**Введение**

Тормоз железнодорожного подвижного состава представляет собой комплекс устройств, создающих искусственное сопротивление движению поезда при регулировании его скорости или остановке.

Качение стальных колёс по стальным рельсам характеризуется сравнительно низкими (по сравнению, например, с качением автомобильного колеса по дорожному покрытию) коэффициентами сцепления, величина которых изменяется в зависимости от состояния и загрязнённости пути. Технические характеристики тормозных устройств, которые, как правило, используют свойство сцепления колёс с рельсами , должны, с одной стороны, отвечать требованиям безопасности движения и обеспечивать установленные величины тормозных путей; с другой стороны, торможение должно происходить без превышения тормозной силы над силой сцепления колёс с рельсами, так как в противном случае происходит повреждение колёс. Железнодорожные тормоза, использующие поверхность катания колёс как фрикционную, не должны существенно сокращать срок службы колёс и сами должны обладать высокой износостойкостью и независимостью характеристик от климатических условий.

Специфика эксплуатации железных дорог России – их большая протяжённость, обращение подвижного состава в малонаселённых областях со сложными климатическими условиями – требует максимальной надёжности, долговечности тормозного оборудования при возможно минимальных затратах высококвалифицированного труда на его обслуживание и ремонт.

Успешному решению этих задач способствует применение композиционных тормозных колодок, имеющих значительно больший срок службы, чем чугунные колодки, и автоматических регуляторов тормозной рычажной передачи, которые практически исключают необходимость в трудоёмких ручных операциях регулировки. В воздухораспределителях вместо металлических притираемых деталей используются резиновые уплотнители, обладающие высокими техническими свойствами при минимальных затратах на ремонт, который предельно упрощён и заключается практически в замене и смазке.

**1 Расчёт колодочного тормоза 4-х осного рефрижераторного вагона**

Расчёт колодочного тормоза включает в себя определение допустимого нажатия тормозной колодки, вывод формулы передаточного числа рычажной тормозной передачи, определения диаметра тормозного цилиндра, выбор воздушной части тормозной системы, определение подачи (производительности) компрессора и объёма главных резервуаров.

* 1. **Определение допустимого нажатия тормозной колодки**

Для создания эффективной тормозной системы сила нажатия тормозной колодки на колесо должна обеспечивать реализацию максимальной силы сцепления колеса с рельсом и вместе с тем исключать возможность появления юза при торможении. Это положение в колодочном тормозе выполняется при граничных условиях, соответствующих сухим и чистым рельсам, и аналитически выражаются уравнением:

(1.1)



где К – допустимая сила нажатия колодки на колесо, кН;

φк – действительный коэффициент трения тормозной колодки о колесо;

0,85 – коэффициент, учитывающий разгрузку задней колёсной пары;

Ψк – коэффициент сцепления колеса с рельсом при торможении;

Рк – статическая нагрузка на колесо, отнесённая к одной тормозной колодке, кН.

(1.2)



где Ру – учётный вес вагона, тс;

z – число колёсных пар (тормозных осей) вагона;

mк = 2 – количество тормозных колодок или их секций, приходящихся на одно колесо;

g = 9,81≈ 10 м/с2 – ускорение свободного падения.



Подставляя в формулу значения коэффициента трения, получим для чугунных колодок:

, (1.3)



где V = 7 км/ч – расчётная скорость движения экипажа при недопущении юза, км/ч (таблица 3).

После преобразований уравнение примет вид:



Нагрузка от колёсной пары на рельсы определяется из выражения:

(1.5)



Для значения q0=210 кН методом интерполяции исходя из таблицы 3 для скорости недопущения юза 7 км/ч находим:



Подставляя в уравнение значения, получим:



,



,



,



,



,



Полученную допустимую силу нажатия тормозной колодки проверяем исходя из требований теплового режима трущихся пар, по выражению:

(1.6)



где Fк - номинальная площадь трения тормозной колодки, см2,

Fк =305см2;

[ΔРуд] – допустимое удельное давление на тормозную колодку, Н/см2, [ΔРуд]=130.

,



Принимаем Кдоп=27,575 кН.

**1.2 Вывод формулы и определение передаточного числа рычажной тормозной передачи**

Передаточное число рычажной тормозной передачи (ПЧРТП) – безразмерная величина. Определяется как отношение теоретической суммы сил нажатия тормозных колодок, приводимых в действие от одного тормозного цилиндра, к усилию на его на штоке. ПЧРТП показываем, во сколько раз с помощью рычагов тормозной передачи увеличивается сила, развиваемая штоком поршня тормозного цилиндра.

При выводе формулы ПЧРТП используется расчетная схема рычажной передачи, находящаяся в состоянии равновесия, в которой после торможения все рычаги занимают перпендикулярное положение относительно тяг. Поэтому необходимо соответственно вычерчивать в масштабе заданную схему рычажной передачи, на которой показать действующие силы и размеры плеч рычагов. Кроме того, схему следует дополнить технической характеристикой (допустимая, действительная, расчетная силы нажатия тормозной колодки, диаметр тормозного цилиндра, давление воздуха в тормозном цилиндре, расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок).

ПЧРТП определяется из соотношения длин плеч ведущих и ведомых рычагов. Рычаги, применяемые для передачи усилия в рычажных передачах, бывают первого и второго рода. Ведущим является плечо от оси вращения рычага до места приложения силы. Ведомым называется плечо от оси вращения рычага до места передачи усилия. При этом рассматривают передачу усилия со штока тормозного цилиндра через элементы рычажной передачи на тормозные колодки, используя уравнение статики, т. е. равенства момента сил относительно того или иного шарнира рычажной передачи.

На основании равенства моментов сил относительно того или иного шарнира запишем:

Для 1-й колодки:



;



;



Направление силы образует угол α с направлением радиуса, проходящего через центр колеса и середину тормозной колодки, т.е. с направлением нормального движения колодки. Величина силы нажатия на первую тормозную колодку:



Для 2-й колодки:



;



;



Направление силы образует угол α с направлением радиуса, проходящего через центр колеса и середину тормозной колодки, т.е. с направлением нормального движения колодки. Величина силы нажатия на вторую тормозную колодку:



;



Для 3-й колодки:



;



Направление силы образует угол α с направлением радиуса, проходящего через центр колеса и середину тормозной колодки, т.е. с направлением нормального движения колодки. Величина силы нажатия на третью тормозную колодку:



;



Для 4-й колодки:



;



Направление силы образует угол α с направлением радиуса, проходящего через центр колеса и середину тормозной колодки, т.е. с направлением нормального движения колодки. Величина силы нажатия на четвёртую тормозную колодку:



;



где - коэффициент силовых потерь рычажной передачи. Принимаем



;



- передаточное число к первой тормозной колодке;



- угол подвеса колодки, cos=0,9848



По изложенной выше методике определяют передаточное число для каждой отдельной колодки. Необходимо убедиться в том, что передаточные числа для каждой тормозной колодки в одной рычажной передачи одинаковы.



Тогда ПЧРТП определяют так:

,



где m – число колодок рычажной тормозной передачи, действующих от одного тормозного цилиндра.



* 1. **Определение диаметра тормозного цилиндра**

Диаметр тормозного цилиндра находят из известной зависимости, связывающей необходимое на штоке тормозное усилие с усилием, действующим на поршень при наполнении тормозного цилиндра сжатым воздухом:

,



откуда

,



где Ршт – усилие, развиваемое по штоку поршня тормозного цилиндра при условии безъюзового торможения, Н;

Ртц – давление воздуха в тормозном цилиндре, МПа;

Р0 – усилие предварительной затяжки отпускной пружины тормозного цилиндра, Н (таблица 6) ;

Lдоп – максимально допустимый ход поршня тормозного цилиндра, см (таблица 6) ;

Жпр – жесткость отпускной пружины, Н/см (таблица 6) ;

ηтц=0,98 – КПД тормозного цилиндра (потери на трение).

Усилие, развиваемое по штоку поршня тормозного цилиндра при условии безъюзового торможения:

,



где Кдоп – допустимое нажатие на тормозную колодку вагона, Н.

.



,



По полученной по формуле величине диаметра тормозного цилиндра выбираем ближайший больший стандартный цилиндр .



После выбора стандартного диаметра тормозного цилиндра необходимо пересчитать усилие, развиваемое по штоку поршня тормозного цилиндра Ршт:

.



**1.4 Выбор воздушной части тормозной системы**

В воздушную часть вагона входят воздухораспределитель, запасной резервуар, воздухопровод с арматурой и другие приборы.

При разработке воздушной части тормозной системы вагона предварительно выбирают тип воздухораспределителя. Тип воздухораспределителя выбирают, исходя из времени наполнения тормозного цилиндра сжатым воздухом до 90% его максимального давления. Для грузового тормоза это время не должно превышать 25с. Такая величина наполнения тормозного цилиндра в грузовом тормозе обеспечивается воздухораспределителем усл. №483, усл. №483М.

Затем выбирается запасной резервуар, объем которого должен обеспечивать максимальное давление в тормозном цилиндре при экстренном или полном служебном торможении не ниже 0,38 МПа и при ходе поршня тормозного цилиндра 180 мм. Минимальный объем запасного резервуара в см3, приходящийся на один тормозной цилиндр, определяется:

(1.18)



где - площадь поршня тормозного цилиндра, см2.



Принимаем ближайший больший стандартный запасной резервуар:



**1.5 Определение подачи (производительности) компрессора и объема главных резервуаров**

Питание тормозной сети поезда и различных вспомогательных пневматических механизмов локомотива сжатым воздухом обеспечивается постоянным источником сжатого воздуха – компрессором, который устанавливается на каждом локомотиве.

Компрессорная установка локомотива должна обеспечивать потребность поезда в сжатом воздухе при самых неблагоприятных условиях работы тормозной сети и наибольших допускаемых утечках.

Общий часовой расход воздуха, который должен подаваться компрессором при частных торможениях, в см3/ч

,



где Qтор – расход сжатого воздуха на торможение, см3/ч;

Qут – расход сжатого воздуха на утечки из магистрали и приборов тормозной системы, см3/ч;

Qдр – другие расходы, см3/ч.

Первые два расхода определяются по формулам:



где Vтс – объем тормозной сети поезда или электропоезда, ;



ΔРтс – снижение давления воздуха в тормозной магистрали при регулировочном торможении (0,08-0,1 МПа);

ΔРут – допустимое снижение давления в тормозной магистрали в минуту за счет утечек (0,02 МПа·мин);

ΔРбар – атмосферное давление воздуха, МПа (0,1МПа);

К – число регулировочных торможений за 1 час (к=10ч-1).

Другие расходы (питание различных вспомогательных пневматических механизмов и др.) можно принять для тепловоза:

.



Объём тормозной сети поезда:

,



где rni – число конкретных подвижных единиц, включённых в поезд (включая локомотив и различные типы вагонов);

Vтм = см3 – объём тормозной магистрали 4-х осного вагона,



см3 – объём тормозной магистрали 8-ми осного вагона ;



Vтм=– объём тормозной магистрали локомотива;



Vзр = см3 – объём запасного резервуара 4-х осного вагона,



см3 – объём запасного резервуара 8-ми осного вагона;



Vрр = см3 – объём рабочих резервуаров воздухораспределителя подвижной единицы;



.



Подставив значения, получим:



.



Потребная подача компрессора в см3/мин может быть определена:

,



где 1,3 – коэффициент, учитывающий необходимость выключения компрессора для охлаждения;

Qлок.ут. = см3/мин– расход сжатого воздуха на компенсирование утечек из главных резервуаров и напорной сети тепловоза.



.



Необходимый объём главных резервуаров из условия наполнения тормозной магистрали (без питания запасных резервуаров) после торможения в см3 :

,



где ∆Рм = 0,15 МПа – снижение давления сжатого воздуха в тормозной магистрали поезда при экстренном торможении;

∆Ргр = 0,2 МПа – допустимый перепад давления воздуха в главных резервуарах при экстренном торможении;

.



По полученной величине Vгр принимаем ближайший стандартный общий объём главных резервуаров. На тепловозах главные резервуары соединены последовательно поэтому, объём одного резервуара отечественного производства выбираем из ряда стандартных объёмов, равный -



Найденную подачу компрессора и ёмкости главных резервуаров необходимо проверить для случаев отпуска и зарядки тормозов после полного служебного торможения. В основу расчёта принимаем уравнение баланса расхода сжатого воздуха в следующем виде:



где ∆Ррр = 0,15 МПа – перепад давления в рабочем резервуаре при экстренном торможении с воздухораспределителями пассажирского типа;

Рзр = 0,54 МПа – давление в запасных резервуарах для пассажирского поезда;

∆Рзр = 0,4 МПа – снижение давления в запасных резервуарах;

∆Рут = 0,02 МПа/мин - снижение давления в тормозной сети через неплотности;

tот = 3 мин - расчётное время отпуска тормозов и подзарядки запасных резервуаров до установленного зарядного давления;

Vгр = см3 – объём главных резервуаров.



Подставляя числовые значения, получим подачи компрессора, необходимые для зарядки магистрали автостопного торможения.



Сравнивая найденную подачу с потребной, делаем вывод о том, что компрессор и ёмкости главных резервуаров обеспечивают расход сжатого воздуха.

Вывод: компрессор и емкости главных резервуаров обеспечивают расход сжатого воздуха.

**2 Расчет обеспеченности поезда тормозными средствами**

**2.1 Определение действительной и расчетной сил нажатия тормозных колодок вагона**

Действительная сила нажатия на тормозную колодку

,



где было определено выше, при выбранном ранее стандартном диаметре тормозного цилиндра.



Подсчитать по величинам и соответствующим фактическим, действительным значениям, тормозную силу поезда, составленного из большого количества вагонов разного типа с различными силами нажатия, затруднительно. Поэтому ее определяют методом приведения, при котором действительные значения величины и заменяют расчетными. При этом должно выполняться условие



,



где - действительная тормозная сила, реализуемая между колесом и рельсом;



- расчетная тормозная сила;



- расчетный коэффициент трения тормозной колодки;



- расчетное нажатие тормозной колодки.



Из этого равенства получим выражение расчетного тормозного нажатия

,



Для определения расчетных коэффициентов трения используем формулу

,



Подставим известные значения и , получим соответственно для тормозных колодок:



,



кН



При определении величины для рычажной передачи вагона, значение принимается равным рассчитанному ранее в кН.



**2.2. Определение расчетного коэффициента нажатия тормозных колодок вагона**

Расчетный коэффициент нажатия тормозных колодок вагона, характеризует степень обеспеченности подвижной единицы тормозными средствами. Отношение суммы расчетного нажатия тормозных колодок подвижной единицы к его весу называют расчетным коэффициентом нажатия тормозных колодок. Он определяется по формуле:

,



где - суммарное расчетное нажатие тормозных колодок вагона, кН;



- учетный вес вагона, тс.



Суммарное расчетное нажатие тормозных колодок вагона:

,



где - расчетное нажатие тормозной колодки, кН;



m - число колодок рычажной передачи, действующих от одного тормозного цилиндра;

λ = 1 - число рычажных передач (тормозных цилиндров) вагона.

.



Подставив значения, получим:



Вагон обеспечен тормозными средствами, т. к. коэффициент расчетного тормозного нажатия , что удовлетворяет условию обеспеченности тормозными средствами грузового вагона оснащенного чугунными колодками.



**2.3 Определение расчетного тормозного коэффициента поезда**

На основании Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации все отправляемые со станции поезда должны обеспечиваться автоматическими тормозами из расчета обеспечения единого наименьшего тормозного нажатия на каждые 100 тс веса поезда.

Расчетный тормозной коэффициент поезда характеризует степень обеспеченности поезда тормозными средствами. Отношение расчетного нажатия тормозных колодок к весу поезда называют расчетным тормозным коэффициентом поезда, который определяется в общем случае по выражению:

,



где - суммарное расчетное нажатие тормозных колодок поезда, кН; Рл = 276 тс - вес локомотива;



Qс - вес состава (вагонов) поезда.

Вес состава (вагонов) подсчитывается по формуле:

,



где Q1 = 84тс - вес 4-х осного вагона в поезде; Q2 = 170 тс вес 8-ми осного вагона в поезде;

у1,у2 – количество соответствующих типов вагонов в поезде по типам и осности (у1 = 58, у2 = 8).

.



Суммарное расчетное нажатие тормозных колодок поезда подсчитывается по формуле:



где - количество тормозных осей соответствующей подвижной единицы;



- число тормозных колодок на колесо соответствующей тормозной единицы;



- расчетная величина нажатия тормозной колодки соответствующей подвижной единицы, кН (табл.10, 11);



- количество соответствующих подвижных единиц в поезде по типу и осности.



При наличии в поезде подвижных единиц, оборудованных различными типами колодок, сумма расчетных сил нажатия подсчитывается отдельно для чугунных () и композиционных () тормозных колодок. Соответственно определяются тормозные коэффициенты для частей поезда, оборудованных чугунными () и композиционными () колодками.



В формуле расчетная величина нажатия тормозной колодки электровоза, тепловоза или соответствующего вагона электропоезда, подставляется из расчета, для разработанного колодочного тормоза соответствующего типа вагона.

При расчете необходимо учитывать, что в случае оборудования подвижного состава композиционными колодками, воздухораспределители груженых вагонов включаются на средний режим, однако эффективность композиционных колодок принимается условно одинаковой. Локомотивы всегда оборудуются только чугунными тормозными колодками.



Найденная величина не должна быть менее значений указанных в табл.12.



После сравнения величины определенного в расчете тормозного коэффициента поезда с нормативными необходимо сделать вывод об обеспеченности поезда тормозными средствами.

При определении величины для грузового поезда, следующего по участкам с уклонами до -200/00 , вес локомотива и его тормозное нажатие не учитывается.



Для уклона -90/00 :



Для уклона -200/00 :



Вывод: Поезд обеспечен тормозными средствами, т. к. коэффициент расчетного тормозного нажатия 0,437 > 0,33 что удовлетворяет условию обеспеченности тормозными средствами грузового поезда оснащенного чугунными колодками.

**3 Оценка эффективности тормозной системы поезда**

**3.1 Определение тормозного пути поезда при автостопном торможении**

Тормозным путём называется расстояние, проходимое поездом за время от момента поворота ручки крана машиниста или стоп-крана в тормозное положение до полной остановки поезда.



где V0 – скорость поезда в момент начала торможения, км/ч;

tп – время подготовки тормозов к действию, с;

Vн, Vк – начальная и конечная скорости поезда в принятом расчётном интервале скоростей, км/ч;

ξ – замедление поезда под действием удельной замедляющей силы в 1Н/кН,, (для грузовых поездов 120);



bт – удельная тормозная сила ;



wox – основное удельное сопротивление движению поезда со средней скоростью в каждом интервале при следовании локомотива на холостом ходу (выбеге), Н/кН;

ic – удельное сопротивление от спрямлённого уклона с учётом сопротивления в кривой, .



Время подготовки тормозов к действию в секундах определяется при полном служебном торможении для грузового поезда длинной более 200 осей (до 300 осей) по следующей формуле (пневматические тормоза):



где - расчетный тормозной коэффициент



Для уклона i = -90/00

Н/кН



Для уклона i = -200/00

Н/кН



В случае применения полного служебного торможения тормозной путь определяется по методике расчёта для экстренного торможения, но значение расчётного тормозного коэффициента поезда принимается равным 0,8 его полной величины:



Для уклона i = -90/00



Для уклона i = -200/00



φкр – расчетный коэффициент трения колодки о колесо:

,



V – величина скорости при торможении, км/ч.



Основное удельное сопротивление движению грузового поезда со средней скоростью в каждом интервале при следовании локомотива на холостом ходу (выбеге) определяется по следующим выражениям:



где - основное удельное сопротивление движению состава, Н/Кн;



- удельное сопротивление движению локомотива на холостом ходу (выбеге), Н/кН.



Н/кН



Удельное сопротивление движению локомотива на холостом ходу (выбеге) на бесстыковом пути:



км/ч, Н/кН



Основное удельное сопротивление движению грузового состава в Н/кН определяется по формуле:



где - основное удельное сопротивление движению восьмиосных, четырёхосных и других типов вагонов, Н/Кн;



- вес соответствующей группы вагонов, тс.



Н/кН



Основное удельное сопротивление движению четырёхосных вагонов в составе на различных буксовых подшипниках в Н/кН определяется по формуле:



где - основное удельное сопротивление движению четырёхосных вагонов на подшипниках скольжения и качения соответственно, Н\кН;



- доли в составе четырёхосных вагонов на подшипниках скольжения и качения соответственно, (берётся из задания; ).



Н/кН



Основное удельное сопротивление движению гружёных четырёхосных вагонов в Н/кН на подшипниках скольжения на бесстыковом пути:



где - нагрузка, передаваемая от колёсной пары на рельсы четырёхосного вагона, тс.



Н/кН



Основное удельное сопротивление движению гружёных четырёхосных вагонов в Н/кН на роликовых подшипниках на бесстыковом пути:



Н/кН



Основное удельное сопротивление движению гружёных восьмиосных вагонов в Н/кН на роликовых подшипниках на бесстыковом пути:



где - нагрузка, передаваемая от колёсной пары на рельсы восьмиосного вагона, тс.



Н/кН



Подготовительный тормозной путь:

Для уклона i = -90/00



Для уклона i = -200/00



Действительный путь торможения:



Для уклона i = -90/00



Для уклона i = -200/00



Расчёт тормозного пути поезда при торможении со скорости V=100 км/ч и остановке на уклонах i = -9 0/00, i = - 20 0/00 приведён в таблицах 1 и 2 соответственно.

**3.2 Расчет времени торможения поезда и его замедления**

Для оценки эффективности действия тормоза используется величина среднего замедления , реализованная при торможении и определяемая из сохранения энергии для движущегося в тормозном режиме поезда



Для уклона i = -90/00



Для уклона i = -200/00



Таким образом, величина среднего замедления представляет собой удельную кинетическую энергию поезда, которая гасится его тормозной системы на единице длины тормозного пути.

Время торможения поезда представляет собой сумму времени подготовки тормоза к действию и действительного времени торможения , т.е.



,



Результаты подсчета значений замедления и времени торможения поезда для двух уклонов сводим в таблицы 3,4. Действительное время торможения поезда определяется сложением поочередно интервалов времени для каждого интервала скоростей начиная с минимальной (остановочной) и до максимальной (начало торможения) скоростей, и заносятся в соответствующие столбцы таблицы. Затем, складываются действительные времена торможения с подготовительными для данной скорости движения, получают величину времени торможения поезда.

По данным таблиц строим графики и .



**Заключение**

В работе был выполнен расчёт колодочного тормоза, расчёт обеспеченности тормозными средствами поезда и проведена оценка эффективности работы тормозной системы поезда. Допустимая сила нажатия тормозной колодки Кдоп = 27,575 кН; расчётная сила нажатия Кр = 25,44 кН; передаточное число тормозной рычажной передачи n = 9,76; диаметр тормозного цилиндра dтц=400мм; при уклоне i=-90/00 тормозной коэффициент ,тормозной путь поезда SТ =1786,31м; при уклоне i = -20 0/00 тормозной коэффициент ,тормозной путь поезда SТ =2763,6м. Полученные результаты соответствуют стандартам и тормозным нормативам.



**Список использованных источников**

1. Иноземцев В.Г., Казаринов В.М., Ясенцев В.Ф. Автоматические тормоза: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Транспорт, 1981.

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

3. Инструкция по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог. ЦТ-ЦВ-ЦЛ-ВНИИЖТ/277. –. М.: Транспорт, 2003.

4. Крылов В.И., Крылов В.В. Автоматические тормоза подвижного состава. – М.: Транспорт, 1983.

5. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Официальное издание. – М.: Техинфом, 2000.

6. Иноземцев В.Г., Абашкин И.В. Устройство и ремонт тормозного и пневматического оборудования подвижного состава. – М.: Транспорт, 1977.

7. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Скворцова А.И. Тяговые расчеты: Справочник. – М.: Транспорт, 1987.

8. Крылов В.И., Крылов В.В., Ефремов В.Н., Демушкин П.Т. Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава: Справочник. – М.: Транспорт, 1989.

9. Балон Л.В., Яицков И.А - Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Автоматические тормоза вагонов».- Ростов н/Д РГУПС, 2006.