

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

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

**Кафедра технической эксплуатации радиоэлектронного
оборудования воздушного транспорта**

Э.А. Болелов, Е.Б. Биктеева, К.Н. Матюхин

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
КОНТРОЛЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
РАДИОЭЛЕКТРОННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО
ТРАНСПОРТА**

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

*для студентов III курса
специальности 25.05.03
всех форм обучения*

Москва
2019

ББК 0561.5
Б79

Рецензент:

Петров Ю.В. – канд. техн. наук, доцент

Болелов Э.А.

Б79 Технические средства контроля при эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы./ Э.А. Болелов, Е.Б. Биктеева, К.Н. Матюхин. – Воронеж: ООО «МИР», 2019. – 40 с.

Данное учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ издается в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Технические средства контроля при эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта» по Учебному плану специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» для всех форм обучения.

В пособии приведены лабораторные работы №1-4 практического цикла изучения дисциплины «Технические средства контроля при эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта».

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 30.08.2018 г. и методического совета 12.09.2018 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 14.11.2018 г. Формат
60x84/16 Печ.л. 3 Усл. печ. 2,79 л.
Заказ 398/090425 Тираж 40 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Отпечатано ООО «МИР»
394033, г. Воронеж, Ленинский пр-т 119А, лит. Я, оф. 215

© Московский государственный
технический университет ГА, 2019

Содержание

Лабораторная работа № 1. Исследование методик определения методической достоверности контроля ТС объекта РЭО	Стр. 4
Лабораторная работа № 2. Исследование методик определения инструментальной достоверности контроля ТС объекта РЭО	15
Лабораторная работа № 3. Определение технического состояния бортовых метеонавигационных радиолокаторов с помощью встроенных средств	20
Лабораторная работа №4. Определение технического состояния бортовых радионавигационных систем с помощью специальных средств контроля	28
Приложения	38

Лабораторная работа № 1

Исследование методик определения методической достоверности контроля ТС объекта РЭО

Цель работы: изучение методик построения области работоспособности объектов радиооборудования и оценки методической достоверности контроля технического состояния объекта.

Время - 4 часа.

Учебные вопросы:

1. Построение области работоспособности объекта.
2. Вычисление значения методической достоверности.

1. Основные теоретические сведения

Под **достоверностью контроля** понимают степень объективного отображения результатами контроля действительного технического состояния объекта. Иными словами, достоверность контроля показывает, в какой мере принимаемые решения о техническом состоянии соответствуют фактическому состоянию объекта контроля.

Из формулировки понятия «достоверность контроля» следует, что конечный результат зависит от совместного проявления двух событий:

- фактического состояния объекта контроля;
- результата отображения этого состояния.

Будем рассматривать только два возможных фактических состояния – работоспособное (событие A) и неработоспособное (событие \bar{A}) – и два события результатов отображения – верное (событие B) и ложное (событие \bar{B}). В этом случае формируются 4 возможных варианта принимаемых решений о виде технического состояния:

$$S_1 \sim B|A; S_2 \sim B|\bar{A}; S_3 \sim \bar{B}|A; S_4 \sim \bar{B}|\bar{A}.$$

Первый вариант S_1 представляет собой верное заключение о техническом состоянии при условии, что объект работоспособен. Вариант $S_2 \sim B|\bar{A}$ отображает правильное заключение при условии, что объект неработоспособен. Для случая $S_3 \sim \bar{B}|A$ имеем неверное ложное заключение при условии, что объект работоспособен. Аналогично $S_4 \sim \bar{B}|\bar{A}$ – ложное заключение о техническом состоянии при условии, что объект неработоспособен. Варианты S_1, S_2, S_3, S_4 образуют полную группу событий. На каждое из этих событий оказывает влияние большое количество факторов (как управляемых, так и не

управляемых). Поэтому эти события реализуются с определённой вероятностью $P\{S_i\}$, причём $\sum_{i=1}^4 P\{S_i\} = 1$.

Правильным решением о фактическом состоянии соответствуют события S_1, S_2 . Сумма вероятностей этих событий и определяет значения достоверности контроля: $D = P\{S_1\} + P\{S_2\}$.

Событие S_3 по своей физической сущности означает, что в объекте фиксируется ложный отказ. Поэтому вероятность $P\{S_3\}$ представляет собой вероятность фиксации *ложного отказа*, или ошибки первого рода. Эти вероятности обозначают $P\{S_3\} = \alpha = P_{\text{ло}}$. Событие S_4 заключается в том, что объект признаётся работоспособным, хотя его фактическое состояние – неработоспособное, т.е. в объекте существует *необнаруженный отказ*. Вероятность $P\{S_4\}$ – вероятность необнаруженного отказа, или ошибки второго рода; $P\{S_4\} = \beta = P_{\text{но}}$. Таким образом, $D + P_{\text{ло}} + P_{\text{но}} = 1$ или $D = 1 - [P_{\text{ло}} + P_{\text{но}}]$.

Как правило, ТС объекта определяется совокупностью контролируемых параметров. Допустим, что эта совокупность содержит N независимых параметров. Если считать исходы контроля по каждому параметру независимыми и при этом α_i – условная вероятность того, что по i -му параметру фиксируется событие \bar{A} , хотя в действительности имеет место событие A , то вероятность ошибки 1-го рода

$$\alpha = P\{S_3\} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - \alpha_i). \quad (1)$$

Аналогично для вероятности ошибки 2-го рода получим

$$\beta = P\{S_4\} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - \beta_i). \quad (2)$$

Подчеркнём два существенных ограничения, при которых выражения (1.19) и (1.20) справедливы:

- контролируемые параметры независимы;
- контролем охвачены все параметры, определяющие техническое состояние объекта.

При нарушении как каждого из этих ограничений, так и обоих одновременно значения ошибок α и β будут возрастать. Поэтому с помощью выражений (1.19), (1.20) можно оценивать минимально возможные значения ошибок 1 и 2 родов при прочих равных условиях проведения контроля.

При анализе достоверности контроля её условно разделяют на две составляющие: методическую (D_m) и инструментальную (D_i). При условии взаимной независимости факторов, оказывающих влияние на каждую из них (что является весьма жёстким условием), достоверность контроля можно представить в виде выражения

$$D = D_n \cdot D_m, \quad (3)$$

что дает возможность рассмотреть каждую из составляющих достоверности контроля отдельно.

Методическая достоверность контроля (D_m) определяется совокупностью контролируемых параметров объекта, методикой контроля и принятыми в ней критериями оценки технического состояния.

Рассмотрим более детально факторы, влияющие на методическую составляющую достоверности контроля. Первым и наиболее значимым фактором является совокупность контролируемых параметров. Влияние этого фактора обусловлено тем, что именно контролируемые параметры являются носителем информации о техническом состоянии объекта. Будем считать параметры взаимно независимыми. Если контролируемый параметр определяет возможность оценки выполнения той или иной функции объекта, то исключение (по той или иной причине) этого параметра из общей совокупности означает принципиальную невозможность получения такой оценки. Количественной оценкой использования того или иного набора контролируемых параметров из общей совокупности параметров является полнота контроля ρ . Эта характеристика показывает, какая часть объекта (а также, какие функции объекта) охвачены контролем. При $\rho = 1$ имеем случай, когда все требуемые функции объекта могут быть принципиально проверены, и в объекте нет элементов, техническое состояние которых оказывается неизвестным. При $\rho = 0$ техническое состояние объекта принципиально неизвестно.

Существуют различные подходы к количественной оценке полноты контроля. Наиболее точным является способ, при котором оценкой полноты контроля является отношение проверенных независимых параметров N_k , определяющих функции объекта, к общему количеству параметров N , обеспечивающих контроль всех заданных (установленных) для объекта функций:

$$\rho = \frac{N_k}{N}. \quad (4)$$

Другой способ основан на том предположении, что любая часть объекта вносит свой "вклад" в общую вероятность отказа этого объекта. Пусть на заданном интервале времени $(0, t)$ контролируемой части объекта соответствует вероятность отказа $Q_k(t)$, а общая вероятность отказа равна $Q(t)$. Тогда оценкой полноты контроля можно считать

$$\rho^* = \frac{Q_k(t)}{Q(t)}. \quad (5)$$

Для нормального периода эксплуатации объекта обычно принимают, что поток отказов является простейшим. Это означает, что закон распределения времени безотказной работы является экспоненциальным, что даёт

возможность представить выражение (1.23) следующим образом:

$$\hat{\rho}^* = \frac{1 - e^{-\lambda_k t}}{1 - e^{-\lambda t}}, \quad (6)$$

где λ_k - суммарная интенсивность отказа контролируемой части объекта, λ - интенсивность отказа всего объекта.

Из выражения (1.24) можно получить приближенную оценку полноты контроля, если разложить экспоненту в ряд и ограничиться только линейными членами:

$$\tilde{\rho}^* \cong \frac{1 - 1 + \lambda_k t}{1 - 1 + \lambda t} = \frac{\lambda_k}{\lambda}. \quad (7)$$

Точность полученного выражения для $\tilde{\rho}^*$ будет определяться тем, насколько мала величина $\lambda_k t$ (λt). Для инженерных расчётов по приближенной оценке полноты контроля можно принять величину $\lambda_k t$ (λt) $\leq 0,1$. Ещё один способ приближенной оценки полноты контроля сводится к определению отношения элементов n_k , охваченных контролем, к общему числу элементов n объекта $\rho^* = \frac{n_k}{n}$. Ограничение полноты контроля приводит к снижению достоверности контроля из-за невозможности оценки технического состояния в неконтролируемой части объекта и увеличению вследствие этого числа необнаруженных отказов. С увеличением полноты контроля объекта увеличивается и методическая достоверность, достигая максимального значения при $\rho = 1$.

Значимый вклад в оценку методической достоверности вносят методика контроля и используемые в ней критерии оценки технического состояния. В [11] были описаны различные методы измерения, при которых осуществлялось сравнение с заданными границами, оценивалось отклонение от некоторого эталонного значения и т.д. Эти методы и соответствующие им методики используются и при контроле технического состояния. Вместе с тем, при контроле технического состояния обычно стремятся получить не точечную оценку нужного параметра или их совокупности, а определить вид технического состояния, в том числе и в случае, если внутри каждого вида существуют отличающиеся друг от друга технические состояния.

Рассмотрим некоторые типовые методики, применяемые при контроле технического состояния. Обозначим эти методики римскими цифрами I, II. Пусть техническое состояние системы описывается n параметрами $y_i, i = 1 \dots n$.

Методика I.

Предполагается, что на каждый параметр задана область $d_i, i = 1 \dots n$. Если $y_i \in d_i$, то система по данному параметру считается работоспособной. Техническое состояние системы S является работоспособным S_1 , если условие

$$y_i \in d_i, i = 1 \dots n \quad (8)$$

одновременно выполняется для всех n параметров. Это записывается следующим образом:

$$S = S_1 = \bigcap_{i=1}^n (y_i \in d_i). \quad (9)$$

Если хотя бы одно из условий $y_i \in d_i$ не выполняется, то техническое состояние S рассматривается как неработоспособное. В общем случае как параметр y_i , так и величина области d_i являются функцией времени. Поэтому более общий вид выражения (9) имеет вид:

$$S = S_1 = \bigcap_{i=1}^n [y_i(t) \in d_i(t)]. \quad (10)$$

Методика контроля в данном случае сводится к измерению значения $y_i(t)$ и проверке условия $y_i \in d_i$. Критерий оценки вида технического состояния состоит в проверке условия (9) или (10). Наиболее часто изложенная методика используется в следующем виде. Область d_i обычно представляют в виде отрезка с границами $[y_{n_i}; y_{v_i}]$. Поэтому условие (8) принимает вид:

$$y_{n_i} \leq y_i \leq y_{v_i}. \quad (11)$$

Условие (9) записывается в следующей форме:

$$S = S_1 = \bigcap_{i=1}^n [y_{n_i} \leq y_i \leq y_{v_i}]. \quad (12)$$

Если рассмотреть геометрическую интерпретацию изложенной методики, то техническое состояние представляется точкой в n -мерном пространстве с координатами (y_1, y_2, \dots, y_n) . Совместная область условий (12) есть n -мерный гиперпараллелепипед. Для случая $n=2$ иллюстрация работоспособного и неработоспособного состояний представлена на рис. 1.

Состояние $S = S_1$ соответствует случаю, когда одновременно выполняется условие

$$\begin{cases} y_{n_1} \leq y_1 \leq y_{v_1}; \\ y_{n_2} \leq y_2 \leq y_{v_2}. \end{cases}$$

Для состояния $S = S_2$ имеем другой вариант:

$$\begin{cases} y_{n_1} \leq y_1 \leq y_{v_1}; \\ y_2 > y_{v_2}. \end{cases}$$

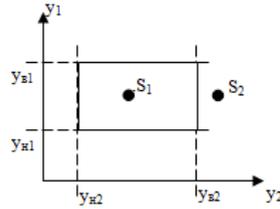


Рис. 1. Иллюстрация технических состояний

Из сопоставления полученных условий с критерием работоспособности следует, что состояние S_1 - работоспособное, а состояние S_2 - не работоспособное, причем в последнем случае имеет место нарушение условия (10) для параметра y_2 .

Основной недостаток методики I состоит в том, что использование условия (11) и критерия (12) требует, чтобы параметры y_i были независимы. На практике, особенно для радиоэлектронной аппаратуры, это условие практически не выполняется, что влечет изменение области работоспособности вместо n -мерного гиперпараллелепипеда. Совместная область работоспособности может иметь границы произвольной формы. Такое изменение формы области работоспособности ведет к появлению ошибок I и II рода, причем в зависимости от того, как расположена эта реальная область относительно гиперпараллелепипеда, по границам которого принимается решение о виде технического состояния, величины этих ошибок будут меняться. Поясним это на иллюстрирующих рисунках (рис. 2 а, б, в).

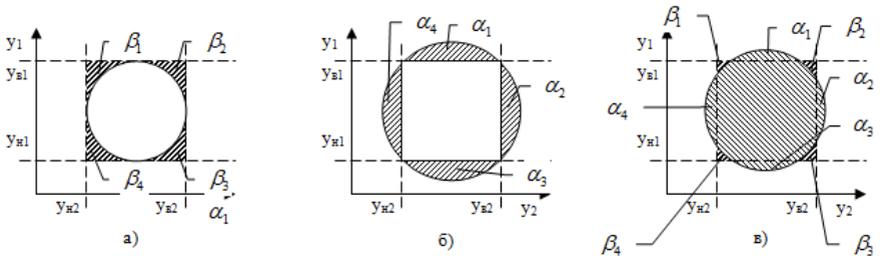


Рис. 2. Иллюстрация взаимного расположения реальной и идеальной областей работоспособности

На рис. 2 а,б,в, подобно рис. 1, указана область работоспособности в виде прямоугольника для двух независимых параметров, а также возможная конфигурация этой области в случае если между параметрами имеется связь. Кроме того, на рис. 2а показано, что реальная область работоспособности

вписана в прямоугольник, на рис. 2б – она описана около прямоугольника, а на рис. 2в – занимает промежуточное положение.

В случае, когда имеет место вписанная в прямоугольник реальная область работоспособности, ошибки носят характер ошибок 2-го рода β – пропуск отказа. Действительно, в заштрихованных областях $\beta_1 \dots \beta_4$ на рис. 1.3а объект реально является неработоспособным, а в соответствии с правилом (12) он будет классифицироваться как работоспособный. Аналогично, для ситуации рис. 2б имеем ложную браковку в случаях, если результат измерения параметров y_1 и y_2 окажется в одной из областей $\alpha_1 \dots \alpha_4$. Получить оценку методической достоверности возможно следующим образом. Вычислим площадь для каждой области $\beta_i, i=1, \dots, 4$, а также площадь прямоугольника. Пусть полученные оценки имеют значения $Q_\beta = Q_{\beta_1} + Q_{\beta_2} + Q_{\beta_3} + Q_{\beta_4}$ и Q . Тогда значение методической достоверности:

$$D_M = 1 - \frac{Q_\beta}{Q}. \quad (13)$$

По аналогичной методике можно оценить методическую достоверность для случая рис. 2б и 2в. Основная сложность в получении оценки методической достоверности связана с построением границы реальной области работоспособности и определением её положения относительно гиперпараллелепипеда.

Методика II.

Предполагается, что состояния каждого вида образуют достаточно компактную область в пространстве измеряемых параметров. Для каждой такой области имеется возможность определить такое состояние, которое рассматривается как её центр тяжести. Обозначим такое состояние для области работоспособных состояний S_p , а для неработоспособных – S_{np} .

Пусть текущее техническое состояние есть S , причём не известно, к какой области оно принадлежит. Так как техническое состояние описывается n параметрами, то для состояния S_p будем иметь точку с координатами $(y_{1p}, y_{2p}, \dots, y_{np})$; соответственно, для состояния S_{np} центр тяжести есть точка с координатами $(y_{1np}, y_{2np}, \dots, y_{nnp})$, а текущее состояние имеет координаты (y_1, y_2, \dots, y_n) .

Геометрическая интерпретация описываемой ситуации для случая двух параметров представлена на рис. 3.

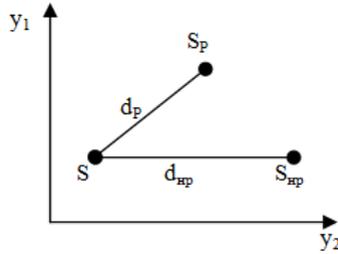


Рис. 3. Геометрическая интерпретация расположения технических состояний

Вычислим расстояние d_p между точками S и S_p , расстояние d_{np} между точками S и S_{np} и воспользуемся следующим правилом (критерием оценки вида состояния) – текущее техническое состояние относится к тому из видов, для которого выполняется условие:

$$\min_{\{p, np\}} \{d_p, d_{np}\}. \quad (14)$$

Методика контроля в данном случае сводится к измерению значений параметров $y_i(x), i=1, \dots, n$ и вычислению расстояний d_p и d_{np} . Критерий оценки вида технического состояния сводится к выбору того вида, для которого значение расстояния будет меньше.

Выбор метрики, т.е. вида выражения для значения расстояния, является самостоятельной задачей и зависит от многих факторов – типа объекта, его конструктивного выполнения, набора измеряемых параметров и др. Основное требование заключается в том, чтобы обеспечить по возможности наилучшую классификацию текущего технического состояния относительно видов технических состояний.

Варианты используемых метрик приведены в [6].

На практике наиболее часто используются следующие более простые для вычисления метрики:

- метрика Эвклида

$$d_p = \left[\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ip})^2 \right]^{1/2}; \quad (15)$$

- метрика Хемминга

$$d_p = \sum_{i=1}^n |y_i - y_{ip}|. \quad (16)$$

Выражения (15), (16) представлены для случая определения расстояния от текущего технического состояния до центра области работоспособных

состояний. По аналогии определяются расстояния и до центра области неработоспособных состояний - вместо значений u_{IP} подставляются значения $u_{ИПР}$.

В методике II не требуется в явном виде знание границы области видов состояний, что делает её проще методики I. Однако основная сложность этой методики заключается в определении центров тяжести S_p и $S_{ИПР}$. Существуют и другие методы оценки вида технического состояния, основанные на методах теории распознавания образов, идентификации, классификации и др.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Произвести построение реальной области работоспособности методом гиперплоскостей по данным табл. 1.

Таблица 1.

№ п/п	x_1	x_2	Работоспособность объекта
1	6	10	Да
2	1	8	Да
3	2	3	Да
4	7	5	Да
5	8	2	Да
6	11	5	Да
7	10	8	Да

2. Получить у преподавателя номер варианта индивидуального задания и построить область работоспособности по указанным параметрам (таб.2).

Таблица 2

№ варианта	x_1	x_2	Значения допуска
1	6	6	$x_1 \sim [1,12], x_2 \sim [2,10]$
2	10	3	$x_1 \sim [1,11], x_2 \sim [1,11]$
3	5	4	$x_1 \sim [2,9], x_2 \sim [3,10]$
4	6	5	$x_1 \sim [2,9], x_2 \sim [3,10]$
5	7	4	$x_1 \sim [2,9], x_2 \sim [3,10]$
6	9	6	$x_1 \sim [2,9], x_2 \sim [3,10]$
7	10	3	$x_1 \sim [2,10], x_2 \sim [3,11]$

№ варианта	x_1	x_2	Значения допуска
8	5	8	$x_1 \sim [2,13]$, $x_2 \sim [3,12]$
9	8	7	$x_1 \sim [3,12]$, $x_2 \sim [2,14]$
10	3	7	$x_1 \sim [1,14]$, $x_2 \sim [2,9]$
11	12	3	$x_1 \sim [3,13]$, $x_2 \sim [4,12]$
12	14	2	$x_1 \sim [1,11]$, $x_2 \sim [1,11]$

3. Отметить контрольную точку проведения измерений и принять решение о годности объекта по полученным областям работоспособности.

4. В соответствии с формулой (13) провести оценку методической достоверности контроля. Для оценки методической достоверности провести требуемые расчеты в системе MathCad.

5. Сформулировать вывод по работе.

3. Содержание отчета

Отчет должен включать в себя следующие пункты:

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, фамилией студента, номером варианта и номером группы.
2. Исходные данные для выполнения лабораторной работы.
4. Графическое представление области работоспособности.
5. Проверку работоспособности объекта контроля по результату измерения параметров.
6. Результаты оценки методической достоверности.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое контроль технического состояния (ТС)?
2. Каковы задачи контроля ТС?
3. Поясните обобщенную схему контроля ТС?
4. Что такое достоверность контроля ТС?
5. Дайте определение методической достоверности контроля ТС.
6. От чего зависит методическая достоверность контроля ТС?
7. Перечислите факторы, влияющие на методическую достоверность.
8. Что такое полнота контроля?
9. Поясните методику оценки полноты контроля.
10. Поясните типовые методики применяемые при контроле технического состояния.

Литература

1. Логвин А.И., Власов А.Ю. Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушных судов и аэропортов. Учебное пособие.-М.:РИО МГТУ ГА, 2008.
2. Осис Я.Я. и другие. Диагностирование на граф-моделях. – М.: Транспорт, 1991.
3. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1989.
4. Ямпольский В.И. и др. Контроль и диагностирование гражданской авиационной техники. - М.: Транспорт, 1990.
5. Кондратьев В.В. и др. Автоматизация контроля цифровых функциональных модулей.- М.: Радио и связь, 1990.
6. Болелов Э.А., Матюхин К.Н., Прохоров А.В., Прокофьев И.О. Технические средства контроля при эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта. – М.: Изд-во Академия Жуковского, 2018.

Лабораторная работа № 2

Исследование методик определения инструментальной достоверности контроля ТС объекта РЭО

Цель работы: изучение методики оценки инструментальной достоверности контроля основанной на статистическом моделировании.

Время - 4 часа.

Учебные вопросы:

1. Разработка программы в системе MathCad для расчета инструментальной достоверности контроля.
2. Исследование зависимости вероятности принятия неверного (суммарного ошибочного) решения о техническом состоянии системы от достоверности контроля каждого из её параметров и объёма контролируемых параметров.

1. Основные теоретические сведения

Инструментальная достоверность контроля – составляющая достоверности контроля, определяемая вероятностными свойствами контролируемых параметров и погрешностями средств измерений. Инструментальная достоверность контроля характеризует способность используемых средств контроля правильно оценивать состояние объекта по результатам инструментального контроля его параметров.

Рассмотрим более детально факторы, влияющие на инструментальную достоверность контроля. Вероятностные свойства контролируемых параметров $x_i, i = 1, \dots, n$ определяются плотностью распределения значений этих параметров $p(x_i)$ и областью возможных значений, которая обычно задаётся в виде интервала $[x_i^H, x_i^B], i = 1, \dots, n$ где x_i^H - нижнее и x_i^B - верхнее значения. Внутри этой области указывается интервал допустимых значений $[x_{ид}^H, x_{ид}^B]$, принадлежность значений параметра к которому означает наличие работоспособного состояния.

Другим фактором является погрешность средств измерений. Отображение действительного технического состояния осуществляется за счёт получения результата измерения ξ_i и сопоставления его с допуском $[x_{ид}^H, x_{ид}^B]$. Изложенная модель оценки технического состояния приводит, подобно ситуации с методической достоверностью, к появлению ошибок 1 и 2 рода.

Ошибка 1 рода (инструментальная вероятность ложной неисправности

$P_{иннЛi}$) возникает в случае, когда действительное значение $x_i \in [x_{ид}^H, x_{ид}^B]$, а измеренное значение $\xi_i \in [x_{ид}^H, x_{ид}^B]$. Ошибка 2 рода (инструментальная вероятность необнаруженной неисправности $P_{иннНi}$) характеризуется тем, что действительное значение $x_i \in [x_{ид}^H, x_{ид}^B]$, а измеренное значение $\xi_i \in [x_{ид}^H, x_{ид}^B]$.

Инструментальная достоверность контроля по каждому i -му параметру равна:

$$D_{инi} = 1 - (P_{иннЛi} + P_{иннНi}). \quad (1)$$

Для оценки значения инструментальной достоверности контроля необходимо вычислить величины ошибок 1 и 2 рода.

Будем, как и раньше, считать, что событие А соответствует случаю $x_i \in [x_{ид}^H, x_{ид}^B]$, а событие В - $\xi_i \in [x_{ид}^H, x_{ид}^B]$. Тогда совместное появление событий А и В - эквивалентно ложному отказу, а \overline{AB} - необнаруженному отказу.

Найдём вероятности этих совместных событий, для чего сначала определим пределы интегрирования соответствующих плотностей распределения. Для события А пределы интегрирования определяются интервалом $[x_{ид}^H, x_{ид}^B]$. Событие \overline{B} эквивалентно интегрированию по двум областям: $[-\infty, x_{ид}^H]$, $[x_{ид}^B, \infty]$. Соответственно, для события \overline{A} имеем $[-\infty, x_{ид}^H]$, $[x_{ид}^B, \infty]$, а для события В интервал интегрирования равен $[x_{ид}^H, x_{ид}^B]$.

Тогда вероятность:

$$P(\overline{AB}) = \int_{-\infty}^{x_{ид}^H} \left[\int_{x_{ид}^H}^{x_{ид}^B} f(\xi_i - x_i) f(x_i) dx_i \right] d\xi_i + \int_{x_{ид}^B}^{\infty} \left[\int_{x_{ид}^H}^{x_{ид}^B} f(\xi_i - x_i) f(x_i) dx_i \right] d\xi_i, \quad (2)$$

$$P(\overline{AB}) = \int_{x_{ид}^H}^{x_{ид}^B} \left[\int_{-\infty}^{x_{ид}^H} f(\xi_i - x_i) f(x_i) dx_i \right] d\xi_i + \int_{x_{ид}^H}^{x_{ид}^B} \left[\int_{x_{ид}^B}^{\infty} f(\xi_i - x_i) f(x_i) dx_i \right] d\xi_i. \quad (3)$$

Соответственно вероятность совместного события АВ равна

$$P(AB) = \int_{x_{ид}^H}^{x_{ид}^B} \left[\int_{x_{ид}^H}^{x_{ид}^B} f(\xi_i - x_i) f(x_i) dx_i \right] d\xi_i, \quad (4)$$

а,

$$P(\overline{AB}) = \int_{-\infty}^{x_{ид}^H} \left[\int_{-\infty}^{x_{ид}^H} f(\xi_i - x_i) f(x_i) dx_i + \int_{x_{ид}^B}^{\infty} f(\xi_i - x_i) f(x_i) dx_i \right] d\xi_i + \int_{x_{ид}^B}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{x_{ид}^H} f(\xi_i - x_i) f(x_i) dx_i + \int_{x_{ид}^B}^{\infty} f(\xi_i - x_i) f(x_i) dx_i \right] d\xi_i. \quad (5)$$

Выражения (2) – (5) получены при условии, что значения параметра x и результаты их измерений статистически независимы. Если зависимость имеется, то необходимо рассчитывать значения этих выражений через условные вероятности, что значительно сложнее. Так как должно выполняться условие (1), необходимо провести нормировку вероятностей (2),... (5), т.е. $[P(AB) + P(\overline{AB}) + P(A\overline{B}) + P(\overline{A}\overline{B})] \cdot C = 1$, откуда нормирующий множитель C равен

$$C = \frac{1}{P(AB) + P(\overline{AB}) + P(A\overline{B}) + P(\overline{A}\overline{B})} = \frac{1}{\sum_{j=1}^4 P_j(\cdot)}. \quad (6)$$

Тогда вероятность ложного отказа

$$P_{\text{инЛ}} = \frac{P(A\overline{B})}{\sum_{j=1}^4 P_j(\cdot)}, \quad (7)$$

где сумма в знаменателе равна сумме вероятностей всех четырех рассмотренных совместных событий. Соответственно, для необнаруженного отказа получим

$$P_{\text{инН}} = \frac{P(\overline{AB})}{\sum_{j=1}^4 P_j(\cdot)}. \quad (8)$$

При эксплуатации объектов РЭО ВТ повышение вероятности $P_{\text{инЛ}}$ приводит к необходимости проведения значительных по своему объёму и не всегда оправданных мероприятий метрологического обслуживания, в результате чего существенно снижается коэффициент готовности авиационной техники. Повышение вероятности $P_{\text{инН}}$ при контроле технического состояния РЭО приводит к увеличению числа отказов в полете.

При уменьшении допуска параметра $[x_{\text{ид}}^H, x_{\text{ид}}^B]$ увеличивается значение вероятности $P_{\text{инЛ}}$, а значение вероятности $P_{\text{инН}}$ уменьшается, что ведет к снижению вероятности отказов РЭО при использовании их по назначению.

2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. На этапе подготовки к лабораторной работе студенты должны разработать в системе MathCad программу имитационного моделирования однократных измерений, составленную в соответствии с типичной схемой допускового контроля технического параметра. В предположении, что значения технического параметра и помехи ошибки измерения распределены по нормальному закону, в программе имитации процесса контроля в соответствии с методом Монте-Карло необходимо иметь набор случайных нормально распределенных чисел.

Моделирующая программа должна отображать последовательность действий средств допускового контроля. При разработке программы необходимо пользоваться встроенной функцией $\mathbf{rnorm}(X,Y,Z)$ – функция, которая формирует последовательность из X нормально распределенных чисел с математическим ожиданием Y и средним квадратическим отклонением Z . В программе используются нормированные значения диагностических параметров, нормированные значения случайной составляющей помехи и относительные значения эксплуатационного допуска.

В Приложении 1 приведен пример листинга фрагмента программы расчета значений инструментальной достоверности.

2. Провести исследования и оценку инструментальной достоверности контроля для случаев широкого допуска и “жесткого” допуска. Значение соответствующих допусков определяется для каждого студента преподавателем индивидуально. Целью исследования является изучение влияния допуска на инструментальную достоверность контроля.

3. Провести исследование зависимости вероятности принятия неверного (суммарного ошибочного) решения о техническом состоянии системы от достоверности контроля каждого из её параметров и объёма контролируемых параметров. Результаты представить в виде графика.

4. Сформулировать выводы по работе.

3. Содержание отчета

Отчет должен включать в себя следующие пункты:

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, фамилией студента, номером варианта и номером группы.
2. Листинг программы для проведения расчетов.
3. Результаты моделирования в соответствии с заданием на работу.
4. Графические зависимости вероятности принятия неверного (суммарного ошибочного) решения о техническом состоянии системы от достоверности контроля каждого из её параметров и объёма контролируемых параметров.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое инструментальная достоверность контроля ТС?
2. От чего зависит инструментальная достоверность контроля ТС?
3. Поясните методики определения инструментальной достоверности контроля ТС, рассмотренные в лабораторной работе.
4. Приведите расчетные соотношения для определения инструментальной

достоверности контроля ТС.

5. Перечислите факторы, влияющие на инструментальную достоверность.
6. Что такое ошибки первого и второго рода?
7. Назовите способы повышения инструментальной достоверности.
8. Приведите примеры значений инструментальной достоверности современных технических средств контроля.
9. Что такое допуск?
10. Как значение допуска влияет на инструментальную достоверность контроля?

Литература

1. Логвин А.И., Власов А.Ю. Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушных судов и аэропортов. Учебное пособие.-М.:РИО МГТУ ГА, 2008.
2. Осис Я.Я. и другие. Диагностирование на граф-моделях. – М.: Транспорт, 1991.
3. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1989.
4. Ямпольский В.И. и др. Контроль и диагностирование гражданской авиационной техники. - М.: Транспорт, 1990.
5. Кондратьев В.В. и др. Автоматизация контроля цифровых функциональных модулей.- М.: Радио и связь, 1990.
6. Болелов Э.А., Матюхин К.Н., Прохоров А.В., Прокофьев И.О. Технические средства контроля при эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта. – М.: Изд-во Академия Жуковского, 2018.

Лабораторная работа № 3

Определение технического состояния бортовых метеонавигационных радиолокаторов с помощью встроенных средств

Цель работы: изучение систем встроенного контроля бортовых объектов транспортного радиооборудования

Время - 4 часа.

Учебные вопросы:

1. Ознакомление с органами управления бортового метеонавигационного радиолокатора.
2. Освоение методики контроля бортового метеонавигационного радиолокатора.

1. Основные теоретические сведения

Бортовые средства контроля радиоэлектронного оборудования (РЭО) решают следующие основные задачи:

- контроль технического состояния в полёте и на земле при подготовке к полётам, при выполнении специальных проверок и профилактических работ;
- оценка готовности воздушного судна (ВС) к выполнению полета;
- поиск места отказов в полёте и на земле с глубиной, необходимой для их парирования или устранения отказа;
- индикация и (или) регистрация результатов контроля;
- выдача рекомендации экипажу по парированию последствий отказа;
- выдача информации в устройства оценки действий экипажа в полете;
- индикация состояния отдельных систем и их составных частей;
- взаимодействие с внешними специальными средствами контроля и управления объектом.

Бортовые средства контроля РЭО разделяют на встроенные средства контроля и бортовые автоматизированные системы контроля (БАСК).

Встроенные средства контроля включают встроенные системы контроля (ВСК) объектов РЭО, выполненные в виде их составных элементов, и бортовых системы технического обслуживания (БСТО), представляющие собой самостоятельные изделия бортового оборудования. ВСК применяют практически на всех объектах РЭО.

БАСК выполняется в виде комплексных систем контроля бортового оборудования ВС или систем контроля отдельных объектов (систем), влияющих на эффективность его боевого применения.

Под **встроенной системой контроля (ВСК) объектов РЭО** понимают

такое средство контроля технического состояния объекта, которое конструктивно выполняется в виде его составной части.

ВСК объектов РЭО решают следующие типовые задачи:

- контроль технического состояния в полёте и при техническом обслуживании на земле;

- поиск и индикацию места отказа с точностью его локализации до функционального канала (конструктивно съемной единицы);

- автоматическое изменение структуры конструируемого объекта с целью его использования по назначению в полёте при отказе или ухудшении характеристик его элементов, а также при изменении внешних условий полёта.

ВСК наземных объектов РЭО ВТ решают сходные задачи. Структура ВСК конкретных объектов РЭО может содержать отдельные части (элементы) этих объектов в соответствии с их функциональным назначением и особенностями использования при контроле. Элементы ВСК разделяют в зависимости от режима их работы, характера совместного использования в объектах РЭО, степени автоматизации управления и применения при этом средств вычислительной техники. По режиму применения элементы схемы ВСК разделяют на элементы непрерывного и периодического использования.

В простых схемах ВСК непрерывного использования имеется не менее двух основных элементов: датчик, применяемый для съёма информации, и индикатор. Если индикатор является общим для нескольких подобных схем, дополнительным элементом схемы ВСК является коммутатор. В качестве примера простой схемы ВСК подобного типа можно указать схему контроля питающих напряжений объекта, выполненную в виде делителя напряжения и индикатора. Типовые схемы непрерывного контроля с индикатором в виде неоновой лампочки или стрелочного прибора используются для постоянного информирования оператора о положении контролируемого параметра объекта в пределах установленных границ.

В режиме непрерывного использования ВСК объект РЭО не прерывает выполнение своей основной функции на борту ВС. В режиме периодического использования применяется более сложная структура ВСК. Кроме названных выше элементов, в схеме непрерывного использования применяют и другие типы элементов, выполняющих при контроле логические, счётно-решающие, управляющие функции. Подобные схемы конструктивно выполняются в виде специальных модулей или блоков объекта и позволяют оценить его техническое состояние по обобщённым показателям в режимах тестового или функционального контроля.

ВСК подобного типа по команде оператора переводят объект в режим контроля его технического состояния, при котором объект в полёте не может выполнять свои функции. По степени автоматизации и применения при контроле средства вычислительной техники схемы ВСК разделяют на две основные группы. В первую группу входят схемы ВСК, не использующие специальные средства вычислительной техники; такие схемы позволяют

выполнять только качественную оценку состояния объекта. Ко второй группе относятся ВСК, применяющие средства вычислительной техники в виде микро-ЭВМ, которые позволяют также получать и количественные результаты контроля. ВСК подобного типа могут иметь двухуровневую структуру с центральным микропроцессором на втором уровне, который координирует работу ряда подсистем ВСК первого уровня. В каждой подсистеме ВСК первого уровня может быть местный микропроцессор (нанопроцессор), проводящий предварительную обработку результатов перед их передачей на центральный микропроцессор.

По характеру использования элементов ВСК структура ВСК может быть разделена на три типа: функционально-связанную, в которой все элементы ВСК используются как для задач контроля, так и для выполнения определённых функций в объекте РЭО; функционально-обособленную, в которой все элементы ВСК используются только для выполнения задач контроля; функционально-смешанную, в которой часть элементов ВСК используется только для контроля, а другая часть – как для контроля, так и для выполнения заданных функций в составе объекта РЭО.

Рассмотрим в качестве примера ВСК радиовысотомера малых высот, представляющего собой радиолокационную станцию с непрерывным излучением. Для контроля её технического состояния применена функционально-смешанная структура ВСК с непрерывным и периодическим режимами использования (рис. 1) [6].

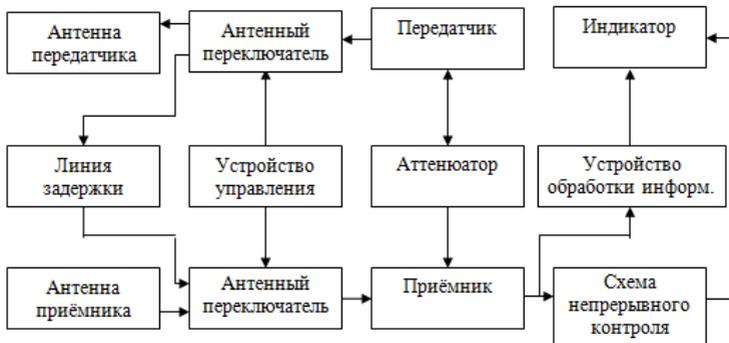


Рис. 1. Структурная схема ВСК радиовысотомера малых высот

В режиме непрерывного использования ВСК контроль технического состояния радиовысотомера при горизонтальном полете осуществляется на основе оценки уровня принимаемого сигнала, отражённого от земной поверхности. Величина принимаемого сигнала сравнивается с пороговым значением. При превышении порога подключается индикатор, на котором указывается высота полёта ВС. Если входной сигнал ниже порогового уровня,

то индикатор отключается. Это может соответствовать одному из следующих случаев: нарушение работоспособности приёмно-передающего канала; высота полёта не соответствует допустимому диапазону измерения; полёт негоризонтальный.

В режиме периодического применения ВСК техническое состояние оценивается при использовании специального режима. В этом случае вместо антенны подключается линия задержки, что позволяет имитировать заданную высоту полёта. При работоспособном состоянии приёмно-передающего канала радиовысотомера его индикатор фиксирует значение высоты полёта, определяемое характеристиками линии задержки. В данной схеме ВСК её элементы – линия задержки, устройство управления – используется только в режиме контроля, а другие элементы - антенные переключатели, схема непрерывного контроля - применяются и в основном режиме работы радиовысотомера.

Встроенные системы контроля бортового РЭО современных и перспективных образцов ВС отличаются высокой степенью автоматизации процесса контроля ТС и использованием для отображения результатов контроля СЕИ, основу которой составляют МФИ. Информация о ТС выдается в виде страниц, выводимых на индикацию. Результаты контроля отображаются, как правило, с глубиной до блока и линии связи. Экипаж и инженерный состав имеет возможность просмотра результатов контроля с глубиной до модулей, внешних и внутренних линий связи путем листания страниц нажатием кнопок «<<<» и «>>>» на обрамлении МФИ.

2. Порядок выполнения работы

1. На этапе подготовки к лабораторному занятию студенты знакомятся с правилами техники безопасности при работе с радиоэлектронным оборудованием и перед началом занятия проходят инструктаж по правилам техники безопасности с инженером лаборатории.

2. Проводится внешний осмотр блоков, имеющих свободный доступ. Студент должен убедиться в их чистоте, в отсутствии механических повреждений, в надежности крепления, в наличии металлизации.

3. Органы управления метеонавигационного радиолокатора устанавливаются в исходное положение согласно руководства по технической эксплуатации, а именно:

- переключатель «РЕЖИМ» установить в положение «ГОТОВ»;
- ручку «ЧАСТОТА» установить в крайнее левое положение;
- ручку «ЯРКОСТЬ» установить в среднее положение;
- ручку «НАКЛОН» установить в положение «ВВЕРХ 10»;
- ручку «КОНТРАСТ» установить в среднее положение;
- ручку «МЕТКИ» установить в среднее положение;

- переключатель «МАСШТАБ» установить в среднее положение.

4. Включите напряжение сети и стенд с метеонавигационным радиолокатором «Гроза» и приборами и дайте им прогреться в течение 15 мин.

По приборам на центральном щитке убедиться в наличии напряжений:

- $+27В \pm 10\%$;
- $115В 400Гц \pm 5\%$;
- $36В 400Гц \pm 10\%$.

На технологическом щитке стенда установить:

- тумблер «РЕЗЕРВ.СТАБ.» в положение «ВЫКЛ.»;
- тумблер «ВРАЩЕНИЕ АНТЕННЫ» в положение «ВКЛ.»;
- потенциометр «ПОДСВЕТ НАДПИСЕЙ» в крайнее положение;
- ручку имитаторов гиродатчиков не трогать!!!;
- тумблер «ВКЛ. РЛС» в положение «ВКЛ.».

Включить питание метеолокатора нажатием клавиши «РЛС».

5. Медленно переведите регулятор МАСШТАБ КМ из крайнего правого положения в крайнее левое. При этом на экранах обоих индикаторов должно плавно изменяться количество масштабных колец дальности. Масштабные кольца дальности по форме должны быть близки к кольцу, а расстояния между соседними однозначными кольцами должны быть приблизительно одинаковы. При крайнем левом положении регулятора МАСШТАБ КМ изображение колец дальности на индикаторах отсутствует.

6. Установите регулятор МАСШТАБ КМ в крайнее правое положение. При этом на экранах индикаторов должны наблюдаться четыре кольца через 25 км, два последних - через 100 км. Может наблюдаться седьмое кольцо, соответствующее моменту излучения следующего зондирующего импульса, и восьмое - первое 25 км следующего периода. Проверку количества колец производите на азимутальных углах $40 - 50^\circ$ или $310 - 320^\circ$.

На масштабах свыше 200 км допускается уменьшение яркости изображения колец.

7. Добейтесь регулятором НАКЛОН появления на индикаторах светящихся отметок от расположенных в просматриваемом станцией азимутальном секторе местных предметов и инженерных сооружений.

8. Установите минимальную для данных условий яркость радиолокационного изображения и вращая регулятор КОНТРАСТ, убедитесь в изменении характера радиолокационного изображения на экранах индикаторов.

По мере поворота регулятора из исходного (среднего) положения вправо в радиолокационном изображении начнут исчезать светящиеся отметки от отдельных отражающих объектов или будет изменяться их конфигурация. В отдельных случаях этого может не произойти, однако при приближении регулятора к крайнему правому положению (по часовой стрелке) яркость элементов радиолокационного изображения должна уменьшаться.

9. Переведите переключатель режимов работы в положение МЕТЕО, предварительно установив регулятор НАКЛОН в положение 5° вверх. При этом должен засветиться светодиод включения режима "МЕТЕО". С экранов индикаторов должно исчезнуть изображение местных предметов.

Проверьте визуально эффективность действия регуляторов ЯРКОСТЬ и МЕТКИ, вращая их ручки слева направо. При вращении регулятора ЯРКОСТЬ должна увеличиваться яркость свечения экрана, а при вращении регулятора МЕТКИ должна увеличиваться яркость меток (колец дальности).

Установите переключатель режимов работы в положение КОНТУР. При этом должен засветиться светодиод включения режима "КОНТУР".

Проследите за характером изменения радиолокационного изображения. Предварительно регулятором НАКЛОН добейтесь на экранах максимума изображения от местных предметов.

В этом режиме должна изменяться конфигурация изображения местных предметов, а внутри ярких изображений грозовых зон и кучево-дождевой облачности (при их наличии) должны выделяться затемненные участки, опасные для самолетовождения.

10. Проверьте работоспособность станции встроенной системой контроля (режим "КОНТРОЛЬ"), для чего установите переключатель режимов работы на пульте управления в положение КОНТР.

При этом должен засветиться светодиод включения режима "КОНТРОЛЬ" и на экранах индикаторов должна появиться линия развертки, что свидетельствует о нормальной работоспособности канала индикации.

ВНИМАНИЕ: ВО ИЗБЕЖАНИЕ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ ИНДИКАТОРА ПЕРЕВОД СТАНЦИИ В РЕЖИМ "КОНТРОЛЬ" ПРОИЗВОДИТЕ НЕ РАНЕЕ ЧЕМ ЧЕРЕЗ 3 МИН. ПОСЛЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.

11. Установите регулятор МЕТКИ на индикаторах в крайнее левое положение, регулятор МАСШТАБ на пульте управления - в крайнее правое положение. При этом на экране индикаторов должна появиться метка зондирующего импульса приемопередатчика 1 (блока ГР2БМ №1), что свидетельствует о нормальной работоспособности приемопередающего канала.

Поверните регулятор МЕТКИ вправо до появления на экране индикаторов засвеченных секторов шириной $15 \pm 10^\circ$ расположенных на азимутах 270° , 0° и 90° , что свидетельствует о нормальной работоспособности канала гиросtabilизации.

12. Переведете переключатель режимов на пульте управления в положение ГОТОВ.

13. Переведите переключатель ПРД I - II в положение II и произведите проверку согласно п. 10. При проверке на экране индикаторов будет наблюдаться метка зондирующего импульса приемопередатчика 2 (блока ГР2БМ № 2).

14. Установите переключатели и регуляторы на пульте управления и индикаторах в исходное положение и нажмите клавишу ОТКЛ на пульте управления.

15. Вынесите решение о техническом состоянии метеонавигационного радиолокатора.

16. Сформулируете выводы по работе.

3. Содержание отчета

Отчет должен включать в себя следующие пункты:

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, фамилией студента, номером варианта и номером группы.

2. Основные этапы проведения контроля технического состояния метеонавигационного радиолокатора.

3. Аргументированное решение о техническом состоянии метеонавигационного радиолокатора.

4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды бортовых систем контроля объектов РЭО.

2. Приведите обобщенную структурную схему встроенной системы контроля (ВСК) объектов РЭО.

3. Какими показателя оценивается качество ВСК?

4. Приведите примеры ВСК.

5. Каковы численные значения показателей ВСК современных ВС?

6. Перечислите задачи, решаемые ВСК.

7. Обобщенные ВСК оборудования воздушных судов и предупреждения экипажа.

8. Поясните суть ВСК непрерывного использования.

9. Поясните суть ВСК периодического использования.

10. Дайте классификацию ВСК по характеру использования элементов.

Литература

1. Логвин А.И., Власов А.Ю. Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушных судов и аэропортов. Учебное пособие.-М.:РИО МГТУ ГА, 2008.
2. Осис Я.Я. и другие. Диагностирование на граф-моделях. – М.: Транспорт, 1991.
3. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1989.
4. Ямпольский В.И. и др. Контроль и диагностирование гражданской

- авиационной техники. - М.: Транспорт, 1990.
5. Кондратьев В.В. и др. Автоматизация контроля цифровых функциональных модулей.- М.: Радио и связь, 1990.
 6. Болелов Э.А., Матюхин К.Н., Прохоров А.В., Прокофьев И.О. Технические средства контроля при эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта. – М.: Изд-во Академия Жуковского, 2018.

Лабораторная работа №4.

Определение технического состояния бортовых радионавигационных систем с помощью специальных средств контроля

Цель работы: изучение методики определения технического состояния бортовых радионавигационных систем с помощью специальных средств контроля

Время - 4 часа.

Учебные вопросы:

1. Эмулятор бортовых приборов самолета для работы с системами ближней навигации.

2. Освоение методики контроля бортового метеонавигационного радиолокатора с помощью прибора ГР-11А.

1. Основные теоретические сведения

Наземные средства контроля (НСК) РЭО ВТ включают:

- наземные автоматизированные системы контроля (НАСК), используемые для контроля технического состояния объектов РЭО:

- либо (на системном уровне) не демонтированных с ВС;

- либо (на агрегатном уровне) демонтированных с ВС;

- специальные средства контроля (ССК);

- средства измерений общего назначения (СИОН).

СИОН состоят из таких видов средств как измерительные приборы, меры, измерительные преобразователи, измерительные установки и измерительные системы, принципы построения и функционирования которых рассмотрены в дисциплине "Радиоизмерение" [30].

ССК РЭО ВТ включают следующие основные виды средств измерений:

- приборы функционального контроля (ПФК);

- специальные средства, измерений (ССИ);

- пультаы контроля (ПК);

- эксплуатационно-ремонтные пультаы (ЭРП);

- приборы автоматизированного контроля (ПАК).

Приборы функционального контроля используются для оценки технического состояния отдельных типов РЭО ВТ при выполнении подготовок к полётам, профилактических работ и ремонтов. По своему назначению и конструктивному выполнению ПФК, в основном, являются измерительными генераторами сигналов специальной формы.

Специальные средства измерений являются комбинированными приборами и отличаются от аналогичных по назначению СИОН большей приспособленностью для контроля параметров отдельных видов РЭО, меньшей массой и габаритами, высокой безотказностью работы. Схемы ССИ проще соответствующих типов СИОН. Примером ССИ могут служить испытатели

радиокомпасов типа ИРК, измерители параметров самолетных радиостанций типа КСР.

Недостатками данного вида ССК является значительное, из-за применения ручных режимов работы, время проведения контроля, невысокая точность измерения параметров, недостаточная приспособленность к поиску места отказов, особенно в объектах РЭО большой сложности. Более приспособлены к поиску места отказа на системном уровне (без демонтажа объектов с ВС) пульта контроля.

Пульты контроля применяются для контроля технического состояния объектов РЭО при выполнении подготовок, регламентных работ, при поиске места отказов на системном уровне.

Пульты контроля имеют органы управления режимами работы контролируемых объектов.

Обобщенная структурная схема типового пульта контроля объектов РЭО приведена на рис. 1.

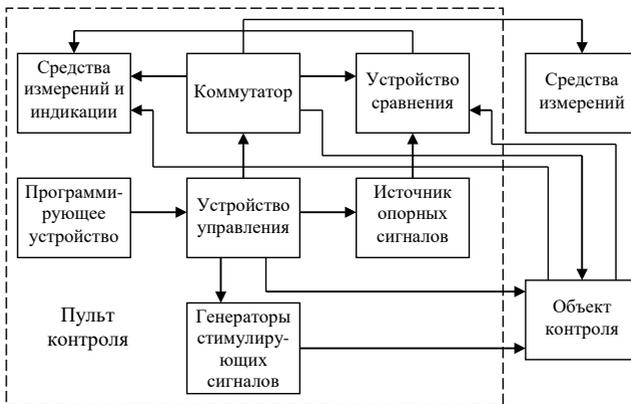


Рис. 1. Структурная схема типового пульта контроля объектов РЭО ВТ

Как видно из приведённой структурной схемы, измеряемые параметры и сигналы индикации режимов работы объекта контроля поступают на средства измерений и индикаторные устройства ПК как через коммутатор, так и по отдельным линиям связи от объекта контроля. Для получения допусковой оценки параметра или получения относительной величины его отклонения от номинального значения параметр подаётся непосредственно на устройство сравнения.

При измерении параметров объектов РЭО ВТ с помощью ПК могут также использоваться внешние СИОН и ССК, не входящие в его штатный комплект. Основным режимом работы ПК при контроле технического состояния является ручной режим, автоматизированный режим чаще используют при поиске места типовых отказов по заданной программе.

Пульты контроля используют, как правило, для поиска места отказа на системном уровне, а для поиска отказавшего элемента на агрегатном уровне используют эксплуатационно-ремонтные пульты.

ЭРП применяется для контроля технического состояния объектов РЭО ВТ, их отдельных блоков и узлов при выполнении на них регламентных работ, всех видов ремонта (текущего, среднего и капитального), при поиске и локализации отказов в блоках, узлах объектов РЭО до съёмного элемента. Структурная схема типового ЭРП объектов РЭО приведена на рис. 2.

При проверке технического состояния отдельных блоков (узлов) объектов РЭО ЭРП обеспечивает их питающими напряжениями и специальными сигналами, имитирующими функционирование других блоков (узлов) объекта контроля.

Для контроля параметров объекта используют также внешние средства измерений, не входящие в комплект ЭРП.

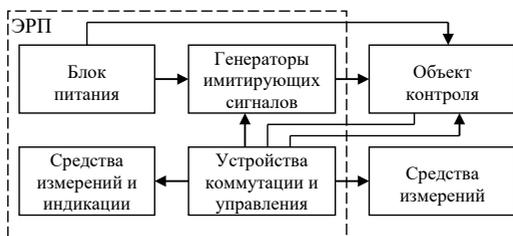


Рис2. Структурная схема типового эксплуатационно-ремонтного пульта объектов РЭО ВТ

Контроль технического состояния отдельных объектов РЭО ВТ выполняется с помощью приборов автоматизированного контроля (ПАК), которые позволяют оценить состояние объекта в автоматизированном режиме по жёсткой программе с допусковым контролем.

Структурная схема типового ПАК приведена на рис. 3.

Автоматический режим работы ПАК по жёсткой программе обеспечивается устройством управления и синхронизации, которое управляет режимами работы объекта, коммутаторами команд и допусков, а также устройством самоконтроля и генератором контрольных задач.

Коммутатор команд в соответствии с программой последовательно подключает контролируемые параметры, приведённые к нормализованному виду, к устройству сравнения, на второй вход которого устройство управления и синхронизации подключает через коммутатор допусков сигнал установленного допуска, чаще всего в виде значений напряжения постоянного (переменного) тока или частоты.

Схема сравнения оценивает нахождение контролируемого параметра внутри границ установленных допусков. Если параметр не выходит за пределы допуска, то выполняется автоматическое подключение следующего очередного параметра, и алгоритм его контроля выполняется по приведённой выше

последовательности.

При контроле пассивных параметров на вход контролируемого объекта подключается стимулирующий сигнал соответствующего вида.

После проверки всех параметров при условии их нахождения в пределах установленных допусков на индикаторное устройство выдаётся команда общей работоспособности объекта.

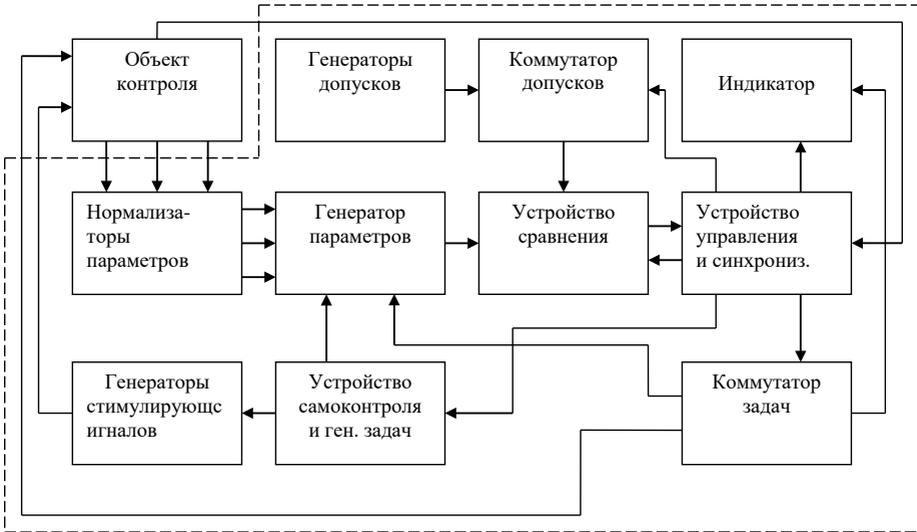


Рис. 3. Структурная схема прибора автоматизированного контроля

При отказе объекта по причине нахождения одного из параметров вне границ установленного допуска выполнение программы контроля параметров останавливается, и индикаторное устройство фиксирует номер отказавшего блока (узла) объекта.

В случае необходимости ПАК позволяет контролировать параметры в ручном режиме независимо от полученных результатов. Перед началом работы осуществляется контроль работоспособности ПАК в режиме самоконтроля.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Работа с эмулятором бортовых приборов самолета для работы с системами ближней навигации.

Эмулятор бортовых приборов самолета для работы с системами ближней навигации является частью тренажера по технической эксплуатации транспортного радиооборудования.

1. Перед началом занятий студенты должны ознакомиться с описанием эмулятора.

На тренажере с помощью соответствующих радиоизмерительных устройств генерируются сигналы, которые принимаются и анализируются бортовыми антеннами и приборами самолета, после чего подаются на соответствующие указатели и в систему автоматического управления. Учитывая ограничительные условия в данном тренажере, генерируется только сигнал азимутального радиомаяка.

Интерфейс программного обеспечения тренажера представлен на рис. 4. На нем расположены некоторые бортовые приборы самолета, которые дают общую информацию о движении самолета в пространстве. Он дает возможность пользователю выяснить азимут и направление движения самолета, и, пользуясь этими данными вести самолет по заданному курсу. Интерфейс также дает возможность управлять режимами и другими характеристиками



Рис.4. Интерфейс программного обеспечения тренажера

Интерфейс состоит из шести областей: индикаторов горизонтальной и вертикальной навигации (1), указателей бортовых приборов самолета (2), панели настроек программного обеспечения (3), панели точного контроля полетом (4), панели быстрого контроля полетом (5), и панели управления программным обеспечением (6).

2. Студенты под руководством преподавателя и инструктора выполняют задания, предусмотренные описанием тренажера.

2.2. *Контроль технического состояния бортового метеонавигационного радиолокатора с помощью специальных средств контроля*

3. Перед началом данного этапа занятия студенты проходят инструктаж

по правилам техники безопасности с инженером лаборатории.

4. Подготовьте к работе пульт контроля ГР-11 А.

Перед проверкой параметров РЛС «Гроза» необходимо убедиться в исправности пульта контроля. Проверка осуществляется поочередным нажатием клавишей самоконтроля, при этом стрелка индикаторного прибора пульта должна войти в сектор того цвета, в который окрашена клавиша. Под стрелочным прибором находятся две клавиши самоконтроля. С помощью левой клавиши осуществляется проверка исправности питания лавинно-пролетного диода, с помощью правой - исправность электронной и измерительной частей схемы пульта контроля. Несовпадение стрелки с указанными положениями свидетельствует о непригодности прибора для контроля параметров РЛС.

Пульт контроля ГР-11А предназначен для проверки работоспособности РЛС «Гроза» в предполетных и послеполетных условиях, определения неисправностей. Пульт контроля позволяет проверить следующие параметры РЛС:

- напряжение +10, -10, -25, -165, +120В;
- работоспособность систем гиросtabilизации;
- ток магнетрона;
- мощность передатчика;
- старт-импульс;
- ток кристалла канала АПЧ;
- ток кристалла канала УПЧ;
- напряжение выхода АПЧ;
- чувствительность приемного канала.

Пульт контроля имитирует старт-импульсы и позволяет осуществлять проверку индикаторного канала станции при выключенном высоком напряжении передатчика.

Электропитание пульта контроля ГР-11А осуществляется переменным напряжением 115В 400 Гц $\pm 5\%$ и постоянным напряжением 27В $\pm 10\%$.

Диапазон рабочих температур пульта контроля ГР-11А от -30° до $+50^\circ\text{C}$. Масса пульта контроля ГР-11А не превышает 8,5 кг.

5. Проверьте основные технические параметры РЛС «Гроза»:

5.1. Поочередно, устанавливая крайний левый переключатель пульта во все положения, начиная с первого (крайнего левого) и кончая шестым, наблюдать за отклонением стрелки индикаторного прибора. При каждом из положений переключателя и исправном РЛС «Гроза-154» стрелка прибора должна находиться в пределах сектора того цвета, в который окрашена метка, расположенная против острия ручки переключателя. Результаты измерений внесите в таблицу №1.

5.2. Для контроля системы гиросtabilизации необходимо первый переключатель поставить в положение «7». Работоспособность системы гиросtabilизации проверяется подачей входного сигнала на сервоусилитель

при одновременном контроле по стрелочному индикатору за ее отработкой. Входной сигнал на сервоусилитель подается резким поворотом на $\pm 15 - 8^\circ$ и отпускаяем ручки «Наклон», расположенной на лицевой панели блока ГР 4В (ГР 4Н). При этом, если система гиросtabilизации работоспособна, будет наблюдаться бросок стрелки индикаторного прибора из исходного положения за риск «Г. СТ.», находящуюся на шкале прибора, с последующим возвращением ее в сектор слева от риски «Г. СТ.», примерно в первоначальное положение. Отсутствие реакции стрелки прибора на вращение ручки «Наклон» при показаниях левее риски «Г.СТ.» указывает на неисправность блока «Гр.1». Показания прибора правее риски «Г.СИ.», без поворота оператором ручки «Наклон» или на возврат стрелки в сектор слева от риски «Г.СТ.», после поворота ручки «Наклон», указывают на неисправность одного из блоков Гр1 или Гр7.

Для уточнения неисправного блока необходимо первый галетный переключатель пульта контроля перевести в положение «8». Тогда показания индикаторного прибора правее риски «Г.СТ.», будут соответствовать неисправному блоку «Гр.1», а показания прибора левее риски «Г.СТ.» - неисправному блоку Гр.7. Результаты измерений внесите в таблицу №2.

ПРИМЕЧАНИЕ: НА ШКАЛЕ СТРЕЛОЧНОГО ПРИБОРА ПУЛЬТА КОНТРОЛЯ НАНЕСЕНЫ ДВЕ РИСКИ «Г.СТ.», ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГИРОСТАБИЛИЗАЦИИ РЛС СООТВЕТСТВЕННО С МАЛЫМ И БОЛЬШИМ ВХОДНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ СУМП-20. ПРОВЕРКА ПРОИЗВОДИТСЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ТОЙ РИСКИ «Г.СТ.» НИЖЕ КОТОРОЙ БЫЛИ ЗАФИКСИРОВАНЫ ПОКАЗАНИЯ ПРИБОРА ДО ПОДАЧИ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ РУЧКИ «НАКЛОН».

5.3. Контроль чувствительности приемного канала. Контроль чувствительности осуществляется в положениях «17» (суммарные шумы) и «18» (собственные шумы). Настоящая проверка производится только в РЛС, в волноводных трактах которых установлен направленный ответвитель.

Для проверки необходимо:

- установить левый переключатель в положение «1»; извлечь из пульта контроля генератор шума контроля чувствительности и подключить его к специальному волноводному фланцу направленного ответвителя волноводного тракта;

- нажать среднюю клавишу, при этом должна загореться лампа над ней.

Поставить выключатель в положение «17» (суммарные шумы):

- через три минуты запомнить показания индикаторного прибора;
- перевести переключатель в положение «18» (собственные шумы) и сравнить показания индикаторного прибора с показаниями в положении «17». Чувствительность приемного тракта соответствует требуемой, если

показания прибора при переключении из «17» в «18» остались неизменными или стали уменьшаться. Допускается увеличение показаний в положении «18» по сравнению с показателями в положении «17» не более, чем на 3 мкА.

Результаты измерений внесите в таблицу №3.

5.4. Проверка напряжений выхода АПЧ основного и резервного приемопередатчика:

- средний переключатель установить в положение «15»;
- нажать среднюю клавишу и через 3 минуты замерить показания стрелочного индикатора. Оно должно быть $= 25 \pm 12$ мкА;
- нажать правую клавишу и через 3 минуты замерить показания стрелочного индикатора. Оно должно быть $= 25 \pm 12$ мкА;
- нажать левую клавишу;
- генератор шума отсоединить от волноводного фланца и вложить в пульт;
- нажать среднюю клавишу. Должен произойти бросок стрелки индикаторного прибора вправо с последующим уменьшением показаний стрелки прибора до ее полной установки, за время не более 20 сек. При этом показания приборов должны превышать ранее замеченное показание на 12-38 мкА;
- нажать правую клавишу. Должен произойти бросок стрелки индикаторного прибора вправо и последующие возвращения стрелки прибора до ее полной остановки за время не более 20 сек. При этом показания приборов должны превышать ранее замеченное показание на 12-38 мкА.

Результаты измерений внесите в таблицу №4.

После окончания проверки параметров необходимо:

- пульт контроля поворотом левого переключателя в положение «Выкл.»;
- включить на РЛС «Гроза» режим «Готовность»;
- нажать на РЛС «Гроза» клавишу «Откл.»;
- отключить напряжение сети и выключить стенд с РЛС «Гроза»;
- отсоединить от разъема «Контроль» кабель пульта контроля ГР-11А и убрать его в пульт.

3. Содержание отчета

Отчет должен включать в себя следующие пункты:

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, фамилией студента, номером варианта и номером группы.
2. Результаты работы с эмулятором бортовых приборов самолета (скриншоты основных этапов работы).
3. Результаты измерений параметров РЛС в таблицах.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды бортовых автоматизированных систем контроля (БАСК) объектов РЭО.
2. Приведите обобщенную структурную схему БАСК объектов РЭО.
3. Назовите характеристики БАСК?
4. Приведите примеры БАСК.
5. Каковы численные значения показателей БАСК современных ВС?
6. Что такое БАСК? Назовите основные функции БАСК.
7. Поясните схему комплексной бортовой автоматизированной системы контроля.
8. Назовите задачи комплексной бортовой автоматизированной системы контроля.
9. Поясните режимы комплексной бортовой автоматизированной системы контроля.
10. Назовите основные типы БАСК.

Литература

1. Логвин А.И., Власов А.Ю. Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования воздушных судов и аэропортов. Учебное пособие.-М.:РИО МГТУ ГА, 2008.
2. Осис Я.Я. и другие. Диагностирование на граф-моделях. – М.: Транспорт, 1991.
3. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1989.
4. Ямпольский В.И. и др. Контроль и диагностирование гражданской авиационной техники. - М.: Транспорт, 1990.
5. Кондратьев В.В. и др. Автоматизация контроля цифровых функциональных модулей.- М.: Радио и связь, 1990.
6. Болелов Э.А., Матюхин К.Н., Прохоров А.В., Прокофьев И.О. Технические средства контроля при эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта. – М.: Изд-во Академия Жуковского, 2018.
7. Техническое описание специализированного тренажера технической эксплуатации транспортного радиооборудования. Часть 6. Руководство по имитаторам авиационных электросистем, пилотажно-навигационных комплексов, бортового и наземного радиооборудования обеспечения полетов. НКПГ.161464.011 РЭ5.

Фрагмент листинга программы моделирования для расчета значения инструментальной достоверности контроля

Программа имитационного моделирования процесса однократных измерений диагностических параметров

```

Res := for i ∈ 1..4
      si ← 0 // обнуление счётчиков возможных ситуаций при однократном измерении;
      dp ← norm(M, 0, 1) // векторы их M значений диагностического параметра (dp) и случайной помехи (pom),
      pom ← norm(M, 0, z) // распределённых по нормальному закону;
      for j ∈ 1..M // цикл организации статистического эксперимента;
        R ← dpj + pomj // результат измерения ДП;
        s1 ← s1 + 1 if |dpj| < δ ∧ |R| < δ // Ситуация: "норма";
        s2 ← s2 + 1 if |dpj| ≥ δ ∧ |R| ≥ δ // Ситуация: "не норма";
        s3 ← s3 + 1 if |dpj| < δ ∧ |R| ≥ δ // Ситуация: "ложный отказ";
        s4 ← s4 + 1 if |dpj| ≥ δ ∧ |R| < δ // Ситуация: "необнаруженный отказ";
      Res ← (
        * Ситуация Ложный отказ, α = * s3 + M
        * Ситуация Необнаруженный отказ, β = * s4 + M
        * Верное решение, Вероятность (Норма) * s1 + M
        * Верное решение, Вероятность (не Норма) * s2 + M
        * Достоверность контроля D = * s1 + s2
        * M
        * Приведенная погрешность z = * z
        * Эксплуатационный допуск δ = * δ
        * Число статистических экспериментов M = * M
      )
return Res
  
```

dp =

	1
1	1.154
2	1.144
3	1.494
4	3.032
5	1.007
6	1.807
7	-2.348
8	1.25
9	...

mean(dp) = 2.791×10^{-5}

stdev(dp) = 0.99939

pom =

	1
1	$2.073 \cdot 10^{-6}$
2	$-9.247 \cdot 10^{-7}$
3	$-1.428 \cdot 10^{-6}$
4	$2.923 \cdot 10^{-6}$
5	$1.315 \cdot 10^{-5}$
6	$4.222 \cdot 10^{-7}$
7	$1.314 \cdot 10^{-6}$
8	$-3.222 \cdot 10^{-6}$
9	...

mean(pom) = 2.945×10^{-9}

stdev(pom) = 1×10^{-5}

Встроенные функции MathCad

Mathcad поставляется с рядом функций для генерирования случайных чисел, имеющих разнообразные распределения вероятностей.

$\text{rbeta}(m, s_1, s_2)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих бэ́та-распределение. $s_1, s_2 > 0$ есть параметры формы.
$\text{rbinom}(m, n, p)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих биномиальное распределение. $0 \leq p \leq 1$. n есть натуральное число.
$\text{rcauchy}(m, l, s)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих распределение Коши. $s > 0$ есть параметр масштаба. l - параметр расположения.
$\text{rchisq}(m, d)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих распределение хи-квадрат. $d > 0$ есть число степеней свободы.
$\text{rexp}(m, r)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих экспоненциальное распределение. $r > 0$ - параметр распределения.
$\text{rF}(m, d_1, d_2)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих F - распределение. $d_1, d_2 > 0$ есть числа степеней свободы.
$\text{rgamma}(m, s)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих гамма- распределение, $s > 0$ есть параметр формы.
$\text{rgeom}(m, p)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих геометрическое распределение. $0 < p \leq 1$.
$\text{rlnorm}(m, m, s)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих логнормальное распределение, в котором m является натуральным логарифмом среднего значения, а $s > 0$ есть натуральный логарифм среднеквадратичного отклонения.
$\text{rlogis}(m, l, s)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих логистическое распределение, в котором l является параметром расположения, а $s > 0$ есть параметр масштаба.
$\text{rnbinom}(m, n, p)$	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих отрицательное биномиальное распределение. $0 < p \leq 1$. n - есть натуральное число.

<code>rnorm (m, m, s)</code>	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих нормальное распределение. $s > 0$.
<code>rpois (m, l)</code>	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих распределение Пуассона. $l > 0$.
<code>rt (m, d)</code>	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих t -распределение Стьюдента. $d > 0$.
<code>runif (m, a, b)</code>	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих равномерное распределение, в котором b и a являются граничными точками интервала. $a < b$.
<code>rnd (x)</code>	Возвращает равномерно распределенное случайное число между 0 и x . Эквивалент <code>runif (1, 0, x)</code> .
<code>rweibull (m, s)</code>	Возвращает вектор m случайных чисел, имеющих распределение Вейбулла, в котором $s > 0$ является параметром формы.