



Министерство образования Российской Федерации
РЫБИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АВИАЦИОННАЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ им. П.А. СОЛОВЬЕВА

В.С. Чигрин, С.Е. Белова

ПУСКОВЫЕ СИСТЕМЫ ГТД

Рыбинск «РГАТА» 2005

Пусковые системы ГТД / В.С. Чигрин, С.Е. Белова. Учеб. пособие. – Рыбинск: РГАТА, 2005. – 20 с.

Рассмотрены принципы работы и схемы пусковых систем ГТД, а также конструкция некоторых агрегатов этих систем.

Библиогр.: 3 назв., табл. 1, илл. 8

ПУСКОВЫЕ СИСТЕМЫ ГТД

Пусковая система служит для перевода двигателя из неработающего состояния в состояние работы на режиме малого газа.

Режимом малого газа называется режим минимальной частоты вращения ротора, на которой двигатель работает надежно и устойчиво.

1. Общие сведения о пусковых системах ГТД

Пусковая система ГТД – это комплекс агрегатов, устройств, приборов и соединительных коммуникаций, размещаемых на двигателе и на летательном аппарате, предназначенных для запуска двигателя.

Для запуска двигателя необходимо осуществить:

- раскрутку ротора двигателя от постороннего источника мощности до частоты вращения, при которой избыточная мощность турбины надежно обеспечит самостоятельный выход двигателя на режим малого газа;
- подвод и регулирование подачи топлива в камеру сгорания двигателя в процессе запуска;
- воспламенение топливовоздушной смеси;
- управление рядом автоматических устройств (механизмами поворота лопаток и перепуска воздуха, створками реактивного сопла и др.).

Пусковая система в значительной мере определяет эксплуатационную надежность ГТД. Она должна обеспечивать безотказность запуска двигателя в широком диапазоне температур окружающего воздуха, скоростей и высот полета летательного аппарата при минимальной продолжительности запуска. Обеспечение надежного запуска современного ГТД является достаточно сложной проблемой, зависящей от большого числа факторов. Надежность запуска в основном определяется величиной момента, развиваемого пусковым устройством (устройством предварительной раскрутки ротора), качеством подготовки топливовоздушной смеси в процессе запуска и величиной энергии источника воспламенения горючей смеси.

В общем случае пусковая система ГТД включает систему предварительной раскрутки ротора двигателя, пусковую топливную систему, электрическую систему зажигания пусковой топливовоздушной смеси в пусковых воспламенителях, систему подпитки пусковых воспламенителей кислородом, систему автоматического управления процессом запуска.

Система предварительной раскрутки ротора двигателя состоит из пускового устройства, бортового или наземного источника энергии, аппаратуры подачи и дозирования энергии к пусковому устройству, агрегатов, обеспечивающих запуск самого пускового устройства. Пусковое устройство представ-

ляет собой специальный двигатель, вал которого при запуске кинематически соединен с ротором запускаемого двигателя.

Пусковая топливная система обеспечивает подачу топлива в пусковые воспламенители или в основную камеру сгорания в процессе запуска.

Электрическая система зажигания состоит из агрегатов зажигания, запальных электрических свечей и экранированной электрической проводки.

Система автоматического управления запуском обеспечивает включение и отключение агрегатов пусковой системы в установленной последовательности и позволяет весь процесс запуска выполнять автоматически. В систему входят автоматическая пусковая панель, различные датчики, электромагнитные реле и контакторы, приборы контроля параметров, сигнализаторы. Система обеспечивает также блокировку отдельных агрегатов в зависимости от видов запуска («Запуск на земле», «Запуск в полете», «Холодная прокрутка», «Ложный запуск» и т.п.).

Основными техническими параметрами пусковой системы являются мощность пускового устройства, удельная масса пусковой системы, ресурс пускового устройства (допустимое число запусков), время запуска.

Ориентировочно можно считать, что требуемая мощность пускового устройства при продолжительности запуска 30...60 с для ТРД составляет 4,5...7 кВт на каждые 10 кН тяги, а для ТВД – 10...18 кВт на каждую 1000 кВт мощности.

Выбор типа и параметров пусковой системы осуществляется в зависимости от тяги или мощности двигателя, его пусковых характеристик и целевого назначения летательного аппарата.

2. Пусковые устройства газотурбинных двигателей

По типу применяемого двигателя пусковые устройства можно разделить на электрические, турбинные, коловратные, объемные пневмо- и гидростартеры.

Преимущественное распространение в настоящее время получили электрические и турбинные пусковые устройства.

2.1. Электрические пусковые устройства

Электрическое пусковое устройство представляет собой электрический двигатель. Электрическим пусковым устройствам свойственны простота конструкции, невысокая стоимость, простота управления и легкость автоматизации процесса запуска, высокая надежность, удобство обслуживания и постоянная готовность к запуску.

Благодаря указанным качествам электростартеры находят широкое применение для запуска ГТД сравнительно небольшой тяги или мощности, так как мощность электростартера обычно составляет 15...18 кВт (в отдельных случаях – до 40 кВт).

Источником электропитания для электростартеров служат бортовые аккумуляторные батареи или турбогенераторная установка с генератором постоянного тока (например, ВСУ АИ-8 на вертолете Ми-6). Применение бортовой ВСУ повышает надежность и автономность запуска по сравнению с комплектом бортовых аккумуляторов, улучшает весовые показатели пусковой системы. На оборудованных аэродромах запуск производится от наземных источников электропитания, а на необорудованных – от генератора, размещенного на автомобиле.

Наиболее рациональна конструкция, в которой электростартер используется после запуска на пониженной мощности в качестве бортового электрогенератора, работая в обратном режиме. В этом случае вместо двух электрических машин – стартера и генератора, на двигателе устанавливается один агрегат – стартер-генератор. Ротор стартер-генератора постоянно связан кинематически с ротором ГТД, через специальную передачу, изменяющую частоту вращения его ротора при переходе от стартерного режима в генераторный.

Стартер-генераторы достаточно компактны и выполнены практически в тех же габаритах, что и электростартеры. Характеристики стартер-генераторов некоторых ГТД приведены в табл. 1.

Таблица 1

Двигатель	Стартер-генератор	Напряжение в стартерном режиме, В	Мощность, кВт		Передачное число		Масса, кг	Номинальный ток нагрузки, А	Диапазон рабочих частот вращения, об/мин
			Стартерный режим	Генераторный режим	Стартерный режим	Генераторный режим			
ТВ2-117	ГС-18МО	24 – 48	26	18	2,439	2,439	40	1000	5000 – 9000
Д-25В	СТГ-12ТМ	24 – 48	12 – 15	12	2,54	0,802	31	500	4200 – 9000
АИ-20	СТГ-12ТМО-1000	24 – 48	12 – 15	12	1,708	1,853	30	450	4200 – 9000
ГТД-3М	СТГ-6М	24 – 48	6 – 10	6	1,02	0,323	28	200	4000 – 9000
ГТД-350	СТГ-3	24 – 48	3 – 9	3	0,25	0,25	16	100	6000 – 11000

По конструктивному выполнению стартер-генератор представляет собой 6 – 8-полюсную электрическую машину постоянного тока защищенного типа с принудительным охлаждением заборным воздухом.

В процессе раскрутки ротора двигателя применяется ступенчатое включение источника питания стартер-генератора (в начале раскрутки – 24 В, затем – 48 В). Это позволяет более рационально использовать емкость бортовых ак-

кумуляторов, увеличить мощность стартера, конечную частоту вращения и крутящий момент стартера, сократить продолжительность и повысить надежность запуска двигателя.

Недостатком электрических пусковых устройств является значительное увеличение массы пусковой системы при увеличении мощности. Это обусловлено большой массой аккумуляторных батарей и соединительных проводов, обеспечивающих передачу электрического тока в сотни ампер. Эксплуатационным недостатком электрической пусковой системы является также значительное снижение емкости аккумуляторных батарей с понижением температуры, что снижает надежность запуска двигателя в зимних условиях.

Удельная масса электрической пусковой системы составляет примерно 4...8 кг/кВт, удельная масса самого электростартера – 1,5...2,5 кг/кВт. При применении в качестве источника электрического тока газотурбинной ВСУ удельная масса пусковой системы получается в 2 – 3 раза меньше.

2.2. Турбинные пусковые устройства

Турбинные пусковые устройства подразделяются на компрессорные и бескомпрессорные (воздушные, топливо-воздушные, пороховые, жидкостные). Наибольшее применение на современных ГТД получили турбокомпрессорные стартеры и воздушные турбостартеры.

2.2.1. Турбокомпрессорные стартеры

Турбокомпрессорный стартер представляет собой малоразмерный газотурбинный двигатель, в настоящее время, как правило – со свободной турбиной, у которого мощность свободной турбины используется для раскрутки ротора запускаемого двигателя. При сравнительно небольших габаритах и массе турбокомпрессорный стартер позволяет получать большие мощности (до 50...300 кВт), требуемые для запуска ГТД большой тяги или мощности. Удельная масса турбокомпрессорного стартера составляет 0,4...0,8 кг/кВт, ресурс исчисляется 900...1000 запусков двигателя.

Возможные кинематические схемы турбокомпрессорных стартеров приведены на рис. 1.

В схеме рис. 1 (а) выходной вал и вал компрессора связаны с валом турбины при помощи планетарного дифференциального редуктора, который позволяет передавать мощность от турбины на вал компрессора и на выходной вал при различных их частотах вращения. Такая схема получается кинематически достаточно сложной.

В схеме рис. 1 (б) диск турбины и крыльчатка компрессора закреплены на одном валу и имеют одинаковую частоту вращения. Передача крутящего момента на вал запускаемого двигателя осуществляется через гидромуфту и редуктор. Схема имеет сложную конструкцию и требует специальной гидравлической системы для обеспечения работы гидромуфты.

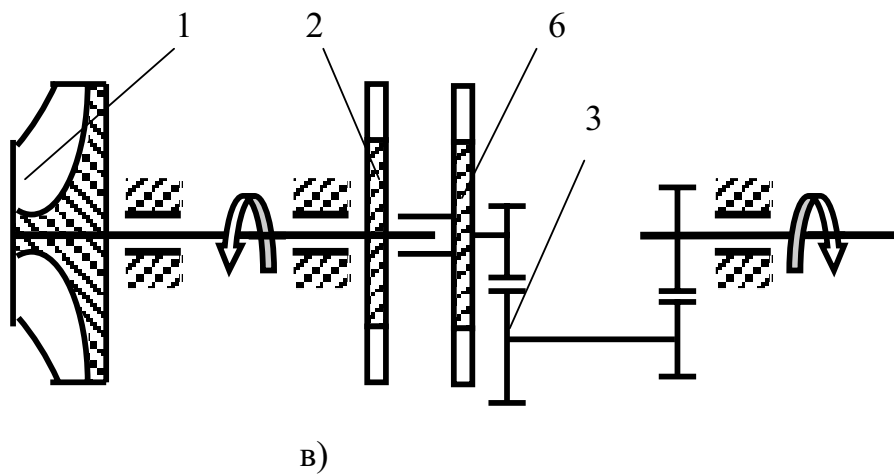
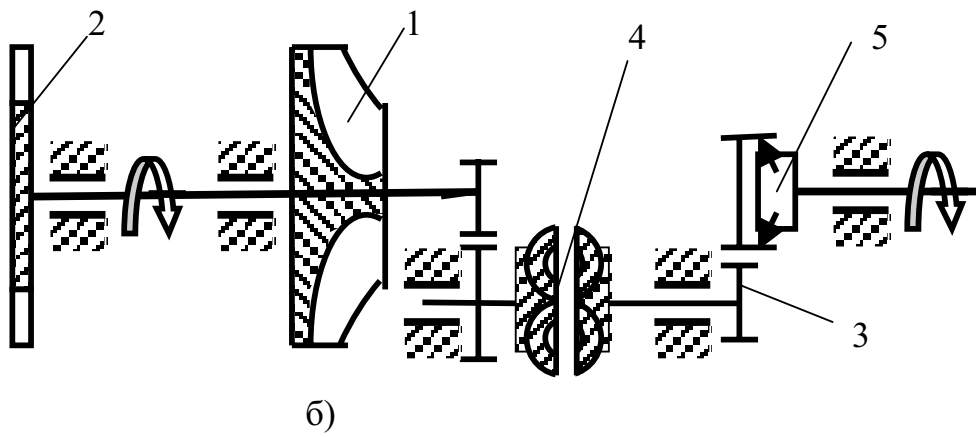
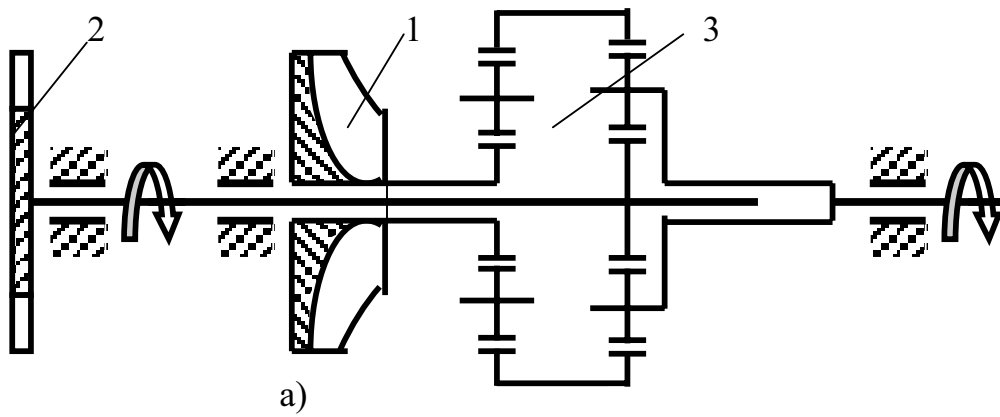


Рис. 1. Кинематические схемы турбокомпрессорных стартеров:
 1 – центробежный компрессор; 2 – турбина; 3 – редуктор; 4 – гидромуфта;
 5 – храповая муфта; 6 – свободная турбина

В схеме рис. 1 (в) турбокомпрессорный starter выполнен со свободной турбиной. Свободная турбина кинематически не связана с ротором турбокомпрессора, что позволяет выбрать высокую окружную скорость для турбокомпрессора и сравнительно небольшую частоту вращения для свободной турбины. Кроме того, при такой схеме может быть реализован более высокий начальный крутящий момент и использован компактный редукторс небольшой массой и с невысоким передаточным числом.

Турбокомпрессорные starterы, выполненные по такой схеме, получили наиболее широкое применение. Примером такой схемы может служить турбокомпрессорный starter ТС-21.

Турбостarter ТС-21 представляет собой малоразмерный ГТД, состоящий из центробежного компрессора, кольцевой камеры сгорания, одноступенчатой турбины компрессора, одноступенчатой свободной турбины и планетарного редуктора. Он предназначен для раскрутки ротора основного двигателя на земле при запуске, холодной прокрутке, консервации и расконсервации двигателя.

Основные технические данные турбостarterа ТС-21:

- степень повышения давления воздуха в компрессоре – 2...2,5;
- расход воздуха – 1,18 кг/с;
- крутящий момент
 - при частоте вращения выходного вала 1250 об/мин – 350...370 Н·м;
 - при частоте вращения выходного вала 2250 об/мин – 240...260 Н·м;
- мощность – 44...59 кВт;
- частота вращения турбокомпрессора на установившемся режиме – 50500 об/мин;
- расчетная температура газов перед турбиной на установившемся режиме – 850 °С;
- установившаяся температура газов за турбиной, не более – 760 °С;
- время выхода турбостarterа на установившийся режим – 5...15 с;
- время непрерывной работы по автоматической панели – 40 с;
- расход топлива за один запуск, не более – 1,2 кг;
- прокачка масла через турбостarter – 1,5...2,5 кг/мин;
- расход масла за один запуск, не более – 0,1 кг;
- давление масла на входе в турбостarter – 0,15...0,25 МПа;
- масса турбостarterа – 50 кг.

В конструкции турбостarterа можно выделить следующие основные части: турбокомпрессор, свободная турбина, планетарный редуктор (рис. 2).

Турбокомпрессор состоит из следующих основных элементов: электроstarterа, ротора турбокомпрессора, корпуса компрессора, диффузора, корпуса камеры сгорания, жаровой трубы, соплового аппарата.

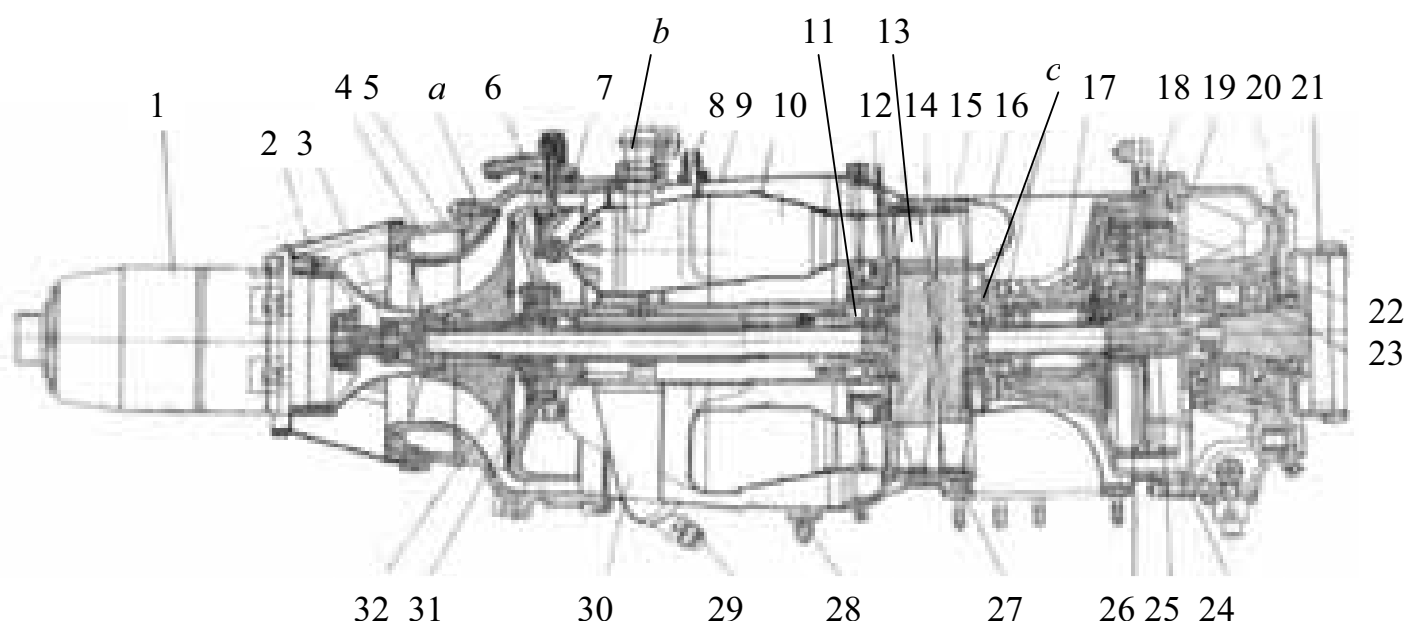


Рис.2. Конструктивная схема турбостартера ТС-21:

1 – электростартер СТ-3ПТ; 2 – предохранительная сетка; 3 – фрикционная муфта; 4 – противопомпная полость; 5 – ротор турбокомпрессора; 6 – топливная форсунка; 7 – диффузор; 8 – приемник давления воздуха; 9 – корпус камеры сгорания; 10 – жаровая труба; 11 – лабиринт; 12 – лопатки соплового аппарата; 13 – турбина компрессора; 14 – обод свободной турбины; 15 – свободная турбина; 16 – выхлопной кожух; 17 – корпус ротора свободной турбины; 18 – планетарный редуктор; 19 – корпус редуктора; 20 – фланец крепления; 21 – храповик; 22 – сателлитная шестерня; 23 – паразитная шестерня; 24 – зубчатый венец; 25 – центральная малая шестерня; 26 – центральная большая шестерня; 27 – фланец выхлопа; 28 – дренажный штуцер; 29 – штуцер слива масла; 30 – профилированная стойка; 31 – крышка; 32 – отражатель; *a* – корпус компрессора; *b* – свеча зажигания; *c* – лабиринт

Электростартер СТ-3ПТ соединяется с ротором турбокомпрессора с помощью храповой и фрикционной муфт. Фрикционная муфта установлена на выходном валу электростартера и предотвращает выход из строя системы запуска турбостартера при заклинивании его ротора. Если крутящий момент превышает величину 12..15 Н·м, то диски фрикционной муфты проскальзывают. Настройка муфты на заданную величину крутящего момента регулируется подбором шайбы, обеспечивающей заданную затяжку пружины.

Храповик электростартера входит в зацепление с храповиком крыльчатки компрессора за счет его осевого перемещения по трехзаходной ленточной резьбе втулки при быстром увеличении частоты вращения валика привода.

Внутренняя полость корпуса компрессора спрофилирована по форме крыльчатки рабочего колеса компрессора и диффузора. На входе в рабочее колесо установлена защитная сетка.

Лопаточный диффузор отлит из алюминиевого сплава, имеет 16 узких и 16 широких радиально-осевых лопаток. В четырех широких лопатках диффузора выполнены отверстия со шпоночными пазами для установки топливных форсунок.

Корпус камеры сгорания – сварной. Он состоит из наружной обечайки с двумя фланцами, четырех профилированных стоек и внутренней силовой трубы, в которой установлены подшипники ротора турбокомпрессора.

Внутри стоек проходят трубопроводы системы смазки. Масляные полости подшипников уплотнены лабиринтами. К фланцам внутренней силовой трубы спереди крепится лопаточный диффузор, а сзади – сопловой аппарат турбины.

Жаровая труба камеры сгорания – кольцевая, имеет четыре головки с установленными в них одноканальными центробежными форсунками. Розжиг камеры сгорания осуществляется двумя электрическими свечами.

Ротор турбокомпрессора состоит из рабочего колеса компрессора, диска турбины, вала, двух подшипников и распорной втулки между ними. Диск турбины напрессован на вал и соединен с ним шестью радиальными штифтами. От выпадения штифты удерживаются втулкой. Рабочие лопатки крепятся в диске елочными замками и фиксируются пластинчатыми фиксаторами.

Рабочее колесо компрессора посажено на вал на шлицах и зафиксировано гайкой.

Передний шариковый подшипник ротора фиксирует его в осевом направлении и воспринимает осевые и радиальные нагрузки. Задний роликовый подшипник воспринимает только радиальные нагрузки и обеспечивает свободу теплового расширения ротора при его нагреве.

Свободная турбина состоит из статора и ротора. Ротор свободной турбины состоит из диска с рабочими лопатками, вала, большой и малой центральных шестерен. Вал турбины запрессован в диск и соединен с ним радиальными штифтами. Рабочие лопатки крепятся в диске елочными замками и фиксируются пластинчатыми фиксаторами. Для уплотнения радиальных зазоров используются никель-графитовые вставки, установленные в корпусе турбины.

Задний шариковый подшипник ротора фиксирует его в осевом направлении и воспринимает осевые и радиальные нагрузки. Передний роликовый подшипник воспринимает только радиальные нагрузки и компенсирует тепловые расширения ротора.

Между турбиной компрессора и свободной турбиной отсутствует сопловой аппарат, что сокращает осевой размер турбостартера. Сопловым аппаратом свободной турбины служит рабочее колесо турбины компрессора, поэтому

роторы турбокомпрессора и свободной турбины вращаются в противоположные стороны.

Редуктор турбостартера (рис. 3) представляет собой планетарную дифференциальную передачу, состоящую из двух центральных шестерен – большой и малой, трех паразитных и трех сателлитных шестерен, зубчатого венца внутреннего зацепления (два зубчатых колеса, выполненных как единое колесо).

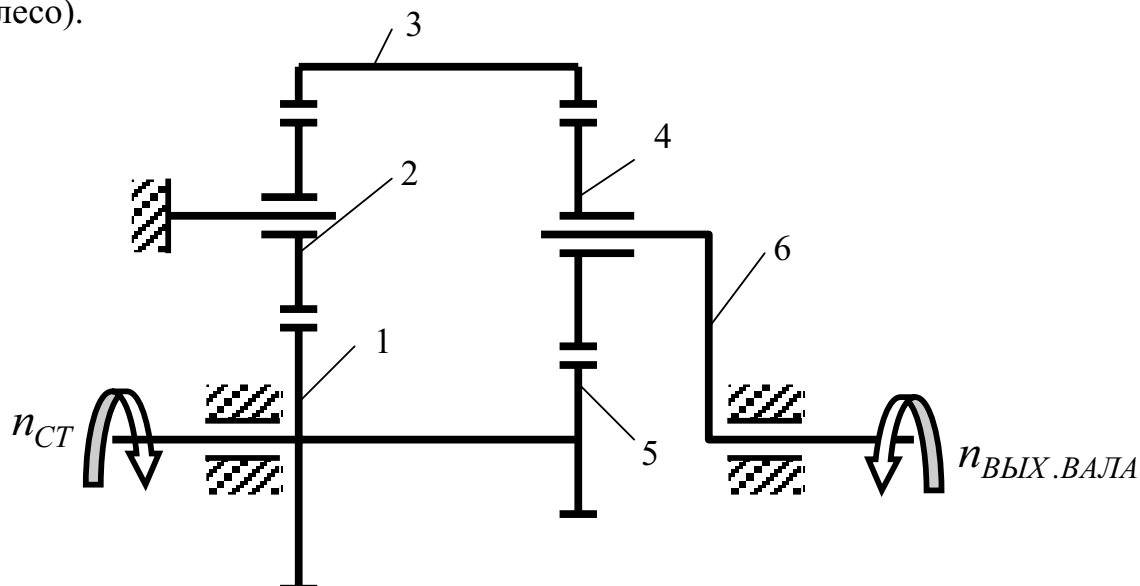


Рис. 3. Кинематическая схема редуктора:

1 – большая центральная шестерня; 2 – паразитная шестерня; 3 – зубчатый венец; 4 – сателлит; 5 – малая центральная шестерня; 6 – водило

Передаточное число редуктора $i = 14,25$.

В процессе запуска турбокомпрессор стартера работает при практически постоянной частоте вращения, а свободная турбина – при переменной возрастающей частоте вращения. При достижении частоты вращения выходного вала, равной 3200 об/мин, центробежный выключатель отключает подачу топлива в камеру сгорания турбостартера.

Газотурбинный стартер работает на том же топливе и масле, что и основной двигатель. Подача топлива и масла осуществляется из баков основного двигателя электроприводными насосами. Масло после смазки подшипников и редуктора откачивается из корпуса редуктора эжекторным насосом в коробку приводов агрегатов двигателя.

2.2.2. Воздушные турбостартеры

Воздушная пусковая система – это система, обеспечивающая раскрутку ротора двигателя в процессе его запуска воздушным турбостартером, использующим энергию сжатого воздуха бортового или наземного источника питания.

Воздушный турбостартер представляет собой высокооборотную турбину, работающую на подогретом сжатом воздухе. Частота вращения ротора воздушного турбостартера достигает 50000...60000 об/мин. Расход воздуха для получения мощности 30...40 кВт составляет 0,35...0,4 кг/с. Удельная масса воздушного турбостартера не превышает 0,2...0,25 кг/кВт, а всей пусковой системы с бортовым газотурбинным генератором сжатого воздуха – 0,8...1,4 кг/кВт.

Относительная простота, высокая надежность пусковой системы, большая располагаемая мощность пускового устройства при малых массе и габаритах, возможность использовать в качестве рабочего тела сжатого – воздуха, отбираемого от ВСУ или от работающего двигателя – все это делает воздушную пусковую систему одной из наиболее приемлемых систем для летательных аппаратов с многодвигательной силовой установкой.

Примером такой системы является пусковая система двухконтурного газотурбинного двигателя Д-30КУ. Раскрутка ротора газогенератора двигателя в процессе запуска осуществляется воздушным турбостартером СтВ-3.

Основные технические данные воздушного турбостартера СтВ-3:

- давление воздуха перед сопловым аппаратом турбины – 0,32...0,36 МПа;
- температура воздуха на входе в стартер – 375...565 К;
- расход воздуха – 0,94...1,64 кг/с;
- передаточное число редуктора – 8,14;
- максимальная мощность – 100 кВт;
- частота вращения выходного вала – 3500 об/мин;
- частота вращения ротора второго каскада двигателя, при которой происходит отключение воздушного турбостартера – 4200^{+200}_{-250} об/мин;
- частота вращения срабатывания датчика предельной частоты вращения выходного вала – 5250...5600 об/мин;
- масса воздушного турбостартера – 17,5 кг;
- смазка стартера – масло МК-8, МК8П и их смеси;
- время непрерывной работы стартера при запуске – 30 с.

Турбина стартера СтВ-3 получает воздух от бортовой вспомогательной установки ТА-6А или от работающего двигателя под давлением 0,32...1,16 МПа. Заданное давление воздуха перед сопловым аппаратом турбины стартера не более 0,33...0,36 МПа обеспечивается заслонкой постоянного давления.

Конструктивно воздушный турбостартер СтВ-3 состоит из воздушной турбины, редуктора и заслонки постоянного давления (рис. 4).

Заслонка постоянного давления управляет подачей воздуха и ограничивает давление воздуха, поступающего к турбине воздушного турбостартера. Она состоит из электромагнита ЭМТ-707 и воздушного клапана.

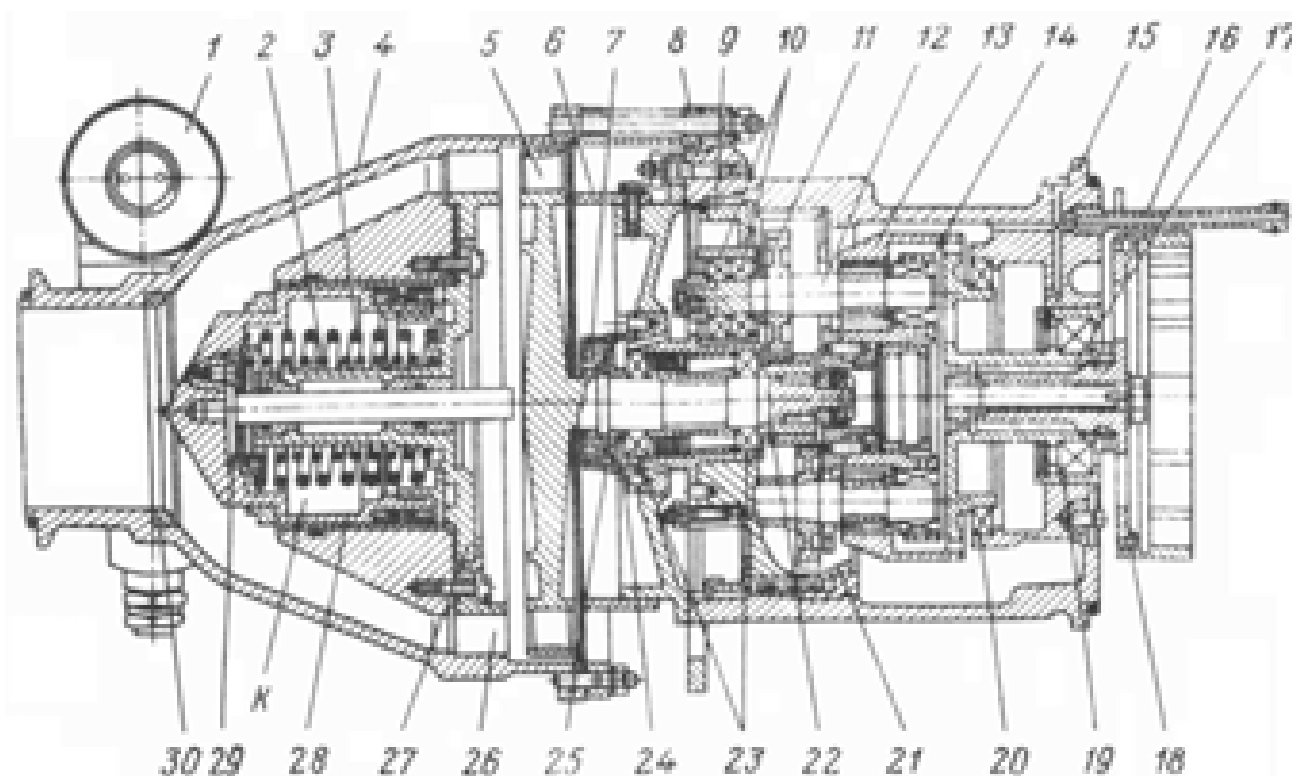


Рис. 4. Конструктивная схема воздушного турбостартера СтВ-3:

1 – электромагнит ЭМТ-707; 2, 3 – пружины; 4 – корпус заслонки; 5 – ротор турбины; 6 – разрезной кожух; 7 – втулка; 8 – корпус; 9 – гайка; 10 – шарикоподшипник; 11, 13 – шестерни; 12 – валик-шестерня; 14 – подшипник игольчатый; 15 – корпус редуктора; 16 – трубка подвода масла; 17 – муфта; 18 – опора храповой муфты; 19, 20, 23 – шарикоподшипники; 21 – корпус перебора; 22 – ведущая шестерня; 24 – упор; 25 – уплотнение графитовое; 26 – сопловой аппарат; 27 – опора; 28 – плунжер; 29 – шток; 30 – седло

Заслонка постоянного давления состоит из корпуса 4, плунжера 28, командного узла с электромагнитом и пневморегулятора с фильтром (см. рис. 4). Корпус собран с гильзой из хромистой нержавеющей стали. К корпусу винтами крепятся сопловой аппарат 26 и опора 27, изготовленные из алюминиевого сплава.

Воздушная турбина – активно-реактивная, со степенью реактивности на среднем диаметре $\rho = 0,105$. Ротор турбины отлит из жаростойкого хромоникелевого сплава заодно с валом и внешним сплошным бандажом. Сопловой аппарат турбины отлит из стали.

Редуктор – двухступенчатый. Смазка редуктора – барботажная, после установки двигателя на самолет в стартер заливается 400 г масла.

3. Механизмы сцепления пускового устройства с ротором двигателя

Механизмы сцепления предназначены для автоматического соединения выходного вала пускового устройства с ротором запускаемого двигателя в процессе раскрутки при запуске и разъединения их после отключения пускового устройства.

В качестве механизмов сцепления применяют обгонные муфты свободного хода (храповые и роликовые), передающие крутящий момент только в одном направлении, и гидравлические муфты переменного заполнения.

Турбокомпрессорные стартеры, воздушные турбостартеры и электростартеры соединяются с ротором двигателя осевыми и центробежными храповыми муфтами. Соединение роторов стартеров-генераторов с ротором двигателя осуществляется посредством двухскоростной передачи (двухскоростного привода).

Для ограничения предельно допустимой величины передаваемого крутящего момента применяют фрикционные муфты.

3.1. Фрикционная муфта

Фрикционная муфта ограничивает крутящий момент, передаваемый от стартера-генератора, предохраняет пусковое устройство от разрушения, а стартер-генератор – от перегрузки.

Фрикционная муфта набирается из стальных и бронзовых дисков, установленных попеременно. Стальные диски соединены внутренними шлицами с приводным валом, а бронзовые – наружными шлицами с ведомым валом. Весь пакет дисков сжат пружинами. Крутящий момент передается за счет трения между дисками, а его величина регулируется затяжкой пружин.

3.2. Храповая муфта

Храповая муфта – кулачковая, свободного хода, центробежная. Она предназначена для соединения ведущего вала с ведомым в стартерном режиме и для их разъединения после запуска двигателя.

Храповая муфта (рис. 5) состоит из ведущей шестерни-храповика и ведомого поводка с собачками. Собачки выполнены в виде двуплечих рычагов, свободно установленных на осях. Нерабочие концы собачек сделаны массивнее рабочих концов и выполняют роль центробежных грузиков.

В рабочее положение собачки поворачиваются пружинами, которые вводят рабочие концы собачек в зацепление с внутренними зубцами шестерни-храповика.

Выключение храповой муфты происходит под действием центробежных сил нерабочих концов собачек при достижении ротором двигателя определенной частоты вращения, когда ведомая часть муфты начинает обгонять ведущую. Перевод собачек на упоры в выключенном положении предотвращает износ муфты.

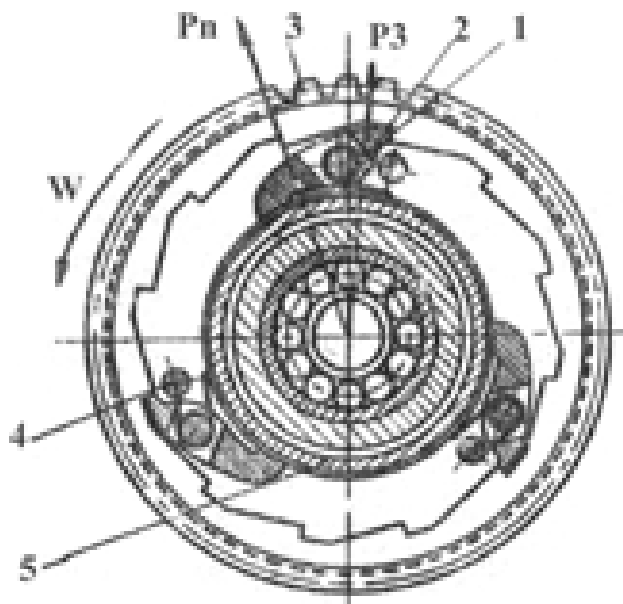


Рис. 5. Храповая муфта:

1 – рабочий конец храповой собачки; 2 – пружина; 3 – шестерня-храповик; 4 – ось; 5 – поводок

Повторный запуск двигателя пусковым устройством с храповой муфтой разрешается после полной остановки ротора двигателя. В противном случае сцепление ведущей и ведомой половин муфты может сопровождаться ударом большой силы, что приведет к разрушению храповых собачек.

3.3. Роликовая муфта

Роликовая обгонная муфта (рис. 6) служит для передачи крутящего момента от ротора двигателя к стартер-генератору при его работе в генераторном режиме. Она состоит из внутреннего ведущего кулачка и внешней ведомой обоймы. Стальной кулачок смонтирован на шлицах ведущего вала. На наружной поверхности кулачка отфрезерованы восемь рабочих площадок, на которые опираются ролики. Ролики установлены в гнездах сепаратора и удерживаются от выпадения бронзовой шайбой, соединенной с сепаратором заклепками.

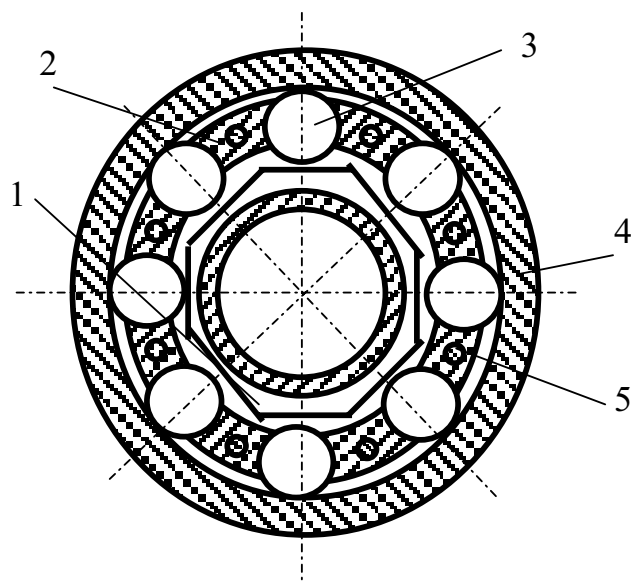


Рис. 6. Роликовая муфта:

1 – ведущий кулачок; 2 – сепаратор; 3 – ролик;
4 – ведомая обойма; 5 – заклепка

Для обеспечения плавного и безударного включения муфты, между кулачком и сепаратором установлена спиральная пружина. Под действием пружины сепаратор удерживает ролики в постоянном контакте с рабочей поверхностью обоймы. За счет этого происходит одновременное заклинивание всех роликов, если угловая скорость кулачка превышает угловую скорость вращения обоймы.

3.4. Двухскоростной привод

Двухскоростной привод предназначен для передачи крутящего момента от стартера-генератора к ротору двигателя при его запуске, а после окончания запуска – для передачи крутящего момента от ротора двигателя к стартеру-генератору с различными передаточными числами.

Кинематическая схема двухскоростного привода приведена на рис. 7. При работе стартера-генератора в стартерном режиме ротор двигателя приводится во вращение через фрикционную муфту и понижающую передачу с шестернями 3-9 и 7-5. При этом центробежная храповая муфта включена, а роликовая обгонная муфта выключена. После выключения питания стартера-генератора частота вращения его ротора уменьшается, а частота вращения ротора двигателя продолжает увеличиваться. Это приводит вначале к расцеплению центробежной храповой муфты, а затем – к автоматическому сцеплению роликовой обгонной муфты. Происходит это в момент, когда угловая скорость вращения кулачка становится больше угловой скорости вращения обоймы. Стартер-генератор переходит в генераторный режим работы, а передача кру-

тящего момента осуществляется в обратном направлении – от ротора двигателя через роликовую и фрикционную муфты без понижающей передачи.

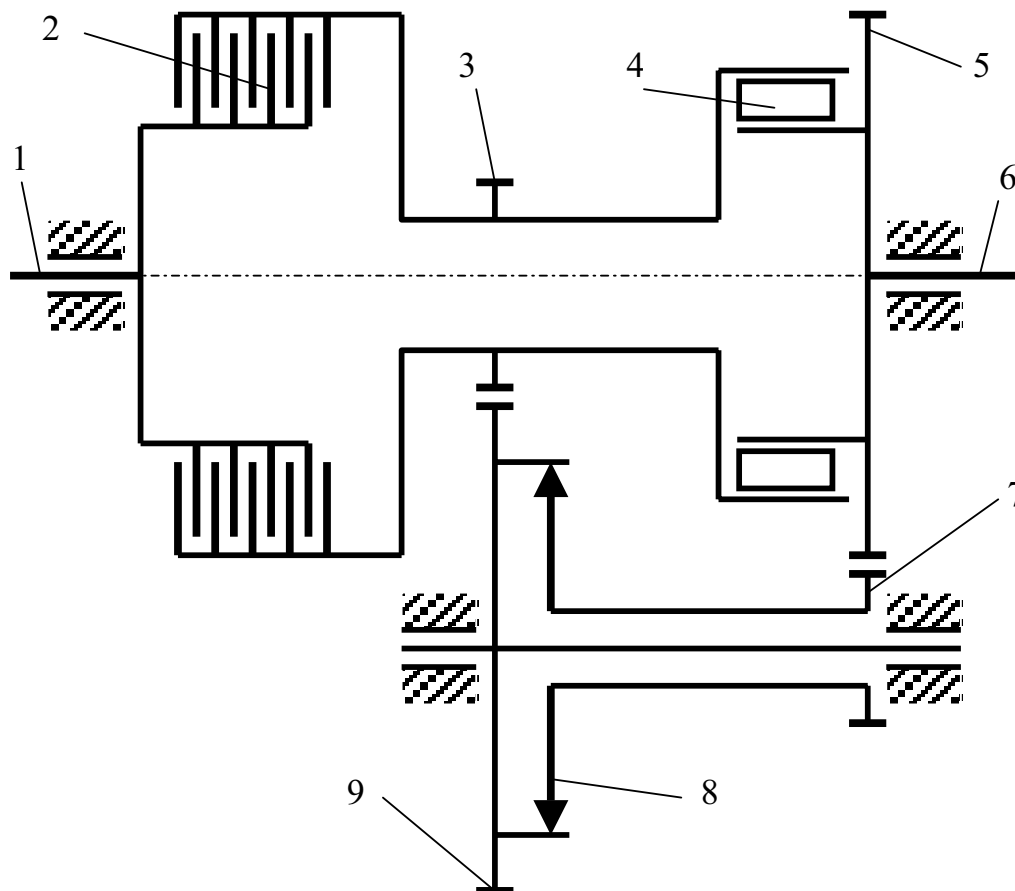


Рис. 7. Кинематическая схема двухскоростного привода:

1 – рессора стартера-генератора; 2 – фрикционная муфта; 3, 5, 7, 9 – шестерни; 4 – роликовая обгонная муфта; 6 – валик к ротору двигателя; 8 – центробежная храповая муфта

4. Пусковые воспламенители

В процессе запуска двигателя кроме раскрутки ротора требуется надежное воспламенение топливовоздушной смеси. Воспламенение смеси зависит от ряда факторов, главными из которых являются: сорт топлива, качество подготовки топливовоздушной смеси, мощность и продолжительность действия источников воспламенения, место их расположения в камере сгорания.

Розжиг камеры сгорания осуществляется системой пускового зажигания, в которую входят агрегат зажигания, электрические свечи, электромагнитные клапаны, а также пусковые топливные форсунки. Свеча с пусковой форсункой обычно устанавливаются в общем корпусе. Такой блок предназначен для начального воспламенения топливовоздушной смеси при запуске двигателя и называется пусковым воспламенителем.

Количество пусковых воспламенителей, устанавливаемых на двигатель, зависит от конструкции камеры сгорания, ее размеров, а также от назначения двигателя. Обычно устанавливаются два воспламенителя, но иногда на камерах большого объема – до пяти.

Для повышения высотности запуска может применяться кислородная подпитка пусковых воспламенителей.

Пусковой воспламенитель (рис. 8) состоит из литого корпуса, экран-дефлектора, направляющего воздух к пусковой форсунке, и сферической втулки с завальцованным в нее соплом воспламенителя, входящим в жаровую трубу камеры сгорания. Воздух поступает в пусковой воспламенитель из камеры сгорания через отверстия и закручивается дефлектором.

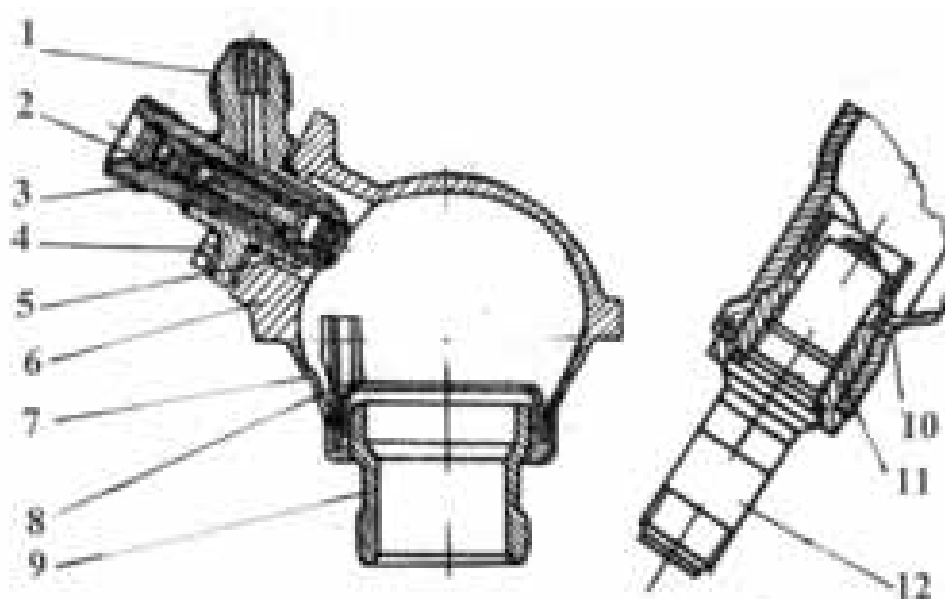


Рис. 8. Пусковой воспламенитель:

1 – кислородный штуцер с жиклером; 2 – фильтр топливный; 3 – форсунка пусковая; 4 – болт крепления форсунки; 5 – распылитель; 6 – корпус; 7 – отверстие подвода воздуха; 8 – экран-дефлектор; 9 – сопло воспламенителя; 10 – отверстие для обдува; 11 – втулка; 12 – свеча зажигания

В некоторых камерах сгорания пусковые воспламенители как специальные агрегаты отсутствуют, а для розжига камер применяют только электрические свечи зажигания. При этом упрощается конструкция камеры сгорания и системы розжига, но высотность запуска снижается.

5. Особенности эксплуатации пусковых систем ГТД

Степень готовности летательного аппарата к полету, безопасность полетов и ресурс двигателя в значительной мере зависят от работы элементов пус-

ковой системы. Надежность запуска зависит от надежности работы всех систем и агрегатов, участвующих в запуске двигателя.

Причинами возможного незапуска ГТД могут быть отклонения условий эксплуатации от расчетных для пусковой системы и неисправности ее агрегатов.

Наиболее характерными причинами незапуска двигателя при исправном состоянии всех элементов пусковой системы могут быть: невоспламенение пускового топлива, невоспламенение основного топлива, «зависание» частоты вращения ротора двигателя.

Причинами невоспламенения пускового топлива могут быть понижение напряжения, подаваемого к свечам, снижение давления топлива, подводимого к пусковым форсункам, повышение скорости воздуха в зоне воспламенения. Наиболее трудно обеспечить хорошие условия для воспламенения пускового и основного топлива при запуске двигателя в полете.

Зависание частоты вращения или затяжная раскрутка ротора двигателя в процессе запуска вызывается недостаточным избыточным моментом, подводимым к ротору.

На частотах вращения ниже отключения пускового устройства причинами зависания могут быть недостаточная мощность пускового устройства, запаздывание в подаче основного топлива, недостаточное давление топлива перед форсунками. Зависание частоты вращения после отключения пускового устройства обуславливается недостаточным избытком мощности турбины двигателя над мощностью, потребной для раскрутки ротора. Это может быть при пониженном давлении топлива перед форсунками, а также при повышенной температуре окружающего воздуха.

Причинами возможного снижения надежности запуска двигателя в процессе эксплуатации могут являться: ухудшение собственных пусковых свойств двигателя, уменьшение располагаемой мощности пускового устройства, ухудшение работы пусковых воспламенителей, нарушение регулировки топливной автоматики запуска и другие причины.

В случае каких-либо ненормальностей или отклонений параметров двигателя его запуск прекращается. Запуск следует прекратить немедленно если:

- произошел недопустимый заброс температуры газов перед турбиной;
- отсутствует или низкое давление масла или топлива;
- снизилось ниже допустимого напряжение в цепи запуска электростартера;
- частота вращения изменяется скачкообразно;
- возник помпаж или пожар на двигателе, ВСУ или газотурбинном стартере.

Последующий запуск двигателя разрешается производить только после точного выяснения причин прекращения запуска и устранения неисправности.

В случае прекращения запуска из-за невоспламенения топлива перед следующим запуском необходимо выполнить холодную прокрутку ротора двигателя.

Литература

1. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей/ под. ред. Д.В.Хромина. М.: Машиностроение, 1989, 368 с.
2. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели, конструкция и расчет деталей. – М.: Машиностроение, 1981. – 552 с.
3. Кац Б.М., Жаров Э.С., Винокуров В.К. Пусковые системы авиационных газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1976. – 220 с.