

ФОРМУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКУ ДВИГУНІВ АВТОБУСІВ

© Немий С.В., Вайда І.Р., 2009

Розглянуто основні фактори, що впливають на експлуатаційну ефективність системи електростартерного пуску (СЕП) двигунів автобусів. Наведено результати досліджень особливостей вібраційних та температурних навантажень акумуляторних батарей автобусів. Визначено величину опору маси (кузова) автобуса, необхідну для розрахунку площі перерізу стартерного проводу. Обґрунтовано рекомендації щодо компоновки акумуляторних батарей на автобусах.

Basic factors which influence on operating efficiency of the system of the electro-starter starting of engines of busses were considered. The results of researches of features of the vibration and temperature loadings of storage batteries of busses were resulted. The size support of mass (basket) of bus, necessary for the calculation of area to the cut of starter wire was certainly. Recommendations in relation to arrangement of storage batteries on busses were grounded.

Постановка проблеми. Експлуатаційна ефективність автомобіля чи автобуса залежить від експлуатаційної ефективності його функціональних систем, зокрема від системи електростартерного пуску (СЕП) двигунів. До вказаної системи висувається основна вимога: забезпечити надійний пуск двигуна в діапазоні зміни зовнішньої температури повітря в регіоні експлуатації за заданої максимальної довговічності акумуляторних батарей. Важливе значення має і вага складових елементів СЕП – акумуляторні батареї, стартер, комутуюча апаратура, з'єднувальні проводи.

Аналіз відомих досліджень та публікацій. Оpubліковані теоретичні основи СЕП [4, 5, 6, 7] висвітлюють загальні методи розрахунків та вимог щодо експлуатаційних режимів СЕП. Однак у них відсутні конкретні дані по вібраційних та температурних навантаженнях акумуляторних батарей, які впливають на їх довговічність. Крім того відсутні дані по електричному опорі маси (кузова) автобусів, які необхідні для розрахунку стартерного кола.

Постановка задачі. Метою роботи є визначення основних задач під час проектування СЕП автобусів, враховуючи умови експлуатації, дослідження особливостей вібраційних та температурних навантажень акумуляторних батарей автобусів та отримання експериментальних даних щодо електричного опорю маси (кузова) автобусів, які необхідні для розрахунку стартерного кола.

Основний матеріал. Першочерговими задачами під час проектування СЕП автобусів є: 1 – забезпечення пускових властивостей двигуна з врахуванням кліматичних умов експлуатації; 2 – досягнення заданої довговічності акумуляторних батарей; 3 – мінімізація ваги складових елементів СЕП на основі розрахунку перерізу проводів та ємності акумуляторних батарей, достатньої для забезпечення пускових властивостей двигуна.

Вага елементів СЕП сучасних автобусів може перевищувати 1500 Н, що становить 1,3–1,7 % ваги спорядженого автобуса, або 17–20 % ваги його двигуна. Основними елементами СЕП, що впливають на її вагу, є акумуляторні батареї, стартер, з'єднувальні проводи. Наприклад, у між-міського автобуса моделі ЛАЗ-5207 вага акумуляторних батарей становить 1200 Н, з'єднувальних

проводів – 80 Н. СЕП характеризується порівняно низькою питомою потужністю (відношення номінальної потужності стартера до ваги складових елементів СЕП). Наприклад, у великого міського автобуса моделі ЛіАЗ-5256 питома потужність СЕП становить 5,2 Bm/H при питомій потужності двигуна 21,5 Bm/H . Із наведеного зрозуміло, що важливою конструкторською задачею є зменшення маси конструктивних елементів СЕП під час проектування та модернізації автобусів. Цю задачу, на наш погляд, розв'язують у двох напрямках оптимізацією: 1) ваги стартерної електромережі; 2) ємності акумуляторних батарей.

СЕП повинна забезпечити пускові властивості двигуна, які залежать від мінімальної частоти обертання колінчатого вала двигуна та середнього моменту опору його прокручування [4, 5, 6, 7]. Пускова потужність, Bm , визначається за формулою

$$P_n = \frac{M_o P n_{\min}}{30}, \quad (1)$$

де M_o – середнє значення моменту опору прокручування двигуна, Hm ; n_{\min} – мінімальне значення пускової частоти обертання колінчатого вала двигуна, δa^{-1} .

Середнє значення моменту опору прокручування двигуна, Hm , визначається за емпіричною формулою [4]

$$M_o = 390V_h \left[e + 6\sqrt{d_i} + k_i \left(1 + \frac{d_i^2}{8} \right) \sqrt{n \frac{P n_{cp}}{30}} \right], \quad (2)$$

де V_h – робочий об'єм циліндрів двигуна, m^3 ; e – ступінь стиску; d_i – коефіцієнт нерівномірності обертання колінчатого вала; k_i – коефіцієнт, що дорівнює 3,8 для бензинових двигунів та 2,8 для дизельних; n – кінематична в'язкість оливи двигуна, Sm ; n_{cp} – середнє значення частоти обертання колінчатого вала двигуна в режимі його сталого прокручування, xv^{-1} .

Як очевидно у формулі (2), за заданих конструктивних параметрів двигуна, важливим змінним параметром, що впливає на момент опору прокручування двигуна, є кінематична в'язкість оливи. Кінематична в'язкість оливи, залежно від температури, змінює своє значення у широких межах. Наприклад, її значення за температури -20 °C є у кілька разів більшою, ніж за температури 0 °C [7]. Ця обставина є однією із основних причин труднощі пуску двигуна за низьких температур повітря, особливо після тривалих стоянок. Серед інших причин, що затрудняють пуск двигуна за низьких температур, є:

- збільшення в'язкості пального і зниження його випаровуваності, що негативно впливає на перебіг процесів сумішоутворення і спричинює збільшення мінімального значення пускової частоти обертання колінчатого вала двигуна;
- погіршення умов для займання та згоряння робочої суміші у разі зменшення тиску і температури стискування;
- погіршення характеристик системи запалювання бензинових двигунів через значний спад напруги на клеммах акумуляторної батареї під час роботи у стартерному режимі.

Ці обставини вимагають врахування мінімального значення температури повітря, враховуючи показники клімату регіону експлуатації. Статистичні дані стосовно середньої добової температури повітря деяких регіонів, для прикладу, представлені кількістю днів у році за інтервалами її значення, наведено у табл. 1 [1]. Ймовірність досягнення інтервалу мінімальних значень температур не перевищує 0,1.

Значення середньої добової температури повітря

Кліматичний район	Пункт	Кількість днів у році із середньою добовою температурою повітря, діб						
		Середня добова температура повітря, °С						
		-39,9 до 30,0	-	-29,9 до -20,0	-19,9 до -10,0	-9,9 до 0,0	0,1 до 10,0	10,1 до 20,0
Помірний	Москва	0,6		6,9	37,6	91,8	96,3	108,4
Помірно теплий	Київ			1,0	18,3	80,1	103,9	119,4
Помірно теплий вологий	Мінськ	<0,1		2,4	22,4	87,6	112,1	121,3
Помірно теплий вологий	Рига			1,3	15,5	74,4	129,1	125,1
Помірно теплий з м'якою зимою	Одеса			0,3	4,4	50,9	119,9	115,9

Із зниженням температури електроліту акумуляторів електрична ємність батареї зменшується. Однак слід відзначити, що електроліт є доволі інертним стосовно зміни температури (рис. 1) [5]. На рисунку бачимо, що у разі непрацюючого двигуна на відкритій стоянці температура електроліту досягає значення температури навколишнього повітря практично через 15–17 год. Мінімальне значення ємності акумуляторних батарей визначають, враховуючи температурні умови експлуатації та конструктивні параметри двигуна, що впливають на значення моменту опору його прокручуванню.

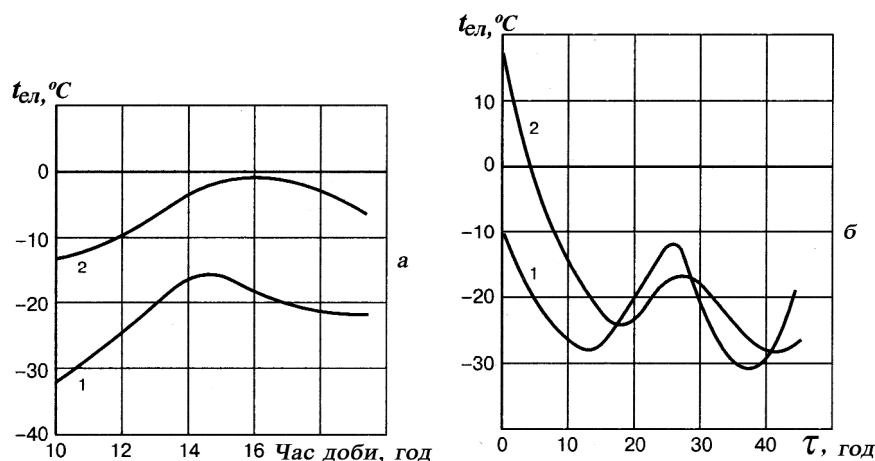


Рис. 1. Зміна температури електроліту $t_{эл}$ не утепленої акумуляторної батареї:
а – під час руху автомобіля; б – під час стоянки автомобіля;
1 – температура навколишнього повітря; 2 – температура електроліту

Умова забезпечення пускових властивостей двигуна відображується залежністю

$$M_c \geq \frac{M_o}{u_c h_c}, \quad (3)$$

де M_c – електромагнітний крутний момент стартера; u_c – передавальне відношення маховик – шестерня стартера; h_c – ККД зубчатої передачі стартер-маховик.

Електромагнітний крутний момент стартера M_c , Нм, визначається за формулою [4]

$$M_c = \frac{60 I_{я} E_{я}}{2\pi n}, \quad (4)$$

де $I_{Я}$ – струм в обмотці якоря стартера, A ; $E_{Я}$ – електрорушійна сила (ЕРС), що індукується в обмотці якоря, B ; n – частота обертання якоря, $xв^{-1}$.

Електрорушійну силу, що індукується в обмотці якоря, обчислюють за формулою

$$E_{Я} = E_A - \Delta U_{щ} - I_{Я}(R_A + R_C + R_{KC} + R_B + R_{ПМ}), \quad (5)$$

де E_A – ЕРС акумуляторної батареї; $\Delta U_{щ}$ – спад напруги у щітковому контакті; R_A – внутрішній опір акумуляторної батареї; R_C – сумарний опір послідовної обмотки збудження та обмотки якоря; R_{KC} – опір на рухомому контакті стартера; R_B – опір на рухомому контакті вимикача маси акумуляторної батареї; $R_{ПМ} = R_{СП} + R_M + R_{П}$ – сумарний опір стартерного проводу $R_{СП}$, маси автобуса R_M та масової перемички між двигуном і кузовом $R_{П}$.

ЕРС акумуляторної батареї за певного ступеня розрядженості, її внутрішній опір, спад напруги у щітковому контакті, сумарний опір послідовної обмотки збудження та обмотки якоря, опір на рухомих контактах стартера та вимикача маси акумуляторної батареї, опір масової перемички між двигуном і кузовом задаються у технічних умовах (характеристиках) вказаних виробів або визначаються за загальновідомими методами [4, 5, 6, 7]. Тоді під час проектування стартерного кола необхідно розрахувати допустиме значення опору стартерного проводу $R_{П}$. У цьому разі необхідно враховувати те, що згідно з вимогами до параметрів стартерного кола автомобілів і автобусів [4, 5] сумарний опір стартерного проводу та маси автобуса $R_{ПМ}$ не повинен перевищувати $0,002 \text{ Ом}$, тобто:

$$R_{ПМ} = R_{СП} + R_M + R_{П} \leq 0,002 \text{ і } R_{СП} \leq 0,002 - (R_M + R_{П}). \quad (6)$$

Згідно з відомою залежністю [5]:

$$R_{СП} = \rho \frac{l}{S}, \quad (7)$$

де ρ – питомий опір проводу; l – довжина проводу; S – площа перерізу проводу.

Тоді за формулами (6) і (7) отримаємо

$$S \geq \rho \frac{l}{0,002 - (R_M + R_{П})}. \quad (8)$$

Для розрахунку необхідного значення площі перерізу стартерного проводу необхідно знати величину опору маси (кузова) автобуса. З цією метою було виконано відповідні дослідження на автобусі ЛАЗ-4207. Акумуляторний відсік розташований у передньому звисі автобуса, ліворуч, двигун – у задньому звисі. Вимірювали за схемою подвійного моста. Застосовані прилади: міст одинарно-подвійний постійного струму Р-329; мілівольтметр М 45М; шунт 75 РІ; гальванометр НГ 55/1; перемикач. Результати вимірювання наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати вимірювання опору маси автобуса

Ділянка вимірювання	Опір, Ом
Масовий болт у акумуляторному відсіку – масовий болт двигуна у моторному відсіку	$6 \cdot 10^{-4}$
Масовий болт у акумуляторному відсіку – масовий болт на передній лівій частині каркасу кузова	$7 \cdot 10^{-4}$
Масовий болт у акумуляторному відсіку – масовий болт на передній правій частині каркасу кузова	$11 \cdot 10^{-4}$
Масовий болт у акумуляторному відсіку – масовий болт по середині каркасу кузова	$7 \cdot 10^{-4}$
Перехід контактів вимикача маси ВК-860	$2,5 \cdot 10^{-4}$

На довговічність акумуляторних батарей значно впливають чинники [4, 5, 6]: 1 – вібраційні навантаження; 2 – робоча температура електроліту; 3 – баланс електроенергії автобуса.

Вібраційні навантаження акумуляторних батарей формуються у місцях їх розташування, тобто особливостями вібраційних навантажень зон кузова, у яких вони розміщені. До того ж на вібраційні навантаження акумуляторних батарей впливають коливання двигуна. З метою оцінювання рівня вібраційного навантаження акумуляторних батарей, залежно від їх розташування, були виконані порівняльні випробування на автобусах моделей ЛіАЗ-5256 і ЛАЗ-42021. На автобусі ЛіАЗ-5256 акумуляторні батареї 6СТ-190 розташовані у задньому звісі, у моторному відділенні, праворуч від двигуна поряд із стартером. На автобусі ЛАЗ-42021 акумуляторні батареї 6СТ-180 розташовані в базі автобуса, ліворуч перед заднім колесом. Вимірювання вертикальних вібрацій виконували в русі зі швидкістю 20 км/год та на стоянках під час роботи двигуна на марному ході. Результати випробувань наведені на рис. 2.

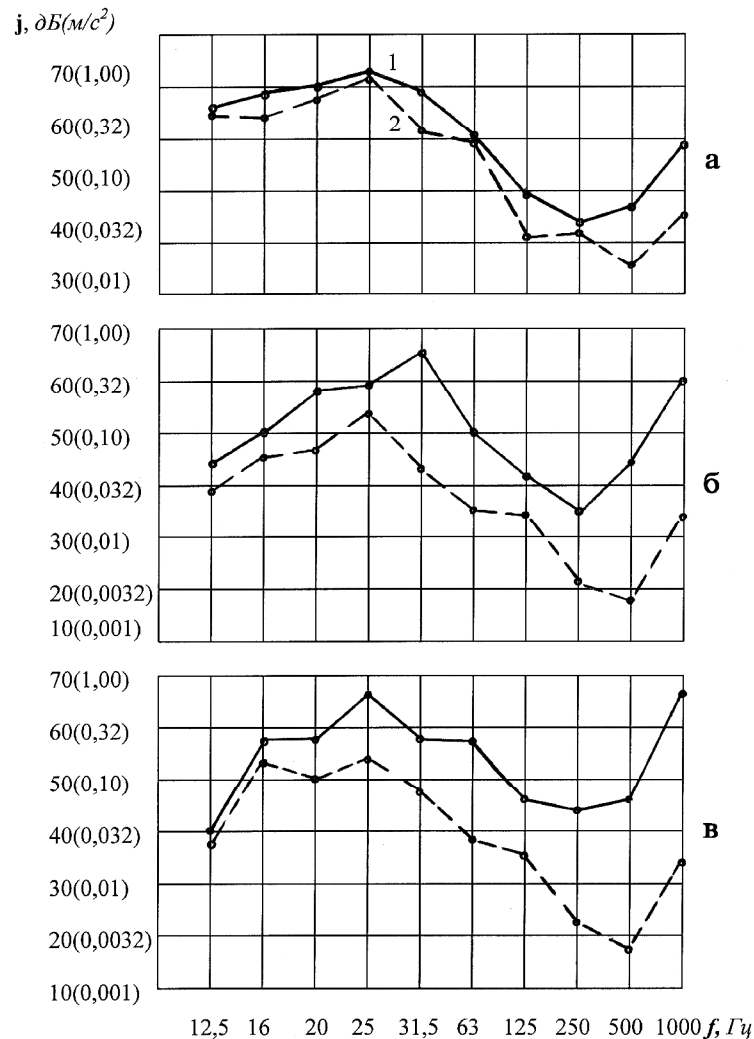


Рис. 2. Вібраційне навантаження акумуляторних батарей на автобусах:

а – рух зі швидкістю 20 км/год; б – марний хід двигуна, $n = 600xv^{-1}$;
в – марний хід двигуна, $n = 1000xv^{-1}$; 1 – ЛіАЗ-5256; 2 – ЛАЗ-42021

На всіх режимах випробувань, у разі розташування акумуляторних батарей поряд із двигуном, їхні вібраційні навантаження значно вищі, порівняно із розташуванням акумуляторних батарей в базі автобуса – у разі їх віддалення від двигуна. Крім того треба враховувати, що згідно з дослідженнями [2], тривалість роботи двигунів автобусів на марному ході від загального часу роботи становить, %: в місті 20–45; за містом – 14.

Робоча температура електроліту в акумуляторах не повинна перевищувати 50 °С [5]. На рис. 1 бачимо, що при тривалій роботі температура електроліту в акумуляторах більша від значення температури зовнішнього повітря на 15–20 °С. Згідно з дослідженнями [3], різниця між значеннями температури у моторному відділенні автобусів, у зоні можливої установки акумуляторних батарей та температури зовнішнього повітря, може становити понад 50 °С (табл. 3).

Таблиця 3

Різниця між значеннями температури в моторному відділенні автобусів, у зоні можливої установки акумуляторних батарей та температури зовнішнього повітря

Марка автобуса	Умови експлуатації	Різниця між значеннями температури °С	
		середня	максимальна
ЛАЗ-695Н	шосе	52,2	62,0
ЛіАЗ-5226	місто	40,0	56,0
ЛАЗ-4202	шосе	49,3	62,0

Отриманими результатами щодо вібраційних та температурних навантажень акумуляторних батарей пояснюється причина їх низької довговічності на перших зразках автобусів ЛіАЗ-5256, на яких акумуляторні батареї були розташовані в моторному відділенні. Ресурс акумуляторних батарей практично не перевищував літнього періоду експлуатації: 15– 20 тис. км пробігу (обсипання активної маси з пластин з їх подальшим замиканням). Для усунення вказаного недоліку компоновка акумуляторних батарей на автобусах ЛіАЗ-5256 була змінена. Акумуляторні батареї перенесли в базу автобуса і їхній передчасний вихід з ладу припинився.

Висновки. 1. Довговічність акумуляторних батарей автобусів, як показник експлуатаційної ефективності СЕП, значною мірою залежить від особливостей їх компоновки на автобусах.

2. Досліджено особливості вібраційних і температурних навантажень акумуляторних батарей, залежно від їх компоновки на автобусах.

3. Отримано експериментальні значення електричного опору маси (кузова) автобусів, які необхідні для розрахунку стартерного кола.

4. На основі отриманих експериментальних даних встановлено, що компоновка акумуляторних батарей в моторному відділенні автобусів недоцільна через значні вібраційні і температурні навантаження, порівняно із їх розташуванням в базі.

1. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. ГОСТ 16350-80. – М., 1981. – 140 с. 2. Немий С.В. Дослідження швидкісного режиму двигунів автобусів в умовах експлуатації // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 588. – С. 68–72. 3. Немий С.В., Стысло Я.А. Температурный режим эксплуатации электрооборудования автобусов // Труды ВКЭИавтобуспрома. – Львов, 1989. – С. 49–56. 4. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования. /Л. В. Копылова, В. И. Коротков, В.Е. Красильников и др. / Под ред. М.Н. Фесенко. – М.: Машиностроение, 1979. – 355 с. 5. Чижков Ю.П., Акимов А.В. Электрооборудование автомобилей: Учеб. для вузов. – М.: За рулем, 1999. – 384 с. 6. Чижков Ю.П., Квайт С.М., Сметнев Н.Н. Электростартерный пуск автотракторных двигателей. – М.: Машиностроение, 1985. – 160 с. 7. Ютт В. Е. Электрооборудование автомобилей. – М.: Транспорт, 1989. – 287 с.