МЕТОДИКА ВИБОРУ МЕХАНІЧНОГО ПРИСТРОЮ СПРЯЖЕННЯ ЧАСТОТ ОБЕРТАННЯ КОЛЕСА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА ВАЛУ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ЗА УМОВИ ЙОГО ГАРАНТОВАНОГО ЗБУДЖЕННЯ

Ю. В. Зачепа, О. П. Чорний, Н. В. Зачепа, О. А. Хребтова, І. С. Сергієнко, В. В. Ченчевой

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: zachepa.nataliia@ukr.net

С. К. Поднебенна

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87555, Україна. E-mail: podsvet@gmail.com

В роботі представлено метод вибору модуля механічного спряження колеса транспортного засобу з валом асинхронного генератора. На прикладі ряду автомобілів та їх технічних характеристик представлена методика розрахунку діаметрів передавальних валків для забезпечення умов гарантованої генерації енергії автономним асинхронним генератором. Отримана аналітична залежність мінімально-допустимої частоти обертання валу двигуна внутрішнього згоряння для гарантованого збудження асинхронного генератора, що має підтримуватися первинним джерелом механічної енергії для запобігання зриву генерації енергії при підключенні навантаження. Запропоновані методи та отримані результати досліджень дозволяють розрахувати та спроектувати пристрої механічного зчеплення частот обертання валів первинного рушія та асинхронного генератора, що розширить сферу застосування останнього у складі локальних автономних джерел живлення.

Ключові слова: механічне спряження, передавальні валки, двигун внутрішнього згоряння, асинхронний генератор, гарантоване збудження.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕСА ТРАНСПОРТНОГО УСТРОЙСТВА И ВАЛА АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ УСЛОВИИ ГАРАНТИРОВАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Ю. В. Зачепа, А. П. Черный, Н. В. Зачепа, О. А. Хребтова, И. С. Сергиенко, В. В. Ченчевой

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: zachepa.nataliia@ukr.net

С. К. Поднебенная

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87555, Украина. E-mail: podsvet@gmail.com

В работе представлен метод выбора модуля механического сопряжения колеса транспортного средства с валом асинхронного генератора. На примере ряда автомобилей и их технических характеристик представлена методика расчета диаметров передающих валков для обеспечения условий гарантированной генерации энергии автономным асинхронным генератором. Получена аналитическая зависимость минимально допустимой частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания для гарантированного возбуждения асинхронного генератора должна поддерживаться первичным источником механической энергии для предотвращения срыва генерации энергии при подключении нагрузки. Предложенные методы и полученные результаты исследований позволяют рассчитать и спроектировать устройства механического сцепления частот вращения валов первичного двигателя и асинхронного генератора, расширит сферу применения последнего в составе локальных автономных источников питания.

Ключевые слова: механическое сопряжение, передающие валки, двигатель внутреннего сгорания, асинхронный генератор, гарантированное возбуждение.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогодні однією з ключових проблем енергоресурсозбереження в Україні є проблема забезпечення надійної та безперервної роботи систем енергопостачання. Ці питання набули особливої актуальності через високу аварійність систем енергопостачання як промислових підприємств, так і об'єктів комунального призначення. Ліквідація наслідків аварій систем енергопостачання призводить до використання значних людських і матеріальних ресурсів [1–4].

Вирішення цього питання не завжди може бути виражене в яких-небудь вартісних показниках. Як правило, економія витрат на стадії проектування не виправдовує себе в процесі експлуатації і часто

списується на випадковість або дуже малу вірогідність можливої події. Хоча витрати на резервування автономних джерел великі, проте вони виправдовують себе з економічної сторони, якщо береться до уваги вся гамма наслідків при повному порушенні енергопостачання навіть при вельми малій вірогідності цієї події.

Гарантоване безаварійне енергопостачання для більшості підприємств може бути практично нездійснене через значні капітальні витрати при технічній реалізації тих або інших рішень. Аналіз питань [5, 6], пов'язаних із задачею аварійного живлення показав, що достатньо просте вирішення задачі можливе при використанні оперативного формованих джерел енергопостачання або

локальних автономних джерел енергопостачання (АДЕ), які створюються з наявного електроустаткування та енергосилових установок іншого функціонального призначення.

Хоча принципова можливість створення локальних АДЕ не викликає сумнівів [7, 8], невирішеними є питання технічного характеру, принципових схемних рішень, організаційних і технічних заходів, які забезпечать введення аварійного джерела за мінімальний час. Його тривалість, як вказувалося, залежить від заздалегідь виконаних заходів різного роду, проте, не повинна перевищувати граничну величину, об'єктивно обґрунтовану для кожного підприємства або об'єкту.

Разом із розробкою принципових технічних рішень для створення того або іншого варіанту системи енергопостачання важливо визначити мінімальний об'єм устаткування, монтажних робіт тощо, які необхідно передбачати та які б звели до мінімуму підготовчі роботи зі створення локальних АДЕ в реальних умовах.

Аналіз вище наведеного матеріалу показав [9–11], що в залежності від виду та типу транспортного засобу, його комплектації та ряду інших показників, пристрої механічного з'єднання енергосилової частини з електрогенератором досить різняться за конструктивним виконанням. Цей факт ускладнює широке застосування локальних АДЕ, що формуються за необхідності та на короткий час подолання наслідків надзвичайних ситуацій.

Однак спільним для всіх без винятку самохідних транспортних засобів є наявність колісних пар. Тому універсальний пристрій механічного зв'язку щодо відбору потужності може бути реалізовано безпосередньо з колеса транспортного засобу.

Враховуючи, що колеса автотранспортних засобів мають різні розміри та кріплення, то найбільш доцільним є застосування механічного пристрою спряження частот обертання колеса [12] та валу асинхронного генератора (АГ) [13] за рахунок застосування передавальних та фіксуючих валків.

Мета роботи – розробка методики розрахунку та вибору механічного пристрою спряження частот обертання колеса транспортного засобу та валу асинхронного генератора за умови його гарантованого збудження.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розмір передавальних валків має забезпечувати необхідне передаточне число обертання валу АГ за умови його гарантованого самозбудження. Тому в ході виконання даної роботи була розроблена методика вибору передавальних валків.

Загальний критерій вибору типорозміру валків можна представити у вигляді функціоналу якості виду:

$$J = a_1 \Delta N + a_2 \Delta D + a_3 \Delta Q \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $\Delta N = [N_1, \dots, N_n]$ – діапазон варіювання частоти обертання колінчатого валу двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ); $\Delta D = [D_1, \dots, D_m]$ – діапазон варіювання діаметру передавального валка;

$\Delta Q = [Q_1, \dots, Q_n]$ – діапазон варіювання витрати палива за відповідної частоти обертання $\Delta N = [N_1, \dots, N_n]$ колінчатого валу ДВЗ; a_1, a_2, a_3 – вагові коефіцієнти функціоналу якості.

Стосовно методик вибору передавальних валків, то вона включає в себе варіацію перших двох доданків критерію (1) і реалізується за наступним алгоритмом.

1. Визначається швидкість на колесі, км/год:

$$V_i = (120\pi N_c R_k) / (1000 i_p i_{gp} i_k), \quad (2)$$

де N_c – швидкість обертання колінчатого валу, об/хв; R_k – радіус колеса, м; i_p – передаточне число передач; i_{gp} – передаточне число головної пари; i_k – передаточне число роздаточної коробки.

2. Визначається швидкість обертання валу колеса, об/хв:

$$N_i = N_c / (i_p i_{gp} i_k). \quad (3)$$

3. Визначається орієнтовний діаметр передавального валка, м:

$$D_{rol} = 2N_i R_k / N_{ag}, \quad (4)$$

де N_{ag} – швидкість обертання валу генератора АГ, об/хв.

4. Вибирається діаметр передавального валку з урахуванням критерію (1).

В табл. 1 наведені дані деяких транспортних засобів, що необхідні для розрахунку згідно представленого вище алгоритму.

За приведеною вище методикою були розраховані діаметри передавальних валків. У розрахунках враховувалися варіації швидкості обертання N_c колінчатого валу ДВЗ та синхронної частоти обертання валу АГ. Результати зведені до табл. 2–4.

Відносне значення частоти обертання ротора АГ (частоти обертання колеса ДВЗ та передавального валка), що відповідає даній частоті збудження, визначається за виразом [14, 15]:

$$v = \alpha(1 + |s_g|), \quad (5)$$

де $v = \omega_d / \omega_{0d} = 1 - \delta$ – відносне значення частоти обертання ротора АГ, виражене через частоту обертання дизельного двигуна (за умови жорсткого зв'язку валів АГ і ДВЗ), в.о.; ω_d – поточне значення частоти обертання дизельного двигуна, с^{-1} ; ω_{0d} – задане значення частоти обертання ДВЗ, с^{-1} ; $\delta = \Delta\omega_d / \omega_{0d}$ – статизм ДВЗ, в.о.

Для АГ з конденсаторним збудженням характерними є нижня і верхня критичні частоти обертання ротора [16, 17]. Так, для нижньої межі частоти обертання вираз (5) набуде вигляду:

$$v_{l.c} = \alpha_{l.c}(1 + |s_{l.c}|), \quad (6)$$

де $v_{l.c} = 1 - \delta_{cr}$; $\sigma = 1 - X_\mu^2 / X_s X_r'$ – коефіцієнт розсіювання АГ; $|s_{l.c}| = R_2' g_1$ – ковзання АГ для $\alpha_{l.c}$

згідно [14]; $\alpha_{l.c} = \sqrt{X_c(2\sigma X_s)^{-1}(1 + \sigma - R_s^2 / X_s X_c - (1 + \sigma - R_s^2 / X_s X_c)^2 - 4\sigma)}$

– нижня критична частота самозбудження АГ;
 $g_1 = qd / (q^2 + p^2)$ – активна провідність кола статора;
 $d = \alpha^2 R_m^2 + (\alpha^2 X_m - X_c)^2$; $q = R_m X_c^2 + R_s d$;
 $p = \alpha(X_c(R_m^2 + X_m(\alpha^2 X_m - X_c) - X_s d))$.

Для нижньої межі наближене значення g_1 можна знайти, прирівнявши нулю доданок $(\alpha^2 X_m - X_c)^2$ в вираженні для d [13], тоді

$$g_1 \approx \alpha^2 R_m^2 / (R_m X_c^2 + \alpha^2 R_s R_m^2),$$

або, враховуючи $\alpha = (1 + \delta)^{-1}$, отримаємо

$$g_1 = R_m^2 / (R_m X_c^2 (1 + \delta_{cr})^2 + R_s R_m^2).$$

В цьому випадку $\alpha_{l.c} \approx \sqrt{X_c / X_m}$.

Підставивши відповідні вирази, отримаємо:

$$(1 - \delta_{cr})(R_m X_c^2 (1 + \delta_{cr})^2 + R_s R_m^2) - R_m X_c^2 \times \sqrt{X_c / X_m} (1 + \delta_{cr})^2 - R_m^2 \sqrt{X_c / X_m} (R_s - R_r') = 0. \quad (7)$$

Таким чином, при відповідних параметрах асинхронного генератора і ємнісній системи збудження (ЄСЗ) можна визначити мінімально-допустиме значення швидкості обертання дизеля, яке повинен забезпечити регулятор, для запобігання зриву генерації при підключенні навантаження.

Аналітичний вираз для визначення критичного значення статизму ДВЗ може бути отримано, наприклад, із застосуванням формули Кардано. Для цього перетворимо вихідне рівняння (7) до виду:

$$a_3 \delta_{cr}^3 + a_2 \delta_{cr}^2 + a_1 \delta_{cr} + a_0 = 0, \quad (8)$$

де

$$a_0 = (R_s + R_m(R_s - R_r')\sqrt{X_c / X_m}) / X_c^2 + \sqrt{X_c / X_m} - 1;$$

$$a_3 = 1; a_2 = 1 + \sqrt{X_c / X_m};$$

$$a_1 = 2R_s R_m X_c^{-2} + 2\sqrt{X_c / X_m} - 1.$$

Рішення рівняння (8) визначається знаком виразу за визначенням дискримінанту:

$$D = [4(3a_1 - a_2)^3 + (2a_2^2 - 9a_1 a_2 + 27a_0)^2] / 2916.$$

Для випадку $D > 0$ маємо один дійсний корінь:

$$\delta_{cr} = \sqrt[3]{[-2a_2^3 + 9a_2 a_1 - 27a_0 + \sqrt{(2a_2^3 - 9a_2 a_1 + 27a_0)^2 + 4(3a_1 - a_2^2)^3}] / 54 - a_2 / 3}.$$

Для випадку $D = 0$ маємо два розв'язки, а для $D < 0$ – три, вирази яких наведено у [7]. Проте такі розв'язки можна отримати лише за від'ємних значень параметрів ДВЗ, ЄСЗ та АГ, що неможливо. Розрахунок відносного значення нижньої критичної частоти $\nu_{l.c}$ самозбудження АГ з використанням запропонованого методу розрахунку статизму δ_{cr} ДВЗ в пакеті прикладних програм Mathcad виконано за наступних умов: точність переважувальної здатності АГ, в залежності від параметрів ДВЗ, визначалася шляхом порівняння розрахунків значення відносного значення швидкості $\nu_{l.c}$ обертання валу генератора для нижньої межі за розробленою методикою і методом, запропонованим в [14, 18]. Вихідні дані розрахунку прийняті для асинхронної машини типу АОЛ 21–4.

Таблиця 1 – Дані ряду автотранспортних засобів, що необхідні для розрахунків

Тип авто	Передавальні числа передач (i_p)						Головна пара (i_{gp})	Роздаточна коробка (i_k)	R_k , м
	1п.	2п.	3п.	4п.	5п.	R			
<i>Позашляховик</i>									
УАЗ	4,124	2,641	1,58	1		5,224	4,625	1	0,3885
Шевроле-Нива	3,67	2,1	1,36	1	0,82	3,53	3,9	1,2	0,3445
<i>Кросовер</i>									
Нісан Кашкай, мех.	3,727	2,043	1,392	1,055	0,865	3,641	4,687	1	0,345
Нісан Кашкай, авт.	2,349				0,394	1,75	6,466	1	0,347
Хюндай Туксон, мех.	3,636	2,056	1,296	0,943	0,698	3,455	4,333	1	0,352
Хюндай Туксон, авт.	2,842	1,529	1	0,712		2,48	4,042	1	0,352
<i>Легкове авто</i>									
ВАЗ 2106	3,243	1,989	1,289	1		3,34	3,9	1	0,2915
ВАЗ 2107	3,667	2,1	1,361	1	0,801	3,53	4,1	1	0,2915
Деу Ланос, мех.	3,545	2,048	1,346	0,971	0,763	3,333	4,176	1	0,2915
Деу Ланос, авт.	2,957	1,623	1	0,682		2,143	3,91	1	0,2915
<i>Вантажний фургон</i>									
Мерседес Спринтер	4,898	2,533	1,486	1	0,783	4,586	4,182		0,337
ГАЗ 3302 Газель	4,05	2,34	1,395	1	0,849	3,51	5,125		0,342
<i>Вантажівка</i>									
ЗИЛ 130	7,44	4,1	2,29	1,47	1	7,09	6,32		0,51
ГАЗ 53	6,55	3,09	1,71	1		7,77	6,83		0,481

Таблиця 2 – Розрахункові дані для УАЗ

N_c	Швидкість V_i , [км/год]				
	1п.	2п.	3п.	4п.	R
800	6,14	9,59	16,03	25,32	4,85
1000	7,67	11,98	20,03	31,65	6,06
1500	11,51	17,98	30,05	47,48	9,09
2000	15,35	23,97	40,06	63,30	12,12
2500	19,19	29,96	50,08	79,13	15,15
3000	23,02	35,95	60,10	94,95	18,18
Швидкість N_i , [об/хв]					
1п.	2п.		3п.	4п.	R
41,94	65,50		109,48	172,97	33,11
52,43	81,87		136,85	216,22	41,39
78,64	122,80		205,27	324,32	62,08
104,86	163,74		273,69	432,43	82,78
131,07	204,67		342,11	540,54	103,47
157,29	245,61		410,54	648,65	124,17
$N_{ag}=3000$ [об/хв]					
N_c	Діаметр передавального валка D_{rol} , [м]				
	1п.	2п.	3п.	4п.	R
800	0,011	0,017	0,028	0,045	0,009
1000	0,014	0,021	0,035	0,056	0,011
1500	0,020	0,032	0,053	0,084	0,016
2000	0,027	0,042	0,071	0,112	0,021
2500	0,034	0,053	0,089	0,140	0,027
3000	0,041	0,064	0,106	0,168	0,032
$N_{ag}=1000$ [об/хв]					
Діаметр передавального валка D_{rol} , [м]					
1п.		2п.	3п.	4п.	R
0,033		0,051	0,085	0,134	0,026
0,041		0,064	0,106	0,168	0,032
0,061		0,095	0,159	0,252	0,048
0,081		0,127	0,213	0,336	0,064
0,102		0,159	0,266	0,420	0,080
0,122		0,191	0,319	0,504	0,096

Таблиця 3 – Розрахункові дані для Daewoo Lanos, автомат

N_c	Швидкість V_b , [км/год]				
	1п.	2п.	3п.	4п.	R
800	7,60	13,85	22,47	32,95	10,49
1000	9,50	17,31	28,09	41,19	13,11
1500	14,25	25,96	42,14	61,78	19,66
2000	19,00	34,62	56,18	82,38	26,22
2500	23,75	43,27	70,23	102,97	32,77
3000	28,50	51,92	84,27	123,57	39,33
Швидкість N_b , [об/хв]					
1п.	2п.	3п.	4п.	R	
69,19	126,07	204,60	300,01	95,48	
86,49	157,58	255,75	375,01	119,34	
129,74	236,37	383,63	562,51	179,02	
172,98	315,16	511,51	750,01	238,69	
216,23	393,95	639,39	937,52	298,36	
259,47	472,74	767,26	1125,02	358,03	

$N_{ag}=3000$ [об/хв]					
N_c	Діаметр передавального валка D_{rol} , [м]				
	1п.	2п.	3п.	4п.	R
800	0,013	0,024	0,040	0,058	0,019
1000	0,017	0,031	0,050	0,073	0,023
1500	0,025	0,046	0,075	0,109	0,035
2000	0,034	0,061	0,099	0,146	0,046
2500	0,042	0,077	0,124	0,182	0,058
3000	0,050	0,092	0,149	0,219	0,070
$N_{ag}=1000$ [об/хв]					
Діаметр передавального валка D_{rol} , [м]					
1п.	2п.	3п.	4п.	R	
0,040	0,073	0,119	0,175	0,056	
0,050	0,092	0,149	0,219	0,070	
0,076	0,138	0,224	0,328	0,104	
0,101	0,184	0,298	0,437	0,139	
0,126	0,230	0,373	0,547	0,174	
0,151	0,276	0,447	0,656	0,209	

Таблиця 4 – Розрахункові дані для ГАЗ 3302

N_c	Швидкість V_i , [км/год]					
	1п.	2п.	3п.	4п.	5п.	R
800	4,97	8,60	14,42	20,12	23,35	4,39
1000	6,21	10,75	18,02	25,14	29,18	5,48
1500	9,31	16,12	27,04	37,72	43,78	8,22
2000	12,42	21,49	36,05	50,29	58,37	10,97
2500	15,52	26,86	45,06	62,86	72,96	13,71
3000	18,63	32,24	54,07	75,43	87,55	16,45
Швидкість N_i , [об/хв]						
1п.		2п.	3п.	4п.	5п.	R
38,54		66,71	11,90	156,10	183,86	44,47
48,18		83,39	39,87	195,12	229,83	55,59
72,27		125,08	09,81	292,68	344,74	83,39
96,36		166,77	79,74	390,24	459,65	111,18
120,45		208,46	49,68	487,80	574,56	138,98
144,53		250,16	19,62	585,37	689,48	166,77
$N_{ag}=3000$ [об/хв]						
N_c	Діаметр передавального валка D_{rol} , [м]					
	1п.	2п.	3п.	4п.	5п.	R
800	0,009	0,015	0,026	0,036	0,042	0,010
1000	0,011	0,019	0,032	0,044	0,052	0,013
1500	0,016	0,029	0,048	0,067	0,079	0,019
2000	0,022	0,038	0,064	0,089	0,105	0,025
2500	0,027	0,048	0,080	0,111	0,131	0,032
3000	0,033	0,057	0,096	0,133	0,157	0,038
$N_{ag}=1000$ [об/хв]						
Діаметр передавального валка D_{rol} , [м]						
1п.		2п.	3п.	4п.	5п.	R
0,026		0,046	0,077	0,107	0,126	0,030
0,033		0,057	0,096	0,133	0,157	0,038
0,049		0,086	0,144	0,200	0,236	0,057
0,066		0,114	0,191	0,267	0,314	0,076
0,082		0,143	0,239	0,334	0,393	0,095
0,099		0,171	0,287	0,400	0,472	0,114

Згідно чисельного розв'язку рівняння (8) за допомогою пакету Mathcad для даної машини отримуємо значення статизму – $Minerr(\delta_{cr}) = 0,3954$.

Визначення відносного значення швидкості v_{Lc} обертання валу АГ і помилки розрахунків ε ($v_{Lcs} = 0,654$):

$$v_{Lc} = 1 - 0,3954 = 0,6046;$$

$$\varepsilon = |v_{Lcs} - v_{Lc}| / v_{Lcs} = |0,654 - 0,6046| / 0,654 = 0,075.$$

Таким чином, помилка розрахунків склала 7,5 %.

На рис. 2 представлені залежності дискримінанту $D = f(R_m, X_m, X_c)$ в функції параметрів навантаження і ємності збудження.

З огляду на те, що параметри X_c ЄСВ визначаються параметрами навантаження, залежність дискримінанту $D_{X_c=const} = f(R_m, X_m)$ досліджуємо в функції навантаження при певних значеннях ємності збудження.

Параметри останньої приймалися в допустимих межах $[C_{min}; 10C_{min}]$, де C_{min} – мінімально-допустиме значення ємності для збудження АГ на холостому ходу [19]. Як видно з рис. 1, значення дискримінанту D при будь-яких параметрах навантаження (навіть при негативних значеннях R_m і X_m , що не має практичного сенсу) завжди більше нуля. Таким чином критичне значення статизму ДВЗ визначається виразом (8).

Рисунок 1 – Залежність $D_{X_c=const} = f(R_m, X_m)$:

а) з C_{min} ; б) з $10C_{min}$

Однак виконаємо ряд досліджень, збільшивши діапазон зміни ємності C збудження в межах $[0; +\infty)$. В результаті дискримінант може приймати значення рівне нулю $D = 0$ при параметрах ємнісної системи збудження $C_{\Sigma} \geq 30C_{min}$ (рис. 2, 3), а значення дискримінанту менше нуля $D < 0$ можливо при $C_{\Sigma} \geq 150C_{min}$ і негативному значенні R_m (рис. 4), що не відповідає реальним параметрам локальних АДЕ.

Рисунок 2 – Залежність $D_{X_c=const} = f(R_m, X_m)$ з $30C_{min}$

Рисунок 3 – Залежність $D_{X_c=const} = f(R_m, X_m)$ з $30C_{min} < C_{\Sigma} < 150C_{min}$

Рисунок 4 – Залежність $D_{X_c=const} = f(R_m, X_m)$ з $150C_{min}$

ВИСНОВКИ. В роботі представлено метод вибору модулю механічного спряження колеса транспортного засобу з валом асинхронного генератора. На прикладі ряду автомобілів та їх технічних характеристик представлена методика розрахунку діаметрів передавальних валків для

забезпечення умов гарантованої генерації енергії автономним асинхронним генератором.

Отримана аналітична залежність мінімально-допустимої частоти обертання валу двигуна внутрішнього згоряння для гарантованого збудження асинхронного генератора, що має підтримуватися первинним джерелом механічної енергії для запобігання зриву генерації енергії при підключенні навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Roos F. Electricity Supply Reliability: Evaluation of Improvement Solutions for Existing Electricity Networks. Lund: Lund Institute of Technology, 2005. 113 p.
2. Sigma. Natural catastrophes and man-made disasters in 2018: «secondary» perils on the frontline. Zurich: Swiss Re Institute. No 2/2019. 36 p.
3. Farah P. D. Sustainable Energy Investments and National Security: Arbitration and Negotiation Issues, *Journal of world energy law and business*. 2015. Vol. 8. No. 6. P. 34–49.
4. Halkos G., Managi M., Tzeremes N. The Effect of Natural and Man-made Disasters on Countries Production Efficiency. *The Journal of Economic Structures*. 2015. No 4 (10).
5. Zagirnyak M., Zachepa Iu., Chorny O., Chenchvoi V. The autonomous sources of energy supply for the liquidation of technogenic accidents. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2019. No. 95 (5). P. 47–50.
6. Zagirnyak M., Zachepa Iu., Chenchvoy V. Estimation of induction generator overload capacity under connected direct current consumers. *Acta Technica*. 2014. Praga: Institute of Thermomechanics AS CR. Vol. 59. No 2. P. 149–169.
7. Зачепа Ю. В. Условия гарантированного возбуждения асинхронного генератора автономного формируемого источника. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. 2015. Вип. 12 (1121). С. 214–217.
8. Зачепа Ю. В. Математическая модель формируемого источника автономного электропитания на базе дизель-генератора. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*: щоквартальний науково-виробничий журнал. 2015. № 1 (29). С. 26–37.
9. Злобин А. Ю. Применение асинхронизированных синхронных генераторов в дизель-электрических агрегатах. *Электротехника*. 2007. № 2. С. 55–59.
10. Лукутин Б. В., Сипайлов Г. А. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей. Фрунзе : Изд-во «Илим», 1987. 136 с.
11. Зачепа Ю. В. Автономные системы электроснабжения на базе асинхронных генераторов, основные требования и структура. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2010. № 2 (10). С. 32–40.
12. Грунауэр А. А., Долгих И. Д. Применение ЭВМ для изучения динамики САР ДВС : учеб. пособие. Киев : УМКВО, 1989. 285 с.
13. Нетушил А. В., Листвин В. С. Автономный асинхронный генератор как нелинейная автоколебательная система. *Изв. вузов. Электромеханика*. 1977. № 5. С. 500–505.
14. Кашкалов В. И. Конденсаторное торможение асинхронных двигателей. Москва : Энергия, 1977. 121 с.
15. Нетушил А. В. К расчету режимов самовозбуждения асинхронного генератора. *Электричество*. 1978. № 4. С. 51–53.
16. Торопцев Н. Д. Асинхронные генераторы автономных систем. Москва : Машиностроение, 1998. 290 с.
17. Алиев И. И., Беспалов В. Я., Чернов Р. О. Переходные режимы асинхронного генератора с гарантированным самовозбуждением при симметричной нагрузке. *Электротехника*. 1999. № 9. С. 53–55.
18. Кашкалов В. И., Долгополов Ф. К. Торможение асинхронных двигателей без внешнего источника энергии. Москва : Техника, 1985. 119 с.
19. Сергиенко С. А., Зачепа Ю. В. Метод расчета статических характеристик асинхронного генератора с емкостным возбуждением. *Энергетика: известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*. 2012. № 5. С. 57–66.

METHOD FOR DETERMINING THE MECHANICAL DEVICE FOR PAIRING OF ROTATION FREQUENCIES VEHICLE WHEELS AND ASYNCHRONOUS GENERATOR SHAFT UNDER GUARANTEED EXCITATION

Iu. Zachepa, O. Chorny, N. Zachepa, O. Khrebtova, I. Serhienko, V. Chenchvoi

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: zachepa.nataliia@ukr.net

S. Podnebenna

SHEI "Priazovskiy State Technical University"

vul. Universitetska, 7, Mariupol, 87555, Ukraine. E-mail: podsvet@gmail.com

Purpose. Development of a method for calculating and selecting a mechanical device for coupling the speeds of the vehicle wheel and the shaft of an asynchronous generator under the condition of its guaranteed excitation.

Methodology. The method of selection of transmission rollers of the mechanical device of conjugation of rotational frequencies is offered and the algorithm of its calculation is resulted. A method for determining the minimum allowable speed of the asynchronous generator shaft is proposed and the results of graphical and analytical solution for an

asynchronous machine type AOL 21-4 are given. **Result.** The analytical dependence of the minimum allowable speed of the induction shaft as a function of the parameters of the drive motor of internal combustion, capacitive excitation and load, which must be provided by selecting the gear ratio of the mechanical coupling device. **Originality.** The general criterion for selecting the size of the transmission rollers is presented in the form of a quality functional, which takes into account the range of variation of the crankshaft speed of the primary engine, the range of variation of the diameter of the transmission roller and the range of fuel consumption at the corresponding crankshaft speed. **Practical value.** The proposed methods and the obtained research results allow to calculate and design devices for mechanical coupling of rotational frequencies of the shafts of the primary propulsion and asynchronous generator, which will expand the scope of the latter as part of local autonomous power supplies. Figures 4, tables 4, references 19.

Key words: mechanical coupling, transfer rolls, internal combustion engine, asynchronous generator, guaranteed excitation

REFERENCES

1. Roos, F. (2005). *Electricity Supply Reliability: Evaluation of Improvement Solutions for Existing Electricity Networks*. Lund: Lund Institute of Technology.
2. Sigma (2019). Natural catastrophes and man-made disasters in 2018: «secondary» perils on the frontline. Zurich: Swiss Re Institute, 2.
3. Farah, P. D. (2015). Sustainable Energy Investments and National Security: Arbitration and Negotiation Issues, *Journal of world energy law and business*, 8 (6), 34–49.
4. Halkos, G., Managi, M., & Tzeremes, N. (2015). The Effect of Natural and Man-made Disasters on Countries Production Efficiency. *The Journal of Economic Structures*, 4 (10).
5. Zagirnyak, M., Zachepa, Iu., Chornyi, O., & Chenchvoi, V. (2019). The autonomous sources of energy supply for the liquidation of technogenic accidents. *Przeglad Elektrotechniczny*, 95 (5), 47–50.
6. Zagirnyak, M., Zachepa, Iu., and Chenchvoy, V. (2014). Estimation of induction generator overload capacity under connected direct current consumers. *Acta Technica*. 2014. Praga: Institute of Thermomechanics AS CR, 59 (2), 149–169.
7. Zachepa, Yu. V. (2015). Uslovyia harantirovannoho vobzuzhdeniia asynkhronnoho heneratora avtonomnoho formyruemoho ystochnyka. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «Kharkivs'kyi politekhnichnyi instytut»*. Kharkiv: NTU «KHPI», 12 (1121), 214–217. [in Russian]
8. Zachepa, Yu. V. (2015). Matematycheskaya model formyruemoho istochnyka avtonomnoho elektropytaniia na baze dyzel-heneratora. *Elektromekhanichni i enerhozberihayuchi systemy*, 1 (29), 26–37. [in Russian]
9. Zlobin, A. Yu. (2007), Primeneniye asinkhronizirovannykh sinkhronnykh generatorov v dizel'-elektricheskikh agregatakh. *Elektrotehnika*, 2, 55–59. [in Russian]
10. Lukutin, B. V., & Sipaylov, G. A. (1987). *Ispol'zovaniye mekhanicheskoy energii vobnovlyayemykh prirodnnykh istochnikov dlya elektrosnabzheniya avtonomnykh potrebiteley [Use of mechanical energy from renewable natural sources for power supply of autonomous consumers]*. Frunze: Izd-vo «Ilim». [in Russian]
11. Zachepa, Yu. V. (2010). Avtonomnye systemy elektrosnabzheniya na baze asynkhronnykh heneratorov, osnovnye trebovaniya y struktura. *Elektromekhanichni i enerhozberihayuchi systemy*, 2 (10), 32–40. [in Ukrainian]
12. Grunauer, A. A., & Dolgikh, I. D. (1989). *Primeneniye EVM dlya izucheniya dinamiki SAR [Application of computers for studying the dynamics of SAR]*. Kyiv: UMKVO. [in Russian]
13. Netushil, A. V., & Listvin, B. C. (1977). Avtonomnyy asinkhronnyy generator kak nelineynaya avtokolebatel'naya sistema. *Izv. vuzov. Elektromekhanika*, 5, 500–505. [in Russian]
14. Kashkalov, V. I. (1977). *Kondensatornoye tormozheniye asinkhronnykh dvigateley [Capacitor braking of asynchronous motors]*. Moscow: Energiya. [in Russian]
15. Netushil, A. V. (1978). *K raschetu rezhimov samovozbuzhdeniya asinkhronnogo generatora. Elektrichestvo*, 4, 51–53. [in Russian]
16. Toroptsev, N. D. (1998), *Asinkhronnyye generatory av-tonomnykh sistem [Asynchronous generators of autonomous systems]*. Moscow. [in Russian]
17. Aliyev, I. I., Bepalov, V. YA., & Chernov, P. O. (1999). Perekhodnyye rezhimy asinkhronnogo generatora s garantirovannym samovozbuzhdeniyem pri simmetrichnoy nagruzke. *Elektrotehnika*, 9, 53–55. [in Russian]
18. Kashkalov, V. I., & Dolgoplov, F. K. (1985). *Tormozheniye asinkhronnykh dvigateley bez vneshnego istochnika energii [Braking of asynchronous motors without an external source of energy]*. Moscow: Tekhnika. [in Russian]
19. Sergiyenko, S. A., & Zachepa, Yu. V. (2012). Metod rascheta staticheskikh kharakteristik asinkhronnogo generatora s yemkostnym vobzuzhdeniyem. *Energetika: izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'yedineniy SNG*, 5, 57–66. [in Russian]

Стаття надійшла 08.02.2021.