,032	24,941	257,73	6,9282	264,661	23,925
23	23,925	0,96616	104345,636	0,09139683	0,96616	586654,356	0,1652151	106461	0	106461	3,854	6,824	6,598	62,3048	2,077	22,887	264,66	6,3575	271,019	21,848
24	21,848	0,97839	105666,509	0,09404574	0,97839	594080,594	0,1696993	110752,6	0	110753	3,814	6,378	6,183	63,7328	2,124	20,786	271,02	5,774	276,793	19,724
25	19,724	0,98719	106616,25	0,09714417	0,98719	599420,25	0,1750642	115294,2	0	115294	3,775	5,945	5,78	65,2794	2,176	18,636	276,79	5,1767	281,969	17,548
26	17,548	0,99243	107182,483	0,10078141	0,99243	602603,739	0,1814791	120162	0	120162	3,737	5,525	5,389	66,978	2,233	16,432	281,97	4,5644	286,534	15,315
27	15,315	1	108000	0,10493219	1	607200	0,1887432	125937,6	0	125938	3,7	5,118	5,01	69,0791	2,303	14,164	286,53	3,9345	290,468	13,013
28	13,013	1	108000	0,11000973	1	607200	0,1978763	132031,5	0	132032	3,664	4,725	4,644	71,3293	2,378	11,824	290,47	3,2845	293,753	10,635
29	10,635	1	108000	0,11605366	1	607200	0,2087476	139285,3	0	139285	3,629	4,346	4,292	74,0914	2,47	9,4004	293,75	2,6112	296,364	8,1655
30	8,1655	1	108000	0,12341208	1	607200	0,2219833	148116,8	0	148117	3,595	3,983	3,954	77,545	2,585	6,8731	296,36	1,9092	298,273	5,5807
31	5,5807	1	108000	0,13263523	1	607200	0,2385732	159186,2	0	159186	3,562	3,636	3,63	81,974	2,732	4,2144	298,27	1,1707	299,444	2,8482
32	2,8482	1	108000	0,14465421	1	607200	0,2601919	173611,2	0	173611	3,53	3,305	3,322	87,859	2,929	1,3839	299,44	0,3844	299,828	-0,08
33	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	299,83	-0,444	299,385	-3,194
34	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	299,38	-0,444	298,941	-3,194
35	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	298,94	-0,444	298,497	-3,194
36	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	298,5	-0,444	298,054	-3,194
37	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	298,05	-0,444	297,61	-3,194
38	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	297,61	-0,444	297,166	-3,194
39	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	297,17	-0,444	296,723	-3,194
40	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	296,72	-0,444	296,279	-3,194
41	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	296,28	-0,444	295,835	-3,194
42	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	295,84	-0,444	295,392	-3,194
43	0	1	108000	0,16067797	1	607200	0,2890141	192842,6	0	192843	3,5	3	3,038	95,8315	3,194	-1,5972	295,39	-0,444	294,948	-3,194

условие выполнено при i=10 и Vн=59,1

V=f(i)	
i	V
10	59,1
5	56,1
0	53,1
-5	49,9
-10	46,5
-15	43



Приложение Д

(справочное)

Пример тягового расчета

ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ ПО ПЕРЕГОНУ СТ. А – СТ. Б

Исходные данные, расчетные длины и массы

Общие данные: путь звеньевой, постоянный; тепловозная тяга

Локомотив

Серия	К-во единиц	Длина, м (1 ед.)	Масса, т с экип. $P_{1/3}$	$P_{2/3}$
ТЭМ7А	1	20,88	177,2	180

Вагоны общего назначения с буксами на роликовых подшипниках

4- осные	К-во	Длина	Тара	Загрузка	Брутто	q_o	Q_n	Длина
пв	4	13,92	22	40	62	15,5	248,0	55,7
пв	12	13,92	21,1	70	91,1	22,8	1093,2	167,0
кр	17	14,73	22,7	25	47,7	11,9	810,9	250,4

Кол-во вагонов
33

Расчетные длины			
L с	L п	L у	L тр
473,1	494,0	10	504

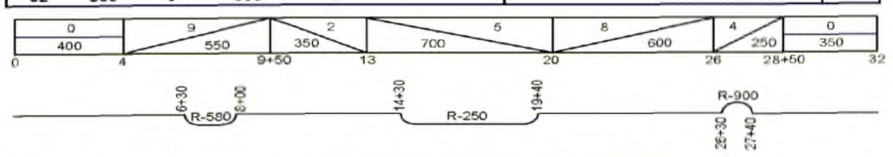
Расчетные массы		
Q	$P_{1/3}+Q$	$P_{2/3}+Q$
2152	2329	2332

Профиль

ПК	ℓj	ij	ℓc	ic	Проверка
0					
4	400	0	400	0	
9,5	550	9	550	9	
13	350	-2			-700
20	700	-5	1050	-4,00	700
26	600	8			706
28,5	250	4	850	6,82	-706
32	350	0	350	0	

План

ПК	Sкр	R	w_{ro}	Δic	ic+Δic
6,3				0	0
8	170	580	0,42	0,13	9,13
14,3					
19,4	510	250	2,80	1,36	-2,64
26,3					
27,4	110	900	0,17	0,02	6,85



U	$P_{ТЭМ7}$	Q	$V_н$	α'	b'	c'	α''	b''	c''	$α_ψ$	$b_ψ$	$c_ψ$	$d_ψ$	$e_ψ$	$h_ψ$	$m_ψ$	$n_ψ$	$z_ψ$	Rпр
1	180	2152	0	3	0,01	2E-04	3	0,1	0,0025	0,25	8	100	20	0	0	3,5	400	3	800
60					Локомотив														
Nкл	ΣКл	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	kcr	Vmax п	α	b	c				
8	108000	0,6	0,016	100	0,08	100	1	100	5	100	0,5	60	3	0,09305	0,0023225				
					Вагоны														
Nкв	ΣКв	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	Vmax торм		αx'	bx'	cx'	αx	bx	cx	
264	607200	0,6	0,016	100	0,08	100	1	100	5	100	0,6429	52,89	3,5	0,01	0,0002	3,039	0,0931	0,002322	

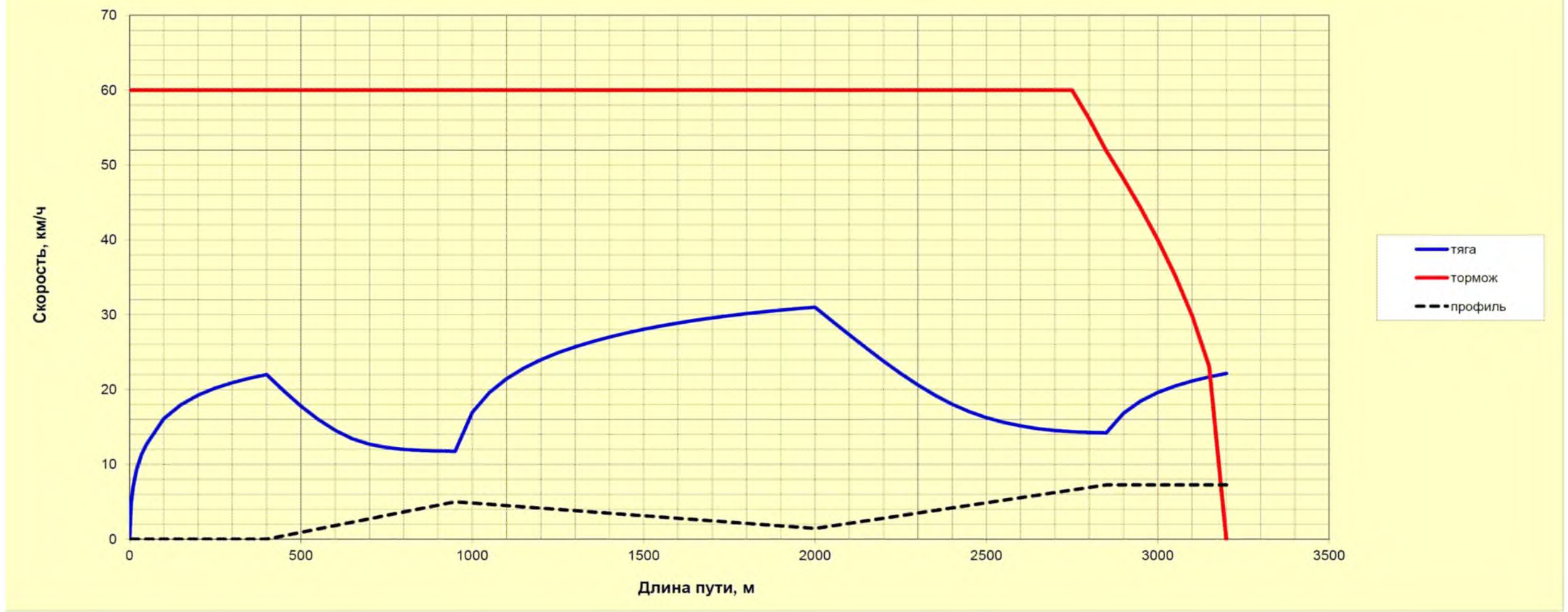
Тяговая характеристика локомотива

Данные для расчета расхода электроэнергии, А или топлива, G

V	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0		0	306,0
F	55000	52000	34500	25500	19500	15500	13500	11500	10000	8750	7500	6000	5000	4000	3000			

R	dS	S	ic	Vн	Vmax	V1	V2	F1	F2	F	kRFсц	Fсц	F	w	dV	Vк	Fреал	dt	t	Rм	Vт к	wx	Вт лок	Вт ваг	bт	dVт	Vт н	dtт	tт	I(G)	Idt	A, G	отметки
		0														0			0	0												0	0
800	5	5	0	0	52,89	0	5	55000	52000	55000	1	59400	55000	3	4,9699772	4,97	55000	0,120725	0,1207	0,275	60	17	6941	70196	33	0,3	60,3	0	3,52	306	0,615697	0,615697	0
800	5	10	0	4,97	52,89	0	5	55000	52000	52018	1	52222	52018	3,51984	1,9033869	6,873	52018	0,050661	0,1714	0,5351	60	17	6941	70196	33	0,3	60,3	0	3,52	306	0,258373	0,87407	0
800	10	20	0	6,8734	52,89	5	10	52000	34500	45443	1	51064	45443	3,74931	2,3467828	9,22	45443	0,074564	0,246	0,9895	60	17	6941	70196	33	0,7	60,7	0	3,51	306	0,380277	1,254348	0
800	15	35	0	9,2201	52,89	5	10	52000	34500	37229	1	50063	37229	4,0554	2,0883372	11,31	37229	0,087682	0,3336	1,548	60	17	6941	70196	33	1	61	0	3,5	306	0,44718	1,701528	0
800	15	50	0	11,308	52,89	10	15	34500	25500	32145	1	49415	32145	4,3493	1,4133592	12,72	32145	0,074905	0,4085	2,0301	60	17	6941	70196	33	1	61	0	3,49	306	0,382017	2,083545	0
800	50	100	0	12,722	52,89	10	15	34500	25500	29601	1	49063	29601	4,55969	3,3853463	16,11	29601	0,208124	0,6167	3,5102	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,47	306	1,06143	3,144975	0
800	50	150	0	16,107	52,89	15	20	25500	19500	24171	1	48411	24171	5,10138	1,8538985	17,96	24171	0,176117	0,7928	4,7187	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,42	306	0,898196	4,043171	0
800	50	200	0	17,961	52,89	15	20	25500	19500	21947	1	48136	21947	5,42057	1,2868259	19,25	21947	0,161251	0,954	5,8161	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,37	306	0,822382	4,865553	0
800	50	250	0	19,248	52,89	15	20	25500	19500	20403	1	47969	20403	5,65152	0,9423455	20,19	20403	0,152137	1,1062	6,8362	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,33	306	0,775898	5,641451	0
800	50	300	0	20,19	52,89	20	25	19500	15500	19348	1	47858	19348	5,82552	0,7213604	20,91	19348	0,145979	1,2521	7,8036	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,28	306	0,744491	6,385942	0
800	50	350	0	20,912	52,89	20	25	19500	15500	18771	1	47779	18771	5,96151	0,5905624	21,5	18771	0,141463	1,3936	8,7421	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,23	306	0,721463	7,107406	0
800	50	400	0	21,502	52,89	20	25	19500	15500	18298	1	47717	18298	6,07464	0,4887996	21,99	18298	0,137953	1,5316	9,657	60	17	6941	70196	33	3,3	63,3	0	3,18	306	0,703559	7,810965	0
800	50	450	9,08	21,991	58,7275	20	25	19500	15500	17907	1	47668	17907	6,1695	-2,173003	19,82	17907	0,14351	1,6751	10,552	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	3,13	306	0,731901	8,542865	0,454
800	50	500	9,08	19,818	58,7275	15	20	25500	19500	19718	1	47901	19718	5,75629	-2,036543	17,78	19718	0,159577	1,8346	11,538	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	3,08	306	0,813842	9,356707	0,908
800	50	550	9,08	17,781	58,7275	15	20	25500	19500	22162	1	48160	22162	5,38894	-1,763014	16,02	22162	0,177516	2,0122	12,646	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	3,03	306	0,905329	10,26204	1,362
800	50	600	9,08	16,018	58,7275	15	20	25500	19500	24278	1	48426	24278	5,08649	-1,474843	14,54	24278	0,196322	2,2085	13,86	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,99	306	1,001243	11,26328	1,816
580	50	650	9,08	14,544	58,7275	10	15	34500	25500	26322	0,9486	46182	26322	4,84457	-1,132373	13,41	26322	0,214632	2,4231	15,176	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,94	306	1,094625	12,3579	2,27
580	50	700	9,08	13,411	58,7275	10	15	34500	25500	28360	0,9486	46397	28360	4,66568	-0,728937	12,68	28360	0,229943	2,6531	16,594	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,89	306	1,172707	13,53061	2,724
580	50	750	9,08	12,682	58,7275	10	15	34500	25500	29672	0,9486	46549	29672	4,55368	-0,438293	12,24	29672	0,24071	2,8938	18,078	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,84	306	1,227622	14,75823	3,178
580	50	800	9,08	12,244	58,7275	10	15	34500	25500	30461	0,9486	46648	30461	4,48752	-0,250506	11,99	30461	0,247551	3,1413	19,601	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,79	306	1,262509	16,02074	3,632
800	50	850	9,08	11,993	58,7275	10	15	34500	25500	30912	1	49237	30912	4,45011	-0,138478	11,85	30912	0,251589	3,3929	21,147	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,74	306	1,283102	17,30384	4,086
800	50	900	9,08	11,855	58,7275	10	15	34500	25500	31161	1	49272	31161	4,42955	-0,075026	11,78	31161	0,253861	3,6468	22,705	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,7	306	1,294692	18,59854	4,54
800	50	950	9,08	11,78	58,7275	10	15	34500	25500	31296	1	49291	31296	4,41845	-0,040185	11,74	31296	0,255105	3,9019	24,269	60	17	6941	70196	33	4,1	64,1	0	2,65	306	1,301034	19,89957	4,994
800	50	1000	-3,39	11,74	50,7106	10	15	34500	25500	31368	1	49301	31368	4,41252	5,2001337	16,94	31368	0,209207	4,1111	25,838	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,6	306	1,066957	20,96653	4,8245
800	50	1050	-3,39	16,94	50,7106	15	20	25500	19500	23172	1	48282	23172	5,24278	2,6550131	19,59	23172	0,164227	4,2753	26,996	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,55	306	0,837557	21,80408	4,655
800	50	1100	-3,39	19,595	50,7106	15	20	25500	19500	19986	1	47927	19986	5,71512	1,827017	21,42	19986	0,146281	4,4216	27,996	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,5	306	0,746034	22,55012	4,4855
800	50	1150	-3,39	21,422	50,7106	20	25	19500	15500	18362	1	47725	18362	6,05917	1,4112553	22,83	18362	0,135577	4,5572	28,914	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,45	306	0,691445	23,24156	4,316
800	50	1200	-3,39	22,833	50,7106	20	25	19500	15500	17233	1	47587	17233	6,33554	1,1393775	23,97	17233	0,128189	4,6854	29,776	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,4	306	0,653765	23,89533	4,1465
800	50	1250	-3,39	23,973	50,7106	20	25	19500	15500	16322	1	47485	16322	6,56542	0,9385679	24,91	16322	0,12274	4,8081	30,592	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,36	306	0,625975	24,5213	3,977
800	50	1300	-3,39	24,911	50,7106	20	25	19500	15500	15571	1	47407	15571	6,75932	0,784293	25,7	15571	0,118562	4,9267	31,37	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,31	306	0,604664	25,12597	3,8075
800	50	1350	-3,39	25,695	50,7106	25	30	15500	13500	15222	1	47346	15222	6,92448	0,689536	26,38	15222	0,115206	5,0419	32,131	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,26	306	0,587553	25,71352	3,638
800	50	1400	-3,39	26,385	50,7106	25	30	15500	13500	14946	1	47294	14946	7,07205	0,6129545	27	14946	0,112396	5,1543	32,879	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,21	306	0,573217	26,28674	3,4685
250	50	1450	-3,39	26,998	50,7106	25	30	15500	13500	14701	0,7609	35951	14701	7,20508	0,5475148	27,55	14701	0,110004	5,2643	33,614	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,16	306	0,561021	26,84776	3,299
250	50	1500	-3,39	27,545	50,7106	25	30	15500	13500	14482	0,7609	35922	14482	7,32538	0,4910361	28,04	14482	0,107949	5,3722	34,338	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,11	306	0,550539	27,3983	3,1295
250	50	1550	-3,39	28,036	50,7106	25	30	15500	13500	14285	0,7609	35897	14285	7,43446	0,4418859	28,48	14285	0,106167	5,4784	35,052	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,06	306	0,541451	27,93975	2,96
250	50	1600	-3,39	28,478	50,7106	25	30	15500	13500	14109	0,7609	35875	14109	7,53358	0,3988139	28,88	14109	0,104611	5,583	35,757	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	2,01	306	0,533514	28,47326	2,7905
250	50	1650	-3,39	28,877	50,7106	25	30	15500	13500	13949	0,7609	35856	13949	7,62382	0,3608438	29,24	13949	0,103243	5,6862	36,455	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,97	306	0,52654	28,9998	2,621
250	50	1700	-3,39	29,238	50,7106	25	30	15500	13500	13805	0,7609	35839	13805	7,7061	0,3272002	29,57	13805	0,102035	5,7883	37,145	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,92	306	0,520379	29,52018	2,4515
250	50	1750	-3,39	29,565	50,7106	25	30	15500	13500	13674	0,7609	35824	13674	7,78123	0,2972585	29,86	13674	0,100963	5,8892	37,829	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,87	306	0,514911	30,03509	2,282
250	50	1800	-3,39	29,862	50,7106	25	30	15500	13500	13555	0,7609	35811	13555	7,84992	0,2705088	30,13	13555	0,100008	5,9892	38,507	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,82	306	0,510038	30,54513	2,1125

250	50	1850	-3,39	30,133	50,7106	30	35	13500	11500	13447	0,7609	35798	13447	7,91278	0,2465303	30,38	13447	0,099153	6,0884	39,179	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,77	306	0,505681	31,05081	1,943
250	50	1900	-3,39	30,38	50,7106	30	35	13500	11500	13348	0,7609	35788	13348	7,97037	0,224972	30,6	13348	0,098386	6,1868	39,846	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,72	306	0,501771	31,55258	1,7735
250	50	1950	-3,39	30,604	50,7106	30	35	13500	11500	13258	0,7609	35778	13258	8,02317	0,2055389	30,81	13258	0,097697	6,2845	40,509	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,67	306	0,498253	32,05084	1,604
800	50	2000	-3,39	30,81	50,7106	30	35	13500	11500	13176	1	47011	13176	8,07161	0,1879806	31	13176	0,097075	6,3816	41,168	60	17	6941	70196	33	2,9	62,9	0	1,62	306	0,495081	32,54592	1,4345
800	50	2050	6,84	30,998	57,2874	30	35	13500	11500	13101	1	47000	13101	8,11609	-1,863585	29,13	13101	0,09978	6,4813	41,823	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,57	306	0,508877	33,0548	1,7765
800	50	2100	6,84	29,134	57,2874	25	30	15500	13500	13846	1	47109	13846	7,68241	-1,825221	27,31	13846	0,106301	6,5876	42,515	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,53	306	0,542134	33,59693	2,1185
800	50	2150	6,84	27,309	57,2874	25	30	15500	13500	14576	1	47228	14576	7,2733	-1,785949	25,52	14576	0,113567	6,7012	43,244	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,48	306	0,579189	34,17612	2,4605
800	50	2200	6,84	25,523	57,2874	25	30	15500	13500	15291	1	47359	15291	6,88798	-1,745528	23,78	15291	0,121701	6,8229	44,009	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,43	306	0,620677	34,7968	2,8025
800	50	2250	6,84	23,778	57,2874	20	25	19500	15500	16478	1	47502	16478	6,52568	-1,646754	22,13	16478	0,130694	6,9536	44,833	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,38	306	0,66654	35,46334	3,1445
800	50	2300	6,84	22,131	57,2874	20	25	19500	15500	17795	1	47654	17795	6,19687	-1,517768	20,61	17795	0,14037	7,094	45,722	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,33	306	0,715887	36,17922	3,4865
800	50	2350	6,84	20,613	57,2874	20	25	19500	15500	19009	1	47811	19009	5,90496	-1,383562	19,23	19009	0,150592	7,2446	46,673	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,28	306	0,768017	36,94724	3,8285
800	50	2400	6,84	19,23	57,2874	15	20	25500	19500	20424	1	47972	20424	5,64819	-1,201433	18,03	20424	0,16104	7,4056	47,694	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,24	306	0,821303	37,76854	4,1705
800	50	2450	6,84	18,028	57,2874	15	20	25500	19500	21866	1	48127	21866	5,43243	-0,991159	17,04	21866	0,171109	7,5767	48,787	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,19	306	0,872658	38,6412	4,5125
800	50	2500	6,84	17,037	57,2874	15	20	25500	19500	23056	1	48267	23056	5,25948	-0,798167	16,24	23056	0,18031	7,757	49,94	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,14	306	0,919583	39,56078	4,8545
800	50	2550	6,84	16,239	57,2874	15	20	25500	19500	24013	1	48390	24013	5,12353	-0,627942	15,61	24013	0,188384	7,9454	51,141	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,09	306	0,960759	40,52154	5,1965
800	50	2600	6,84	15,611	57,2874	15	20	25500	19500	24767	1	48493	24767	5,01864	-0,483563	15,13	24767	0,195196	8,1406	52,379	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	1,04	306	0,9955	41,51704	5,5385
800	50	2650	6,84	15,127	57,2874	15	20	25500	19500	25347	1	48577	25347	4,93913	-0,365477	14,76	25347	0,200741	8,3413	53,647	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	0,99	306	1,023778	42,54082	5,8805
800	50	2700	6,84	14,762	57,2874	10	15	34500	25500	25929	1	48643	25929	4,87975	-0,246591	14,52	25929	0,204937	8,5463	54,943	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	0,95	306	1,045181	43,586	6,2225
800	50	2750	6,84	14,515	57,2874	10	15	34500	25500	26372	1	48689	26372	4,84003	-0,154418	14,36	26372	0,207783	8,7541	56,262	60	17	6941	70196	33	3,9	63,9	0	0,9	306	1,059696	44,6457	6,5645
800	50	2800	6,84	14,361	57,2874	10	15	34500	25500	26650	1	48719	26650	4,81531	-0,095439	14,27	26650	0,209597	8,9637	57,594	56,1	15,6	7117	71974	34	4,1	60,2	0,1	0,85	306	1,068945	45,71464	6,9065
800	50	2850	6,84	14,265	57,2874	10	15	34500	25500	26822	1	48737	26822	4,80008	-0,058492	14,21	26822	0,21073	9,1744	58,935	51,9	14,1	7334	74165	35	4,3	56,1	0,1	0,8	306	1,074724	46,78937	7,2485
800	50	2900	0	14,207	52,89	10	15	34500	25500	26927	1	48749	26927	4,79077	2,6128427	16,82	26927	0,193381	9,3678	60,282	48,2	12,9	7544	76288	36	3,7	51,9	0,1	0,74	306	0,986245	47,77561	7,2485
800	50	2950	0	16,82	52,89	15	20	25500	19500	23316	1	48300	23316	5,22218	1,6251152	18,44	23316	0,170142	9,5379	61,447	44,2	11,7	7793	78808	37	3,9	48,2	0,1	0,68	306	0,867722	48,64333	7,2485
800	50	3000	0	18,445	52,89	15	20	25500	19500	21366	1	48071	21366	5,50651	1,1529846	19,6	21366	0,157717	9,6956	62,516	40	10,5	8098	81898	39	4,2	44,2	0,1	0,62	306	0,804357	49,44769	7,2485
800	50	3050	0	19,598	52,89	15	20	25500	19500	19983	1	47927	19983	5,71567	0,8547582	20,45	19983	0,149811	9,8454	63,515	35,3	9,22	8491	85870	40	4,7	40	0,1	0,54	306	0,764034	50,21173	7,2485
800	50	3100	0	20,453	52,89	20	25	19500	15500	19138	1	47829	19138	5,87471	0,6729201	21,13	19138	0,144306	9,9897	64,472	29,9	7,89	9036	91383	43	5,4	35,3	0,1	0,47	306	0,735962	50,94769	7,2485
800	50	3150	0	21,126	52,89	20	25	19500	15500	18600	1	47756	18600	6,00231	0,5531594	21,68	18600	0,140173	10,13	65,402	23,1	6,42	9916	1E+05	47	6,8	29,9	0,1	0,37	306	0,714881	51,66257	7,2485
800	50	3200	0	21,679	52,89	20	25	19500	15500	18157	1	47699	18157	6,10877	0,4592534	22,14	18157	0,136934	10,267	66,31	0	3,04	17353	2E+05	83	23	23,1	0,3	0,26	306	0,698363	52,36093	7,2485



Приложение Е

(справочное)

Примерный алгоритм тяговых расчетов при использовании вычислительных программных средств

Е.1 Алгоритм тягового расчета устанавливается разработчиком программы в зависимости от применяемого программного обеспечения и вида результатов расчета.

Примерный алгоритм расчетов для решения тормозной задачи приведен в Е.2, для непосредственно тягового расчета – в Е.3.

Е.2 Решение тормозной задачи – определение допустимых скоростей движения по условию остановки поезда имеющимися тормозными средствами на любом уклоне в пределах установленной длины тормозного пути.

1 Ввод исходных данных:

– коэффициенты уравнения, описывающего изменение степени наполнения цилиндров во времени для локомотива и вагонов;

– сумма действительных тормозных нажатий колодок локомотива и вагонов;

– масса локомотива и вагонов;

– коэффициенты уравнения для действительного коэффициента трения тормозных колодок;

– количество тормозных колодок локомотива и вагонов;

– коэффициенты основного удельного сопротивления локомотива в режиме холостого хода;

– коэффициенты основного удельного сопротивления вагонов;

– признак учета магниторельсового тормоза;

– время полного наполнения тормозных цилиндров локомотива и вагонов.

2 Задание первого значения уклона и начальной скорости движения поезда и вычисление длины тормозного пути.

3 Подбор такой скорости, при которой на данном уклоне не будет превышена длина тормозного пути.

4 Занесение удовлетворяющих условию значений уклона и скорости в таблицу.

5 Повтор действий по пунктам 2 - 3 для всего диапазона уклонов.

6 Построение по данным таблицы графика зависимости допускаемой скорости от уклона.

7 Построение на графике линейной линии тренда и установление по ее формуле коэффициентов аппроксимации для занесения в тяговый расчет.

Е.3 Тяговый расчет

1 Ввод исходных данных по подвижному составу:

- длина и масса локомотива;
- длина и масса вагонов по типам.

2 Вычисление длины поезда и требуемой длины приемо-отправочных путей, а также массы состава и поезда.

3 Ввод исходных данных по профилю и плану пути и спрямление профиля (если это предусматривается).

4 Ввод исходных данных:

- напряжение на токоприемнике (для электровоза);
- коэффициенты основного удельного сопротивления локомотива в тяговом режиме и режиме холостого хода;
- коэффициенты основного удельного сопротивления вагонов;
- данные по дополнительным удельным сопротивлениям движению;
- коэффициенты для расчета коэффициента сцепления локомотива;
- коэффициенты для учета снижения коэффициента сцепления в кривых и значение радиуса, при котором уже не учитывается снижение коэффициента сцепления;
- сумма действительных тормозных нажатий колодок локомотива и вагонов;
- коэффициенты уравнения для действительного коэффициента трения тормозных колодок локомотива и вагонов;
- коэффициент использования тормозной силы при остановке поезда;
- максимально допустимая скорость движения поезда;
- коэффициенты уравнения максимально-допустимой скорости по тормозам;

– коэффициенты основного удельного сопротивления движению поезда в режиме холостого хода;

– тяговая характеристика локомотива;

– данные для расчета расхода электроэнергии или топлива.

5 Вычисление коэффициентов основного удельного сопротивления движению поезда.

6 Вычисление полного удельного сопротивления движению поезда в тяговом режиме, в режиме холостого хода и для проверки массы состава по троганию с места.

7 Вычисление всех требуемых величин по тяге (пошагово).

8 Построение графика зависимости скорости от длины пути.

9 Анализ полученных результатов, проверка выполнения всех условий.

10 Ввод измененных данных и повторные расчеты, если не выполнены все условия.

Библиография

1. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

2. Федеральный закон от 10.01.2003 № 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации»

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

4. Тяговые расчеты. Справочник / Под ред. П.Т. Гребенюка. – М.: Транспорт, 1987

5. Правила тяговых расчетов для поездной работы промышленных электровозов и тяговых агрегатов постоянного тока. 2-е изд., выпуск 4322. – М.: ПромтрансНИИпроект, 1977

6. Правила тяговых расчетов для поездной работы промышленных электровозов и тяговых агрегатов переменного тока. 2-е изд., выпуск 4323. – М.: ПромтрансНИИпроект, 1977

7. Правила тяговых расчетов для тепловозов на промышленном транспорте. 2-е изд., выпуск 4324. – М.: ПромтрансНИИпроект, 1977

8. Повышение безопасности движения поездов повышенной массы и длины. В.В. Кравчук, И.И. Доронина, Е.А. Харин (Дальневосточный государственный университет путей сообщений, УДК 629.4.077-592(075.8)), 2005

9. Сопротивление движению подвижного состава в S-образных кривых. П.Т. Гребенюк (Вестник ВНИИЖТ № 1, 1987)

10. Потапов М.Г. Карьерный транспорт. – М.: Недра, 1985

11. Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. – М.: УМК МПС России, 2000

12. Кузьмич В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги. – М.: Издательство «Маршрут», 2005

13. Френкель С.Я. Техника тяговых расчетов. – Гомель: БелГУТ, 2007 12 Постол Б.Г. Тяга поездов. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2011

14. Леонович И.И. Железнодорожные пути и путевое хозяйство. Минск: БНТУ, 2014

15. Бахолдин В.И., Афонин Г.С., Курилкин Д.Н. Основы локомотивной тяги: учеб. Пособие. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2014. – 308 с.

16. Изыскания и проектирование железных дорог. И.И. Кантор. – М.: Академия, 2003. – 288 с.

17. Изыскания и проектирование железных дорог. А.В. Горинов. Том 2. – М.: 1962. – 335 с.

18. Расчеты и проектирование железнодорожного пути. Под ред. В.В. Виноградова. – М.: Маршрут, 2003.

19. Улучшение трассы существующих железных дорог. Иоаннисян А.И. «Транспорт», 1972 г.

20. Экономические изыскания и основы проектирования железных дорог: Учебник для вузов железнодорожного транспорта / Б.А. Волков, И.В. Турбин, Е.С. Свинцов, Н.С. Лобанова; Под ред. Б.А. Волкова. М.: Маршрут, 2005.

Ключевые слова: правила, тяговые расчеты, промышленный транспорт, грузовые вагоны, локомотив, поезд, промышленный транспорт колеи 1520 мм, колеи 750 мм

gost.e-ecolog.ru