

ных средств имеют предприятия с численностью подвижного состава от 20 до 90 автомобилей.

Чтобы повысить эффективность использования парка подвижного состава, необходимо улучшить организацию перевозочного процесса на автотранспортных предприятиях со списочной численностью до 20 автомобилей и свыше 90, в том числе за счет совершенствования оперативного управления перевозками из транспортно-логистических центров.

1. Заведский Ю.В. Статистическая обработка эксперимента в задачах транспорта. – М.: МАДИ, 1982. – 136 с.

2. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. – Минск: Фонд БДД, 1996. – 364 с.

3. Лобанов Е.М. Организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1982. – 245 с.

4. Кучур С.С. Разработка и использование вероятностных математических моделей в задачах технической эксплуатации автомобилей. – Минск: БГПА, 1997. – 91 с.

*Получено 16.02.2007*

УДК 656.08

Д.Ю.ЗУБЕНКО, канд. техн. наук

*Харківська національна академія міського господарства*

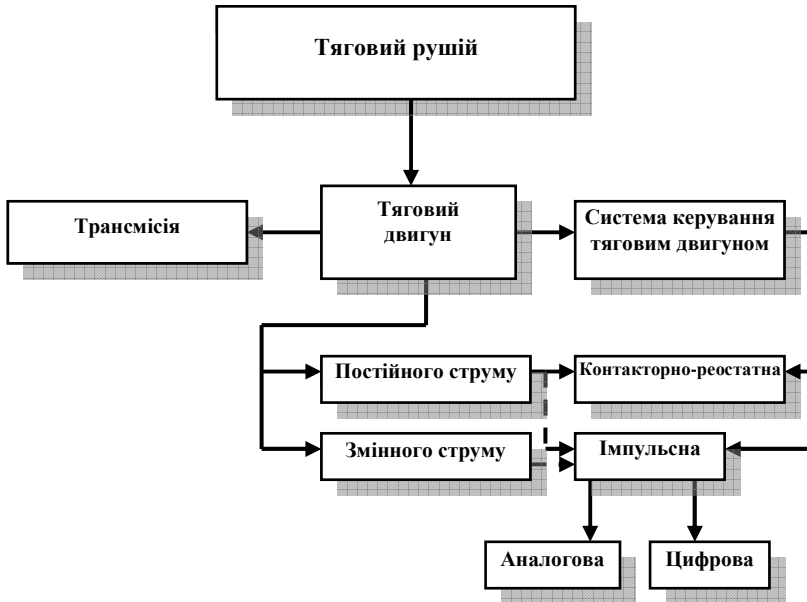
## **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКА ПИТОМОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВОГО РУШІЯ ТРАМВАЯ НА ШВИДКІСТЬ У ВАЖКИХ УМОВАХ РУХУ**

Пропонується концепція визначення максимальної швидкості трамвая в важких умовах руху, тобто на ухилах та спусках, визначено основні параметри руху та обмежень при проектуванні електрообладнання трамваїв.

Обмеження швидкості під час руху на ухилі та спуску, як правило, застосовують для забезпечення безпеки і попередження загорання транспортного засобу внаслідок перегріву електричного обладнання. Для транспортних засобів з електричним приводом функцію допоміжної гальмівної системи виконує електричний тяговий рушій, який в загальному випадку має три складові: тяговий двигун, систему управління тяговим двигуном і трансмісію. Від надійності роботи цих складових елементів електропривода залежить надійна експлуатація трамвая в різних умовах руху.

Переважаюча більшість досліджень в частині характеристик електричного тягового рушія за попередні роки була присвячена обґрунтуванню ефективності застосування різних систем управління рушієм та їх діагностуванню [1, 2]. Питання обґрунтування вибору потужності двигуна тягового приводу розглядалося недостатньо.

В системі електричного тягового рушія транспортного засобу головним елементом є тяговий двигун з системою, що постійно вдосконалюється. Сучасні транспортні засоби мають декілька варіантів конструкції рушія (рисунок), але тягово-швидкісні характеристики їх визначаються потужністю тягового двигуна.



Класифікація електричного тягового рушія транспортного засобу

Тому метою дослідження є наукове обґрунтування необхідності введення обмежень швидкості руху транспортного засобу під час його спуску на ухилі. Відповідно до поставленої мети, необхідно було вирішити наступні задачі: визначити фактичні границі коливання потужності тягових рушіїв рейкових транспортних засобів міського електричного транспорту; розробити математичну модель для визначення максимальної швидкості руху під час спуску на ухилі залежно від потужності тягового рушія та значення ухилу.

Відповідно до статистичних даних (таблиця) щодо мас та потужностей двигунів, які застосовані на транспортних засобах міського електричного транспорту, що знаходиться в експлуатації в Україні, питома потужність електричного рушія коливається від 4,72 кВт/т до 9,12 кВт/т, тобто значно відрізняється від рекомендацій, що надані в роботі [2].

Дані щодо мас та потужності тягових двигунів рухомого складу

Тип трамваю	Кількість та потужність тягових двигунів, кВт	Маса транспортного засобу, в спорядженому стані, кг	Повна маса транспортного засобу, кг	Питома потужність для спорядженого стану, кВт/т	Питома потужність для повної маси, кВт/т
ТЗ	4x45	17000	23480	10,59	7,67
ТЗ М	4x45	18600	32000	9,68	5,63
Т4 Су	4x45	16500	26090	10,91	6,90
ЛТ 10	4x65	20500	28300	12,68	9,19
КТ4 Су	4x40	20277	33900	7,89	4,72
КТМ 5 МЗ	4x45	18650	33420	9,65	5,39
К 1	4x45	18612	31917	9,67	5,64

Для визначення впливу показника питомої потужності тягового рушія на швидкість руху транспортного засобу під час спуску на ухилі, розглянемо умови, що впливають на цей процес.

Як уже зазначалося, для забезпечення безпеки руху під час пуску на ухилі, як правило, застосовується допоміжна гальмівна система. Ефективність допоміжної гальмівної системи повинна бути такою, щоб забезпечувалося можливість зменшення швидкості руху або щонайменше можливість руху із сталою швидкістю.

Прийmemo, що транспортний засіб рухається по ухилу визначений проміжок часу, при цьому діє тільки допоміжна гальмівна система, гальмівний механізм якої перетворює потенціальну енергію в електричну.

Потенціальна енергія під час спуску на ухилі буде використана на подолання опору руху та перетворена в електричну. Кількість електричної енергії, яка буде перетворена в електричну в межах незначних кутів нахилу, визначається з рівняння

$$W_h = m \times g \times i / 1000 \times \int_{\tau=0}^{\tau=T} V(\tau) d\tau - g \times \omega_0 / 1000 \times m \times \int_{\tau=0}^{\tau=T} V(\tau) d\tau, \quad (1)$$

де  $m$  – маса транспортного засобу, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $V(\tau)$  – швидкість транспортного засобу, м/с;  $T$  – тривалість руху, с;  $i$  – нахил, ‰;  $\omega_0$  – питомий опір руху, кг/т.

Кількість електричної енергії, яка буде передана в контактну мережу або погашена на гальмівних резисторах, визначається з рівняння

$$W_e = I_r \times U_k \times T = p \times m \times T, \quad (2)$$

де  $I_r$  – гальмівний струм тягового двигуна, А;  $U_k$  – напруга на колекторі тягового двигуна, В;  $p$  – питома потужність тягового рушія.

За умови, що  $W_h = W_e$ , стала швидкість в км/год під час спуску на ухилі буде забезпечуватися, коли

$$V = \frac{3600 \times p}{g \times (i - \omega_0)} \quad (3)$$

або значення ухилу в ‰, на якому можливо забезпечити встановлену швидкість сталою:

$$i = \frac{3600 \times p + g \times \omega_0 \times V}{g \times V} \quad (4)$$

З урахуванням опору руху, визначеного в роботі [2], рівняння для трамвайного вагона має вигляд:

$$i = \frac{3600 \times p + g \times (4,3V + 0,0036V^3)}{g \times V} \quad (5)$$

При розрахунках електрообладнання транспортних засобів для роботи в режимі гальмування, повинні бути внесені обмеження по швидкості, максимальній напрузі на колекторі та струму якоря тягового двигуна.

Обмеження по швидкості (максимальна швидкість початку гальмування) для трамвайних вагонів складає 16,6 м/с [2].

Обмеження по струму якоря визначається зчепленням коліс з рейками. Обмеження по струму якоря визначається комутацією тягових двигунів, величина  $B_{\max}$  не повинна перевищувати межу по зчепленню, а струм  $I_{\max}$  не повинен перевищувати межу по комутації:

$$B_{\max} \leq 1000 \psi \frac{G_p}{N} \cdot \eta, \quad (6)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт зчеплення коліс з рейками (дорогою),  $\psi=0,2$ ;  $\eta$  – коефіцієнт використання зчіпної ваги,  $\eta=0,85\dots 0,9$ .

$$I_{T\max} \leq (1,8\dots 1,9) \cdot I_u \quad (7)$$

Крива обмеження по швидкості розраховується за формулою, км/Г:

$$V_{\max} = V_i \cdot \frac{U_{\max} + I_i \cdot R'_{\partial e}}{U_{\partial e} - I_i \cdot R'_{\partial e}}, \quad (8)$$

де  $I_i$  – діапазон зміни струму, А;  $V_i$  – швидкість у гальмівному режи-

мі відповідно до визначених струмів, км/г;  $R'_{\text{о}в}$  – сумарний опір двигуна,  $R'_{\text{о}в} = R_a + R_{\text{о}н} + R_{\text{з}н} \cdot \alpha_i$ ;  $U_{\text{ма}к}$  – максимальна напруга в режимі гальмування, В:

$$U_{\text{ма}к} = \frac{[e] \cdot K \cdot \tau}{2p \cdot \left(1 + \frac{0,45 \cdot N_a}{8 \cdot m \cdot p \cdot W_c \cdot \alpha_i}\right)}. \quad (9)$$

Крива обмеження по напрузі розраховується при повному та ослабленому полі.

Розрахунок мінімального коефіцієнту ослаблення поля виконується з урахуванням того, щоб максимальна міжламельна напруга на колекторі не перевищувала 35 В.

Максимальна міжламельна напруга визначається за виразом:

$$[e] = \frac{e_{\text{ср}}}{\tau} \left(1 + 0,45 \frac{F_{\text{р}я}}{F_{\text{з}н}}\right). \quad (10)$$

Тут  $\tau$  – коефіцієнт полюсного покриття,  $\tau = 0,62$ ;  $e_{\text{ср}}$  – середня межламельна напруга:  $e_{\text{ср}} = \frac{2p \cdot U_{\text{о}в}}{K}$ , де  $K$  – кількість колекторних пластин тягового двигуна;  $p$  – кількість пар полюсів тягового двигуна;  $F_{\text{р}я}$  – намагнічувальна сила реакції якоря,  $A \cdot \text{вит}$ :

$$F_{\text{р}я} = \frac{N_a \cdot I_{\text{нр}}}{8 \cdot m \cdot p},$$

де  $N_a$  – кількість провідників якірної обмотки;  $I_{\text{нр}}$  – максимальний припустимий струм тягового двигуна в період пуску;  $m$  – кількість пар паралельних віток обмотки якоря;

$F_{\text{з}н}$  – намагнічуюча сила головних полюсів:

$$F_{\text{з}н} = \frac{0,45 \cdot F_{\text{р}я}}{\left(\left[\frac{35 \cdot \tau}{e_{\text{ср}}}\right] - 1\right)}. \quad (11)$$

Припустимий коефіцієнту ослаблення поля розраховується за формулами:

- для двигунів змішаного збудження:

$$[\alpha] = \frac{0,45 \cdot I_{np} \cdot N_a}{8 \cdot m \cdot p \cdot \left( \left[ \frac{35 \cdot \tau}{e_{cp}} \right] - 1 \right) \cdot (I_{np} \cdot W_c + I_{ш} \cdot W_{ш})}, \quad (12)$$

де  $I_{ш}$  – струм шунтової обмотки, приймається  $I_{ш} = 2$  А;

- для двигунів послідовного збудження:

$$[\alpha] = \frac{0,45 \cdot N_a}{8 \cdot m \cdot p \cdot \left( \left[ \frac{35 \cdot \tau}{e_{cp}} \right] - 1 \right) \cdot W_c}, \quad (13)$$

$W_c$  – кількість витків обмотки послідовного збудження;  $W_{ш}$  – кількість витків обмотки паралельного збудження.

За результатами теоретичного дослідження визначено, що:

- фактична питома потужність електричних рушіїв більшості трамвайних вагонів відрізняється від рекомендованої в роботі;

- граничні значення швидкості, що обмежується під час руху на спуску транспортного засобу залежить від питомої потужності тягового рушія та величини ухилу, тобто є індивідуальними для кожного типу транспортного засобу якщо вони мають різну питому потужність тягового рушія.

Розрахунок електрообладнання транспортних засобів необхідно проводити з урахуванням обмежень для тягового електродвигуна та режимів руху на ухилах.

Подальші дослідження процесу руху транспортного засобу на ухилі з метою уточнення критеріїв визначення маршруту з важкими умовами руху повинні бути виконані в напрямку уточнення коефіцієнтів залежності опору руху від швидкості для транспортних засобів, виготовлених в Україні.

1. Положення про порядок експлуатації трамвая та тролейбуса на маршрутах з важкими умовами руху. Затв. Державним комітетом будівництва, архітектури та житлової політики України 24.12.97 р. – К., 1997. – 32 с.

2. Овечников Е.В., Фишельсон Н.С. Городской транспорт. – М.: Высш. шк., 1976. – 362 с.

*Отримано 21.02.2007*