

ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОБУСУ НА БАЗІ СЕРІЙНОГО ШАСІ ГАЗ 2752 «СОБОЛЬ»

Драга О.В., магістрант, Ковбаса С.М., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Упродовж останнього десятиліття у світовій енергетиці відбулося чимало змін, що зумовили нові тенденції розвитку паливно-енергетичного комплексу та чинять вплив на енергетичну політику країн світу [1]. Значний відсоток у споживанні електроенергії припадає на міський електротранспорт, основними перевагами якого є екологічність, безшумність та висока місткість. В 2015 році підприємство «Електронтранс» презентувало 12-ти метровий електробус «Електрон». В 2017 році Міністерство інфраструктури України запропонувало законопроект який передбачає заходи зі стимулювання попиту на електричний транспорт, створення сприятливих умов для залучення стратегічних інвесторів та розвитку національного виробництва, покращення бізнес-клімату для малого та середнього бізнесу у сфері пасажирських перевезень, розвиток інфраструктури та підвищення комфорту володіння електричним транспортом.

Все це обумовлює актуальність проведення нових досліджень, пов'язаних як з вдосконаленням технічної частини електромобілів, так і з покращенням енергоефективності за рахунок створення нових алгоритмів керування.

Тому правильний розрахунок потужності електродвигуна та акумуляторної батареї(АКБ) є важливим не тільки з технічної точки зору, але й визначає економічні показники транспортного засобу, зокрема термін його окупності.

Метою роботи є розрахунок елементів електромеханічної системи для електробусу на базі шасі ГАЗ 2752, який є одним з найбільш розповсюджених для малотоннажних міських перевезень.

Матеріали і результати досліджень. При розрахунку потужності електродвигуна необхідно знати такі параметри транспортного засобу(ТЗ): повна маса електромобіля $m = 2800$ кг; радіус коліс $R_k = 0.276$ м; маса одного колеса $m_k = 55$ кг; передатне відношення диференціала $i_d = 5.15$; передатне відношення редуктора $i_p = 1.8$; момент інерції тягового АД $J_d = 0.085$ кгм² [2]. Основними параметрами руху ТЗ є: загальний пройдений шлях ТЗ від однієї зарядки, максимальне прискорення, що розвиває досліджуваний ТЗ $a_m = b_m = 1.475$ м/с², максимальна усталена швидкість $V_m = 91$ км/год (25.3 м/с), номінальна усталена швидкість (швидкість ТЗ при номінальній швидкості приводного двигуна) $V_n = 50$ км/год (13.89 м/с), Коефіцієнт тертя кочення колес по асфальту $f_r = 0.012$, Щільність повітряного потоку $\xi = 1.225$ (кг/м³), аеродинамічний коефіцієнт $C_w = 0.8$, фронтальна площа $A_f = 4.5$ (м²).

Для розрахунку потужності тягового електроприводу скористаємось методикою [3], в основу якої покладено метод еквівалентного моменту.

Сумарний момент інерції, що приведений до валу двигуна дорівнює:

$$J = J_m + J_\partial + J_k = m \cdot \frac{R_k^2}{i^2} + J_\partial + \frac{4 \cdot m_k \cdot R_k^2}{2 \cdot i^2} = 2.6646 (\text{кг} \cdot \text{м}^2) \quad (1)$$

де J_m – приведений момент інерції ТЗ; J_k – сумарний момент коліс ТЗ; i – добуток передатного відношення редуктора і диференціала.

Динамічний момент двигуна:

$$M_\partial = J \cdot \frac{a_m \cdot i}{R_k} = 2.6646 \cdot \frac{1.475 \cdot 5.15 \cdot 1.8}{0.276} = 132 (\text{Нм}). \quad (2)$$

Максимальний пусковий двигуна M_n та максимальний гальмівний момент M_c , виходячи з теорії електроприводу, дорівнюють:

$$M_n = M_m + M_c = 132 + 15 = 147 (\text{Нм}), \quad (3)$$

$$M_c = M_c - M_m = 15 - 132 = -117 (\text{Нм}). \quad (4)$$

де $M_c = 15$ Нм – усереднене значення статичного моменту, зумовлене силами тертя.

Для подальшого визначення потужності розрахуємо еквівалентний момент двигуна за цикл руху [4], рис.1. Для цього, з графіку зміни лінійної швидкості досліджуваного ТЗ, що зображено на рис. 1а, знайдемо лінійне прискорення ТЗ. Використовуючи масив траєкторії лінійної швидкості «Dynamometer Drive Schedules», розрахунок лінійного прискорення буде вестись за наступною формулою:

$$a_j = \frac{V_{j+1} - V_j}{t_{j+1} - t_j} \quad (5)$$

де j - порядковий номер елементу в масиві даних.

Результати розрахунку лінійного прискорення зображені на рисунку 1б.

Згідно з теорією електропривода швидкість обертання валу двигуна буде знайдена за наступним співвідношенням:

$$\omega_j = \frac{V_j \cdot i}{R_k} \quad (6)$$

На основі отриманих даних та розрахованому сумарному моменту інерції транспортного засобу будується навантажувальна діаграма двигуна, як показано на рис. 1в.

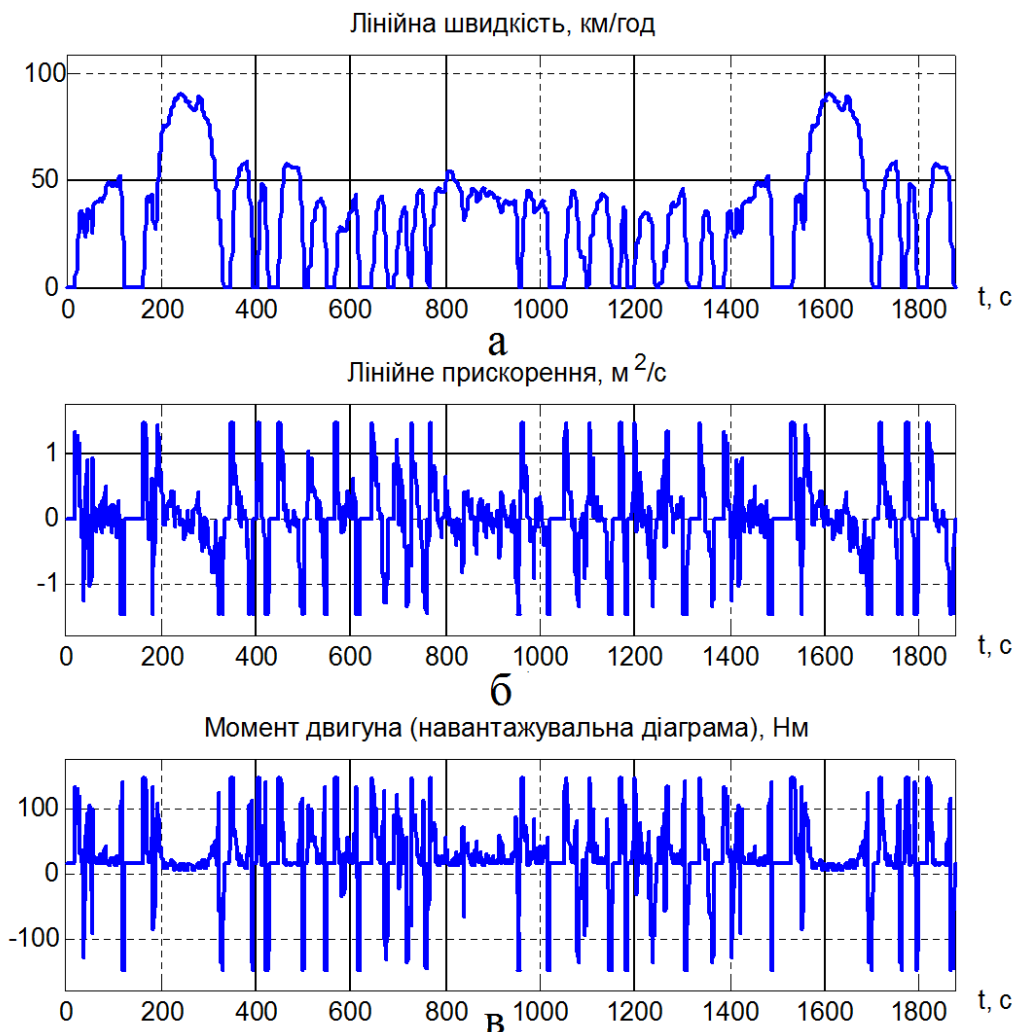


Рисунок 1 - Графіки зміни швидкостей, прискорення ТЗ в міському циклі та навантажувальна діаграма при $M_c = const$ (а - лінійна швидкість; б - лінійне прискорення; в – момент двигуна (навантажувальна діаграма))

Визначення значення еквівалентного моменту двигуна відбувається шляхом чисельного інтегрування навантажувальної діаграми. Отримаємо:

$$M_e = \sqrt{\frac{1}{T_u} \int_0^{T_u} M^2(t) dt} = 62.9182 (\text{Н} \cdot \text{м}) . \quad (7)$$

Потужність двигуна, що буде задовільняти даний цикл, розраховується за формулою:

$$P_{дв} = k_z \cdot M_e \cdot \omega_n = 1.3 \cdot 62.9182 \cdot 314 = 25.6832 (\text{кВт}) , \quad (8)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу. Приймаємо рівним $k_3 = 1.3$, ω_n – номінальна швидкість обертання вала двигуна.

Із каталогу електродвигунів оберемо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором моделі 4A180M2УЗ $P_{двн} = 30$ кВт, $\omega_{нд} = 308.504$ рад/с, $M_{двн} = 97.243$ Нм.

Розрахунок ємності акумуляторної батареї ТЗ ведеться на основі графіку швидкості транспортного засобу, що зображено на рис. 1а. Загальний пройдений шлях ТЗ можливо отримати шляхом чисельного інтегрування траєкторії руху.

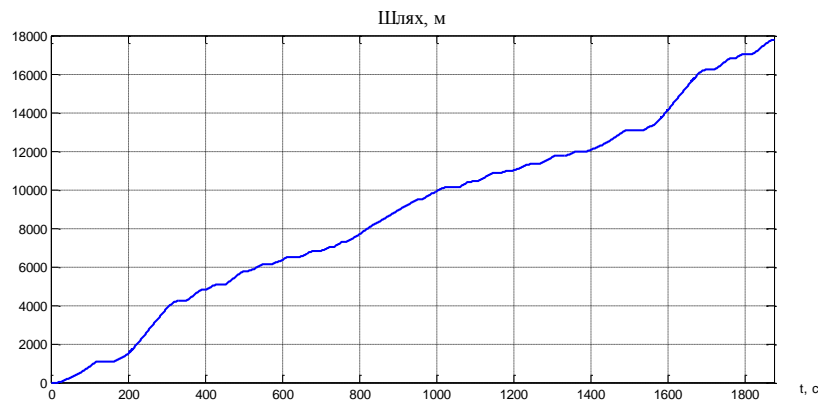


Рисунок 2 – Шлях, пройдений ТЗ за один цикл

Для розрахунку енергії акумуляторної батареї скористаємось методикою [5].

Повна енергія АКБ

$$W_{акум.бат} = W_{тертя} + W_{ел}, \quad (9)$$

де $W_{тертя}$ – енергія втрат, зумовлена силами тертя та аеродинамічним опором; $W_{ел}$ – втрати при перетворенні електричної енергії в кінетичну.

$$W_{тертя} = \frac{1}{T} \int_0^T \left(mgf_r + \frac{1}{2} \xi C_w A_f V^2 \right) \cdot V dt, \quad (10)$$

де $T = 1875$ с — кінцевий час маршрутного циклу; $g = 9.81 \frac{м}{с^2}$ – прискорення вільного падіння.

$$W_{ел} = (1 - \eta_{\Sigma}) \cdot \frac{1}{T} \int_0^T m \frac{dV}{dt} \cdot V dt \quad (11)$$

де сумарний ККД електромеханічної системи $\eta_{\Sigma} = \eta_{инв} \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{ред} = 0,97 \cdot 0,885 \cdot 0,98 = 0,84$.

З формул (10) і (11) методом чисельного інтегрування, знаходимо необхідний запас енергії акумуляторної батареї для забезпечення подолання шляху в 250 км за один робочий цикл.

$$W_{250} = \frac{W_{\text{аккумулятор}} \cdot 250}{S} = 260,18 \text{ (МДж)} \quad (12)$$

де $W_{\text{аккумулятор}} = 18,49 \text{ МДж}$ — для маршрутного циклу в $S = 17,76 \text{ км}$

$$I_h = \frac{W_{250}}{3600 \cdot U_{dc}} = \frac{260,18 \cdot 10^6}{3600 \cdot 540} = 133,836 \text{ (А} \cdot \text{год)} \quad (13)$$

Потужність акумуляторної батареї складатиме:

$$P_b = I_h \cdot U_{dc} = 133,836 \cdot 540 = 72,3 \text{ (кВт} \cdot \text{год)} \quad (14)$$

Виберемо для практичної реалізації елемент типу P161N22 [6], номінальні параметри якого: $U = 3,7 \text{ (В)}$, $I_h = 22 \text{ (А} \cdot \text{год)}$, $m = 0,51 \text{ кг}$. Для досягнення необхідних параметрів акумуляторної батареї необхідно з'єднати 146 елементів послідовно, та шість гілки по 146 елементів паралельно. Номінальні параметри даної АКБ будуть наступними: $I_h = 132 \text{ (А} \cdot \text{год)}$, $U_{dc} = 540 \text{ (В)}$. Маса АКБ становитиме близько 450 кг.

Висновки. Представлено результати розрахунку силових елементів електромеханічної системи електромобіля на базі стандартного шасі ГАЗ 2752. Встановлено, що номінальна потужність приводного двигуна для експлуатації в умовах міського циклу має складати 30 кВт, а потужність акумуляторної батареї 72 кВт при запасі ходу в 250 км.

Перелік посилань

1. К.Маркевич «Глобальні енергетичні тренди крізь призму національних інтересів України.» / Аналітична доповідь. – Київ: Заповіт, 2016. – 118с.
2. ГАЗ 2752, 2310, 2217, 22171 Соболь Руководство по ремонту. // Третий Рим. – №3. – 212с.
3. Мельник О.О., Пересада С.М. «До визначення потужності тягового асинхронного електропривода міського електробуса»/ Доповіді за матеріалами Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики. — Київ: «Політехніка», 2016. – 259с.
4. Appendix C - Orange County Bus Cycle [Електронний ресурс] // ARB. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arb.ca.gov/regact/bus02/appc.pdf>.
5. *Design and Control of the Induction Motor Propulsion of an Electric Vehicle*. В. Tabbache, А. Kheloui and М.Е.Н. Benbouzid, 2010.
6. Технічна документація для АКБ типу P161N22 [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://en.calb.cn/product/show/?id=631>