

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ В ЕЛЕКТРОМОБІЛІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ

Ланцов Дмитро Олегович, ст. гр. АА-41
dmitriy.lancov.97@gmail.com

Актуальність роботи: сьогодні в містах інтенсивність руху автомобілів, а також недосконалість дорожньої інфраструктури обмежують середню швидкість автомобілів. Вона, згідно даних статистичного порталу [1], в середньому складає 40-50 кілометрів за годину. Такий режим руху негативно впливає на витрату палива автомобіля і знижує його дальність ходу. Якщо для бензинового або дизельного двигуна проблема збільшення витрат і зменшення дальності ходу не є критичною, то для електромобілів, у яких дальність ходу є ключовою проблемою, рух у пробках суттєво зменшує пробіг. Щоб збільшити ККД електродвигуна на малих швидкостях та сталому русі електромобіля пропонується використати коробку передач.

Мета дослідження: збільшення ККД двигуна електромобіля при русі в містах.

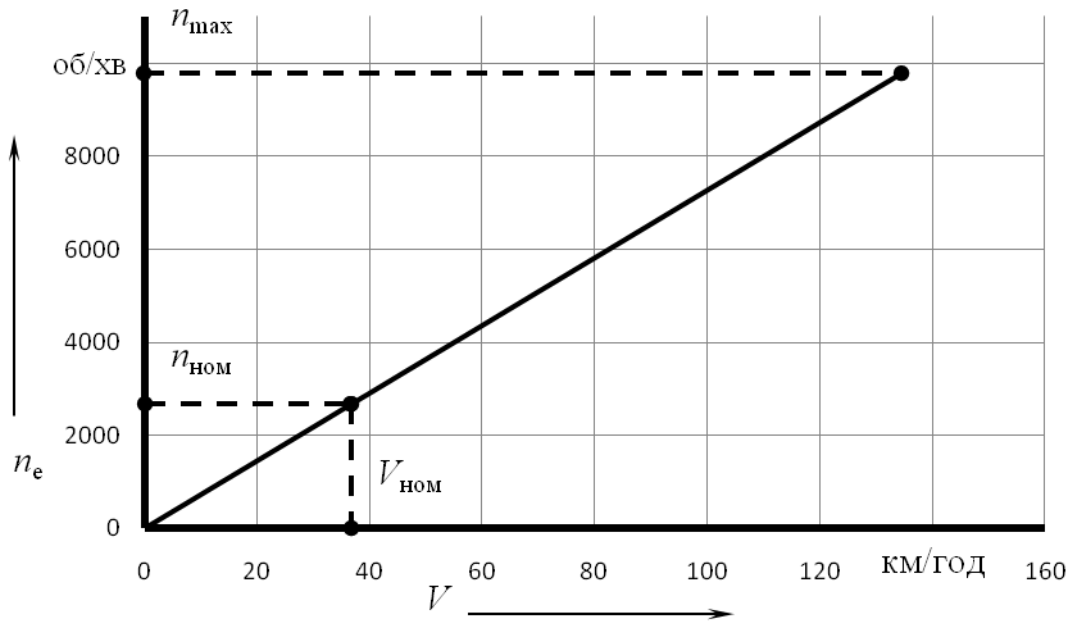
Об'єкт дослідження: енергоефективність руху електромобіля при малих навантаженнях.

Предмет дослідження: вплив характеристик трансмісії на енергоефективність руху електромобіля.

Одні з головних переваг електродвигуна над ДВЗ є його великий крутний момент, а також можливість зміни напрямку руху без використання додаткових механізмів. Такі переваги дали можливість конструктору електромобіля відмовитися від коробки передач. Відсутність коробки передач зменшила механічні втрати, зменшила масу електромобіля, а також знизила його собівартість. Проте у електродвигуна є одна неприємна особливість – чим менше його частота обертання, тим нижче його ККД, а оскільки в електромобілі залежність між швидкістю автомобіля і частотою обертання двигуна лінійна, то при русі з малою швидкістю частота двигуна буде невеликою (рисунок 1).

Коефіцієнт корисної дії електродвигуна показує, яку частину споживаної активної потужності двигун перетворює на корисну роботу. Номінальне значення ККД вказується на паспорті двигуна.

Коефіцієнт корисної дії електродвигуна залежить від його навантаження. (приклад приведено на рисунку 2). При зменшенні навантаження двигуна ККД зменшується, а це означає, що двигун неефективно використовує спожиту електроенергію.



n_e – частота обертання електродвигуна; n_k – частоти обертання колеса без буксування.

Рисунок 1 – Залежність частоти обертання електродвигуна Nissan E-NV-200 від частоти обертання його колеса без буксування

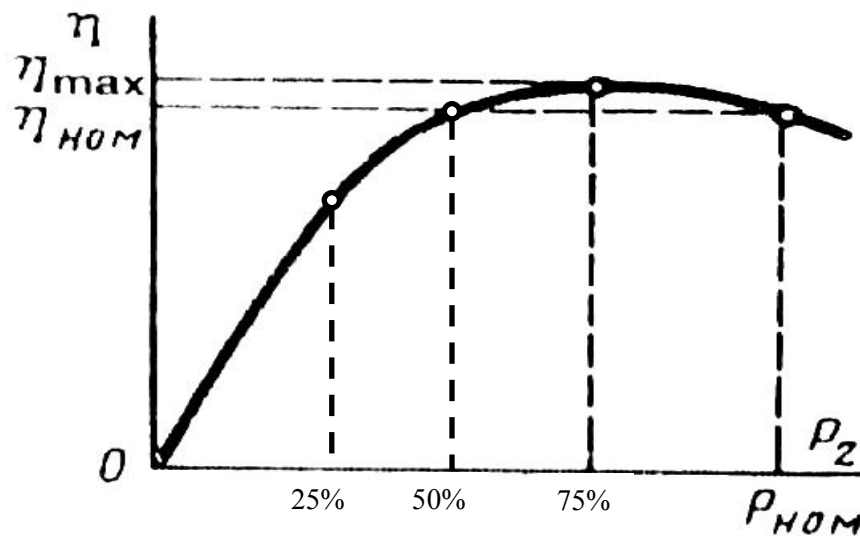


Рисунок 2 - Залежність ККД електродвигуна від коефіцієнта завантаження [2]

Номінальні втрати потужності визначаються за формулою:

$$\Delta P = P_{\text{НОМ}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{НОМ}}} - 1 \right), \quad (1.1)$$

де ΔP - номінальні втрати потужності;
 $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність електродвигуна, кВт;
 $\eta_{\text{ном}}$ - номінальний ККД електродвигуна.

Втрати потужності при певному навантаженні визначаються за формулою:

$$\Delta P_1 = P_1 \left(\frac{1}{\eta_1} - 1 \right), \quad (1.2)$$

де ΔP_1 - втрати потужності;
 P_1 - потужність електродвигуна, кВт;
 η_1 - ККД електродвигуна при навантаженні P_1

Залежність ККД електродвигуна від коефіцієнта завантаження приведено на рисунку 2:

Згідно з джерелом [2] залежність ККД електродвигуна від навантаження може змінювати своє значення:

- Для холостого ходу - 0;
- При 25% навантаженні - 0,83;
- При 50% навантаженні - 0,87;
- При 75% навантаженні - 0,88;
- При 100% навантаженні - 0,87;

Оскільки визначення ККД на певній потужності можливо лише експериментальним шляхом введемо подальші допущення:

- Момент двигуна сталий на всіх обертах.
- ККД до 25% навантаження змінюється за залежністю навантаження електродвигуна.

Для подальшого аналізу в якості прикладу використаємо параметри електромобіля Nissan E-NV-200. Параметри авто зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Параметри автомобіля Nissan E-NV-200.

Параметри		Модель NISSAN E-NV200
Назва	Од.	
1	2	3
1 Вид автомобіля		Вантажний
2 Число пасажирів, $n_{\text{п}}$		2
3 Споряджена маса, m_0	кг	1350
4 Повна маса, m_a	кг	2000
5 Максимальна швидкість, V_{max}	км/год	135
6 Тип двигуна		Електричний
7 Максимальна потужність двигуна, N_{max}	кВт	70
8 Частота обертання колінчатого валу при максимальній потужності, n_N	об/хв.	2600

Продовження таблиці 1

1	2	3
9 Максимальний крутний момент двигуна M_{emax}	Н·м	280
10 Частота обертання колінчатого валу при максимальному крутному моменті, n_M	об/хв.	2600
11 Передавальні числа головної передачі, u_0		8,22
12 Маса, яка приходить на ведучі колеса, m_B	кг	1080
13 Маркування шин		175/70 R14
14 Статичний радіус колеса з навантаженням, r_c	м	0,30
15 Габаритна висота, H	м	1,867
16 База, L	м	2,926
17 Коля передніх коліс, B	м	1,49
18 Коефіцієнт опору повітря, k_v	Н·с ² /м ⁴	0,38
19 Коефіцієнт аеродинамічного опору C_x		0,125
20 ККД трансмісії, η_T		0,95

Необхідну потужність для руху АТЗ з максимальною швидкістю визначимо за формулою:

$$N_v = \frac{\psi_v \cdot m_a \cdot g \cdot V_{\text{max}}}{\eta_T \cdot 3600} + \frac{k_v \cdot F_a \cdot V_{\text{max}}^3}{46656 \cdot \eta_T}, \quad (1.3)$$

де V_{max} - максимальна швидкість, км/год;
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;
 ψ_v - коефіцієнт сумарного дорожнього опору, яке може подолати автомобіль при максимальній швидкості;
 k_v - коефіцієнт опору повітря;
 F_a - лобова площа АТЗ, м²;
 η_T - ККД трансмісії.

Площа лобової поверхні АТЗ визначаємо по формулі:

$$F = m_f \cdot B \cdot H, \quad (1.4)$$

де $m_f=1,05$ - коефіцієнт заповнення лобової площі вантажного автомобіля з кузовом типу фургон.

Рівняння балансу потужності можуть бути виражені через потужність двигуна N_e :

$$N_e - N_r - N_\psi - N_w - N_j = 0, \quad (1.5)$$

або через потужність на колесах N_k :

$$N_k - N_r - N_\psi - N_w - N_j = 0, \quad (1.6)$$

де N_r - потужність, яка втрачається в трансмісії;

N_ψ, N_w - потужність витрачається на подолання відповідно сумарних дорожніх опорів і опору повітря;

N_j - потужність використовується для розгону.

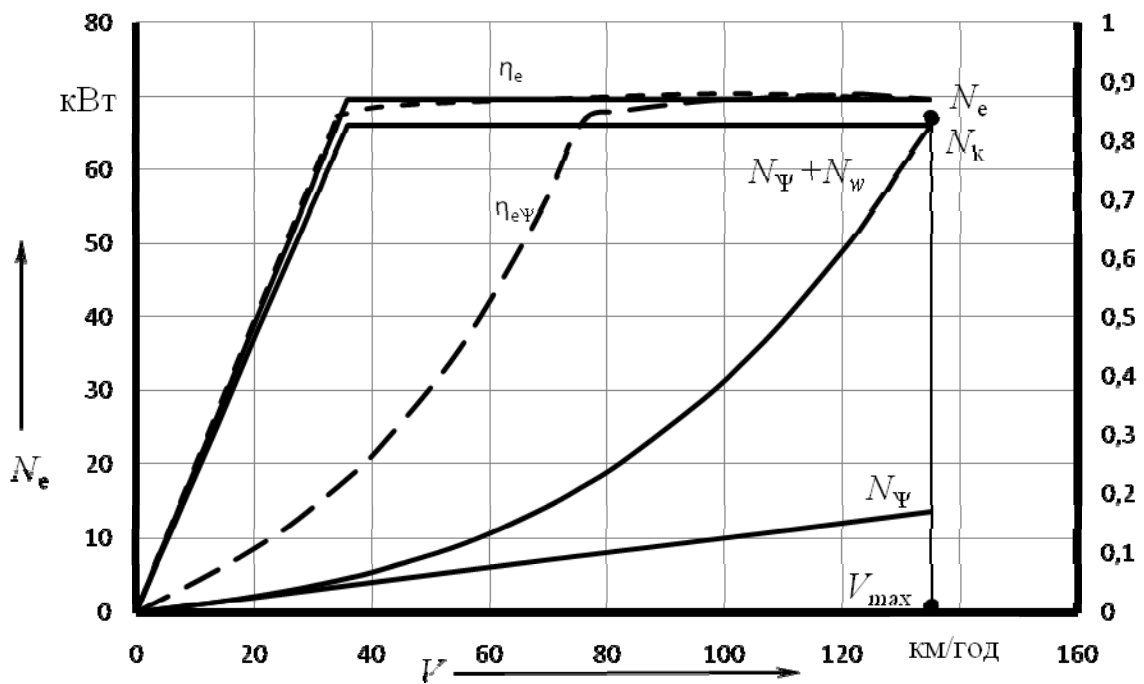
Якщо автомобіль рухається з постійною швидкістю без прискорень та уповільнень, то потужність двигуна буде споживатись на подолання потужностей супротиву дороги та повітря з урахуванням втрат трансмісії.

Такий режим руху суттєво зменшує ККД електродвигуна, що зображено на рисунку 3.

Для побудування графіків використаємо дані з таблиці 1.

Введемо подальші допущення:

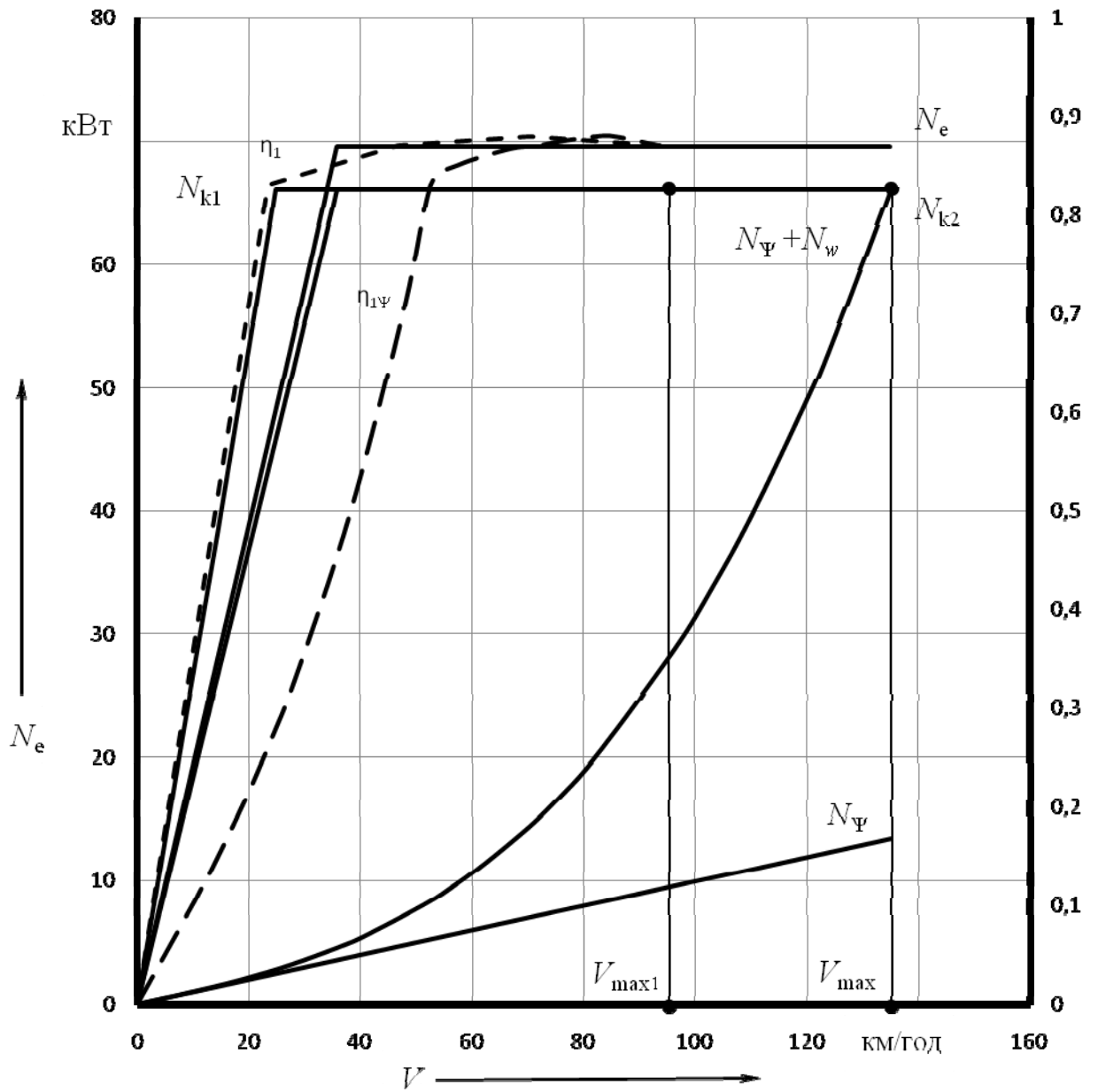
- Потужність двигуна змінюється лінійно до номінального значення, а при подальшому збільшенні обертів буде сталим;
- ККД коробки передач при зміні передатного числа не змінюється.



η_e - ККД електродвигуна; $\eta_{e\psi}$ - ККД електродвигуна при сталому русі; V_{max} - максимальна швидкість автомобіля Nissan E-NV-200.

Рисунок 3 – Графік балансу потужності електромобіля та ККД електродвигуна Nissan E-NV-200 при русі з постійною швидкістю.

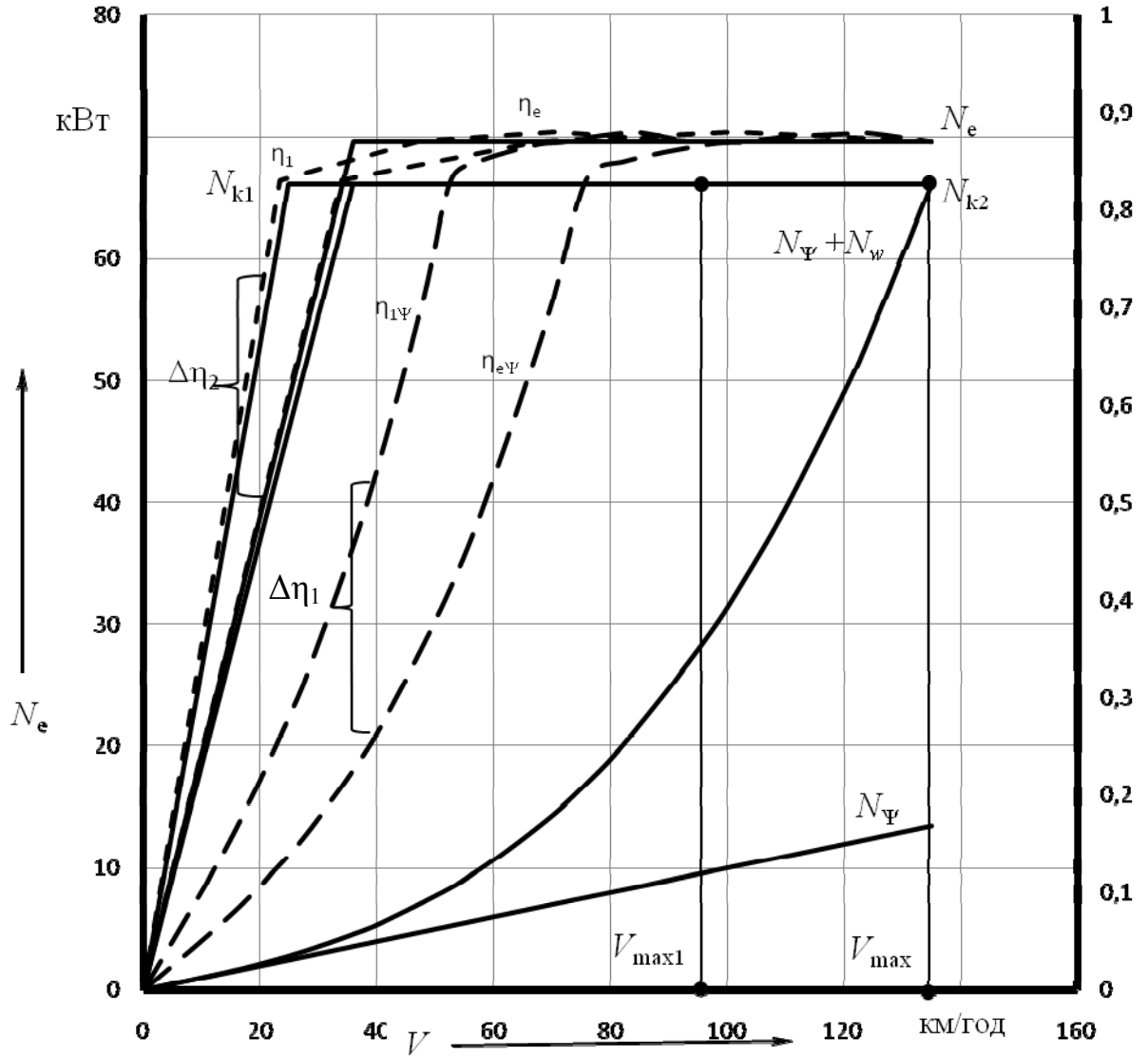
Тепер проведемо розрахунок балансу потужності з передатним числом першої передачі(робити більше двох передач не має сенсу) $U_{k1} = 1,44$. Побудуємо ККД електродвигуна з передатним числом $U_{k1} = 1,44$.



$\eta_{1\Psi}$ – ККД електродвигуна при сталому русі з передатним числом $U_{k1} = 1,44$; η_1 – ККД електродвигуна у режимі максимального навантаження при русі з передатним числом $U_{k1} = 1,44$; V_{max1} – максимальна швидкість автомобіля Nissan E-NV-200 на нижчій передачі; N_{k1} – потужність на колесах на нижчій передачі; N_{k2} - потужність на колесах на вищій передачі.

Рисунок 4 – Графік балансу потужності електромобіля та ККД електродвигуна Nissan E-NV-200 при русі з постійно швидкістю на нижчій передачі

Тепер для аналізу зведемо дані з рисунка 3 і рисунка 4 в рисунок 5



$\Delta\eta_1$ – різниця ККД електродвигуна у сталому режимі руху; $\Delta\eta_2$ - різниця ККД електродвигуна у режимі максимального навантаження.

Рисунок 5 – Графік балансу потужності електромобіля та ККД електродвигуна Nissan E-NV-200 при руху у сталому режимі та у режимі максимального навантаження з використанням підвищеної передачі та без неї

З рисунку 6 можна побачити, що при сталому русі на невеликих швидкостях у режимі сталого руху (наприклад при русі зі швидкістю 40 км/год - рисунок 6) та при русі у режимі максимального навантаження ККД електродвигуна збільшується. Це обумовлено тим, що зі збільшенням передатного числа трансмісії оберти двигуна збільшуються, при тому, що оберти ведучих коліс не змінюються, а чим вище його оберти – тим більше навантаження – тим вище його ККД. Залежність обертів від навантаження приведена на рисунку 1.

Висновки

Використання коробки передач позитивно впливає на підвищення економічності електродвигуна. Якщо автомобіль рухається зі сталою невеликою швидкістю, то значно збільшується ККД двигуна, а отже збільшуємо дальність ходу. Хоча при роботі у режимі максимального навантаження ККД збільшується не значно. Отже використання коробки передач, а саме передавальних чисел трансмісії обов'язковий варіант для збільшення запасу ходу в населених пунктах.

Література

1. Статистичний портал [statista.com](http://www.statista.com/statistics/264703/average-speed-in-europes-15-most-congested-cities/) - www.statista.com/statistics/264703/average-speed-in-europes-15-most-congested-cities/
2. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — 3-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 575 с. — (Высшее профессиональное образование). — 1000 экз. — ISBN 978-5-7695-4497-2.
3. Науковий портал Студопедия.Орг (studopedia.org) — <https://studopedia.org/10-397.html>

Науковий консультант: Шуклінов С.М., проф. кафедри автомобілів