

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Системи та обладнання авіаційної техніки»  
вибіркових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт (Аеронавігація)***

**за темою №12 - Пускові системи**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023р. № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного університету  
внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023р. № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023р. № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023р. № 1

**Розробники:**

- 1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Царенко Андрій Олександрович*
- 2. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії Пономаренко Анатолій Володимирович.*

**Рецензенти:**

- 1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.*
- 2. Професор циклової комісії аеронавігації КЛК ХНУВС, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.*

### План лекції

1. Призначення та основні вимоги.
2. Процес пуску ГТД.
3. Стартери для попередньої розкрутки ротора двигуна.
4. Призначення, вимоги та типи систем запалювання.
5. Склад, принципова будова та робота агрегатів системи запалювання.

### Рекомендована література:

#### Основна:

1. Кулик М.С., Тамаргазін О.А. Конструкція, міцність та надійність газотурбінних установок і компресорів. Київ: НАУ, 2009. 477 с.
2. Терещенко Ю.М. Газотурбінні двигуни літальних апаратів, Київ: Вища школа, 2000. 319 с.
3. Царенко А.О., Шмельов Ю.М. Модуль 15. Газотурбінний двигун (категорія В1). Конспект лекцій. Кременчук: КЛІК ХНУВС, 2019. 810 с.

#### Допоміжна:

4. Aviation Maintenance Technician. Handbook–Powerplant. Volume 1.U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2012. 282 p.
5. Aviation Maintenance Technician. Handbook–Powerplant. Volume 2.U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2012. 280 p.

#### Інформаційні ресурси в Інтернеті

6. Aviation Maintenance Technician. Handbook–Powerplant. U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2023. 500 p. URL.:[https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/amt\\_powerplant\\_handbook.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/amt_powerplant_handbook.pdf) (дата звернення 26.08.2023)
7. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION: Helicopter Flying Handbook. URL.:[https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/helicopter\\_flying\\_handbook](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/helicopter_flying_handbook) (дата звернення 26.08.2023)
8. L'AVIONNAIRE: LES TURBOMACHINES. URL.: <https://lavionnaire.fr/MotorIntro.php> (дата звернення 26.08.2023)

### Текст лекції

#### 1. Призначення та основні вимоги

Для того, щоб здійснити запуск двигуна, необхідно: стороннім джерелом енергії розкрутити ротор турбокомпресора до такої частоти обертання, при якій компресор зможе всмоктувати стискати і подавати в камеру згоряння кількість повітря, необхідне

для стійкого горіння паливоповітряної суміші, а турбіна компресора буде розвивати потужність, потрібну для обертання ротора компресора: забезпечити подачу необхідної кількості палива в камеру згоряння паливоповітряної суміші та стійкість її горіння. Для запуску необхідно пусковий пристрій - стартер, джерела енергії для живлення стартера, пускові паливні магістралі, агрегати запалювання та управління.

Комплекс цих пристроїв і агрегатів називається системою запуску. Процес запуску до виходу двигуна на заданий режим відбувається автоматично, після натискання на пускову кнопку і важеля РУД в положення, відповідне запуску.

До систем запуску пред'являються такі основні вимоги, які спрямовані на забезпечення:

- надійного і сталого запуску двигуна на землі в діапазоні температур навколишнього повітря від  $-60$  до  $+60$  °С. Допускається попередній підігрів ТРД при температурі нижче  $-40$  °С, а ТВД - нижче  $-25$  °С;
- надійного запуску двигуна в польоті у всьому діапазоні швидкостей і висот польоту;
- тривалості запуску ГТД, що не перевищує 120 с, а для поршневих 3 ... 5 с;
- автоматизації процесу запуску, т. є, автоматичного включення і виключення всіх пристроїв і агрегатів в процесі запуску двигуна;
- автономності системи запуску, мінімальних витрат енергії на один запуск;
- можливості багаторазового запуску;
- простоти конструкції, мінімальних габаритних розмірів і маси, зручності, надійності та безпеки в експлуатації.

## **2. Процес пуску ГТД.**

Відповідно до пускової характеристики двигуна процес запуску двигуна складається з трьох основних етапів.

Перший етап починається з моменту включення стартера ( $\eta_{тк} = 0$ ) і продовжується до моменту подачі в камеру згоряння та займання в ній робочого палива ( $n_1$ ). Розкрутка ротора турбокомпресора на цьому етапі запуску здійснюється тільки стартером.

Другий етап починається з моменту, коли вступає в роботу турбіна компресора ( $n_1$ ), а також розвивається позитивний крутний момент і закінчується в момент відключення стартера ( $n_2$ ). Розкручування ротора турбокомпресора на цьому етапі запуску здійснюється спільно стартером та турбіною компресора.

Третій етап починається з моменту відключення стартера ( $n_2$ ) і закінчується в момент виходу двигуна режим малого газу ( $n_{мг}$ ). Розкручування ротора турбокомпресора на цьому етапі здійснюється лише турбіною компресора.

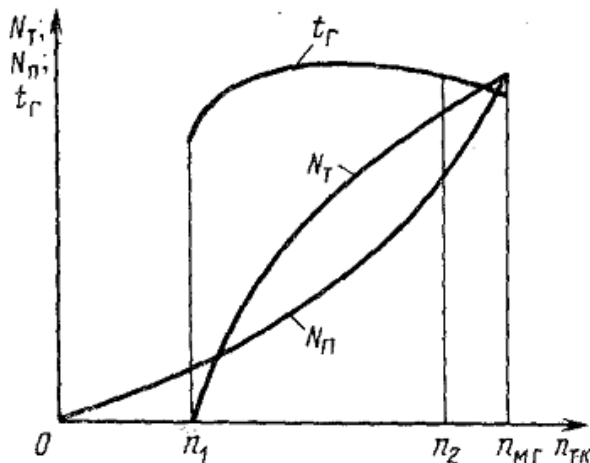


Рис. 1 Пускова характеристика двигуна ( $N_{\Pi}$  - потужність, необхідна для розкручування турбокомпресора;  $N_T$  - потужність, що розвивається турбіною компресора)

### 3. Стартери для попередньої розкрутки ротора двигуна.

На сучасних ГТД, переважно, використовуються електричні, повітряні, гідравлічні та турбокомпресорні пускові пристрої (далі за текстом – стартери). На вибір типу пускового пристрою значно впливає тип джерела енергії, що є на борту ЛА, а також величина необхідної потужності пускового пристрою і тривалість запуску двигуна.

#### Електричні пускові пристрої ГТД

Переважна більшість експлуатованих вітчизняних та зарубіжних ЛА має на борту в тому чи іншому вигляді електричні стартери. Відмінність лише в тому, що на легких вертольотах і літаках ці стартери використовуються для запуску основних ГТД, а на середніх і важких - для запуску ДСУ, що забезпечують повітрям повітряні турбостартери. На військових ЛА електричним стартером запускається ТКС, який, у свою чергу, запускає маршовий ГТД літака.

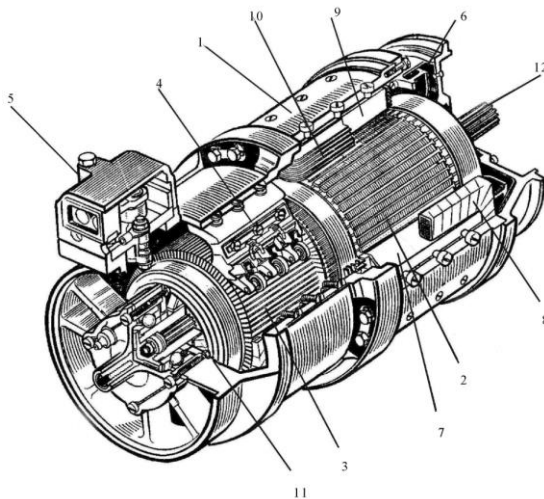


Рис.2 Стартер-генератор

1 – статор; 2 – якорь; 3 – колектор; 4 – щіткотримач; 5 – клемна коробка; 6 – вентилятор; 7 – головний полюс; 8 – обмотка головного полюса; 9 – додатковий полюс; 10 – обмотка додаткового полюса; 11 – порожнистий вал; 12 – шліцевий валик

Для зниження загальної маси електричних систем запуску та енергоживлення широко використовуються стартери-генератори постійного струму, що не вимагають постановки на ГТД окремого генератора.

З метою зниження ударних навантажень на початку запуску на 1...2 секунди електростартер або стартер-генератор зазвичай включається через пусковий резистор, що значно знижує напруження. Для підвищення потужності в процесі розкручування застосовують перемикання напруги живлення електростартера або стартера-генератора з 24 на 48 в.

Поєднання стартера і генератора в одному агрегаті засноване на властивості оборотності електричних машин. Використання цієї властивості в електричних пускових системах дозволяє значно скоротити вагу пускової системи. Як і

електростартер, стартер-генератор (Рис.2) має статор 1, в якому обертається якорь 2 з колектором 3. Також є щіткотримач 4 і коробка клемна 5.

Основна особливість стартера-генератора – це відсутність редуктора, муфти вільного ходу, наявність системи охолодження з вентилятором 6, а також наявність, крім головних полюсів 7 з обмотками 8, додаткових полюсів 9 з обмотками 10, одна з яких є компенсаційною обмоткою збудження генератора. Для підвищення ефективності повітряного охолодження вал 11 якоря виконаний порожнистим. Порожнина продувається повітрям від вентилятора.

З'єднання з ГТД здійснюється через шліцевий валик 12. Перемикання агрегату зі стартерного режиму на генерування електроенергії в бортову мережу літака здійснюється спеціальною автоматикою.

### *Повітряні пускові пристрої ГТД*

Як пускового пристрою в повітряній пусковій системі запуску ГТД найчастіше використовується повітряний турбостартер (ВТС) (рис.3). ВТС мають велику питому потужність при відносно малих масі і габаритах, порівняно просту конструкцію і високу надійність. На літаках як робоче тіло для ВТС використовується стиснене повітря, що відбирається від ДСУ, або від раніше запущеного ГТД, або аеродромної установки повітряного запуску.

До недоліків повітряної пускової системи відноситься складність підведення робочого тіла (повітря) з мінімальними втратами тиску і температури від ДСУ – потрібно провести літаком трубопровід великого діаметру.

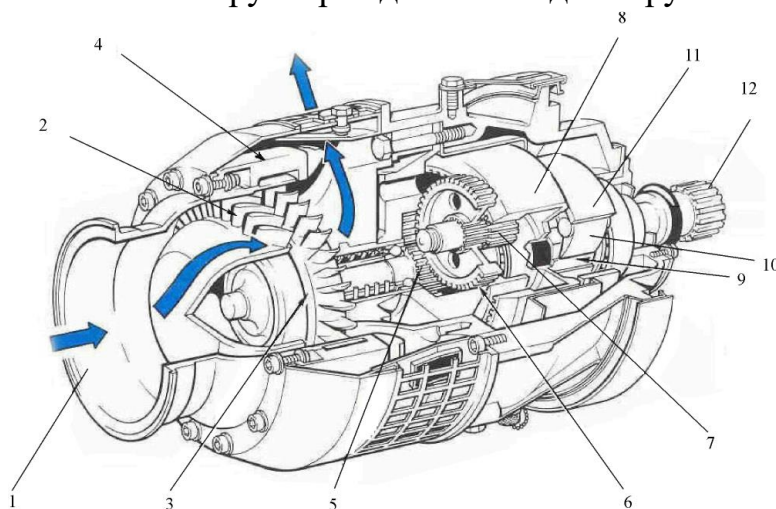


Рис. 3 Повітряний турбостартер з осьовою турбіною

1 – вхідний патрубок; 2 – сопловий апарат; 3 – ротор турбіни; 4 – захисне кільце; 5 – центральне зубчасте колесо; 6 – ведене зубчасте колесо першого ступеня редуктора; 7 – провідне зубчасте колесо другого ступеня редуктора; 8 – зубчасте колесо внутрішнього зачіплення; 9 – храповик; 10 – "собачка"; 11 – повідець; 12 – приводний валик

### *Повітряно-турбінні пускові пристрої ГТД*

Повітряно-турбінний пусковий пристрій складається з ВТС, відсічної та регулюючої заслінки. Зазвичай ВТС розміщується на коробці приводів ГТД. Сучасні ВТС виконуються, як правило, з осьовою повітряною турбіною, яка володіє меншими діаметральними габаритами і, отже, дозволяє скоротити габарити мотогондоли ГТД.

На рис. 3 показана конструкція ВТС з осьовою турбіною. ВТС складається з наступних основних елементів: вхідного патрубку 1, через яке повітря подається на сопловий апарат 2, і далі на ротор 3 осьової одноступеневої турбіни. Відпрацьоване повітря випускається через вікна в корпусі турбіни. При подачі повітря у вхідний

патрубок ротор турбіни разом із встановленим на ньому центральним зубчастим колесом 5 першого ступеня редуктора починає обертатися. При певній (заданій САУ) частоті обертання ротора ГТД ВТС відключається і починає знижувати частоту свого обертання, а частота обертання ротора ГТД продовжує збільшуватися. При цьому обгінна муфта розчеплюється.

### *Струменевий пусковий пристрій ГТД*

Для запуску двигунів також застосовуються струменеві пускові пристрої, в яких робоче тіло (стиснене повітря або газ) подається безпосередньо на робочі лопатки компресора або турбіни ГТД. Приклад такого пристрою показано на рис. 4. На робочих лопатках енергія стисненого повітря чи газу, що підводиться від стороннього джерела, перетворюється на кінетичну енергію обертання ротора ГТД.

Область застосування подібних пускових пристроїв - невеликі ЛА з малорозмірними ГТД, допоміжні бортові ГТД, підйомні ГТД літаків з вертикальним зльотом та посадкою. Для запуску підйомних ГТД повітря відбирається від компресора працюючого маршового ГТД.

Основною перевагою такого пускового пристрою є можливість значного зниження маси і габаритів ГТД за рахунок виключення складного кінематичного приводу від пускового пристрою до ротора ГТД і самого пускового пристрою. Головним недоліком є низький к.к.д.

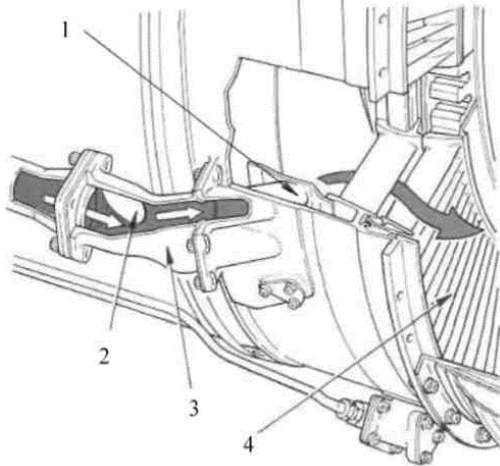


Рис.4 – Струменевий пусковий пристрій

1 – сопло; 2 – зворотний клапан;

3 – патрубок вхідний; 4 – турбіна

Це пояснюється рядом причин, основними з яких є додаткові втрати енергії при впливі струменя на робочі лопатки ротора ГТД і перетворення її в момент, що крутить, відхилення обраних геометричних кутів пускового сопла від оптимальних величин. Зокрема, до такого відхилення змушені вдаватися через застосування поличкових робочих лопаток турбіни та інших особливостей конструкції вузла турбіни та компонування пускового пристрою на ГТД.

### *Турбокомпресорні пускові пристрої ГТД*

Вперше у світі ТКС для запуску авіаційних ГТД були спроектовані та виготовлені в Радянському Союзі для ТРД АМ-3 пасажирського літака Ту-104.

Цей тип пускового пристрою є малорозмірним ГТД з обмеженою тривалістю роботи (до 90...120 секунд) і потужністю від 50 до 200 кВт у стартерному режимі. Як правило, крутний момент від турбіни ТКС передається на ротор ГТД через редуктор стартера і коробку приводів.

Основна перевага ТКС - це автономність, тому пусковий пристрій цього типу знайшов широке застосування для авіаційних ГТД військового призначення. ТКС

працюють на основному паливі ГТД і тому практично не залежить від запасу робочого тіла на борту ЛА.

До недоліків ТКС слід віднести значну складність, появу елементів гарячої частини стартері, складність розміщення на ГТД, так як ТКС мають великі габаритні розміри, необхідність розміщення додаткових агрегатів, які обслуговують даний тип пускового пристрою, і високу вартість.

#### **4. Призначення, вимоги та типи систем запалювання**

Для займання ППС в КС двигуна застосовується система запалювання. Система запалювання забезпечує:

- початкове займання ППС при запуску двигуна на землі (при зльоті ЛА);
- займання ППС при запуску двигуна в польоті після його відключення за сигналами аварійного відключення або за командою з пульта управління;
- підведення теплової енергії до ППС при виконанні польоту у важких кліматичних умовах (опаді, туман, сильний вітер тощо), на максимальних або аварійних режимах (зліт, посадка, відключення одного з двигунів ЛА тощо), а також по командах з пульта управління.

Крім загальних вимог до систем запалювання пред'являються додаткові вимоги:

- надійність займання ППС у заданій галузі експлуатації;
- можливість використання бортового джерела живлення;
- вибухобезпека.

Усього у світі виробляється понад 190 типів систем запалювання, які можна класифікувати наступним чином:

- за призначенням (для запуску двигуна на землі та в польоті, для супроводу в польоті);
- за принципом дії (ємнісні, плазмові, лазерні);
- по струму живлення (на постійному струмі, на змінному струмі);
- за джерелом живлення (від автономного джерела живлення - електромашинний генератор або акумуляторна батарея, від бортової мережі);
- за режимом роботи (тривалий, повторно-короткочасний, дворежимний з різними рівнями розрядної енергії);
- за величиною напруги, що надходить від агрегату запалювання на свічки (низковольтні - вихідна напруга агрегату запалювання від 2 до 10 кВ, високовольтні - вихідна напруга агрегату запалювання більше 10 кВ);
- за накопиченою енергією (малої енергії - до 10 Дж, великої енергії - понад 10 Дж);
- за кількістю каналів (одноканальні, двоканальні);
- на кшталт використовуваних свічок запалювання (зі свічками розжарювання, з іскровими свічками);
- за способом включення свічок запалювання в розрядний ланцюг (з паралельним включенням свічок запалювання, з послідовним включенням свічок запалювання);
- за способом запалювання камери згоряння (з запалюванням КС безпосередньо від свічки запалювання - з безпосереднім займанням, з запалюванням КС пусковим запалювачем);



- за способом отримання іскрового розряду (з розрядником; з тиристорним комутатором енергії);
- по керованості агрегату запалювання (керований, з вбудованою системою контролю, некерований);
- за типом розряду свічки запалювання (коливальний, аперіодичний).

Найбільш поширені ємнісні двоканальні низьковольтні системи запалювання з незмінним агрегатом запалювання, який живиться від бортової мережі, з повторно - короткочасним режимом роботи, з паралельним включенням іскрових свічок запалювання з аперіодичним розрядом.

## 5. Склад, принципова будова та робота агрегатів системи запалювання.

Як приклад розглянемо систему запалювання двигуна ПС-90А. Вона складається з одного двоканального агрегату запалювання ПВФ-22-7, двох свічок СП-92П з кожухами, двох високовольтних проводів у комплекті з контактними пристроями.

Агрегат запалювання (Рис. 5) кріпиться на розділовому корпусі ГТД. На корпусі 5 агрегату запалювання встановлені два з'єднувачі - «Живлення» 1 і «Контроль» 2, ніпелі роз'ємів 3 для підключення високовольтних проводів, кронштейни 4 для кріплення агрегату запалювання. Агрегат закритий кришкою 6, привареною до корпусу після збирання.



Рис. 5 Агрегат запалювання 1 – з'єднувач «Живлення»; 2 – з'єднувач «Контроль»; 3 – роз'єми для підключення високовольтних проводів; 4 – кронштейн; 5 – корпус; 6 – кришка

Агрегат запалювання має два незалежні електричні канали в кожен з яких входять перешкоподавляючий фільтр, транзисторний перетворювач, накопичувальні конденсатори, розрядник, активізатор і датчик контролю (рис. 7). Робота агрегату запалювання заснована на принципі накопичення електричного заряду на накопичувальному конденсаторі протягом певного проміжку часу та короткочасному розряді конденсатора через міжелектродний проміжок свічки.

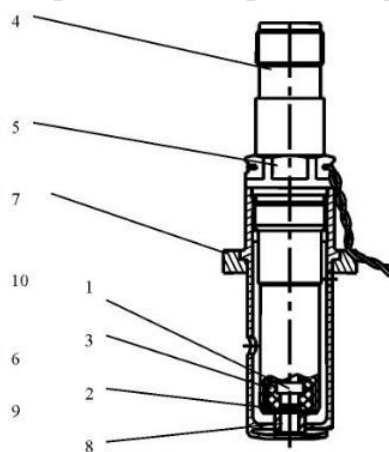


Рис.6 Свічка запалювання у захисному кожусі

1 – центральний електрод; 2 – бічний електрод; 3 – ізолятор; 4 – корпус свічки запалювання; 5 – шестигранник; 6 – захисний кожух; 7-фланець; 8 – розрядна порожнина; 9 – відбивач кожуха; 10 – вікно для забору повітря

Напівпровідникова свічка запалювання (рис. 7) конструктивно виконана нерозбірною, екранованою, з керамічною ізоляцією. Робоча частина свічки має

центральный 1 і бічний електроди 2, між якими розташований ізолятор 3 з напівпровідниковим покриттям. Корпус 4 свічки має шестигранник 5 і дві різьблення: одну для кріплення захисного кожуха 6, другу - для під'єднання високовольтного дроту. Свічка запалювання вкручується своєю різьбовою частиною в кожух і за допомогою фланця 7 кріпиться на зовнішньому корпусі КС.

Торець свічки запалювання розташовується безпосередньо в жаровій трубі таким чином, щоб іскровий розряд потрапляв у зону зворотних струмів з відносно малими швидкостями руху повітряного потоку.

Електричний розряд відбувається по поверхні напівпровідникового покриття свічки. Напівпровідниковий матеріал полегшує іонізацію повітря в міжелектродному проміжку - розрядної порожнини 8 і забезпечує пробой проміжку іскровим розрядом при використанні відносно низької напруги. Іскровий розряд свічки запалювання перетворює електричну енергію в теплову, яка займає ППС спочатку в зоні зворотних струмів, а потім процес займання поширюється і на зону прямих струмів. Горіння ППС у зоні прямих струмів постійно підтримується вогнищем полум'я у зоні зворотних струмів.

Захисний кожух захищає свічку від перегріву, а також служить для підвода до свічки охолоджуючого повітря.

Високовольтні дроти передають енергію високої напруги до свічок запалювання. Високовольтні дроти екрановані та обладнані кінцевими контактними пристроями як зі сторони підключення до свічок, так і з боку підключення до агрегату запалювання.

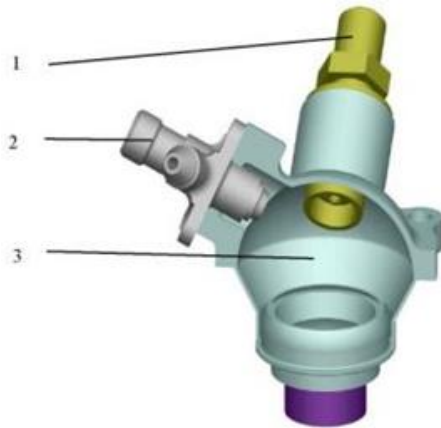


Рис. 7 Функціональна схема системи запалювання

Функціональна схема системи запалювання представлена рис. 7. Система запалювання працює наступним чином. При підключенні агрегату запалювання до джерела живлення напруга живлення через перешкодоподавляючий фільтр подається на транзисторний перетворювач, що перетворює напругу живлення у високу напругу. Накопичувальний конденсатор 400...3500 разів на секунду підключається до транзисторного перетворювача, знімаючи щоразу деяку порцію електричного заряду. Одночасно з накопичувальним конденсатором заряджається конденсатор активізатора. При досягненні на конденсаторі активізатора напруги, рівного пробивної

напруги розрядника, розрядник пробивається. Високовольтний імпульс напруги розрядника сприяє початковій іонізації розрядного проміжку свічки і, складаючись з напругою накопичувального конденсатора, прикладається до свічки. Електричні розряди, що утворюються на свічці, використовуються для займання ППС.

Системи запалювання деяких ГТД мають у своєму складі пускові запальники (див. рис. 8). Пусковий запальвач складається зі свічки 1 запалювання, форсунки 2 і камери згоряння 3, зібраних в одному корпусі. Розпорошене форсункою паливо змішується в камері згоряння запальвача з повітрям, отримана ППС підпалюється від свічки запалювання. Утворений пусковим запальвачем факел полум'я прямує в КС двигуна.



Пусковий запальвач встановлюється таким чином, щоб його смолоскип потрапляв в область жарової труби, де концентрація палива досить висока, а швидкість шару потоку повітря, що зносить, найменші.

Рис.8 Запальник

1 – свічка запалювання; 2 – форсунка; 3 – камера згоряння