

С.В. Нємий

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ ДЛЯ ПРИВОДУ АВТОМОБІЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРІВ

© Нємий С.В., 2010

На основі дослідження робочих процесів автомобільних генераторів створено математичні залежності, що характеризують особливості навантаження генераторів та витрати потужності двигуна на їх привід. Розроблено методику розрахунку витрат потужності двигуна для приводу автомобільних генераторів.

On the basis of research of workings processes of motor-car generators mathematical dependences which characterize the features of loading of generators and expense of engine power on their drive were created. The method of calculation of equivalent charges of engine power for drive of motor-car generators was developed.

Постановка проблеми. Значною проблемою удосконалення конструкцій автомобілів і автобусів є покращання їх паливної ощадливості. Істотним фактором, що впливає на паливну ощадливість, є витрати потужності двигуна для приводу допоміжних агрегатів, зокрема генератора. Отже, велике значення має реалізація результатів теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на оптимізацію параметрів і режимів роботи генераторів автомобілів і автобусів. Крім цього, важливим є розроблення методики розрахунку витрат потужності двигуна для приводу генераторів, що є необхідним для врахування цих витрат при розрахунках тягових і паливно-економічних характеристик автомобілів і автобусів.

Аналіз відомих досліджень та публікацій. У наявних публікаціях, наприклад [1–5, 8], витрати потужності двигуна для приводу допоміжних агрегатів враховують узагальнено на рівні 10–15 %, зокрема генераторів 0,3 – 0,4 % [8], без врахування особливостей їх енергетичних характеристик.

Постановка задачі. Метою роботи є удосконалення методики розрахунку витрат потужності двигуна для приводу автомобільних генераторів на основі дослідження їх робочих процесів.

Основний матеріал. Потужність, що споживає генератор, залежить від його швидкісного режиму, який формується особливостями експлуатації. На рис. 1 наведено приклад інтегральних кривих розподілу частот обертання роторів генераторів автобусів за часом $F(n)$ (далі за текстом – частот обертання), де значення ординат відповідає відносному часу роботи tv з частотою обертання, меншою від даної n . Вказано інтегральні криві, побудовані за результатами відповідних досліджень [6, 7], для можливості їх використання стосовно генераторів автобусів аналогічного типу з іншими кінематичними параметрами трансмісії та умов їх експлуатації, зведені до коефіцієнта обертовості генератора $K_e = 60$. Тоді, крім конкретного значення частоти обертання при марному ході двигуна, значення швидкісного діапазону генератора досліджуваного автобуса необхідно скоригувати за формулою

$$n_e = n \frac{K'_e}{K_e} = n \frac{K'_e}{60}, \quad (1)$$

де n_g, n – відповідно частота обертання генератора досліджуваного автобуса і на графіках рис. 1; K'_2, K_2 – відповідно коефіцієнт обертовості генератора досліджуваного автобуса і для кривих рис. 1.

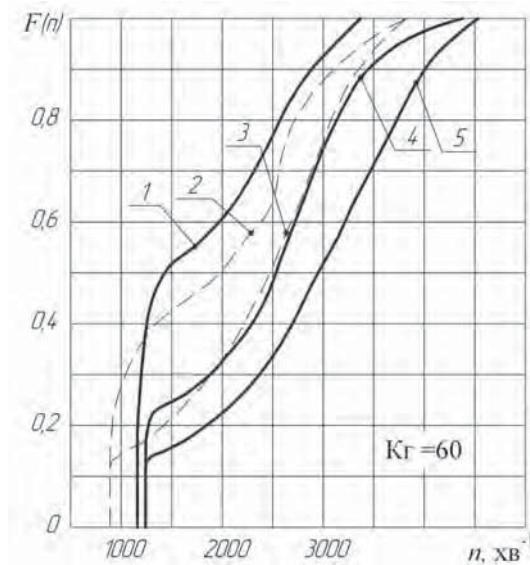


Рис. 1. Розподіл частоти обертання роторів генераторів за часом:
1 – ЛІАЗ - 5256 (місто); 2 - ЛАЗ – 695Н (місто); 3 – ЛАЗ - 695Н (за містом);
4 – ЛАЗ - 42021 (місто); 5 – ЛАЗ – 42021 (за містом)

Коефіцієнт обертовості генератора досліджуваного автобуса визначають за формулою [6, 11]

$$K'_2 = 2,66 \frac{u_0 u_k i_g}{r_k}, \quad (2)$$

де u_0, u_k – відповідно передавальні відношення головної передачі і коробки передач на вищій передачі; i_g – передавальне відношення приводу генератора; r_k – кінематичний радіус ведучих коліс, м.

У загальному випадку, знаючи енергетичну характеристику агрегату, залежно від частоти обертів (швидкісну характеристику двигуна, споживану потужність допоміжного агрегату тощо), витрати потужності можна оцінити еквівалентним значенням за умовний годинний цикл роботи за формулою [6]

$$N_{ne} = \int_{n_x}^{n_{max}} \frac{d[F(n)]}{dn} N(n) dn, \quad (3)$$

де $N(n)$ – витрати потужності агрегату залежно від частоти обертання його робочого органу (вала, ротора тощо); $\frac{d[F(n)]}{dn}$ – похідна функції розподілу за частотою обертання (рис. 1). n_x, n_{max} – частота обертання агрегату, що відповідає мінімальним (марний хід) та максимальним обертам двигуна.

За відсутності аналітичного виразу функції розподілу $F(n)$ рівняння (3) зручно розв'язувати методом графічного інтегрування, розбивши швидкісний діапазон ($n_x - n_{max}$) на ряд елементарних інтервалів із кроком $\Delta n = (150 - 250) \text{хв}^{-1}$:

$$N_{ne} = N_{nx} \Delta t_{ex} + \sum_{i=1}^k N_{ni} \Delta t_{ei}, \quad (4)$$

де N_{nx} – витрати потужності агрегату при роботі двигуна на марному ході; Δt_{ex} – відносний час роботи при роботі двигуна на марному ході; N_{ni} – витрати потужності агрегату в середині даного елементарного інтервалу; Δt_{ei} – відносний час роботи двигуна в даному елементарному інтервалі; k – кількість елементарних інтервалів.

На рис. 2, на прикладі великого міського автобуса, показана діаграма навантаження генератора моделі 85.000 в режимі “зима – ніч”. На діаграмі I_{\min} – мінімально можливе, в певний період експлуатації, струмове навантаження яке створюється тільки постійно діючими споживачами, а I_{\max} – аналогічно, максимально можливе навантаження, яке створюється одночасним функціонуванням постійно і періодично діючих споживачів. На діаграмі бачимо, що струм навантаження I_n , змінюючись у діапазоні $I_{\min} - I_{\max}$, в певний період експлуатації може значно перевищувати еквівалентне розрахункове значення I_{ne} , створюване функціонуванням споживачів електроенергії. Припускаючи, що функціонування періодично діючих споживачів, стартера та споживачів, функціонуючих на стоянках із непрацюючим двигуном статистично відповідає рівномірному розподілу, тобто на кожний момент часу математичне очікування величини навантаження генератора відповідає залежності:

$$I'_{ne} = I_{ne} + I_z + I_c, \quad (5)$$

де I_z – струм заряду акумуляторних батарей для компенсації їх ємності, витраченої на запуски двигуна; I_c – струм заряду акумуляторних батарей для компенсації їх ємності, витраченої на живлення споживачів, функціонуючих на стоянках із непрацюючим двигуном.

Значення I_z, I_c розраховують за експериментальними даними або нормативною методикою [11]. Еквівалентне розрахункове значення струму навантаження I_{ne} , створюване функціонуванням споживачів електроенергії визначають за формулою [11]

$$I_{ne} = \sum_{i=1}^m I_{ci} k_{ti}, \quad (6)$$

де I_{ci} – струм окремого споживача; k_{ti} – коефіцієнт часу роботи окремого споживача по відношенню до тривалості роботи двигуна; m – кількість споживачів електроенергії на автомобілі.

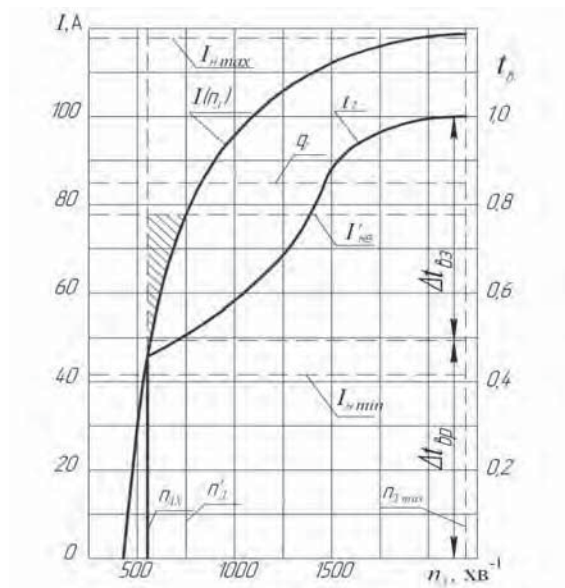


Рис. 2. Діаграма навантаження генератора, приведена до частоти обертання колінчастого вала двигуна n_d

При струмі навантаження $I'_{ne} > I(n_d)$ недостатня продуктивність генератора буде компенсована за рахунок розряду акумуляторних батарей протягом відносного часу розряду Δt_{sp} . Надалі вказаний розряд буде компенсований у швидкісному діапазоні, для якого $I'_{ne} < I(n_d)$ протягом відносного часу заряду Δt_{vz} . Наприклад, випадку $I'_{ne} > I(n_d)$ буде відповідати заштрихована зона (рис. 2) у швидкісному діапазоні роботи двигуна $n_{dx} = n'_d$, де n'_d – частота обертання колінчастого вала двигуна, при якій $I'_{ne} = I(n_d)$.

Струм віддачі генератора, в залежності від частоти обертів його ротора, описується струмшвидкісною характеристикою (СШХ) [9, 10] за формулою

$$I(n) = I_{\max} \left[1 - \exp \left(\frac{n_0 - n_z}{n_p - n_0} \right) \right], \quad (7)$$

де I_{\max} – максимальний струм генератора; n_0 – частота обертання ротора генератора, що відповідає початку віддачі струму; n_p – так звана розрахункова частота обертання ротора генератора [9]; n_z – поточне значення частоти обертання ротора генератора.

Експлуатаційна струмова віддача генератора, виходячи із змінного швидкісного режиму роботи, оцінюється еквівалентною годинною віддачею струму [9 – 11] за формулою

$$q = I_x \Delta t_{ax} + \int_{n_x}^{n_{\max}} \frac{d[F(n_z)]}{dn} I(n_z) dn = I_x \Delta t_{ax} + \sum_{i=1}^k I_i \Delta t_{ei}, \quad (8)$$

де I_x – віддача струму генератором при роботі двигуна на марному ході; I_i – струм генератора в середині даного елементарного інтервалу.

Струмове навантаження генератора, яке створюється споживачами електроенергії для одного і того ж автобуса залежить від сезону і періоду доби, що ілюструється прикладом конкретних даних (табл. 1).

Таблиця 1

Приклад навантаження генераторів автобусів залежно від умов експлуатації

Тип автобуса	Еквівалентна годинна віддача струму q, A <i>год/год</i>	Еквівалентне навантаження генератора $I'_{не}, A$ <i>год/год</i>			
		зима		літо	
		ніч	день	ніч	день
Міський середній	58,93	58,32	34,92	33,9	10,62
Міський великий	84,5	81,5	53,65	44,22	13,54

Як впливає із наведеного вище, баланс електроенергії автомобіля чи автобуса може характеризуватися такими залежностями:

1. ($q < I'_{не}$). У даному випадку баланс електроенергії від'ємний, тобто продуктивність генератора недостатня для живлення споживачів, що є неприпустимим в експлуатації.

2. ($q \approx I'_{не}$). У цьому випадку баланс електроенергії «нульовий», тобто продуктивність генератора повністю витрачається для живлення споживачів. Тоді витрати потужності для привода генератора, на основі формул (3, 4), можна відобразити залежністю:

$$N_z = \frac{U}{\eta_n} \left(\frac{I_x}{\eta_{zx}} \Delta t_{ax} + \sum_{i=1}^k \frac{I_i}{\eta_{zi}} \Delta t_{ei} \right), \quad (9)$$

де U – регульована напруга генератора; η_n – ККД привода (пасової передачі); η_{zx}, η_{zi} – відповідно, ККД генератора при обертах, що відповідають роботі двигуна на марному ході та в середині даного елементарного інтервалу.

Оскільки величина ККД генератора не постійна при різних обертах [12], то з метою спрощення дослідження прийемо його постійне еквівалентне значення, враховуючи статистичну залежність, аналогічну формулі (4):

$$\eta_{ze} = \eta_{zx} \Delta t_{ax} + \sum_{i=1}^k \eta_{zi} \Delta t_{ei}, \quad (10)$$

Тоді за виразами (6 – 8) отримаємо формулу для розрахунку витрат потужності для привода генератора залежно від еквівалентної годинної віддачі струму, яку визначають при розрахунку балансу електроенергії автомобіля:

$$N_z = \frac{U}{\eta_n} \left(\frac{I_x}{\eta_{zx}} \Delta t_{ax} + \sum_{i=1}^k \frac{I_i}{\eta_{zi}} \Delta t_{ei} \right) = \frac{U}{\eta_n \eta_{ze}} \left(I_x \Delta t_{ax} + \sum_{i=1}^k I_i \Delta t_{ei} \right) = \frac{Uq}{\eta_n \eta_{ze}}, \quad (11)$$

3. ($q > I'_{не}$). У цьому випадку баланс електроенергії додатний, тобто потенційна продуктивність генератора перевищує потреби живлення споживачів електроенергії, що дає змогу компенсувати розряди акумуляторних батарей в екстремальних умовах експлуатації. Тоді очевидно, що розрахунок витрат потужності для приводу генератора необхідно проводити за еквівалентним навантаженням генератора $I'_{не}$ за формулою, аналогічною (11):

$$N_z = \frac{UI'_{не}}{\eta_n \eta_{ze}}, \quad (12)$$

Враховуючи нерівномірність струмового навантаження генераторів протягом доби (приклад – табл. 1), середньодобові еквівалентні витрати потужності для приводу генератора можна визначити за формулою

$$N_{zc} = \frac{U}{\eta_n \eta_{ze}} (\Delta t_n I_{нне} + \Delta t_d I_{дне} + I_z + I_c), \quad (13)$$

де $\Delta t_n, \Delta t_d$ – відповідно, відносна тривалість нічної і денної експлуатації; $I_{нне}, I_{дне}$ – відповідно, еквівалентне значення струму навантаження, створюване функціонуванням споживачів електроенергії у нічних і денних умовах експлуатації.

У табл. 2 наведено приклад порівняльних розрахунків потужності, реалізованої двигуном КАМАЗ - 740.11 - 240 (при коефіцієнті використання потужності 100 %) та витрат потужності для приводу генератора (мод. 85.000) великого міського автобуса за наведеними вище формулами. Розрахунок за формулою (12) виконано для режиму “зима/ніч”, за формулою (13) – для зимових умов при однаковій тривалості нічної і денної експлуатації та літніх умов з тривалістю, відповідно, 0,2 : 0,8.

Таблиця 2

Порівняння еквівалентної потужності двигуна та її витрат для приводу генератора

Еквівалентна потужність, кВт, розрахована за формулами:			
реалізована двигуном (4)	витрати для приводу генератора		
	(12)	(13) зима	(13) літо
93,6	4,16	3,45	1,00

Як бачимо у табл. 2, витрати потужності для приводу генератора, наприклад, великого міського автобуса, порівняно із реалізацією максимальної потужності двигуна (при коефіцієнті використання потужності 100%) залежно від умов експлуатації можуть перевищувати 4%. При коефіцієнті використання потужності двигуна, меншому від 100% (найхарактерніший режим навантаження двигуна), це співвідношення витрати потужності для приводу генератора і реалізованої двигуном буде ще більшим.

Оцінка витрат потужності двигуна для приводу генераторів, як і інших допоміжних агрегатів, має значення при тягово-швидкісних розрахунках автомобілів чи автобусів. У цьому аспекті розрізняють два характерні розрахункові режими: розрахунок максимальної потужності двигуна N_{max} за умовою забезпечення заданої максимальної швидкості руху та визначення максимального коефіцієнта сумарного опору дороги, що його здатний подолати автомобіль чи автобус. У першому випадку розрахунок проводять при частоті обертів двигуна, що відповідають максимальній потужності двигуна – оберти двигуна n_N . У другому – при частоті обертів двигуна, що відповідають максимальному крутному моменту двигуна – оберти двигуна n_T . Тут необхідно мати на увазі те, що у вказаних режимах потужність генератора може бути реалізована повністю, згідно його струмошвидкісної характеристики (з причини, наприклад, тривалого розряду акумуляторних батарей). Частота обертів генератора у вказаних режимах буде визначатися добутком відповідних чисел обертів n_N і n_T на передавальне відношення приводу генератора i_g . Для порівняння витрат потужності, та визначення коефіцієнта, що характеризує витрати потужності двигуна для приводу

генератора η_{az} великого міського автобуса, як приклад, нижче наведено результати розрахунків при наступних вихідних даних: модель двигуна – КАМАЗ - 740.11 - 240; модель генератора 85.000, передавальне відношення привода $i_z = 2,93$, розрахункова напруга $U = 26 В$, величина струму, що відповідає частоті обертів двигуна при максимальному крутному моменту $n_T = 110 А$, величина струму, що відповідає частоті обертів двигуна при його максимальній потужності $n_N = 120 А$. Інші вихідні дані та результати розрахунків наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Порівняння витрат потужності для приводу генератора у різних розрахункових режимах

Частота обертів, $хв^{-1}$		ККД генератора	Потужність, $кВт$		Коефіцієнт витрат потужності для привода генератора η_{az}
двигуна	генератора		двигуна	генератора	
$n_T=1300$	3809	$\eta_{zi} = 0,51$	113,5	5,841	0,9485
$n_N=2200$	6446	$\eta_{zi} = 0,46$	176,0	7,0652	0,9558
–		$\eta_{ze} = 0,53$	Дані згідно табл. 2		0,9555
			93,6	4,16	

Як бачимо у табл. 3, у цьому випадку значення коефіцієнта, що враховує витрати потужності для приводу генератора η_{az} практично однакове для всіх розрахункових режимів і становить приблизно 0,95.

Висновки. 1. На основі дослідження робочих процесів автомобільних генераторів створено математичні залежності, що характеризують особливості навантаження генераторів та витрати потужності двигуна для їх приводу.

2. Розроблено методику розрахунку витрат потужності двигуна для приводу автомобільних генераторів залежно від умов експлуатації.

3. Енергетичні витрати для приводу генератора визначаються обсягом споживання електроенергії функціональними системами автомобіля залежно від умов експлуатації. Найбільші витрати для приводу генератора відповідають режиму “зима/ніч”.

4. При тягових розрахунках автомобілів і автобусів доцільно враховувати витрати потужності двигуна на привід генераторів у конкретних розрахункових режимах, враховуючи показники струмошвидкісної характеристики генератора, зокрема що відповідають частоті обертів двигуна n_T та n_N .

1. Автомобили. Конструкция, конструирование и расчет. Трансмиссия / А.И. Гришкевич, В.А. Вавуло, А.В. Карпов и др. / Под ред. А.И. Гришкевича.– Минск: Выш. шк., 1985. – 240 с.
 2. Гащук П. Н. Энергетическая эффективность автомобиля. – Львов: Свит, 1992. – 208 с.
 3. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория: Учебник для спец. “Автомобили и тракторы” вузов. – Минск: Высшейш.школа, 1986. – 207с.
 4. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности “Автомобили и автомобильное хозяйство”. – М.: Машиностроение, 1989. –240 с.
 5. Лукин П.П., Гаспарянц Г.А., Родионов В.Ф. Конструирование и расчет автомобиля. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.
 6. Немий С.В. Снижение энергетических затрат на привод вспомогательных агрегатов автобусов. В сб.: Труды ВКЭИавтобуспрома, 1988. – С. 99–107.
 7. Немий С.В. Дослідження швидкісного режиму двигунів автобусів в умовах експлуатації // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 588. – С. 68–72.
 8. Проектирование трансмиссий автомобилей / А.И. Гришкевич, Б.У. Бусел, Г.Ф. Бутусов и др. Под ред. А.И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
 9. 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.
 10. Чижек Ю.П.,

Акимов А. В. Электрооборудование автомобилей: Учебник для ВУЗов. – М.: Изд. “За рулем”, 1999. – 384 с. 11. Баланс электроэнергии автомобилей и автобусов. Метод расчета критерии оценки. ОСТ 37.003.034 – 77. – М., 1977. – 21 с. 12. Определение коэффициента полезного действия и потерь автобусных генераторов/ Протокол испытаний Научно-исследовательского и экспериментального инс-титута автомобильной электроники и электрооборудования. – 1984. – № ОСЭ/ 5-18-84. – 6 с.

УДК 621.791

В.М. Палаш, А.Р. Дзюбик, С.Т. Огнистий
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра зварювального виробництва, діагностики та відновлення металоконструкцій

ВПЛИВ СКЛАДУ ГАЗОВОЇ СУМІШІ CO_2+O_2 НА ВИГОРЯННЯ ВУГЛЕЦЮ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ЧАВУНІВ СТАЛЕВИМ ДРОТОМ

© Палаш В.М., Дзюбик А.Р., Огнистий С.Т., 2010

Досліджено вплив складу захисної суміші CO_2+O_2 та параметрів режиму дугового зварювання сталевим дротом сірих чавунів без їх попереднього підігрівання на вигорання вуглецю у ванні. Встановлено фактори, що сприяють отриманню оптимальної його концентрації в наплавлених валиках. Показано, що вигорання вуглецю при зварюванні у середовищі CO_2+O_2 помітно посилюється із збільшенням у ньому кисню. Ступінь цього впливу залежить від швидкості зварювання, діаметра електродного дроту, зварювального струму та величини електродного вильоту.

Influence of the protective mixture composition CO_2+O_2 and parameter of arc/w mode by the steel wire of grey-cast irons without their previous heating during carbon combustion was investigated. Factors are set to further reception of it optimal concentration in melt rollers. It's pointed that carbon combustion at welding in the CO_2+O_2 environment which appreciably increases during oxygen increasing in it. The degree of this influence depends on welding speed, electrode wire diameter, welding current and size of electrode flight.

Актуальність теми. У машинобудуванні та інших галузях промисловості і транспорту доволі поширеним конструкційним матеріалом є сірий чавун. У зв'язку з цим широко застосовується зварювання та наплавлення чавунних деталей, а також зварювання експлуатаційних та ливарних дефектів виливок. Незважаючи на те, що чавун має погану технологічну зварність внаслідок низької пластичності та утворення у з'єднанні твердих та крихких структурних складових, на практиці часто використовують технології, що не вимагають його спеціального підігрівання, зокрема з отриманням сталевих швів і наплавлених шарів. До таких насамперед належить механізоване зварювання і наплавлення сталевим дротом у захисній газовій суміші CO_2+O_2 [1, 2, 6]. При таких процесах без попереднього підігрівання важливою передумовою уникнення технологічних тріщин та отримання якісних швів та наплавлених валиків є обмеження вмісту у зварювальній ванні вуглецю. Слід зазначити, що даних про особливості металургійних процесів, зокрема вигорання вуглецю, при зварюванні сірих чавунів без їх попереднього підігрівання сталевим дротом у газовій суміші CO_2+O_2 дуже мало і вони переважно стосуються