



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

С.А. Решетов

ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ**

*для студентов IV курса
направления 25.03.02
всех форм обучения*

**Москва
2017**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра электротехники и авиационного
электрооборудования
С.А. Решетов**

ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ**

*для студентов IV курса
направления 25.03.02
всех форм обучения*

Москва - 2017

ББК 0562
Р47

Рецензент канд. техн. наук, доц. Ю.П. Артеменко

Решетов С.А.

Р47 Электрифицированное оборудование воздушных судов: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2017. – 18 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Электрифицированное оборудование воздушных судов» по Учебному плану для студентов IV курса направления 25.03.02 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 24.01.2017 г. и методического совета 20.02.2017 г.

Подписано в печать 03.03.2017 г.

Печать офсетная
1,04 усл. печ. л.

Формат 60x84/16
Заказ № 1725/145

0,74 уч.-изд. л.
Тираж 80 экз.

*Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
ООО «ИПП «ИНСОФТ»
107140, г. Москва, 3-й Красносельский переулок д.21, стр. 1*

© Московский государственный
технический университет ГА, 2017

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Система управления процессом запуска вспомогательной силовой установки ТА-6А самолета Ту-154

I. Цель работы

1. Изучение процессов запуска вспомогательной силовой установки (ВСУ) по комбинированному закону управления.
2. Привитие практических навыков управления процессом запуска ВСУ.
3. Привитие навыков чтения принципиальных электрических схем управления агрегатами и устройствами воздушных судов.
4. Изучение состава, конструкции и технических характеристик агрегатов, участвующих в запуске.

II. Подготовка к работе

Вспомогательная силовая установка типа ТА-6А установлена на самолетах Ту-154 и Ил-62. Описание ее работы изложено в эксплуатационной документации (для самолета Ту-154-книга IV).

Имеется также отдельное, более подробное, описание газотурбинного двигателя ВСУ ТА-6А. При подготовке к лабораторной работе рекомендуется использовать следующую учебно- методическую литературу.

Литература

1. Брускин Д.Э., Синдеев И.М. и др. Основы электрооборудования летательных аппаратов. Часть II. М.:Высшая школа, 1978.
2. Клейменов Т.Н., Курбатов И.С., Максимов Н.В. Электрооборудование летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1982.
3. Генделевич А.М. Электрооборудование самолетов Ту-154, Ту-154А. М.: Машиностроение, 1977.

Рекомендуется также использовать материалы лекций по данной теме и эксплуатационную документацию по запуску силовых установок (описание автоматов типа АПД-, ПДА-, ПСГ-, топливной системы и системы зажигания).

III. Вопросы для допуска к лабораторной работе

1. Каково назначение ВСУ?
2. Что является стартером ВСУ?
3. Какие движущие и противодействующие моменты действуют на валу ГТД в процессе его запуска?
4. Для чего предназначен угольный регулятор тока?
5. Чем ложный запуск АД отличается от режима холодной прокрутки?
6. В чем общее и в чем различие угольных регуляторов тока и напряжения?
7. Каков закон управления процессом запуска ТА-6А?
8. При каких условиях отключается стартер в процессе запуска?

9. При каких условиях отключается топливный насос ВСУ?
10. При каких аварийных режимах автоматически прекращается процесс запуска?
11. Какими устройствами формируются управляющие воздействия в процессе запуска?
12. В каких случаях топливный насос ВСУ используется для подачи топлива к основным АД?

IV. Задание на работу

1. Изучить основные этапы процесса запуска ТА-6А.
2. Изучить состав и назначение основных агрегатов, участвующих в процессе запуска.
3. Изучить последовательность работы агрегатов ВСУ в процессе ее запуска. Составить циклограмму выдачи управляющих сигналов по времени и частоте вращения на агрегаты, участвующие в запуске.
4. Изучить электрическую схему запуска стартер-генератора ГС 12-ТО совместно с ПСГ-6 и автоматом АПД-30А.
5. Изучить конструкцию основных агрегатов ТА-6А (АПД-30А, ПСГ-6, ЭЦН-319, РУТ-400, МПК-13А-5. панель управления запуском, пусковое сопротивление свечи).
6. Воспроизвести на стенде основные режимы запуска.
7. Рассчитать КПД электромеханизма МПК-13А-5 привода створок воздухозаборника и энергию, затрачиваемую на цикл «Открытие-закрытие».
8. Составить отчет о работе.

V. Содержание отчета

1. Функциональная схема запуска силовых установок самолета Ту-154.
2. Диаграмма изменения моментов на валу ВСУ в процессе запуска. Графическое представление динамического момента в процессе запуска.
3. Состав и назначение основных агрегатов, участвующих в запуске.
4. Краткая характеристика основных этапов процесса запуска ВСУ.
5. Принципиальная электрическая схема ПСГ-6.
6. Циклограмма выдачи управляющих сигналов с АПД-30А на агрегаты, участвующие в запуске.
7. Качественная характеристика переходного процесса разгона ВСУ с указанием управляющих сигналов по времени и частоте вращения.
8. Перечень аварийных режимов.
9. Результаты расчета пункта 7 задания на работу.
10. Перечень управляющих реле автомата АПД-30А и их функционального назначения.
11. Описание работы автомата АПД-30А.

VI. Описание лабораторной установки

Лабораторная работа проводится на демонстрационном стенде, оборудованном действующими макетами агрегатов системы запуска.

Общие сведения о системе запуска силовых установок самолета Ту-154

Увеличение взлетной массы и скорости полета современных воздушных судов /ВС/ и соответствующее этому увеличение момента инерции ротора и момента статического сопротивления на валу авиадвигателя /АД/ потребовало увеличения мощности пусковых устройств /ПУ/ авиадвигателей до 100 кВт и выше.

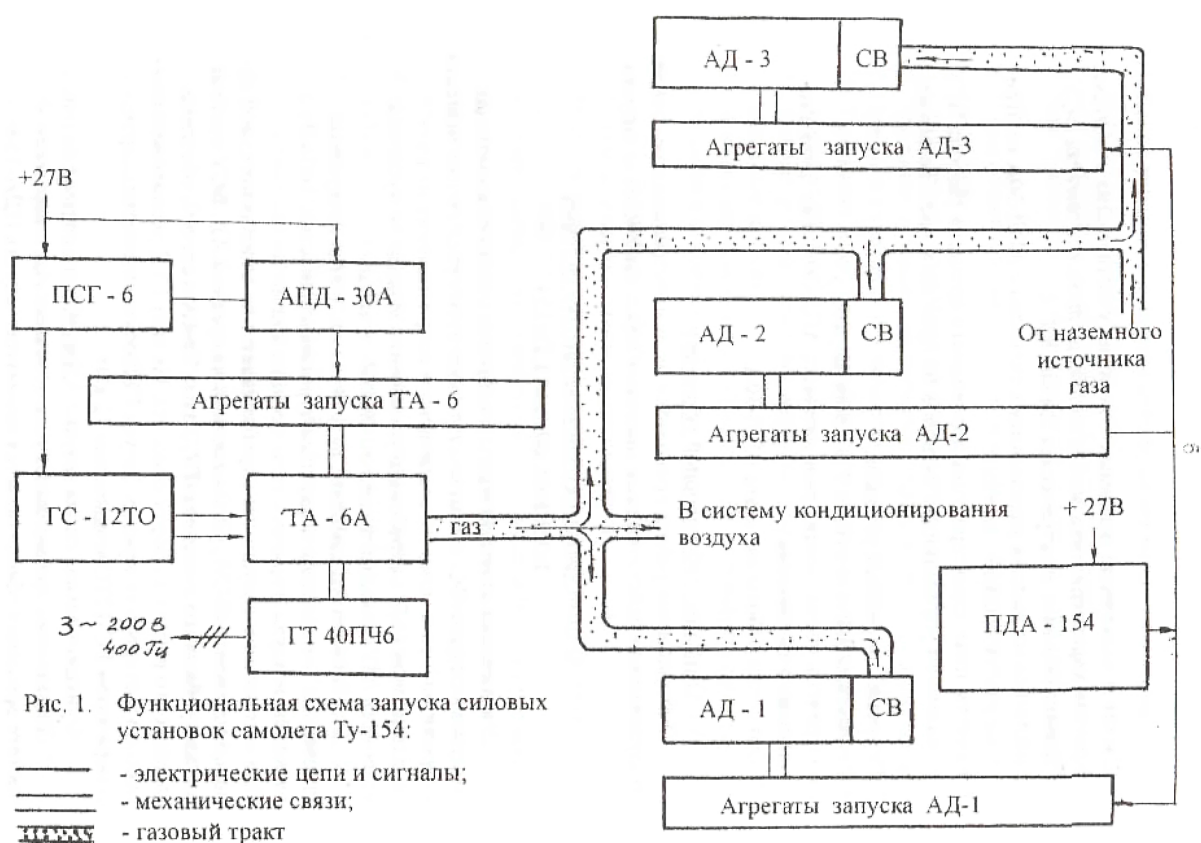
Для запуска АД самолета Ту-154 используется воздушный стартер /ВС/- отдельная воздушная турбина мощностью 100 кВт с расходом воздуха /горючего газа/ порядка 1 кг/с. При автономном запуске газ вырабатывается во вспомогательной силовой установке /ВСУ/, установленной на среднем АД. ВСУ состоит из газотурбинного двигателя /ГТД/ типа ТА-6А и систем, обеспечивающих его работу на борту самолета. На валу ГТД расположен компрессор и стартер-генератор. Запуск ГТД осуществляется стартер-генератором ГС-12ТО мощностью 12 кВт.

Функциональная схема запуска АД и ВСУ приведена на рис. 1.

Управление процессом запуска основных АД по времени и частоте вращения обеспечивается автоматом запуска ПДА-154.

Управление запуском ВСУ, также по комбинированному закону, осуществляется автоматом запуска АПД-30А совместно с панелью ПСГ-6 стартер-генератора, в которой размещена коммутационная аппаратура и угольный регулятор тока, поддерживающий при запуске величину тока якоря на уровне 400 А.

ВСУ также обеспечивает кондиционирование воздуха салоном и наземное электропитание самолета на стоянке, а также аварийное питание электроэнергией постоянного и переменного тока в полете [в сумме до 45 кВт). Источником переменного тока ВСУ является генератор ГТ-40ПЧ6 мощностью 40 кВт. Частота вращения ротора ВСУ равна 2420 рад/с.



Система запуска двигателя ТА-6А

Для запуска газотурбинного двигателя ВСУ необходимо стартером привести во вращение его вал, сжать в компрессоре воздух до определенного давления, подать горячую смесь в камеры сгорания и воспламенить ее, после чего обеспечить условия, при которых возможен переход ГТД на самостоятельную работу. Обеспечение выполнения всех этих операций по заданной программе осуществляет система запуска. В процессе запуска стартер преодолевает статический момент сопротивления сжимаемого в компрессоре воздуха (M_k) и динамический момент сопротивления. В первом приближении момент на валу стартер-генератора (M_c) может быть представлен как разность между моментом сопротивления компрессора M_k , пропорциональным квадрату частоты вращения, и моментом турбины M_t , который пропорционален частоте вращения, (на рис.2 - заштрихован частой штриховкой).

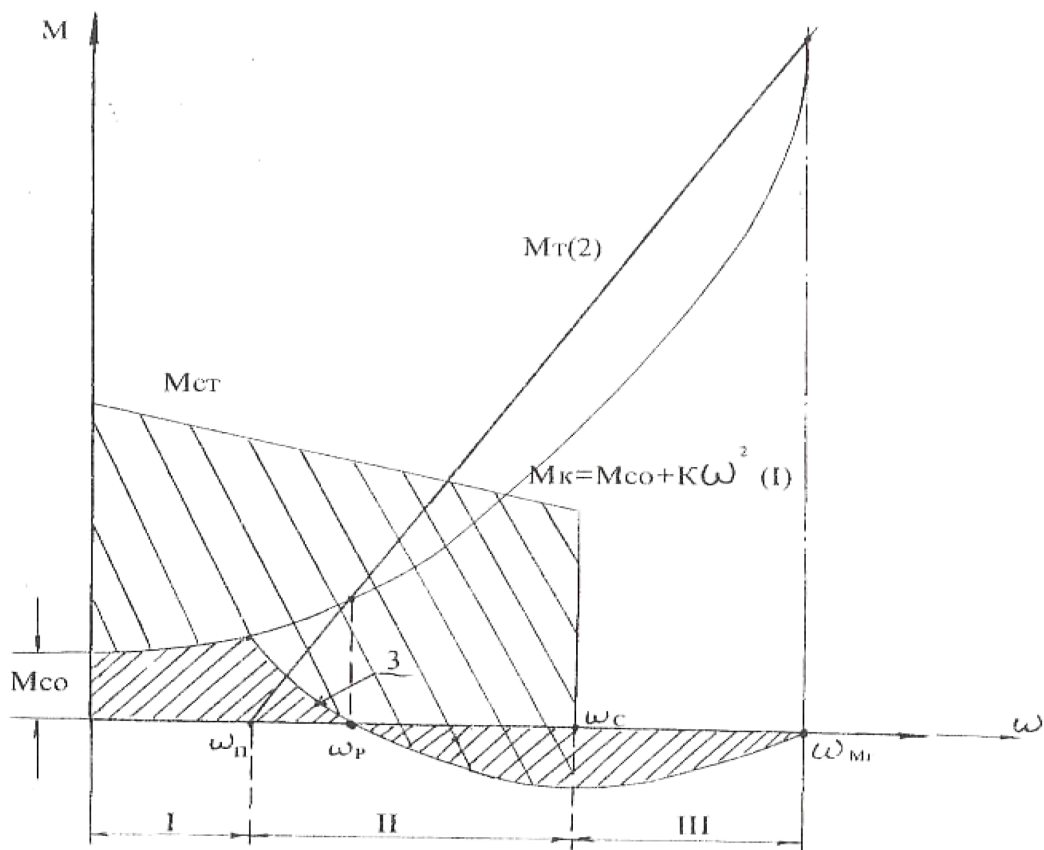


Рис. 2. Диаграмма моментов на валу ГТД.

Процесс запуска делится на 3 этапа.

На первом этапе (I) стартер раскручивает вал ГТД до частоты вращения $\omega_{п}$, называемой пусковой. Давление и расход воздуха при этом таковы, что обеспечивается нормальное воспламенение горючей смеси, и турбина начинает работать.

На втором этапе (II) вал ГТД раскручивается одновременно стартером и турбиной. При частоте вращения $\omega_{р}$ статический момент сопротивления отсутствует. При дальнейшем увеличении частоты вращения момент, развиваемый турбиной, превышает момент сопротивления компрессора, и раскрутка вала ГТД до частоты малого газа $\omega_{мг}$ могла бы происходить без участия стартера. Однако мощность, развиваемая в этом периоде турбиной, не обеспечивает достаточно быстрого нарастания частоты вращения и требуемого расхода воздуха через камеры сгорания. Это может привести к сильной затяжке запуска и недопустимому повышению температуры газов, опасному для камер сгорания и лопаток турбины. Поэтому стартер при частоте вращения $\omega_{р}$ не отключается. Отключить его можно лишь при частоте $\omega_{с}$, называемой частотой сопровождения, при которой турбина создает значительный избыточный момент и без помощи стартера обеспечивает быстрое достижение устойчивой частоты вращения малого газа.

Разница между моментом стартера $M_{ст}$ и M_c представляет собой избыточный момент, под действием которого система разгоняется (редкая штриховка на рис. 2).

Для управления запуском в требуемой последовательности служит система запуска. Система запуска ТА-6А - автономная, электрическая, автоматизированная. Переключением ГС-12ТО в генераторный режим по окончании процесса запуска осуществляется автоматически (в последних сериях самолета Ту-154 12ТО используется лишь как стартер).

Питание ГС-12ТО в двигательном режиме осуществляется от наземных источников, подключаемых к бортовой сети через розетку ШРАП-500К, или бортовых аккумуляторных батарей 12САМ-28.

Система запуска позволяет производить запуск двигателя с выходом на рабочий режим, холодную прокрутку, ложный запуск и остановку двигателя.

Электрическая схема системы запуска (рис. 3) обеспечивает также контроль работы ТА-6А и автоматическое отключение обогрева отсека ВСУ в полете после ее запуска. Аппаратура, входящая в электрическую схему запуска, позволяет бортинженеру следить за основными параметрами ТА-6А и обеспечивает автоматический останов двигателя в случаях:

заброса температуры газов за турбиной (Т4) до 570 °С по сигналу от аппаратуры СОТ-1М-1 (см. схему панели стенда);

- падения давления масла ниже 32 Н/см² по сигналу датчика МСТ-3,2 (при частотах вращения до 90% от номинальной допускается понижение давления);
- заброса частоты вращения двигателя до 105% по сигналу ПТА-6М;
- пожара в отсеке ВСУ по сигналу срабатывания первой очереди огнетушения. При срабатывании противопожарной системы происходит закрытие топливного пожарного крана ВСУ в магистрали основного топлива (стоп-кран), выключение топливного насоса 16 типа ЭЦН-319;
- включение автоматики ВСУ на останов (соответствует нажатию кнопки "СТОП"-39), закрытие створок воздухозаборника.

В систему запуска входят следующие основные агрегаты (рис.1 и рис. 3): стартер-генератор 7 типа ГС-12ТО, установленный на двигателе ТА-6А;

- автоматическая панель запуска 29 типа АПД-30А;
- панель I стартер-генератора ПСГ-6;
- агрегат зажигания 24 типа СКНР-22-05А;
- два воспламенителя 21 камеры сгорания с форсунками и свечами 22 типа СПЭ-6(эрозийные);
- электромагнитный клапан пускового топлива 19 типа МКВ-251;
- электромагнитный клапан рабочего топлива 15 типа МКВ-251;

- регулятор запуска с электромагнитными клапанами 8 и 10 типа МКТ-372 и МКТ-4-2;
- тахосигнальная аппаратура ТСА-6М с преобразователем 31 типа ПТА-6М, индикатором частоты вращения 56 типа ИТА-6М и тахометром 4 типа ДТЭ-5Т.

На панели запуска ВСУ, расположенной на пульте бортинженера, находятся следующие элементы управления и контрольно-измерительные приборы ВСУ:

- выключатель запуска 36;
- переключатель режимов работы 37;
- кнопка запуска 38;
- кнопка останова (стоп) 39;
- выключатель 48 перекрывного топливного крана;
- переключатель 40 управления заслонкой отбора воздуха на запуск основных двигателей и в систему кондиционирования (отбор воздуха допускается только после выхода ВСУ на режим);
- табло сигнализации параметров 49;
- измеритель частоты вращения двигателя 41;
- указатель температуры выходящих газов 35;
- указатель температуры масла 34.

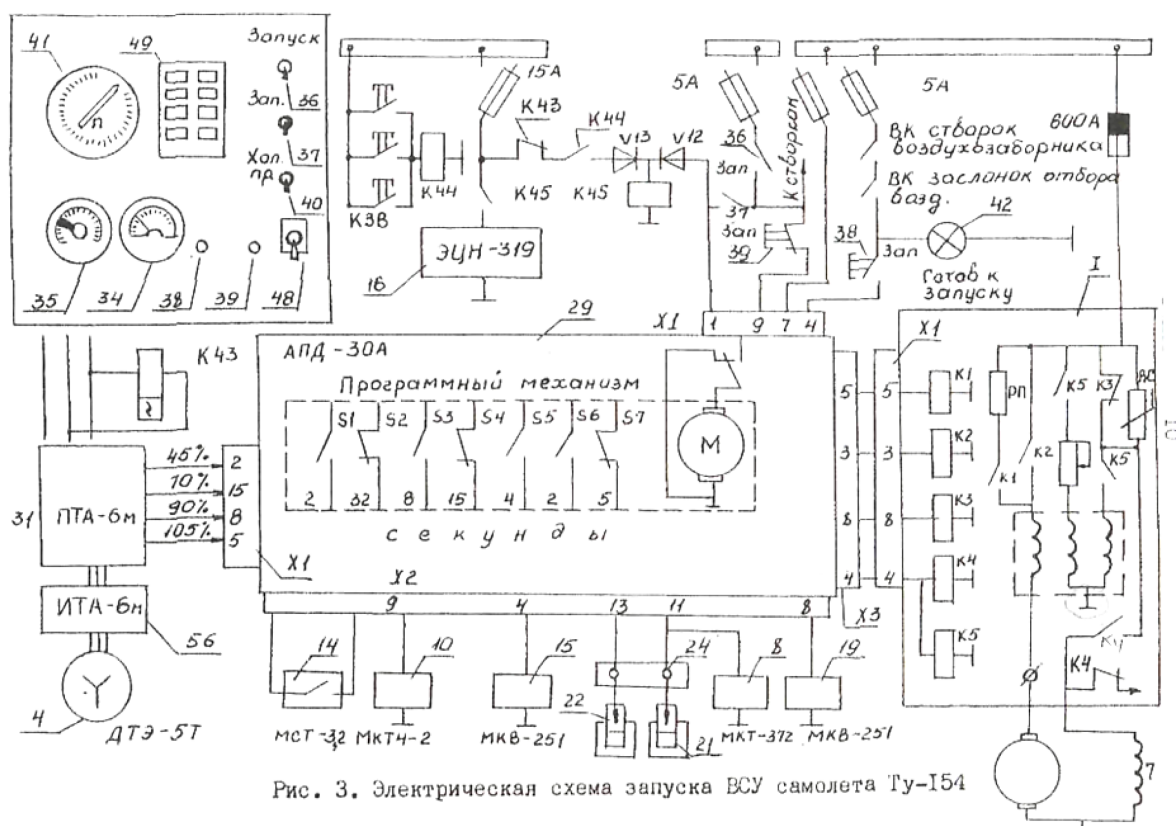


Рис. 3. Электрическая схема запуска ВСУ самолета Ту-154

Основные агрегаты системы запуска

Воздухозаборное устройство предназначено для подачи воздуха в отсек ВСУ через две створки, каждая из которых управляется механизмами типа МПК-13А-5 (см. схему стенда). Открытие створок происходит автоматически при включении выключателя 36 "ЗАПУСК" на панели "Запуск ВСУ". При этом загорается табло "Заборник открыт" и закрывается заслонка отбора воздуха на самолетные нужды.

Тахометрическая сигнальная аппаратура ТСА-6М предназначена для измерения частоты вращения двигателя ТА-6А, формирования и подачи на вход АПД-30А четырех сигналов в виде напряжения +27В в моменты достижения ротором ВСУ 45,70,90 и 105% от номинальной частоты вращения, которые используются, соответственно: для отключения стартерного режима ГС-12ТО; включения электромагнитного клапана МКТ-4-2 распределителя топлива 10; включения сигнальной лампы "Выход на режим" и отключения электромагнитного клапана пускового топлива; остановка двигателя по предельной частоте вращения.

Автоматическая панель запуска АПД-30А формирует электрические сигналы управления агрегатами, участвующими в запуске, контролирует работу двигателя и сигнализирует об аварийном останове по номинальному давлению масла и предельной частоте вращения, а также выходе двигателя на режим и, следовательно, возможности отбора воздуха и электроэнергии.

Панель стартер-генератора ПСГ-6 служит для автоматического управления стартер-генератором в стартерном режиме. Работа панели регламентируется командами АПД-30А.

Агрегат зажигания СКНР-22-05 с двумя свечами СПЭ-6 служит для воспламенения пускового топлива в начале запуска.

Электромеханизмы МПК-13А-5 предназначены для открытия и закрытия створок воздухозаборника ВСУ.

Основные технические данные электромеханизма МПК-13А-5:

- напряжение питания - 27+ 10%, В;
- потребляемый ток - 2,2 А;
- номинальный крутящий момент - 20Нм;
- момент срабатывания фрикционной муфты 35-50Нм;
- угол поворота - от 30° до 180°;
- время поворота на угол 180° -15 с.

Работа системы при запуске двигателя на земле

При установке выключателя 36 в положение «ЗАПУСК» открываются створки воздухозаборника (концевые выключатели створок замыкаются), и подается напряжение на механизм управления заслонкой отбора воздуха на самолетные нужды. Заслонка закрывается. При полном закрытии замыкаются

концевые выключатели створки и подается питание на табло 42 «Готов к запуску» и на кнопку 38 «Запуск».

При установке выключателя 37 в положение «ЗАПУСК» контактором К45 включается топливный насос 16 и подается питание +27В к АГЩ-30А на Х1.1. Насос также включается и от кнопок запуска в воздухе (КЗВ) основных АД при отсутствии напряжения на шине 200 В (при этом реле 43 обесточено). При нажатии на КЗВ любого основного АД включается реле 44 и насос 16 будет подавать топливо основным двигателям до тех пор, пока не появится напряжение 200 В, которое контактами реле 43 разорвет цепь включения насоса.

После нажатия кнопки «ЗАПУСКА» 38 процесс запуска регламентируется по времени программным механизмом панели 29. Сразу после нажатия кнопки по сигналу АПД и клеммы Х2.11 включается система зажигания и начинают работать свечи; включается электромагнитный клапан 8 типа МКТ-372 регулятора запуска, снижающий подачу топлива на 15л для исключения зависания температуры на первом этапе запуска; электродвигатель М программного механизма переводится из режима динамического торможения в двигательный режим, механизм начинает отработку цикла; с АПД-30А на клемму Х1.5 панели ПСГ-6 поступает сигнал, где срабатывает К1, и ГС-12ТО включается в стартерный режим через пусковое сопротивление РП при малых пусковых токах; на клемму Х1.4 ПСГ поступает сигнал на срабатывание К4 и К5, подготавливающих к включению регулятор тока. Обмотка возбуждения стартера ОВ питается от сети через замкнутые контакты К3 и замкнувшиеся контакты К4.

Через 2 с в АПД срабатывают микровыключатели S1 и S6. и через Х3.3 включается К2 панели ПСГ-6, где шунтируется РП, стартер подключается к сети напрямую.

Через 4 с срабатывает S5 и через Х.2.8 включается клапан 19 пускового топлива типа МКВ-251.

Через 5 с срабатывает S7, в ПСГ-6 снимается питание с К1, отключается RTI.

Через 8 с срабатывает S3, запитывается К3 в ПСГ-6, в цепь возбуждения включается угольный столб РС регулятора тока. Одновременно через Х2.4 включается клапан 15 рабочего топлива, топливо поступает в рабочий коллектор. Через 15 с отключается агрегат зажигания и ограничительный топливный кран 8.

В процессе раскрутки ротора ТА-6А тахосигнальная аппаратура вырабатывает сигналы по частоте вращения ротора для дальнейшего управления процессом запуска. При частоте вращения, равной 45% от номинальной, снимается питание с К2 и К3 в ПГС-12ТО перестает работать как стартер. Если сигнал 45% частоты вращения не выдается до 32 с, то стартер отключается после срабатывания S2; на 41 и 44 с выключается пусковое и рабочее топливо. В этом случае необходимо нажать кнопку «СТОП».

При частоте вращения, равной 70% от номинальной, включается электромагнитный клапан распределителя топлива типа МКТ-4-2 для увеличения подачи топлива в рабочий коллектор, цепь возбуждения стартер-генератора подготавливается к работе в режиме генератора.

Работа системы при холодной прокрутке

Работа системы запуска при холодной прокрутке ТА-6А отличается от режима запуска тем, что не включаются: преобразователь ПТА-6М (при этом измеритель ИТА-6М показывает частоту вращения холодной прокрутки, получая питание от датчика ДТЭ-5Т); топливная аппаратура (в том числе насос ВСУ1 и агрегат зажигания). В обмотку возбуждения ГС-12ТО не включается регулятор тока. Цикл холодной прокрутки -32с; частота вращения ротора-21% от номинальной.

Работа системы при ложном запуске

В этом режиме отключается агрегат зажигания путем отключения штепсельного разъема агрегата зажигания или автоматом защиты «Зажигание ВСУ». В остальном режим аналогичен режиму холодной прокрутки.

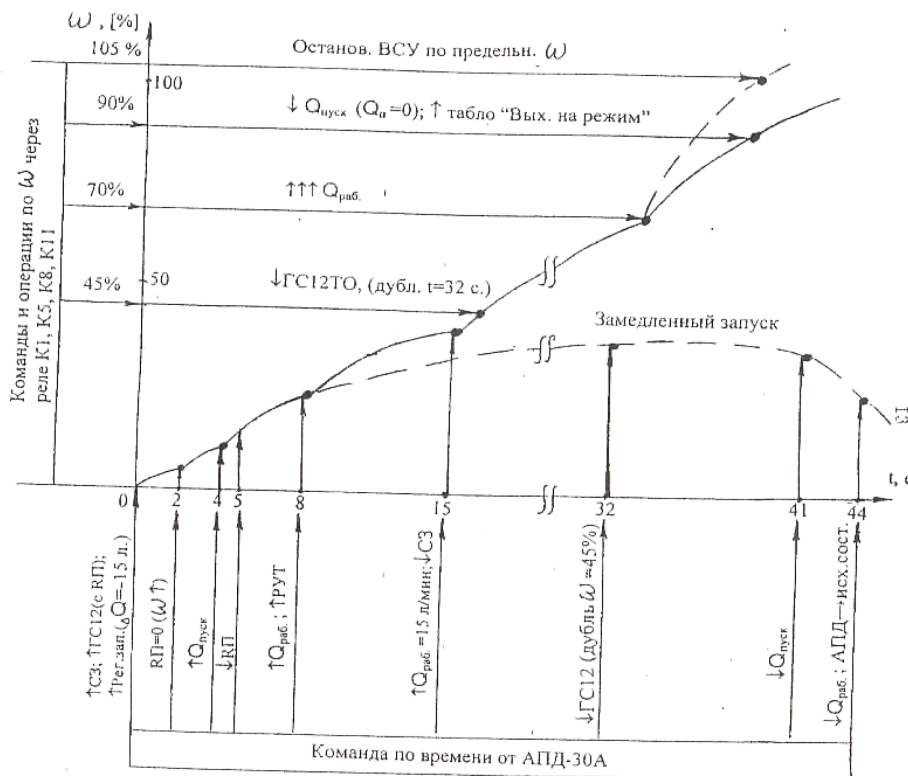


Рис. 4. Последовательность выдачи управляющих сигналов в процессе запуска ТА-6А

Останов двигателя

Для останова двигателя или прекращения запуска нажимается кнопка 39. При этом разрывается якорная цепь стартер-генератора, отключаются от бортсети электромагнитные клапаны типа МКВ-251 подачи топлива в пусковой и рабочий коллекторы и агрегат зажигания, закрывается заслонка отбора воздуха на самолетные нужды.

Работа автомата АПД-30А изучается на втором занятии.

Описание работы ведется по принципиальной электросхеме стенда.

Режим запуска на земле

При завершении подготовительных операций, выполненных в системе перевода выключателя в положение 36 в положение «ЗАПУСК», переключателя 37 «ЗАПУСК-ХОЛОДНАЯ ПРОКРУТКА» в положение «ЗАПУСК» напряжение +27 В подано на клеммы 1,6,7,9,12 разъема Х1 автомата, минус подан на клемму Х1.10

При нажатии на кнопку «ЗАПУСК» напряжение +27 В подается к реле К4 и К14.

Цепь прохождения сигнала к реле К4: + БС-Х1.4-К9.1-К2.2 (К4).

Цепь срабатывания реле К14: + БС-Х1.4-К9.1-К2.2-В2-(К14)

При срабатывании К4 производятся следующие операции.

1. Самоблокируется К4 по цепи: +БС-Х1.9-К1.2-К4.5-В2-(К4).

2. Появляется дополнительная цепи питания реле К14: +БС-Х1.9-К1.2-К4.5-(К14).

3. Запитывается реле К10 по цепи: +БС-Х1.1-К4.3-В4-(К10).

Контакты К10.1 подключают питание к системе зажигания (начинается тренировка свеч). Одновременно подается на клапан т МКТ-372 регулятора топлива, который закрывается, уменьшая на 15 л расход топлива в начале запуска (для исключения зависания температуры).

4. Подается питание на 5 клемму разъема Х1 (ПСГ-6) по цепи +БС-Х1.7-К4.1-В7-Х3.5-Х1.5 (ПСГ) (см. рис.3).

В ПСГ-6 срабатывает реле К1 которое подключает к сети стартер-генератор ГС-12ТО через пусковое сопротивление РП, находящееся в ПСГ-6. Начинается раскрутка вала ВСУ.

5. Подается питание на лампу «Панель работает» по цепи: +БС-Х1.7-К4.6-Х1.13-Н1

6. Подается питание на реле К2 по цепи: +БС-Х1.7-К4.6-(К2).

Реле К2 включаясь своими контактами производит следующие операции.

1. Разрывает цепь блокировки питания реле К4 и К14 от кнопки запуска, которые теперь запитаны только через кнопку Прекращения запуска (КНЗП) по цепи: +БС-Выкл.36-КНПЗ-Х1.9-К1.2-К4.5-В2-(К4)- для К4 и +БС-Выкл.36-КНПЗ-К1.2- К4.5-(К14)-для реле К14.

Этим создается возможность прекращения запуска при нажатии КНПЗ.

2. Переводит электродвигатель программного механизма из режима динамического торможения в двигательный режим. Электродвигатель снабжен центробежным регулятором частоты вращения, что обеспечивает срабатывание шайб В1 - В7 программного механизма в определенные моменты времени, на которые они отрегулированы, и выдачу сигналов в систему для обеспечения заданной программы запуска.

3. Подает питание на Х1.4 панели ПСГ-6 по цепи:

+БС-Х1.6-К2.4-К5.2-Х1.4(ПСГ), в которой срабатывают реле К4 и К5. Реле К4 переключает обмотку возбуждения (ОВ) стартера из цепи регулирования напряжения (РН) в цепь регулирования тока якоря двигателя. В начале запуска (пока не запитано реле К3 в ПСГ-6). ОВ подключена через контакты реле К3 (ПСГ) непосредственно к сети.

После размыкания контактов реле К3 в цепь ОВ будет включен угольный столб.

Реле 5 в ПСГ-6 подключает обмотки угольного регулятора тока (РУТ). Обмотка управления (W_u) через регулируемое сопротивление R_3 подключается к сети. Обмотка обратной связи (W_{oc}) подключается параллельно ОВ стартера. До срабатывания К3 (в ПСГ-6) W_{oc} подключена через сопротивление R_2 на сеть. Угольный столб на этом этапе запуска закорочен контактами реле К3 и не участвует в работе.

На **2 с** срабатывает шайба В1 и В6 в ПМ. Шайба В1 блокирует питание реле К2 до конца цикла работы АПД. Через клеммы шайбы В6 подается +27 В на клемму 3 разъема ПСГ-6 по цепи : +27 В -Х1.7-К4.2-В6-Х1.3 (ПСГ). В ПСГ-6 срабатывает реле К2, контакты которого шунтируют пусковое сопротивление РП, стартер подключается к сети напрямую для интенсивного разгона ротора ВСУ.

На **4 с** замыкается шайба В5 в ПМ, запитывая обмотку реле К6. Через контакты реле К6.1 подается питание к клапану пускового топлива МКВ-251, клапан открывается, топливо подается в камеры, происходит поджиг. Цепь срабатывания клапана : + 27В-Х1.7(АПД)-К6.1-Х2.8-(МКВ-251).

На **5 с** шайбой В7 снимается питание с клемм 5 разъема ПСГ-6, в ПСГ-6 отпускает реле К1, пусковое сопротивление отключается.

На **8 с** замыкается шайба В3, запитывая реле К9 по цепи: : +27 В -Х1.1-В3-К4.4-К8.11-К3.1 (К11.1)-(К9).

Контакты К9.1 разрывают цепь питания К4, предотвращая повторный запуск работающего двигателя.

Контакты К9.2, замыкаясь, подают питание на обмотку электромагнитного крана МКВ-251 основного топлива, кран открывается, топливо поступает в камеру сгорания.

Одновременно с этим подается +27 В на клемму Х1.8 панели ПСГ-6 по цепи: +27 В -Х1.1-В3-К14.1-Х3.8-Х1.8 (К3).

В ПСГ срабатывает реле К3, нормально-замкнутые контакты которого, размыкаясь, включают последовательно с ОВ стартера угольный столб. РУТ вступает в работу, потребляемый ток стартера стабилизируется на предварительно отрегулированной величине (400-500 А).

На **15-й** с срабатывает шайба В4. Снимается питание с реле К10, отключается зажигание.

При достижении ротором ВСУ оборотов, равных 45% от номинала. ПТА-6М (преобразователь тахосигнальной аппаратуры) выдает сигнал + 27 В на реле К1, которое своими контактами К1.2 разрывает цепь питания реле К4 и К14. При размыкании контактов К4.2 снимается питание с клемм Х1.3 панели ПСГ-6. Обесточивается реле К2 (в ПСГ), стартер отключается от сети. Отключение реле К2 панели АПД-30А не происходит, так как его питание осуществляется по цепи: +27 В -Х1.7-В1. Программное устройство дорабатывает цикл.

В ВСУ продолжает поступать топливо, так как реле К6, (управляющее клапаном подачи пускового топлива), запитано на цепи:

+ БС-Х1.1-К9.3-К6.2-К12.1-К1.1(В5)-(К6), а реле К9, управляющее клапаном подачи основного топлива,- по цепи: Х1.9-К2.3-К9.4-К8.Г-К3.1-(К9).

Примечание: В случае «вялого» запуска, когда ротор не достигает 45% оборотов к **32** с, запуск автоматически прекращается. Это реализуется следующим образом. На 32 с срабатывает шайба В2 в ПМ, разрывая цепь питания реле К4.

Стартер отключается, обесточивается реле К6, закрывается клапан пускового топлива. Реле К9 отключится по окончании цикла работы АПД-30А на **44** с. когда разомкнётся шайба В1 и отключит реле К2. При этом цепь питания реле К9 разрывается контактами реле К2.3 (контакты реле К1.3 при этом разомкнуты). При обесточивании реле К9 закрывается кран основного топлива. ВСУ останавливается.

При нормальном запуске (45% оборотов достигается за время **32** с) при достижении ротором 70% оборотов ПТА выдает сигнал на включение реле К5, которое включает клапан МКТ-4-2 регулятора запуска для добавки в основную магистраль. Команда проходит по цепи: Х1.1-К9.3-К5.1-Х2.9. Контактными К5.2 снимается питание с клемм Х3.4 (АПД) и Х1.4 (ПСГ), ГС-12ТО переключается для работы в генераторном режиме с отдачей энергии в сеть.

При достижении 90% номинальной частоты вращения по команде из ПТА срабатывает реле К11, которое контактами К11.1 выдает на клемму Х1.11 сигнал о выходе на режим (загорается табло «Выход на режим»), контактами К11.2 запитывает реле К12, которое контактами К12.1 разрывает цепь питания реле К6; обесточивается клапан пускового топлива. ВСУ продолжает работать только на рабочем топливе. Двигатель программного устройства продолжает вращаться. На 44 с размыкается В1, обесточивается реле К12, двигатель ПМ переключается в режим динамического торможения, ПМ готов для нового цикла работы.

Аварийный режим на ТА-6А

1. Если обороты ТА-6А возрастут до 105% (опасные обороты), ПТА-6М выдает сигнал на реле К8, которое контактами К8.1 обесточивает реле К9. Реле К9 выключает стоп-кран основного топлива МКВ-251. С клеммы Х1.14 сигнал попадает на табло «Предельные обороты».

2. При температуре выходных газов больше $(570+8)^\circ\text{C}$ СОТ-1М выдает сигнал на реле, которое своими контактами разрывает цепь кнопки «Стоп». Обесточивается вся электросхема. Горит табло «Предельная температура».

Эта блокировка вступает в работу только после достижения 90% оборотов.

В процессе запуска возможен кратковременный заброс температуры до 680°C .

3. Если после выхода на номинальный режим давления масла в магистрали ТА-6А будет меньше допустимого, то сигнализатор давления масла МСТ-3,2 включит реле КЗ в АПД, которое обесточит реле К9, стоп-кран основного топлива и включит реле К7. Двигатель остановится. С клеммы Х1.3 сигнал поступает на табло «Р масла». Блокировка вступает в работу после достижения 90% номинальной частоты вращения.

4. При пожаре в отсеке ВСУ из схемы пожаротушения поступит сигнал на реле, которое обесточивает цепь под кнопкой «Стоп», отключает СОТ-1М, включает механизмы створок воздухозаборника на закрытие, включает (закрывает электромагнитный клапан подачи топлива к ВСУ и включает насос ЭЦН-319, на схеме цепи не показаны).

Холодная прокрутка ВСУ

При холодной прокрутке ВСУ автомат АПД-30А выдает сигналы для управления стартер-генератором. Остальные агрегаты не работают.

Контрольные вопросы для зачета лабораторной работы

1. Как воспроизвести на стенде режим запуска ВСУ?
2. Как воспроизвести на стенде режим холодной прокрутки ВСУ?
3. Какие блокировки реализованы в системе запуска для прохождения сигнала на запуск от кнопки «ЗАПУСК»?
4. Как изменить величину настройки угольного регулятора тока?
5. Какие обмотки имеет регулятор тока и как они включены в схему?
6. Как на стенде производится имитация аварийных режимов?
7. Когда включается и отключается система зажигания ТА-6А?
8. Что произойдет в системе при срабатывании противопожарной системы?

Методические указания к выполнению лабораторной работы

1. Лабораторный стенд имеет два режима работы – ручной (Р) и автоматический – (АВТ). которые реализуются путем установки переключателя стенда в соответствующее положение. В автоматическом режиме программа запуска после нажатия КНОПКИ «ПУСК» реализуется автоматически. В ручном режиме управление процессов запуска осуществляется последовательным нажатием на кнопку микровыключателя встроенного в указку. Каждое нажатие на кнопку переводит шаговый искатель стенда на 1 позицию, что соответствует примерно 1 с реального процесса запуска.

2. Прохождение команд управления и их исполнение фиксируется загоранием ламп, встроенных в панель.

3. Работа со стендом начинается включением выключателя «Питание стенда». При этом загорается табло «Питание стенда» и «О ШИ» (нулевое положение шагового искателя). Если лампа «О ШИ» не горит, следует нажать кнопку «О ШИ» и удерживать ее до появления сигнала «О ШИ». Затем выключатель переключатель «Питание стенда». После этого стенд готов.

4. Включить АВС стенда. Переключатель аварийных режимов работы установить в выключенное положение.

5. При установке главного выключателя запуска а положение «ЗАПУСК» начинают работать приводы заслонок. После 5-7 нажатий, на кнопку загорается табло «Заборник открыт».

6. При установке выключателя «Запуск-холодная прокрутка» в положение «ЗАПУСК» загорается табло «Р топлива», открывается клапан подачи топлива (выключатель «КРАН ВСУ открыт» включен.

7. Кнопка «Запуск» включается только после загорания табло «Готов к запуску».

8. В автоматическом режиме дальнейший процесс запуска идет автоматически. В ручном - при последовательном нажатии на кнопку микровыключателя.

9. Для приведения стенда в исходное состояние нажать на кнопку «СТОП» и отключить питание стенда.

10. Расчеты параметров привода заслонки по пункту 7 задания вести по техническим данным, приведенным в тексте, по формулам:

$$\eta = P_2/P_1 = M\omega/UI,$$

$$A = P_1 \cdot t,$$

где: η - КПД,

M, ω - момент и частота вращения,

U, I – напряжение и потребляемый ток,

A – энергия за время работы t .