

УДК 629.431/. 432.016.12 : 004.421

А.А. Сулим, С.Д. Сычев, В.Р. Распопин, А.А. Мельник, В.В. Федоров

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ РАСЧЕТА ПУСКОВОЙ СИЛЫ ТЯГИ ПОЕЗДА МЕТРОПОЛИТЕНА

В статье разработан алгоритм для расчета ограничивающей пусковой силы тяги поезда метрополитена.

В современной транспортной инфраструктуре городов-мегаполисов метрополитен имеет наибольшие провозные возможности по сравнению с другими видами городского транспорта, что позволяет его классифицировать как перспективный вид пассажирского транспорта. Следует отметить, что в настоящее время создаются новые поезда метро с электроприводом переменного тока и микропроцессорной системой управления. Данная система управления позволяет программно регулировать силу тяги поезда с учетом его загрузки, коэффициента сцепления колес с рельсами, допустимого тока тягового двигателя и требуемой динамики движения поезда. На этапе проектирования поезда метрополитена возникает необходимость программного задания в системе управления ограничивающей пусковой силы тяги с учетом параметров выбранных тяговых двигателей. Анализ литературных источников показал, что в настоящее время нет единого алгоритма для расчета программного ограничения пусковой силы тяги поезда с учетом особенностей и требований для данного вида городского транспорта. Исходя из того, разработка алгоритма для расчета программной ограничивающей силы тяги поезда метрополитена является актуальной и важной задачей.

Целью работы является разработка алгоритма для расчета программной ограничивающей силы тяги поезда метрополитена.

В основу разработки алгоритма для расчета пусковой ограничивающей силы тяги поезда метрополитена положены принципы выбора пусковой силы тяги с учетом ограничений по максимальному моменту двигателя, по сцеплению колес с рельсом и обеспечения тяговыми двигателями заданной динамики движения поезда. Кроме того, выбранные значения пусковой ограничивающей силы тяги должны обеспечивать движение поезда на максимально возможном подъеме с ускорением для следующих случаев: работоспособность тягового оборудования в штатном режиме, аварийный режим в работе тягового оборудования одного из моторных вагонов и эвакуация неисправного поезда метро при различных загрузках. В нормативной документации для поездов метрополитена не указано минимальное значение ускорения при движении на максимально возможном уклоне, поэтому для расчетов выбрано его значение не менее $0,05 \text{ м/с}^2$ аналогично требованиям, предъявляемым к скоростным электропоездам при движении на максимальной скорости [1]. Разработанный алгоритм с учетом вышеизложенных требований приведен на рис. 1.

© А.А. Сулим, С.Д. Сычев, В.Р. Распопин, А.А. Мельник, В.В. Федоров, 2012

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Нижче приведено поетапне описання данного алгоритма.

1) Випонення розрахунків починається з введення параметрів поезда і тягових двигателів (m – маса поезда при різних завантажках, т; i_1, i_2 – найбільший ухил в тунелях і на відкритих ділянках шляху відповідно (максимально можливий ухил в тунелях дорівнює 45‰, на відкритих ділянках – 35 ‰ згідно [2,3]); M_n – максимальний пусковий момент тягового двигача, Н · м; D – діаметр колеса, м; $\eta_{ред}$ – КПД редуктора, %; μ – передаточне число редуктора; a_{min} – мінімальне значення прискорення при троганні, м/с²; ψ_1, ψ_2 – розрахункове значення коефіцієнта сцеплення при нормальних і несприятливих погодних умовах; $G_{сц}$ – сила тяжесті (сцепної ваги), котра припадає на обмоторені осі поезда, кН; n_g – кількість вагонів поезда; a_n – необхідне значення пускового прискорення, м/с², V – значення максимальної пускової швидкості, км/год; $(1 + \gamma)$ – коефіцієнт інерції вращаючихся мас поезда.

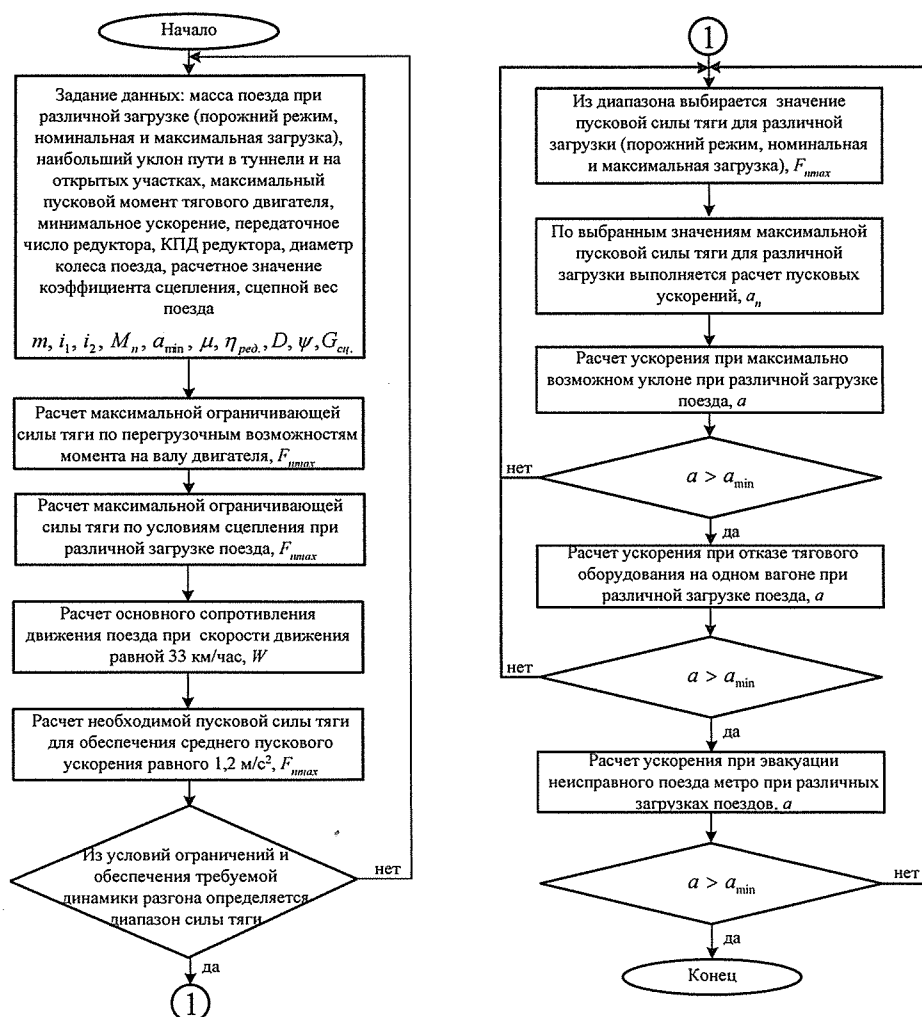


Рис. 1. Алгоритм расчета программной ограничивающей силы тяги поезда метрополитена

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Примечание. Расчетное значение коэффициента сцепления колеса с рельсом для поезда метрополитена при нормальных погодных условиях выбирается на уровне (0,2 – 0,22) согласно [4,5], рекомендуемое значение при неблагоприятных погодных условиях составляет 0,133.

2) Расчет максимальной ограничивающей силы тяги по перегрузочным возможностям момента на валу двигателя выполняется по формуле:

$$F_{n\max} \leq \frac{2 \cdot M_n \cdot \mu \cdot \eta_{ред}}{D} \quad (1)$$

3) Расчет максимальной ограничивающей силы тяги по условиям сцепления колеса с рельсом в порожнем режиме при номинальной и максимальной загрузке определяется по формуле:

$$F_{n\max} \leq 1000 \cdot G_{цк} \cdot \psi_1 \quad (2)$$

4) Расчет основного сопротивления движению выполняют по формуле (для скорости 33 км/час) при различной загрузке поезда:

$$W = \left(1,1 + \frac{(0,09 + 0,022 \cdot n_p) \cdot V^2}{m} \right) \cdot G,$$

Примечание. Формула (3) приведена для эксплуатируемого отечественного метрополитена на основании экспериментальных исследований [4-6]. При изменении обтекаемости конструкции кузова также можно пользоваться этой формулой, поскольку при малых скоростях значение основного сопротивления значительно меньше тяговой силы, развиваемой двигателями.

5) Расчет необходимой пусковой силы тяги определяется исходя из требований среднего ускорения по достижению скорости 33 км/час не менее 1,2 м/с² [3] для порожнего режима и номинальной загрузки по формуле:

$$F_{n\max} \geq m \cdot (1 + \gamma) \cdot a_n + W \quad (4)$$

6) Рассчитывается диапазон значений максимальной силы тяги поезда для порожнего и номинально загруженного режима по уравнениям (1), (2) и (4), для максимальной загрузки – по уравнениям (1) и (2).

В случае, если диапазон пусковой силы тяги не отвечает одному из приведенных требований, необходимо выполнять корректировку начальных данных (увеличить число обмоторенных осей поезда метрополитена, выбрать тяговые двигатели с другими параметрами и т. д.).

7) Из рассчитанного диапазона для каждого режима (порожний режим, номинальная и максимальная загрузка) выбирается одно значение максимальной силы тяги.

8) По выбранным значениям максимальной пусковой силы тяги для различной загрузки выполняется расчет среднего ускорения по формуле:

$$a_n = \frac{F_{n\max} - W}{m (1 + \gamma)} \quad (5)$$

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

9) Определяется ускорение на максимально возможном уклоне в туннелях при нормальном коэффициенте сцепления и на открытых участках пути с учетом пониженного коэффициента сцепления в следствии неблагоприятных погодных условий по формуле:

$$a = \frac{F_{\text{нmax}} - W_i - R}{m(1+\gamma)}, \quad (6)$$

где $W_i = \frac{m \cdot g \cdot i}{1000}$ – сопротивление движению поезда от уклона, кН;

$R = \frac{4 \cdot m \cdot g}{1000}$ – начальное сопротивление движению поезда, которое учитывает скатывание поезда при трогании его на уклоне, кН.

10) Выполняется проверка условия $a_1 \geq 0,05$.

11) По формуле (6) определяется ускорение поезда при отказе тягового оборудования на одном вагоне на максимально возможном уклоне в туннелях при нормальном коэффициенте сцепления и на открытых участках пути при пониженном коэффициенте сцепления.

12) Выполняется проверка условия $a_2 \geq 0,05$.

13) Аналогичным образом по формуле (6) определяется возможность эвакуации неисправного поезда метро при различных загрузках как эвакуируемого, так и работоспособного поезда метро. Расчет выполняется при эвакуации неисправного поезда на максимально возможном уклоне в туннелях при нормальном коэффициенте сцепления и на открытых участках пути при пониженном коэффициенте сцепления.

14) Выполняется проверка условия $a_3 \geq 0,05$.

Выводы. Разработанный алгоритм для расчета необходимой пусковой силы тяги метрополитена учитывает:

- ограничение по максимальному моменту тягового двигателя;
- ограничение по условиям сцепления колес поезда метрополитена с рельсом;
- обеспечение заданной динамики движения поезда согласно нормативной документации;
- возможность движения поезда с ускорением при возникновении аварийных режимов в тяговом оборудовании;
- возможность движения поезда с ускорением на максимально возможном подъеме в туннелях с нормальным коэффициентом сцепления и на открытых участках пути с учетом пониженного коэффициента сцепления в следствии неблагоприятных погодных условий;
- возможность эвакуации неисправного поезда метрополитена при различной загрузке пассажиров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуткин Л.В., Дымант Ю.Н., Иванов И. А. Электропоезд ЭР200. – М., Транспорт 1981 г. – 192 с.
2. ДБН В.2.3-7-2003 Метрополітени. Державні будівельні норми України. – Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2003. – 299 с.
3. СОУ МПП 45.060-253:2008 Вагони метрополітену. Загальні технічні вимоги. – Київ: Міністерство промислової політики України, 2008. – 29 с.
4. Пушков П.М., Мінеєва Ю.В. Основи електричної тяги. Методичні вказівки до практичних та самостійних занять. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 79 с.
5. Теория электрической тяги. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н., Озеров М.И.: Под ред. И.П. Исаева. – М.: Транспорт, 1995. – 294 с.
6. Байрыева Л.С., Прокопович А.В. Теория электрической тяги. Методическое пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 40 с.