

Шифр «Гібрид 2»

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ
УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОХОДА

Харків 2021

ЗМІСТ

Вступ	3
1 Конструкції синхронних автотракторних генераторів.....	4
2 Конструкції авіаційних генераторів.....	7
2.1 Загальні відомості	7
2.2 Генератори постійного струму	8
2.3 Генератори змінного струму	10
Висновок.....	15
Список джерел інформації.....	16

ВСТУП

Генератор транспортного засобу це ключовий пристрій, що забезпечує перетворення механічної енергії в електричну, заряджає акумуляторну батарею та дозволяє працювати бортовим системам транспортного засобу.

Умовно можливо розділити транспортні засоби за шляхами їх пересування: суша, повітря, річні та морські сполучення.

Для застосування на сухопутних транспортних засобах, зокрема в автомобільній техніці, генератор використовується для живлення електроспоживачів, таких як система запалювання, автомобільна світлотехніка, бортовий комп'ютер, система діагностики і інші. До автомобільних генераторів висувають високі вимоги по надійності, так як генератор забезпечує безперебійну роботу більшості компонентів сучасного автомобіля. Типова потужність сучасного генератора в легковому автомобілі близько 1 кВт, вантажних автомобілях – 2 кВт, кар'єрних машинах – 4 кВт.

На перших автомобілях застосовували колекторні генератори постійного струму, колекторний вузол яких вимагав постійного контролю і частого обслуговування і, до того ж, серйозно обмежував струм навантаження. Поява потужних діодних випрямлячів, спочатку селенових, а пізніше кремнієвих, дозволило використовувати на автомобілі синхронний генератор змінного струму. У сучасних автомобілях застосовуються синхронні трифазні електричні машини змінного струму, а для випрямляча застосовують трифазну схему Ларіонова. Авіаційні генератори також розподіляються на генератори постійного та змінного струму, але останні поділяються також на генератори стабільної або нестабільної частоти. Визначення типу генератора для гібридної силової установки електрохода є важливим заходом і тому необхідно провести аналіз конструкцій існуючих генераторів, що дозволить виявити максимальні питомі показники та переваги різних типів генераторів.

1 КОНСТРУКЦІЇ СИНХРОННИХ АВТОТРАКТОРНИХ ГЕНЕРАТОРІВ

Генератори змінного струму можуть виконуватись безконтактними: з обертовим випрямлячем, магнітоелектричні, комбінованого збудження, індукторні, з внутрішнім магнітопроводом (сексіни) та інші. Найчастіше у автомобілях зустрічається конструкція контактних синхронних генераторів (рис. 1.1).

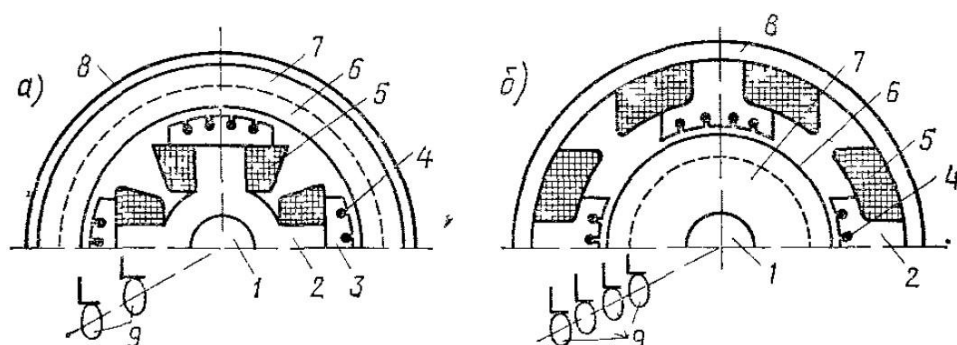


Рис. 1.1 – Магнітне коло контактних генераторів: *а*

– з обертовим індуктором; *б* – з обертовим якорем;

1 – вал; 2 – полюс індуктора; 3 – полюсний башмак; 4 – демпферна клітка; 5 – котушка обмотки збудження; 6 – зубцевий шар і обмотка якоря; 7 – спинка якоря; 8 – корпус; 9 – контактні кільця.

Синхронні генератори у порівнянні з генераторами постійного струму з колектором є більш надійними і приблизно втричі легшими при тій же потужності і більш стабільному вихідному струмі, а також потребують менше технічного обслуговування якщо виконані із збудженням від постійних магнітів (магнітоелектричне), але навіть при наявності котушки збудження вони мають всього два контактних кільця та дві вугільнографітні щітки. Технічне обслуговування таких генераторів досить просте у порівнянні з генераторами постійного струму з колектором.

Щоб після пуску ДВЗ генератор віддавав струм до споживачів, необхідно забезпечити живлення обмотки збудження. Струм в обмотці збудження керується стабілізатором напруги, який може бути виконаний у вигляді окремого вузла або вбудований в щітковий вузол генератора. У переважній більшості сучасних генераторів стабілізатор напруги живиться від окремої секції випрямляча. Ротор генератора приводиться в рух від коленвала через шків за допомогою клинового ремня. Створюване обмоткою збудження магнітне поле індукує ЕРС у фазових обмотках статора та при наявності замкненого кола протікає струм. Через нестабільність частоти обертання двигуна і частих стрибкоподібних змін навантаження необхідна стабілізація вихідної напруги генератора, її забезпечує стабілізатор напруги шляхом зміни струму збудження генератора. Напруга бортової мережі при працюючому генераторі і справному регуляторі напруги підтримується на рівні 13,9-14,5 В. Цю напругу необхідно підтримувати для забезпечення проходження струму заряду через акумуляторну батарею, при цьому необхідно забезпечити деяке перевищення спільного електрохімічного потенціалу всіх пластин всіх банок, інакше автомобільний акумулятор не буде заряджатися. На автомобілях і автобусах з потужними дизельними двигунами використовуються потужні автомобільні стартер-генератори. Для забезпечення потужності без підвищення споживаного струму використовується підвищена напруга бортової мережі – 24 В. Встановлюються відповідно генератори з номінальною напругою 28,4 В. Загальний вигляд автомобільного генератору наведено на рис. 1.2., а їх порівняння наведено у таблиці 1.1.

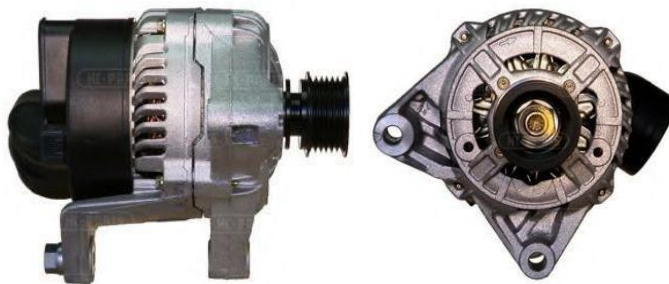


Рисунок 1.2 – Автомобільний генератор з номінальною напругою 12 В

2 КОНСТРУКЦІЇ АВІАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ

2.1 Загальні відомості

Генератори літаків або вертольотів мають значно більшу потужність ніж у вантажних та легкових автомобілів через їх значно більшу частоту та напругу. Бортова система електропостачання літальних апаратів (бортова СЕП ЛА) – система електропостачання, призначена для забезпечення бортового електроустаткування літального апарату електроенергією необхідної якості. Системою електропостачання прийнято називати сукупність пристроїв для виробництва і розподілу електроенергії. Починаючи з 20-х років минулого століття, на літаках почали використовувати генератори постійного струму на 8, потім на 12, і, нарешті, на 27 В.

Для живлення бортового обладнання і систем ЛА в даний час застосовується електроенергія постійного струму напругою 28 вольт, змінного однофазного або трифазного з нейтраллю струму з напругою 200/115 вольт, частотою 400 Гц, змінного трифазного без нейтралі струму лінійною напругою 36 вольт, 400 герц. Сумарна потужність генераторів на борту може становити від 20 кВт для невеликих літаків або вертольотів до 600 і більше кВт для важких ЛА.

До складу бортової СЕП входять джерела струму, апаратура регулювання, управління і захисту, власне бортова мережа з розподільними пристроями, пристроями захисту ланцюгів споживачів, а також пристроями захисту від радіоперешкод, статичної електрики і електромагнітних випромінювань. Розрізняють первинні і вторинні джерела електроенергії. До первинних джерел відносять бортові електрогенератори і акумуляторні батареї. До вторинних джерел відносять трансформатори і перетворювачі. За принципом дії авіаційні генератори не відрізняються від аналогічних наземних генераторів, але мають ряд особливостей: малу вагу і габарити, велика щільність струму якоря, примусове повітряне, випарне або рідинне

охолодження, висока частота обертання ротора, застосування високоякісних конструкційних матеріалів. Як джерела постійного струму зазвичай застосовують безконтактні синхронні генератори змінного струму і колекторні генератори постійного струму.

Генератори встановлюються на двигунах і допоміжних силових установках (ДСУ), при цьому частота обертання турбогвинтових двигунів літаків і вертольотів стабілізована регулюванням навантаження двигуна за рахунок зміни кроку гвинта, а ось на турбореактивних двигунах частота обертання ротора може змінюватися в широких межах і при жорсткому механічному приводі на генератор змінного струму частота також істотно змінюється, що часто неприпустимо по ТУ споживачів. Загальний вигляд генератора для літаків зображено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вид авіаційного генератора

2.2 Генератори постійного струму

Використовувані нині на невисотних дозвукових літаках генератори охолоджуються шляхом продувки через них зустрічного потоку повітря. Типова схема повітряного охолодження авіаційного генератора постійного струму показана на рис. 2.2. ГПС виконано класичної конструкції, але з особливостями у системі охолодження.

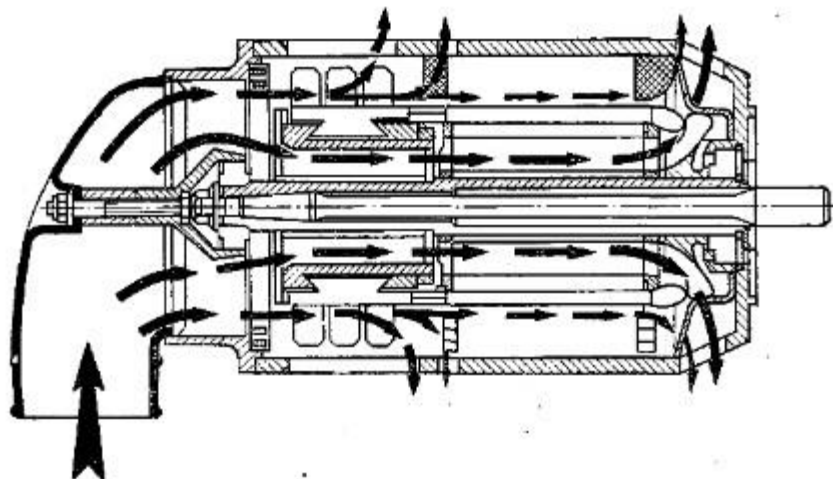


Рисунок 2.2 – Схема повітряного охолодження авіаційного генератора

Холодне повітря, що поступає в генератор, обтікає нагріті частини колектора, щіткотримача, якоря і обмоток, відбирає у них тепло, що виділяється, і відносить його назовні. Повітря поступає в генератор через вхідний патрубок і розгалужується по трьох напрямках:

перший – частина повітря прямує через канали, які виконані всередині колектора і осерді якоря. Це повітря знімає тепло, яке виділяється в щіткололекторному вузлі та якорі генератора і викидається через вікна, що розміщені в корпусі з боку приводу; **другий** – проходить над колектором, обтікає його і щіткотримачі з щітками і виходить через отвори, наявні в корпусі над колектором; **третій** – проходить уздовж корпусу між якорем і полюсами і виходить назовні через вікна в корпусі з боку приводу.

Перевагою системи примусового охолодження є висока ефективність. Недолік її полягає в тому, що до генератору можуть потрапляти пил, пари води і масла, що зменшує надійність його роботи, а також те, що на землі і при зльоті не можна отримати від генератора повну потужність, через малу кількість охолоджуваного повітря, що проходить через нього.

При випарній системі охолодження відведення тепла від генератора відбувається за рахунок випару рідини (зазвичай спиртоводяної суміші), що подається через форсунки у внутрішню порожнину генератора.

У комбінованих системах охолодження при швидкості польоту до значень числа Маха $M \approx 1,5$ здійснюється охолодження генератора повітрям. При числі $M \geq 1,5$, внаслідок слабкої ефективності повітряної системи охолодження, із-за підвищення температури загальмованого потоку повітря, використовується випарна система охолодження.

2.3 Генератори змінного струму

Одні з найпоширеніших типів генераторів, застосовуваних в літальних апаратах це безконтактні синхронні генератори з обертовими випрямлячами. Сильні сторони такого генератора полягають в тому, що потужність на збудження основного генератора надходить від додаткового генератора (підзбудник) через електромеханічне перетворення енергії від авіадвигуна. При цьому підзбудник використовується в якості джерела живлення кола регулювання, захисту і управління системами електропостачання. Такі генератори нашили широке застосування на таких літаках, як МіГ-29, Су-27, Ту-204, Іл-96, Ан-70. На рис. 2.3 показана конструкція синхронного генератора ГТ40ПЧ8 з обертовими випрямлячами та повітряним охолодженням [9].

Одним з перспективних напрямків розвитку автономних джерел живлення літальних апаратів є застосування генераторів з порушенням від постійних магнітів. Ці генератори відрізняють надійне збудження і відсутність спеціального джерела живлення для ланцюга збудження, висока експлуатаційна надійність в роботі і простота технічного обслуговування, високий ККД, мала інерційність при перехідних процесах, можливість роботи при досить високих температурах і частотах обертання [9]. Кількість полюсів їх індукторів різне: вісім у ГТ40, ГТ60 і чотири у ГТ30.

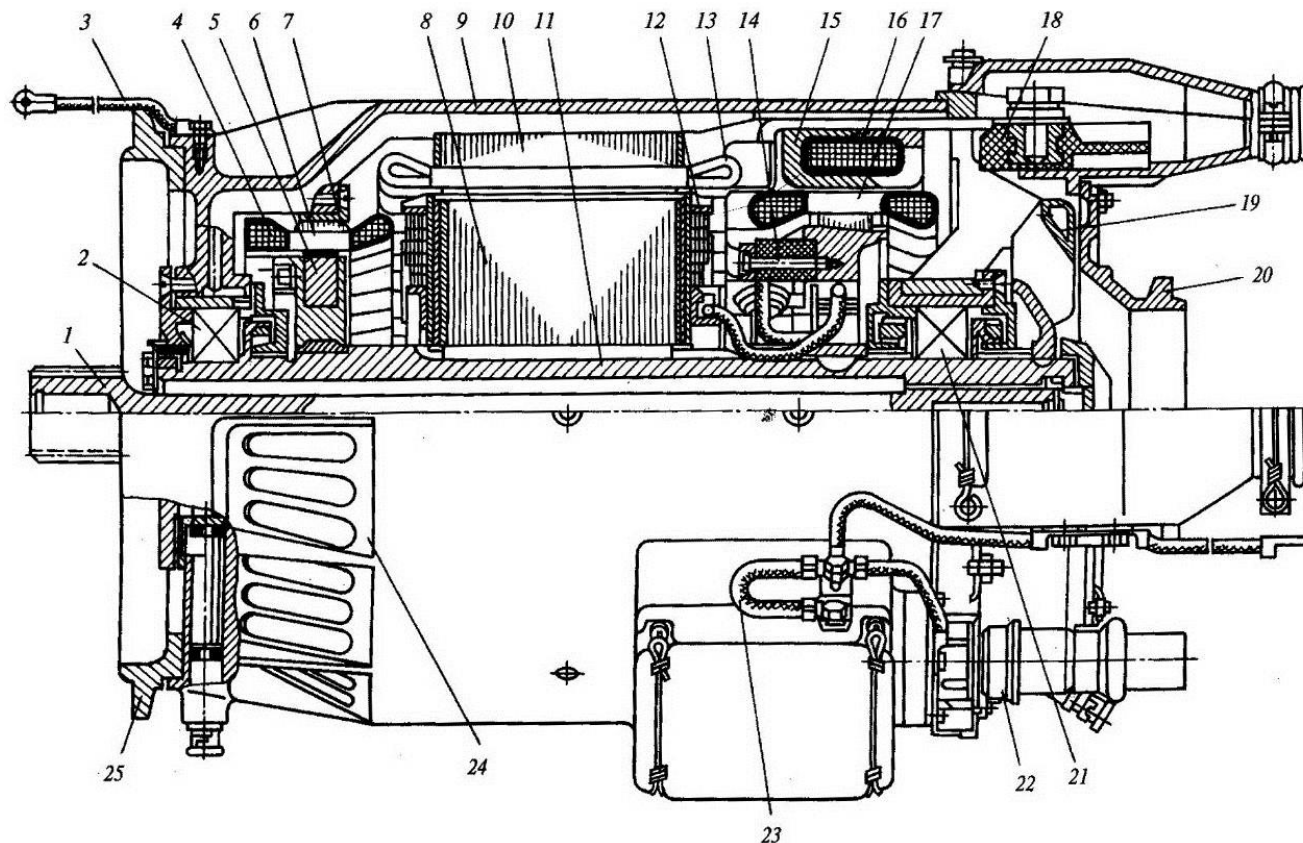


Рисунок 2.3 – Конструкция генератора ГТ40ПЧ8:

1 – гнучкий вал; 2, 21 – підшипники; 3 – вивідні кінці; 4 – обмотка підбудника; 5 – ротор підбудника; 6 – статор підбудника; 7 – корпус підбудника; 8 – індуктор основного генератора; 9 – корпус генератора; 10 – статор основного генератора; 11 – порожнистий вал; 12 – обмотка збудження основного генератора; 13 – обмотка статора; 14 – блок діодів; 15 – статор збудника; 16 – обмотка збудження збудника; 17 – якір збудника; 18 – клемна панель; 19 – вентилятор; 20 – патрубок; 22 – роз'єм; 23 – клемна коробка трансформаторів струму; 24 – кожух; 25 – фланець кріплення генератора на двигун.

Загальним в конструкції валів авіаційних генераторів є те, що всі вони порожні. У генераторі ГТ40 застосована двухвальна система з гнучким валом (торсионом) для з'єднання ротора за допомогою шліців з редуктором приводу газотурбінного двигуна. У генераторі ГТ60 для стикування електричної машини з приводом використано шліцьовий перехідний валік. Вал інтегрального генератора виконаний герметизованим і забезпечений обертовими ущільнювачами [10]. Для розподілу холодоагенту (масла) у валу в декількох перетинах по довжині машини передбачені жиклери, кількість яких відповідає кількості полюсів. Для розглянутого генератора їх кількість в кожному з двох перетинах дорівнює чотирьом.

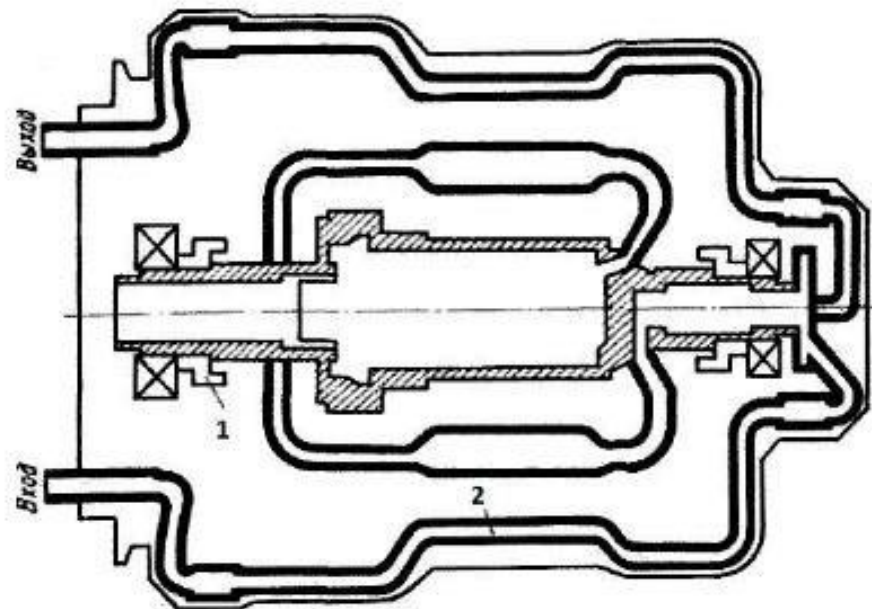


Рисунок 2.4 – Генератор змінного струму з масляним циркуляційним охолодженням

На рис. 2.4 приведена схема з масляним циркуляційним охолодженням генератора змінного струму, яка нині є найбільш ефективною. Генератор охолоджується маслом, що поступає з масляної системи гідроприводу генератора. Цей "холодоагент" має на вході в генератор температуру **+165 С** і тиск **80** атм. Так звана циркуляційна система охолодження передбачає

циркуляцію масла по каналах **2** статора, переходження в ротор, циркуляцію в роторі, повернення в статор і назад в загальну з приводом постійної частоти **13** обертання систему маслопостачання. Дуже складними для виконання виявилися в цьому випадку вузли рідкого мастила підшипників і їх ущільнення в генераторі. Вони повинні забезпечувати ізоляцію високочастотного генератора від масла, що має високу температуру і подається під великим тиском. Але такі ущільнення розроблені і в теперішній час успішно використовуються в генераторах з масляним циркуляційним охолодженням.

Генератор потужністю в **60** кВа з масляним циркуляційним охолодженням має масу **41** кг, тобто приблизно **0,7** кг/кВа. Це є великим досягненням в генераторобудуванні для літаків. Охолодження генератора на землі при працюючому авіадвигуні здійснюється шляхом обдування вентилятором, насадженим на кінець вала. За наявності тільки самовентиляції з генератора можна зняти не більше **30** % номінальної потужності [11]. Аналіз паспортних даних наведено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Аналіз авіаційних генераторів відповідно до питомої потужності.

Параметри	Название генератора							
	СГК 11/1,5 КИС М [12]	СГО-3 серия, 8-ТФ [12]	СГО ₃₀ ^У -РС [12]	ГТ120ПЧ6А, АБ [12,13]	СГС ₃₀ ^Б [12]	СГС-Т ₃₀ ^[1 4]	СГС-У ₄₀ ^[1 4]	СГС-90[14]
Страна виробник	RU					UA		
Напруга, В	120	115	208	208	208	208	208	360
Струм, А	44,5	69,5	144	250-333	28-83	83	111	120
Електрична потужність, кВт·А	16	8	30	120	30	30	40	75
Вага генератора, кг	36	32,5	41,5	67,5	30,2	30,5	39,8	62
Питома потужність, кВт·А /кг	0,44	0,24	0,72	1,77	0,99	0,98	1,005	1,2
Частота напруги, кГц	0,4	0,4- 0,9	0,39- 0,43	0,38-0,42	0,2-0,46	0,22-0,45	0,37-0,41	0,37- 0,45
Частота обертання, об/мин	8	4-9	7,75- 8,35	5,7-6,3	4,2-9,3	4,5-9	7,7-8,3	7,5-9

ВИСНОВОК

1. Конструкції існуючих автомобільних генераторів виконуються з ІС 01, ІР 20, що передбачає захист від проникнення твердих предметів розміром більше 12 мм, пальців рук або інших предметів довжиною не більше 80 мм і не мають захисту від попадання крапель сторонніх рідин. Таке рішення дозволяє створити кращі умови для охолодження генератора. Система охолодження використовує повітря навколишнього середовища з самовентиляцією для зниження температури обмотки статора і ротора. При таких інженерних рішеннях питома потужність генераторів різних виробників знаходиться в діапазоні 0,15-0,25 кВт / кг.

2. Конструкції існуючих авіаційних генераторів виконуються з ІС 39U, ІР 65, що передбачає повний захист від проникнення пилу і струменя води падаючої під будь-яким кутом. В якості системи охолодження використовується повітря, масло або спирт з циркуляційним охолодженням. Ці рішення дозволяють збільшити питому потужність генераторів різних виробників до 1-1,77 кВт·А/кг.

3. Незалежно від типу генератора частота вихідної напруги змінюється в залежності від частоти обертання і знаходиться в діапазоні 0,2-0,46 кГц як для авіаційних генераторів так і автомобільних. Частота обертання змінюється в діапазоні 4-9 тис.об/хв для авіаційних і 1-6 т. об/хв для автомобільних генераторів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

- 1 <http://kuzov-parts.com.ua/tecdoc/product/akey-9939490-bkey-FRIESEN>
- 2 Сайт DRA7410N DELCO REMY <https://autobank.by/detail/dra7410n/delco%20remy/>
- 3 Сайт Valeo 436427 <https://motorkraft.com.ua/%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80-436427-VALEO.265444>
- 4 937410N EDR Генератор <https://autobank.by/detail/937410n/edr/>
- 5 CAL10608AS CASCO Генератор <https://autobank.by/detail/cal10608as/casco/>
- 6 2010608.0 SANDO Генератор <https://autobank.by/detail/20106080/sando/>
- 7 860558 PRESTOLITE ELECTRIC ГЕНЕРАТОР https://spetstorg.com.ua/partprestolite_electric-858783/
- 8 Завод им. А.М. Тарасова Генератор 6311.3701 Белаз (ЯМЗ-240) <https://www.kzate.ru/product/dlya-legkovykh-a-m/generatory/>
- 9 Электрооборудование летательных аппаратов : учебник Э455 для вузов. Том1/ по редакции С.А Грузкова.— М.: Издательство МЭИ, 2005.
- 10 Электрооборудование летательных аппаратов : учебник Э455 для вузов. Том2/ по редакции С.А Грузкова.— М.: Издательство МЭИ, 2005.
- 11 <https://studfile.net/preview/5376305/page:2/>
- 12 9. <http://www.bivolt.ru/katalog/SGK-11KIS.html>
- 13.10. <http://www.lepse.com/products/166/4631/>
- 14 <https://vertol.com.ua/catalog/katalog-ati/ati-dlya-otchestvennyh-vs/sistemybortovogo-oborudovaniya/sistema-bortovogo-9>