

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Определение показателей эффективности испытаний
воздушных судов**

Электронные методические указания
к практическим занятиям

САМАРА
2010

УДК 629.7.018

Составитель: **Киселев Денис Юрьевич**

Методические указания знакомят с процессом наземных и летных испытаний. Содержат задачи, выполняемые летно-испытательными комплексами и летно-испытательными станция. Приведены методики расчета программы испытаний и определения показателей эффективности летных испытаний.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 162300, а также для смежных авиационных специальностей и направлений.

Указания разработаны на кафедре ЭАТ для магистерской программы «Контроль, динамика и испытания систем авиационной техники» по направлению 162300.68 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей», в качестве электронного ресурса.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2010

1 Цель работы

Целью данной работы является получение студентами навыков определения программы испытаний воздушных судов на летно-испытательных станциях предприятий авиационной промышленности.

2 Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть.
2. В соответствии с заданием выполнить расчеты для определения программы испытаний и показателей эффективности летных испытаний.
3. Подготовить отчет о выполненной работе.

3 Теоретическая часть

Авиация стала всепогодной, ей доступны полеты на больших и малых высотах, осуществляются межконтинентальные перелеты, а так же полеты днем и ночью. В настоящее время полеты осуществляются с дозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями, по сложному маршруту с выходом в заданную точку, с автоматическим заходом на посадку и посадкой в любое время суток и в любую погоду. В данных условиях все системы, устройства и изделия должны бесперебойно выполнять свои функции в течение всего заданного времени работы в заданных внешних условиях. Возникновение самопроизвольных перерывов в работе узлов не допустим, так как это приводит к нарушению режима полета воздушного судна (ВС), а возможно и к непоправимым тяжелым последствиям.

Успешное выполнение указанных задач в большой степени зависит от результатов проведения наземных и летных испытаний воздушного судна.

Комплекс летных и наземных ВС и двигателей в аэродромных условиях в настоящее время осуществляется двумя основными видами летно-испытательных подразделений: летно-испытательными комплексами (ЛИК) (центрами, базами) и летно-испытательными станциями (ЛИС) серийных самолетостроительных (вертолетостроительных) заводов.

В организации, структуре, характере решаемых задач и методах их решений у названных подразделений есть и общие черты, и много различий. Часть задач в процессе наземной отработки летных испытаний решается ими в тесном взаимодействии.

Основной задачей ЛИК является проведение комплексных испытаний на опытных ВС, которые складываются из:

- испытаний в аэродинамических трубах и на наземных стендах;
- предполетных наземных испытаний опытного ВС;
- летных испытаний опытного ВС;
- комплексных летных испытаний опытных ВС по отдельным системам и оборудованию;

- совместных испытаний с заказчиком или контрольных испытаний заказчика;
- сертификация (установления соответствия ВС, его двигателей и оборудования действующим Нормам летной годности самолетов, Федеральным авиационным правилам) самолета и отправки его в эксплуатирующую организацию;
- повторных наземных и летных испытаний опытных и серийных ВС после модификации.

Перечисленные основные виды испытаний (которые могут быть опытными, серийными, ресурсными, ускоренными, государственными и др.) включают конкретные исследования управляемости и устойчивости ВС; прочности, с определением нагрузок и температур, действующих на планер, двигателя и их системы; совместимости и функционирования автоматических систем управления и навигационных систем; выполнения требований эксплуатационной технологичности конструкции ВС в целом и его отдельных систем и много других. В этой работе участвует большое число высококвалифицированных специалистов, в зависимости от характера работы и решаемых задач объединенных в самостоятельные подразделения — расчетно-экспериментальный, мотороиспытательный и ряд других комплексов, аналогичных летно-испытательному комплексу. Все комплексы работают в тесном содружестве, причем часть задач решается ими совместно.

Каждый комплекс состоит из нескольких отделов или служб, например, ЛИК объединяет отдел эксплуатации ВС, летную службу, отделы электро-, радио-, спецоборудования и ряд других.

Основными задачами ЛИС серийного самолетостроительного завода являются:

- проверка летно-технических данных ВС, его систем и оборудования, полученных в процессе комплексных испытаний опытных ВС и оговоренных в ТУ договора на приемку заказчиком и поставку в эксплуатирующую организацию ВС данного типа;
- проверка, регулировка и доводка агрегатов, систем и в целом ВС при отработке в наземных условиях и полете.
- Решение их осуществляется в следующей последовательности:
- наземная комплексная проверка, регулировка и доводка всех систем ВС в соответствии с требованиями ТУ;
- техническое обслуживание ВС в процессе подготовки и проведения летных испытаний;
- проведение летных испытаний при обеспечении их полной безопасности с выдачей заключения о соответствии ВС тактико-техническим требованиям и готовности к эксплуатации;

- передача готовых ВС заказчику (или представителю заказчика) и отправка их в эксплуатирующие подразделения;
- разработка совместно с другими отделами и службами завода необходимой технологической, методической и другой документации, необходимой для проведения наземных и летных испытаний.

Летные испытания, проводимые на ЛИС серийного завода, подразделяются на сдаточные, обязательные для каждого ВС; контрольные (контрольно-приемные), для всех ВС, направляемых в эксплуатирующие подразделения; периодические, оговоренные ТУ или дополнительными требованиями заказчика, и специальные, проводимые при изменении или модернизации конструкции ВС, его систем и оборудования.

Кроме этого, специалисты ЛИС серийных заводов принимают участие в проведении наземных и летных испытаний опытных ВС, если их производство осуществляется на серийном заводе; эксплуатационных испытаний совместно с соответствующими подразделениями и институтами; контрольно-серийных испытаний, проводимых институтами эксплуатирующих ведомств.

ЛИС, функционально являясь подразделением производственного предприятия, фактически представляет собой связующее звено между производством и эксплуатирующими организациями. Следует отметить, что в зависимости от вида испытаний, технологического процесса и организации испытаний отработка ВС в условиях ЛИС составляет значительный объем работ — 5... 10% от общей трудоемкости его изготовления.

Программа наземных испытаний

Программа наземных испытаний и проверок ВС является частью общей Программы наземных и летных испытаний, разработанной на основании инструкций и технических условий на монтаж и отработку систем, созданных ОКБ, и производственных инструкций завода-изготовителя. Программа составляется ведущим инженером по летным испытаниям ВС и согласовывается представителями ОКБ, серийного завода и заказчика.

В Программе четко определяется объем наземных испытаний, приводится перечень работ, выполняемых на каждом самолете по отдельным системам, расписываются испытания и проверки, проводимые выборочно на одном самолете из партии. По каждой системе повторяются общие, но являющиеся обязательными следующие работы: проверка состояния и качества монтажа, герметичности, работы отдельных агрегатов. Некоторые испытания и проверки проводятся при работающих двигателях, что также отражено в Программе. Обязательно указывается, кем выполняется работа. Определяются оборудование ВС, контрольно-записывающая аппаратура,

порядок проверки и предъявления эксплуатационной (технической) документации. Все контрольные работы проводятся в соответствии с инструкциями по эксплуатации отдельных систем.

Ниже, с учетом описанных обобщений, в сокращенном изложении приводится типовая Программа наземных испытаний и проверок планера самолета и двигателя в условиях ЛИС серийного завода.

Наземные испытания и проверки самолета и двигателя

1. Взвешивание и определение центра тяжести пустого самолета (до покраски).

2. Проверка системы управления самолетом. Проверяются: работа системы от всех гидросистем и от каждой в отдельности при работающих двигателях и от наземных стендов; отклонения рычагов управления и рулевых поверхностей; работа сигнализации; передаточные числа и характеристики триммерных механизмов; работа элементов системы управления от бортовых и наземных источников энергии. Результаты испытаний и проверок заносятся в паспорт.

3. Проверка гидравлических систем. Поставщиком и заказчиком отдельно проверяется работа агрегатов и сигнализации.

4. Проверка воздушной системы. Раздельно поставщиком и заказчиком проверяется работа агрегатов.

5. Проверка шасси. Проверяются: кинематика, сигнализация, четкость и последовательность срабатывания агрегатов при уборке и выпуске шасси от всех гидравлических или электрических систем, управление колесами передней стойки в различных режимах, время уборки и выпуска шасси.

Работа выполняется раздельно поставщиком и заказчиком.

6. Проверка тормозной системы. Работу сигнализации и агрегатов проверяют раздельно поставщик и заказчик.

7. Проверка чистоты топливной системы. Проверка производится после промывки системы поставщиком.

8. Проверка герметичности топливной системы. Проверка осуществляется поставщиком и заказчиком совместно перед летными испытаниями в течение, например, шести часов с избыточным давлением 20, 265 кПа (0,2 атм.) и после сдаточных летных испытаний в течение 24 часов без избыточного давления.

9. Проверка работы топливной и дренажной систем. В стояночном положении самолета совместно поставщиком и заказчиком проверяется работа системы измерения количества топлива, работа автомата расхода топлива и сигнализации остатка навигационного запаса (или другого

фиксированного количества), работа системы централизованной заправки с определением количества заправляемого топлива при различных вариантах заправки, работа системы измерения суммарного запаса и мгновенного расхода топлива.

10. Проверка противопожарной системы. Поставщиком и заказчиком совместно проверяется наличие давления в баллонах, работа с продувкой воздухом.

11. Проверка системы нейтрального газа. Совместно поставщиком и заказчиком проверяется зарядка баллонов и работа с продувкой воздухом.

12. Проверка работы высотного оборудования. Раздельно поставщик и заказчик проверяют работу высотного оборудования от двигателей (если силовая установка имеет ВСУ—дополнительно от него), работу агрегатов наддува и вентиляции кабин, температуру воздуха по горячей и холодной коммуникациям при различных режимах работы двигателей.

13. Проверка работы противообледенительной системы. Поставщик и заказчик раздельно выполняют проверку параметров при работающих двигателях.

14. Проверка системы управления двигателями. Поставщиком и заказчиком раздельно проверяется работа системы, блокировки, сигнализации положения управляемых элементов реверса от наземных источников питания.

15. Проверка работы маслосистемы двигателя. Поставщиком проверяется работа элементов системы централизованной заправки маслом каждого двигателя.

16. Проверка работы силовых установок. Раздельно поставщиком и заказчиком проверяются пусковые характеристики двигателя при запуске от бортового и наземного источников питания, работа двигателя на переходных и установившихся режимах, соответствие параметров двигателя при работе в самолетной компоновке данным стендовых испытаний по формуляру. При работающих двигателях проверяется работа гидравлической, топливной систем, системы противообледенения, управления самолетом от гидросистемы, герметичность систем, работа аппаратуры контроля вибрации двигателей и замер уровня вибрации.

17. Проверка чистоты самолета и отсутствия посторонних предметов производится раздельно поставщиком и заказчиком.

18. Проверка средств спасения и аварийного оборудования осуществляется раздельно поставщиком и заказчиком.

19. Проверка приборного, навигационного, бытового, радиооборудования, вооружения и регистрирующей аппаратуры проводится совместно или раздельно поставщиком и заказчиком.

Наземные испытания и проверки самолета, проводимые выборочно от партии ВС

В качестве примера рассмотрим наземные испытания и проверки только планера и топливной системы самолета.

1. Взвешивание и определение центра тяжести пустого самолета (1:10 — взвешивается один самолет из десяти). Определяются: масса и положение центра тяжести пустого самолета до покраски; масса и положение центра тяжести окрашенного самолета с невырабатываемым остатком топлива и заправленным до нормы маслом (1:5). Работа выполняется совместно поставщиком и заказчиком.

2. Проверка чистоты топливной системы после промывки производится заказчиком (1:10).

3. Проверка топливной и дренажной систем. Совместно поставщиком и заказчиком на одном — двух самолетах из серии проверяются: состояние монтажа, работа систем измерения количества топлива и определение поправок на суммарные и побачковые показания топливомера при положении самолета в линии полета, работа автомата расхода топлива и сигнализации остатка топлива (например, навигационного запаса) при положении самолета в линии полета, работа системы централизованной заправки с определением поправок на суммарные и побачковые показания топливомеров и количество заправляемого топлива при различных вариантах заправки в стояночном положении самолета, работа системы измерения суммарного запаса и мгновенного расхода топлива.

4. Определение полной емкости топливных баков и объема, оставшегося на расширение топлива. Работа выполняется совместно поставщиком и заказчиком на двух—трех самолетах из серии.

5. Определение несливаемого остатка топлива осуществляется поставщиком и заказчиком совместно на двух—трех самолетах из серии.

6. Определение несливаемого и невырабатываемого остатков топлива при положении самолета в линии полета — проводится поставщиком и заказчиком совместно на двух—трех самолетах из серии.

7. Определение количества топлива, доливаемого в кессон-баки до уровня клапанов слива перезалитого топлива — выполняют поставщик и заказчик совместно на двух—трех самолетах из серии.

8. Совместная полная заправка всех баков самолета топливом через все горловины централизованной заправки одновременно при полной производительности насосов топливозаправщиков под давлением 456 кПа (4,5 кг/см²). Работа выполняется поставщиком и заказчиком совместно на двух—трех самолетах из серии.

4 Расчет программы испытаний

Первым этапом планирования является расчет производственной программы на планируемый период, которая должна определить:

- количество планируемых самолетов в год;
- количество планируемых полетов по видам испытаний;
- общее количество полетов на планируемый период;
- продолжительность полетов по видам испытаний;
- общую продолжительность полетов на планируемый период,
- трудоемкость работ по видам испытаний;
- общую трудоемкость работ на планируемый период.

Количество полетов, планируемых на сдаточные испытания можно рассчитать, по формуле

$$P_{сд_исп} = NK_1 f_{повт},$$

Где N — программа выпуска самолетов в год (цифра задается преподавателем или определяется по статистическим данным в зависимости от типа самолет или серийности выпуска данного типа самолетов);

K_1 — количество сдаточных полетов, планируемых на каждый самолет, принимается равным 2—4;

$f_{повт}$ — коэффициент повторности сдаточных испытаний, принимается равным 1,05...1,08

Количество полетов, планируемых на контрольно-приемные испытания, определяется как

$$P_{КПП} = NK_2 f_{повт_КПП},$$

где K_2 — количество контрольно-приемных полетов, планируемых на каждый самолет, принимается равным 1—2;

$f_{повт_КПП}$ — коэффициент повторности контрольно-приемных полетов, принимается равным 1,08...1,15.

Количество полетов, планируемых на периодические испытания, принимается равным

$$P_{период_исп} = NK_3 f_{повт_период_исп},$$

где K_3 — количество периодических полетов, планируемых на периодические испытания, принимается равным 1 — 2 и более, что зависит от типа и назначения самолета, оригинальности, новизны решения его систем и агрегатов и их надежности;

$f_{\text{повт_период_исп}}$ — коэффициент повторности периодических испытаний, принимается равным 1,01...1,02.

Количество полетов, планируемых на специальные испытания, можно определить как

$$П_{\text{спец_исп}} = \frac{N}{100...150} f_{\text{повт_спец_исп}},$$

где $f_{\text{повт_спец_исп}}$ — коэффициент повторности полетов при специальных испытаниях, принимается равных 1.01 ... 1,02.

Общее количество полетов на планируемый период

$$\sum П = П_{\text{сд_исп}} + П_{\text{КПП}} + П_{\text{период_исп}} + П_{\text{спец_исп}},$$

Количество полетов, приходящихся на один самолет,

$$П = \frac{\sum П}{N},$$

Продолжительность сдаточных испытаний можно определить по формуле

$$T_{\text{сд_исп}} = П_{\text{сд_исп}} t_{\text{ср_прод_сд_исп}},$$

где $t_{\text{ср_прод_сд_исп}}$ — средняя продолжительность проведения сдаточных испытаний одного самолета.

Продолжительность контрольно-приемных испытаний

$$T_{\text{КПП}} = П_{\text{КПП}} t_{\text{ср_прод_КПП}},$$

где $t_{\text{ср_прод_КПП}}$ — средняя продолжительность контрольно-приемных испытаний одного самолета.

Продолжительность периодических испытаний

$$T_{\text{период_исп}} = П_{\text{период_исп}} t_{\text{ср_прод_период_исп}},$$

где $t_{\text{ср_прод_период_исп}}$ — средняя продолжительность периодических испытаний одного самолета.

Продолжительность специальных испытаний

$$T_{\text{спец_исп}} = П_{\text{спец_исп}} t_{\text{ср_прод_спец_исп}},$$

где $t_{\text{ср_прод_спец_исп}}$ — средняя продолжительность специальных испытаний одного самолета.

Продолжительность испытаний, приходящихся на один самолет,

$$B_T = \frac{\sum T}{N}.$$

Средняя продолжительность сдаточных, контрольно-приемных, периодических и специальных испытаний на один самолет ориентировочно можно принять: сдаточные испытания — 10... 12 ч, контрольно-приемные испытания — 5...6 ч, периодические испытания — 2...3 ч и более, специальные испытания — 50...100 ч и более.

5 Расчет показателей эффективности летных испытаний

В качестве одного из общих показателей эффективности целесообразно принять коэффициент эффективности использования времени, характеризующий объем полезной работы, выполняемой в единицу времени,

$$\eta_э = \frac{P_{пр}}{T},$$

и его удельное значение (отнесенное к усланному количеству самолетов, находящихся на испытаниях в течение всего срока их проведения)

$$\eta = \frac{\eta_э}{n_{исп} \eta_c},$$

где $P_{пр}$ - общее количество полетов по программе, необходимое для определения потребного объема тех или иных характеристик летательного аппарата, на рассматриваемом этапе или при проведении определенного вида испытаний;

T — продолжительность проведения этого же этапа или вида испытаний;

$n_{исп}$ — общее количество летательных аппаратов, участвующих в испытаниях;

η_c — относительное среднее время нахождения одного самолета на испытаниях.

Для оценки влияния наиболее существенных из перечисленных факторов на продолжительность испытаний используется ряд частных показателей. Факторы, отнесенные к первой группе, характеризуют сложность и новизну ВС, уровень предварительной проработки, качество проектирования и отработки систем и др., они же оказывают влияние на продолжительность летных испытаний вследствие дополнительных затрат времени и полетов (помимо программных полетов) при выполнении и проверке результатов доработок, устранении дефектов, повторении незаметных программных полетов. В качестве основных показателей для

оценки влияния факторов данной группы целесообразно использовать коэффициент отработочных полетов

$$K_{отр} = \frac{\Pi_{отр}}{\Pi_{пр}},$$

и коэффициент зачетности программных полетов,

$$K_{зач} = \frac{\Pi_{пр}}{\Pi_{пр} + \Pi_{пр_н} \eta_{р_н}},$$

где $\Pi_{отр}$ — количество полетов, выполненных для проверки произведенных в процессе испытаний соответствующих доработок;

$\Pi_{пр_н}$ — количество полетов, выполняющихся по программе испытаний, но незачетных вследствие имевших место отказов систем, агрегатов и элементов, как правило, составляет от 5 до 10% от общего числа самолетов;

$\eta_{р_н}$ - коэффициент, учитывающий вероятность возникновения повторных полетов, принимается равных 1,05 ... 1,08.

Влияние же уровня технической подготовки на продолжительность летных испытаний определяется в общем случае количеством дополнительных полетов $\Pi_{Т_П}$, включающих повторные полеты для оценки мероприятий по устранению выявленных дефектов, незачетных полетов из-за ошибок наземных и летных экипажей, недостатков в организации и т. п. В качестве показателя уровня технической подготовки целесообразно принять коэффициент технических полетов, равный отношению

$$K_{Т_П} = \frac{\Pi_{Т_П}}{\Pi_{пр}}.$$

Основной задачей рациональной организации летных испытаний (при условии, что их продолжительность является определяющей характеристикой, что весьма важно с точки зрения экономии топлива) является выполнение необходимого объема наземных и летных работ за минимальное время. Исходя из этого, для характеристики уровня организации испытаний выбирают следующие показатели:

коэффициент интенсивности полетов

$$K_{И} = \frac{\Pi_{\Sigma}}{T_{\Sigma}}, \quad (1)$$

коэффициент использования времени

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{T_{пол}}{T_{\Sigma}}, \quad (2)$$

коэффициент использования полетов

$$K_{И-П} = 1 - \left(\frac{\Pi_{дон}}{\Pi_{\Sigma}} \right), \quad (3)$$

коэффициент использования самолетов

$$\eta_c = \frac{T_{\Sigma}}{T}. \quad (4)$$

В выражениях (1) — (4) $\Pi_{\Sigma} = \Pi_{пр} + \Pi_{пр-н}$ — общее количество полетов, выполняемых на рассматриваемом этапе испытаний;

$T_{\Sigma} = \frac{T}{n_{исп}} (\Pi_{пр} + \Pi_{пр-н})$ — временной объем испытаний, т. е. суммарное количество самолето-дней (ч), затраченное на проведение данного этапа

испытаний; $T_{пол} = T - \left(\frac{\Pi_{пр-н} + \Pi_{дон}}{\Pi_{\Sigma}} \right) T$ — полезное время испытаний;

$\Pi_{дон} = 0.05 \dots 0.1 \Pi_{\Sigma}$ — количество полетов, непосредственно не связанных с задачами летных испытаний (тренировочные полеты, перебазирование на другие аэродромы и т. п.).

Связь удельного коэффициента эффективности использования времени с частными показателями определяется выражением

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{K_{И} K_{И-П}}{1/K_{зач} + K_{отр} + K_{Т-П}}.$$

Продолжительность летных испытаний в зависимости от их объема, числа участвующих ВС и показателей η_{ε} , η_c можно определить по формуле

$$T_{И} = \frac{\Pi_{ПР}}{\eta_{\varepsilon} \eta_c n_{исп}}.$$

Содержание отчета

Отчет о выполненном практическом занятии должен содержать:

1. Краткий конспект о целях и задачах наземной и летной отработки объектов.
2. Результаты расчета показателей эффективности (согласно заданию в таблице 2) и программы испытаний (заполнить таблицу 1).
3. Выводы по работе.

Таблица 1 - Программа испытаний

	сдаточные испытания	контрольно- приемные испытания	периодические испытания	специальные испытания
количество планируемых самолетов в год	(по всем видам испытаний)			
количество планируемых полетов по видам испытаний				
общее количество полетов на планируемый период	(по всем видам испытаний)			
продолжительность полетов по видам испытаний				
общую продолжительность полетов на планируемый период	(по всем видам испытаний)			

Расчет эффективности программы испытаний проводить для заданного вида испытаний.

Варианты заданий

Вид испытаний:

1. Сдаточные испытания.
2. Контрольно-приемные испытания.
3. Периодические испытания.

4. Специальные испытания.

Таблица 2 - Варианты заданий.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N	20	30	50	16	54	26	22	25	10	14	18
Вид испытаний	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
<i>П_{отр}</i>	3	1	5	2	4	2	2	3	0	1	2

Список использованных источников

1. Васильченко, К.К. Летные испытания самолетов: Учебник для втузов [Текст] / К.К. Васильченко, В.А. Леонов, И.М. Паликовский и др. М.: Машиностроение, 1996. - 720 с.
2. Углов, Б.А. Испытания летательных аппаратов и двигателей (общие вопросы наземной подготовки) [Текст]/ Б.А. Углов. - Куйбышев: КуАИ, 1987. - 66с.
3. Моренков, А.Н. Летные испытания и организация работ на летно-испытательных станциях [Текст]/ А.Н. Моренков, М.А. Пильник, Б.А. Углов, В.Я. Щеголев. - Куйбышев: КуАИ, 1990. - 175с.