|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | **УТВЕРЖДАЮ** |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

ВАГОН-ЦИСТЕРНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ  
МОДЕЛЬ XXX

Расчет эффективности колодочного фрикционного тормоза  
вагона-цистерны, находящегося в эксплуатации

XXXXX

**Содержание**

[1 Цель расчета 3](#_Toc137652641)

[2 Исходные данные для расчета 4](#_Toc137652642)

[3 Порядок расчета 9](#_Toc137652643)

[4 Расчет тормозного пути 10](#_Toc137652644)

[5 Расчет коэффициента силы нажатия тормозных колодок 13](#_Toc137652645)

[6 Проверка отсутствия юза 14](#_Toc137652646)

[7 Расчет эксплуатационной мощности 17](#_Toc137652647)

[8 Расчет стояночного тормоза 18](#_Toc137652648)

[9 Заключение 20](#_Toc137652649)

[10 Ссылочные документы 22](#_Toc137652650)

# 1 Цель расчета

1.1 Целью расчета является проверка эффективности колодочного фрикционного тормоза при минимальной допускаемой массе тары вагона-цистерны для перевозки нефтепродуктов, находящегося в эксплуатации, модель XXX   
(далее – вагон), изготавливаемого в соответствии с комплектом документации согласно XXX, с возможностью установки двух типов тормозных цилиндров: 710 и 710-03. Минимальная масса тары принималась с учетом возможного износа составных частей вагона, реализуемого в процессе наработки. В соответствии с XXX ТУ минимальная масса тары вагона, находящегося в эксплуатации составляет 24,24 т.

1.2 Расчет выполнен в соответствии с ГОСТ 34434-2018.

# 2 Исходные данные для расчета

* 1. 2.1 Источниками исходных данных для расчета являются:

‑ нормативы согласно ГОСТ 34434-2018;

‑ нормативы согласно «Инструкции по сигнализации на железнодорожном транспорте Российской Федерации» (далее – Инструкция);

‑ комплект конструкторской документации XXX

2.2 Исходные данные для расчета приведены в таблицах 1-6. В таблице 7 приведены нормируемые величины. Схема тормозной рычажной передачи вагона представлена на рисунке 1.

Таблица 1 – Общие параметры вагона

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
| Масса тары вагона, т:  - минимальная  - максимальная | *Т* | 24,24  26,70 |
| Грузоподъемность, т | *Q* | 73,3 |
| Количество осей вагона, шт. | *n*0 | 4 |
| Количество колодок на колесной паре, шт. | *m*0 | 2 |
| Количество колодок на вагоне, шт. | *m*к/д | 8 |
| Авторежим 265А-4, шт. | - | 1 |
| Авторегулятор РТРП-300, шт. | - | 2 |
| Тормозной цилиндр 710 или 710-03, шт. | - | 2 |
| Воздухораспределитель 483А-03, шт. | - | 1 |
| Запасной резервуар Р7-78, шт. | - | 1 |

Таблица 2 – Общие параметры тормозной системы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
| КПД рычажной передачи | *η*п | 0,95 |
| Передаточное число тормозной рычажной передачи | *n* | 6,20 |
| Количество колодок вагона, на которые действует усилие от одного цилиндра | *m* | 4 |

Таблица 3 – Значения плеч рычагов рычажной передачи

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
| Рычаги тормозной рычажной передачи, мм | *a* | 310,0 |
| *b* | 350,0 |
| *c* | 140,0 |
| Рычаги привода авторегулятора, мм | *r* | 410,0 |
| *p* | 225,0 |
| Рычаги стояночного тормоза, мм | *s* | 100,0 |
| Рычаги тележки, мм | *w* | 400,0 |
| *q* | 160,0 |

Таблица 4 – Параметры привода и пружины авторегулятора

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
| Сжатие пружины при торможении, м | *l*p | 0,010 |
| Усилие предварительного сжатия, кН | *P*p | 0,883 |
| Жесткость пружины, кН/м | *Ж*р | 20,8 |
| Передаточное число привода авторегулятора | *n*р | 0,43 |

Таблица 5 – Параметры тормозного цилиндра

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
| Диаметр тормозного цилиндра, м | *d*ц | 0,254 |
| Усилие предварительного сжатия пружины, кН | *P*0 | 0,883 |
| Жесткость пружины, кН/м | *Ж*ц | 2,300 |
| КПД тормозного цилиндра | *η*ц | 0,98 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Величина выхода штока цилиндра 710, м |  |  |
| - порожний вагон |  | 0,025-0,075 |
| - груженый вагон |  | 0,025-0,075 |
| Величина выхода штока цилиндра 710-03, м |  |  |
| - порожний вагон |  | 0,050-0,100 |
| - груженый вагон |  | 0,050-0,100 |
| Давление в тормозном цилиндре, кПа |  |  |
| - порожний вагон | *p*ц | 130-160 |
| - груженый вагон | *p*ц | 300-340 |

Таблица 6 – Исходные данные для расчета стояночного тормоза

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
| Момент силы, приложенный к штурвалу стояночного тормоза, Нм | *М* | 100 |
| Среднее расстояние от точки крепления тяги до оси червячного колеса, м | *L* | 0,087 |
| Передаточное отношение червячной передачи |  | 82,0 |
| Передаточное число рычажной передачи стояночного тормоза от червячного сектора до штока тормозного цилиндра |  | 1,32 |
| КПД стояночного тормоза |  | 0,2 |
| Количество стояночных тормозов, шт. |  | 1 |
| Число тормозных колодок, на которые действует сила от действия стояночного тормоза, шт. |  | 4 |

Таблица 7 – Нормируемые величины

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Обозначение | Значение |
| Тормозной путь для максимально допустимой скорости движения по ГОСТ-34434, м, не более |  |  |
| - порожний вагон (100 км/ч) | [*S*Т] | 890 |
| - груженый вагон (90 км/ч) | [*S*Т] | 1060 |
| Тормозной путь для максимально допустимой скорости движения по Инструкции, м, не более | [*S*Т] | 1300 |
| Предельно допускаемая средняя мощность, приходящаяся на одну колодку при экстренном торможении, кВт | [*N*] | 70 |
| Минимальное значение уклона для стояночного тормоза, ‰ | [*i*] | 30 |
| Минимальные, допускаемые по эффективности торможения, расчетные коэффициенты сил нажатия тормозных колодок |  |  |
| - порожний вагон |  | 0,220 |
| - груженый вагон |  | 0,140 |

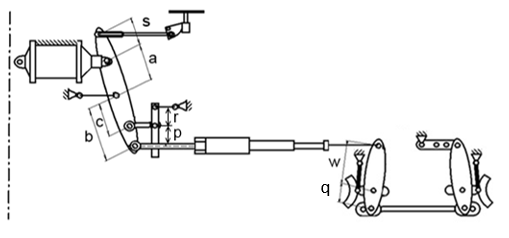


Рисунок 1 – Схема тормозной рычажной передачи вагона

# 3 Порядок расчета

3.1 Расчет произведен для композиционных тормозных колодок.

3.2 Критерием эффективности тормоза для композиционных колодок является выполнение следующего условия для величины тормозного пути вагона

, (1)

где – максимально допускаемая по эффективности торможения величина тормозного пути вагона, м.

3.3 При проверке юза требуется, чтобы выполнялось следующее условие

, (2)

где – удельная тормозная сила, Н/т;

– ускорение силы тяжести, м/с2;

– расчетный допустимый коэффициент сцепления колес с рельсом при торможении для сетевых условий.

Значение в правой части неравенства (2) обозначает допустимую удельную тормозную силу.

3.4 Проверка юза произведена для скоростей 20, 40, 60, 80, 100 и 120 км/ч.

3.5 При проверке мощности, приходящейся на одну колодку при экстренном торможении, требуется, чтобы выполнялось следующее условие

, (3)

где – предельно допускаемое значение мощности, приходящаяся на одну колодку при экстренном торможении.

3.6 При проверке стояночного тормоза необходимо, чтобы он удерживал состав на поверхности с уклоном не менее 30 ‰.

3.7 Проверка эффективности торможения и эффективности стояночного тормоза производилась для тормозного цилиндра 710-03 (тормозной цилиндр с наибольшим значением максимального выхода штока). Проверка отсутствия юза и определение мощности, приходящейся на одну тормозную колодку при торможении, производились для тормозного цилиндра 710 (тормозной цилиндр с наименьшим значением минимального выхода штока).

# 4 Расчет тормозного пути

## 4.1 Действительная сила нажатия на одну тормозную колодку , кН, определяется по формуле

## , (4)

где *m*, *dц*, *pц*, *ηц*, *ηп* – см. таблицы 2, 5;

*F1* – сила сжатия внутренней отпускной пружины тормозного цилиндра, кН;

*F2* – сила пружины авторегулятора, приведенная к штоку тормозного цилиндра, кН;

*n* – передаточное число рычажной передачи вагона

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , | (5) |

## где *a, b, w, q, m0* – см. таблицы 1, 3.

## Сила сжатия внутренней отпускной пружины тормозного цилиндра , кН, определяется по формуле

, (6)

где , – см. таблицу 5.

## Сила пружины авторегулятора, приведенная к штоку тормозного цилиндра , кН, определяется по формуле

, (7)

где *Pp*, *Жp*, *lp* приведены в таблице 4;

*np* – передаточное число привода авторегулятора

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , | (8) |

где *a, b, c, r, p* – см. таблицу 3.

4.2 Тормозной путь , м, определяется по следующей формуле

, (9)

где – приращение тормозного пути за интервал , м.

Приращение тормозного пути , м, за интервал определяется по формуле

, (10)

где – интервал времени при расчете тормозного пути, который принимается

равным 0,1 с в соответствии с ГОСТ 34434-2018;

– средняя скорость в расчетном интервале , км/ч.

4.3 Изменение скорости , км/ч, в каждом интервале времени определяется по формуле

, (11)

где – замедление поезда под действием единичной удельной замедляющей силы, которое принимается равным 12,2 в соответствии с ГОСТ 34434-2018;

– удельная тормозная сила, Н/т;

– основное удельное сопротивление движению вагона, Н/т.

4.4 Средняя скорость в первом шаге вычислений , км/ч, принимается равной начальной скорости. Для последующих шагов вычислений средняя скорость , км/ч, вычисляется по формуле

, (12)

где – средняя скорость на шаге вычислений, км/ч;

– скорость на шаге вычислений , км/ч;

– изменение скорости на шаге , км/ч.

4.5 Удельная тормозная сила , Н/т, определяется по формуле

, (13)

где , *T*, *Q* – см. таблицу 1;

– действительная сила нажатия на одну тормозную колодку, кН;

– действительный коэффициент трения колодок;

*r* – эффективный радиус трения колодок, м;

*R* – расчетный радиус колеса, м.

Для колодочного механизма тормоза *r* принимается равным *R*.

Действительная сила нажатия на одну тормозную колодку , кН, в зависимости от времени торможения определяется по формуле

(14)

Действительный коэффициент трения колодок , определяется по формуле

, (15)

где *v* – скорость движения поезда, км/ч.

4.6 Основное удельное сопротивление движению вагона , кН/т, определяется по формуле

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *,* | (16) |

где *q0* – нагрузка на колесную пару (ось) вагона, т.

4.6 Результаты расчета приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчета сил нажатия тормозных колодок и тормозных путей вагона

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Значение |
| Действительная сила нажатия колодки для расчетных давлений Кд, кН |  |
| - порожний вагон | 7,177 |
| - груженый вагон | 19,607 |
| Тормозной путь вагона с максимально допустимой скорости движения , м |  |
| - порожний вагон (100 км/ч) | 804 |
| - груженый вагон (90 км/ч) | 958 |

# 5 Расчет коэффициента силы нажатия тормозных колодок

## 5.1 Расчетный коэффициент силы нажатия тормозных колодок определяют как отношение суммы расчетных сил нажатия тормозных колодок на поверхность катания колеса к силе тяжести вагона и вычисляют по формулам:

## - для вагонов с полной загрузкой

## (17)

## - для порожних вагонов

## (18)

## где – расчетная сила нажатия на тормозную колодку, кН.

## 5.2 Расчетную силу нажатия на тормозную колодку для композиционных тормозных колодок , кН, определяют по формуле

## (19)

## 5.3 Результаты расчета коэффициентов силы нажатия тормозных колодок приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчета сил и коэффициентов силы нажатия тормозных колодок

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Значение |
| Расчетная сила нажатия колодки для расчетных давлений , кН |  |
| - порожний вагон | 7,931 |
| - груженый вагон | 18,867 |
| Коэффициент расчетной силы нажатия |  |
| - порожний вагон | 0,242 |
| - груженый вагон | 0,154 |

# 6 Проверка отсутствия юза

## 6.1 Расчетный предельный коэффициент сцепления колес с рельсами при торможении для проверки отсутствия юза , определяется из выражения

, (20)

где – функция осевой нагрузки;

– функция скорости, зависящая от динамических свойств подвижного состава.

6.2 Функция осевой нагрузки , для т определяется по формуле

, (21)

где *q0* – нагрузка на колесную пару (ось) вагона, т.

6.3 Функция скорости , для грузовых вагонов представлена выражением

(22)

## 6.4 Удельная тормозная сила , Н/т, определяется в соответствии с п. 4.5 настоящего расчета.

## 6.5 Вычисленные значения реализуемых и допустимых удельных тормозных сил приведены в таблицах 10-16.

Таблица 10 – Результаты проверки на юз тормозной системы

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Значение |
| Действительная сила нажатия колодки при максимальном давлении Кд, кН |  |
| - порожний вагон | 9,624 |
| - груженый вагон | 22,786 |
| Функция осевой нагрузки |  |
| - порожний вагон | 0,167 |
| - груженый вагон | 0,140 |
| Функция скорости |  |
| - 20 км/ч | 0,746 |
| - 40 км/ч | 0,653 |
| - 60 км/ч | 0,599 |
| - 80 км/ч | 0,564 |
| - 100 км/ч | 0,540 |
| - 120 км/ч | 0,522 |

Таблица 11 – Результаты проверки на юз тормозной системы при скорости 20 км/ч

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Режим загрузки вагона | Значение, Н/т | |
| Удельная тормозная сила | Допустимая удельная тормозная сила |
| Порожний | 1099,085 | 1226,521 |
| Груженый | 562,992 | 1025,228 |

Таблица 12 – Результаты проверки на юз тормозной системы при скорости 40 км/ч

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Режим загрузки вагона | Значение, Н/т | |
| Удельная тормозная сила | Допустимая удельная тормозная сила |
| Порожний | 1014,756 | 1072,905 |
| Груженый | 519,796 | 896,824 |

Таблица 13 – Результаты проверки на юз тормозной системы при скорости 60 км/ч

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Режим загрузки вагона | Значение, Н/т | |
| Удельная тормозная сила | Допустимая удельная тормозная сила |
| Порожний | 955,413 | 984,575 |
| Груженый | 489,398 | 822,989 |

Таблица 14 – Результаты проверки на юз тормозной системы при скорости 80 км/ч

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Режим загрузки вагона | Значение, Н/т | |
| Удельная тормозная сила | Допустимая удельная тормозная сила |
| Порожний | 911,385 | 927,204 |
| Груженый | 466,846 | 775,035 |

Таблица 15 – Результаты проверки на юз тормозной системы при скорости 100 км/ч

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Режим загрузки вагона | Значение, Н/т | |
| Удельная тормозная сила | Допустимая удельная тормозная сила |
| Порожний | 877,421 | 886,944 |
| Груженый | 449,448 | 741,382 |

Таблица 16 – Результаты проверки на юз тормозной системы при скорости 120 км/ч

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Режим загрузки вагона | Значение, Н/т | |
| Удельная тормозная сила | Допустимая удельная тормозная сила |
| Порожний | 850,423 | 857,133 |
| Груженый | 435,618 | 716,464 |

# 7 Расчет эксплуатационной мощности

## 7.1 Проверка эксплуатационной мощности, приходящейся на одну тормозную колодку при экстренном торможении, выполняется по формуле

## , (23)

где *q0* – нагрузка на колесную пару (ось) вагона, т;

*V0* – максимально допустимая скорость вагона в эксплуатации, км/ч;

*ST* – расчетный тормозной путь в составе поезда, м;

*m0* – см. таблицу 1.

7.2 Мощность , приходящаяся на одну колодку при экстренном торможении, составляет 56,21 кВт.

# 8 Расчет стояночного тормоза

## 8.1 Расчет стояночного тормоза производился из условия удержания вагона с полной загрузкой на уклоне крутизной не менее 30 ‰.

## 8.2 Суммарная действительная сила нажатия тормозных колодок от действия стояночного тормоза , кН, определяется по формуле

## , (24)

где *, M, L, ,*  – см. таблицу 6;

– передаточное число рычажной передачи стояночного тормоза от червячного сектора до штока тормозного цилиндра

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , | (25) |

где *a, b, s, f, h* – см. таблицу 3.

*F1* – сила сжатия внутренней отпускной пружины тормозного цилиндра, кН, определялась в соответствии с п. 4.1 настоящего расчета;

*F2* – сила пружины авторегулятора, приведенная к штоку тормозного цилиндра, кН, определялась в соответствии с п. 4.1 настоящего расчета;

*n, η*П – см. таблицу 2.

## 8.3 Действительная сила нажатия на одну тормозную колодку , кН, определяется по формуле

## (26)

где – см. таблицу 6.

8.4 Действительный статический коэффициент трения композиционной колодки о колесо , определяется по формуле

(27)

8.5 Уклон пути, на котором вагон удерживается стояночным тормозом, , ‰, определяется по формуле

## (28)

где  *T*, *Q* – см. таблицу 1;

*r* – эффективный радиус трения колодок, м;

*R* – расчетный радиус колеса, м.

Для колодочного механизма тормоза *r* принимается равным *R*.

8.6 Результаты расчета стояночного тормоза приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты расчета стояночного тормоза

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Значение |
| Суммарная действительная сила нажатия тормозных колодок Σ*КДС*, кН | 140,985 |
| Действительный статический коэффициент трения | 0,304 |
| Уклон пути *i*, ‰ | 43,63 |
| Минимальная действительная сила нажатия тормозной колодки *КДС min*, необходимая для удержания вагона стояночным тормозом на уклоне 30 ‰, кН | 21,722 |

# 9 Заключение

## 9.1 Полученный тормозной путь для вагона в груженом состоянии при скорости 90 км/ч при композиционных колодках составляет 958 м (при максимально допустимом 1060 м по ГОСТ 34434-2018 и 1300 м по Инструкции). Для порожнего состояния при скорости 100 км/ч тормозной путь составляет 804 м (при максимально допустимом 890 м по ГОСТ 34434-2018 и 1300 м по Инструкции).

## 9.2 Расчетный коэффициент силы нажатия композиционных колодок для груженого вагона составил 0,154 (при минимально допускаемом 0,140), для порожнего 0,242 (при минимально допускаемом 0,220). Расчетный коэффициент силы нажатия удовлетворяет нормируемому критерию безопасности.

## 9.3 Показатели безъюзового торможения определены путем сравнения между собой реализуемых и допускаемых значений коэффициентов сцепления в интервале от минимальной (20 км/ч) до максимальной (120 км/ч) скорости движения. Во всем диапазоне скоростей движения тормоз порожнего и груженого вагона, оборудованного композиционными колодками, обеспечивает безъюзовое движение.

## 9.4 Максимальное значение эксплуатационной мощности, приходящейся на одну тормозную колодку при экстренном торможении, при скорости 90 км/ч для композиционной колодки составляет 56,21 кВт (при максимально допускаемой 70 кВт). Таким образом, максимальное значение мощности удовлетворяет критерию безопасности.

## 9.5 Уклон пути, на котором обеспечивается удержание состава стояночным тормозом, составляет 43,63 ‰ для композиционных колодок (при минимально допустимом 30 ‰). Таким образом, тормозная система удовлетворяет критерию удержания вагона на уклоне.

9.6 Полученные в результате расчета данные об эффективности механической части автотормоза вагона, находящегося в эксплуатации, который имеет минимальное допускаемое значение массы тары 24,24 т, удовлетворяют допустимым значениям, приведенным в ГОСТ 34434-2018 и Инструкции.

9.7 Полученные в результате расчета данные об эффективности механической части автотормоза удовлетворяют допустимым значениям, приведенным в ГОСТ 34434-2018 и Инструкции для обоих типов тормозных цилиндров: 710 и 710-03.

# 10 Ссылочные документы

1. ГОСТ 34434-2018 Тормозные системы грузовых железнодорожных вагонов. Технические требования и правила расчета

2. Приложении №7 к Правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (Дополнительно включено с 1 сентября 2012 года приказом Минтранса от 04 июня 2012 года №162)

3. XXX Вагон-цистерна для перевозки нефтепродуктов.   
Модель XXX, разработка XXX