

В.Г. Найденов, доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Е.В. Першин, старший научный
сотрудник

Математическая модель вычислительного комплекса испытательного полигона для решения задачи обоснования оптимального типажа средств экспериментально-испытательной базы

Статья посвящена разработке математической модели вычислительного комплекса испытательного полигона Минобороны РФ для решения задачи обоснования оптимального типажа средств экспериментально-испытательной баз.

Известно, что одной из функциональных составных частей экспериментально-испытательной базы (ЭИБ) полигона Минобороны России является его вычислительный комплекс (ВК), который предназначен для обработки всей получаемой при испытаниях измерительной информации и получения оценок реальных значений тактико-технических характеристик и показателей боевой эффективности испытываемых образцов ВВТ [7, 8].

Для обоснования оптимального типажа средств экспериментально-испытательной базы полигонов необходимо иметь математическую модель, позволяющую оценить возможность конкретного вычислительного комплекса по выполнению требований, предъявляемых к нему со стороны испытываемых образцов вооружения и военной техники (ВВТ).

Анализ проведенных работ по разработке научно-методического аппарата формирования оптимального типажа средств ЭИБ испытательных полигонов Минобороны России показал [5, 7, 8], что существующие в настоящее время математические модели не в полной мере позволяют оценивать показатель качества функционирования вычислительного комплекса полигона. При формировании программных мероприятий в части средств вычислительных комплексов испытательных полигонов в основном применяются эвристические алгоритмы и методы экспертных оценок. Разработанная в данной статье модель вычислительного комплекса устраняет данные недостатки.

В качестве показателя качества ВК испытательного полигона можно выбрать вероятность $P_{\text{вып. зад.}}$ события, состоящего в успешном выполнении этим комплексом задания по обработке всей поступающей при испытаниях измерительной информации и получению оценок реальных значений тактико-технических характеристик испытываемых образцов ВВТ.

Обобщенная структурная схема вычислительного комплекса испытательного полигона приведена на рисунке 1.

В состав вычислительного комплекса испытательного полигона входят следующие составные части:

система обработки траекторной измерительной информации предназначена для оценки параметров движения подвижных испытываемых объектов (летательных аппаратов, надводных и подводных подвижных изделий и т. д.) с использованием различных математических методов с выдачей потребителям результатов в реальном режиме времени (экспресс-информация) или в режиме слепополетной обработки информации;

система обработки радиотелеметрической измерительной информации предназначена для оценки значений контролируемых на борту подвижных испытываемых объектов параметров с

учетом тарировочных характеристик бортовых измерительных датчиков и с использованием математических методов сглаживания значений обрабатываемых параметров, полученных по цифровым линиям связи с временным разделением каналов;

система оценки ТТХ и показателей боевой эффективности испытываемых образцов ВВТ обеспечивает совместную обработку результатов первичной обработки траекторной, радиотелеметрической, специальной и внутрисистемной измерительной информации с использованием специальных методик и алгоритмов.

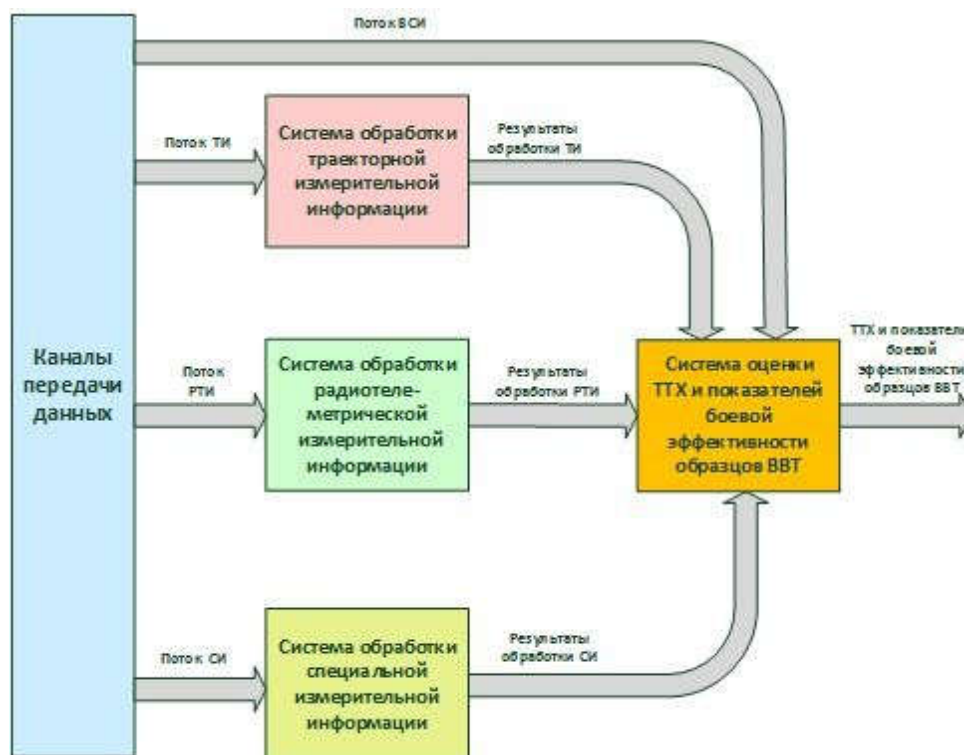


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема вычислительного комплекса испытательного полигона

Входные потоки траекторной, радиотелеметрической, специальной и внутрисистемной измерительной информации (ВСИ) поступают из каналов передачи данных.

Выходной информацией вычислительного комплекса испытательного полигона являются результаты оценок реальных значений тактико-технических характеристик и показателей боевой эффективности испытываемых образцов ВВТ.

В настоящей статье представлена математическая модель вычислительного комплекса испытательного полигона, основанная на математической теории массового обслуживания, которая позволяет оценить возможности данного комплекса по выполнению требований, предъявляемых со стороны испытываемых образцов ВВТ.

Исходя из обобщенной структурной схемы вычислительного комплекса испытательного полигона, приведенной на рисунке 1, построим граф системы массового обслуживания [1-4], имитирующий процесс функционирования ВК испытательного полигона, который приведен на рисунке 2.

В соответствии с приведенным графом система массового обслуживания имеет следующие пять состояний:

состояние 0, которое характеризуется значением вероятности невыполнения вычислительным комплексом задачи обработки всей поступающей из каналов передачи данных измерительной информации;

состояние 1, которое характеризуется значением вероятности выполнения вычислительным комплексом задачи обработки траекторной измерительной информации, поступающей из каналов передачи данных;

состояние 2, которое характеризуется значением вероятности выполнения вычислительным комплексом задачи обработки радиотелеметрической измерительной информации, поступающей из каналов передачи данных;

состояние 3, которое характеризуется значением вероятности выполнения вычислительным комплексом задачи обработки специальной измерительной информации, поступающей из каналов передачи данных;

состояние 4, которое характеризуется значением вероятности выполнения вычислительным комплексом задачи совместной обработки всей поступающей из каналов передачи данных измерительной информации.

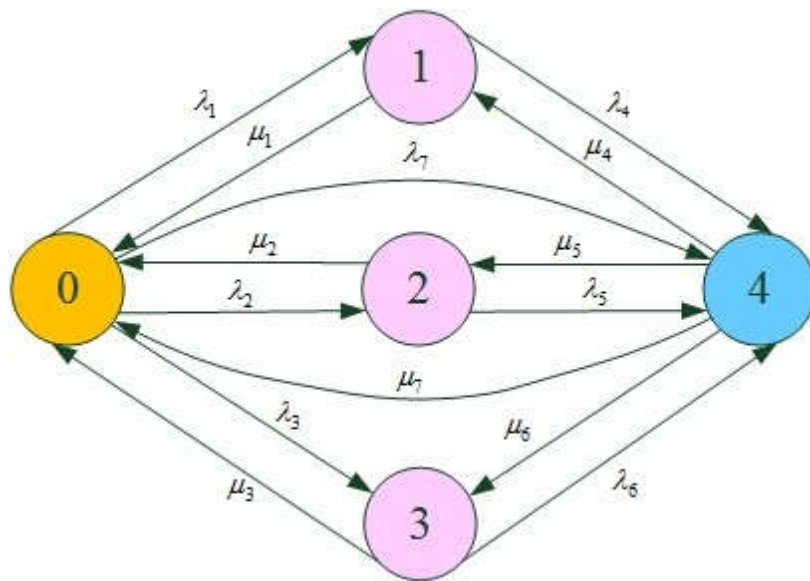


Рисунок 2 – Граф системы массового обслуживания, имитирующей процесс функционирования ВК испытательного полигона

На графе системы массового обслуживания приведены следующие дополнительные обозначения:

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – интенсивность (кбит/с) потоков информации, поступающей из каналов передачи данных соответственно в системы обработки ТИ, РТИ и СИ;

$\lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ – интенсивность (кбит/с) потоков информации, поступающей соответственно из систем обработки ТИ, РТИ, СИ и каналов передачи данных в систему оценки ТТХ и показателей боевой эффективности образцов ВВТ;

μ_1, μ_2, μ_3 – производительность (кбит/с) вычислительных систем по обработке соответственно ТИ, РТИ и специальной информации;

$\mu_4, \mu_5, \mu_6, \mu_7$ – производительность (кбит/с) вычислительной системы совместной обработки всей измерительной информации, поступающей соответственно от систем обработки ТИ, РТИ и СИ, а также информации ВСИ из каналов передачи данных.

Исходя из приведенного выше графа системы массового обслуживания, имитирующего процесс функционирования ВК испытательного полигона, построим следующую систему дифференциальных уравнений [3]:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_7)P_0(t) + \mu_1 P_1(t) + \mu_2 P_2(t) + \mu_3 P_3(t) + \mu_7 P_4(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\mu_1 + \lambda_4)P_1(t) + \lambda_1 P_0(t) + \mu_4 P_4(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -(\mu_2 + \lambda_5)P_2(t) + \lambda_2 P_0(t) + \mu_5 P_4(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -(\mu_3 + \lambda_6)P_3(t) + \lambda_3 P_0(t) + \mu_6 P_4(t); \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = -(\mu_4 + \mu_5 + \mu_6 + \mu_7)P_4(t) + \lambda_4 P_1(t) + \lambda_5 P_2(t) + \lambda_6 P_3(t) + \lambda_7 P_0(t). \end{cases} \quad (1)$$

Система уравнений (1) имеет следующие начальные условия:

$$P_0(0)=0,2; P_1(0)=0,2; P_2(0)=0,2; P_3(0)=0,2; P_4(0)=0,2.$$

Решение системы дифференциальных уравнений (1) позволяет получить значения вероятностей P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 в установившемся состоянии системы массового обслуживания (при достаточно большом значении), которые характеризуют степень выполнения системами вычислительного комплекса задач обработки всех видов полигонной измерительной информации, поступающей из каналов передачи измерительной информации.

Программа в среде Maple для решения системы дифференциальных уравнений вида (1) приведена на рисунке 3 [6].

```
restart;
assume (f1=float, f1=float, f3=float, f4=float, f5=float, f6=float, f7=
float);
assume (r1=float, r1=float, r3=float, r4=float, r5=float, r6=float, r7=
float);
f1:=0.4; f2:=0.4; f3:=0.4; f4:=0.35; f5:=0.35; f6:=0.35; f7:=0.4;
r1:=0.19; r2:=0.19; r3:=0.19; r4:=0.01; r5:=0.01; r6:=0.01; r7:=0.01;
sys:=diff(p0(t), t) =
-(f1+f2+f3+f7)*p0(t)+r1*p1(t)+r2*p2(t)+r3*p3(t)+r7*p4(t), diff(p1
(t), t) = -(r1+f4)*p1(t)+f1*p0(t)+r4*p4(t), diff(p2(t), t) =
-(r2+f5)*p2(t)+f2*p0(t)+r5*p4(t), diff(p3(t), t) =
-(r3+f6)*p3(t)+f3*p0(t)+r6*p4(t), diff(p4(t), t) =
-(r4+r5+r6+r7)*p4(t)+f4*p1(t)+f5*p2(t)+f6*p3(t)+f7*p0(t);
fcns:={p0(t), p1(t), p2(t), p3(t), p4(t)};
dsolve({sys, p0(0)=0.2, p1(0)=0.2, p2(0)=0.2, p3(0)=0.2, p4(0)=0.2},
fcns);
t:=200;
evalf(P4(t));
```

Рисунок 3 – Программа в среде Maple для решения системы дифференциальных уравнений вида (1)

Так, при значениях скорости передачи поступающей измерительной информации $\lambda_1=200$ кбит/с, $\lambda_2=210$ кбит/с, $\lambda_3=220$ кбит/с, $\lambda_{4,5,6,7}=150$ кбит/с и скорости обработки измерительной информации подсистемами ВК $\lambda_1=200$ кбит/с, $\lambda_2=210$ кбит/с, $\lambda_3=220$ кбит/с, $\lambda_{4,5,6,7}=150$ кбит/с решение системы уравнений (1) имеет следующий вид:

$$\begin{cases} P_0(t) = \frac{394}{1843} + \frac{2}{95} \exp\left(-\frac{19}{20}t\right) - \frac{9}{485} \exp\left(-\frac{97}{100}t\right); \\ P_1(t) = \frac{24}{1159} \exp\left(-\frac{19}{20}t\right) + \frac{24781}{31331} - \frac{4}{679} \exp\left(-\frac{97}{100}t\right) - \frac{209}{36295} \exp\left(-\frac{17}{50}t\right); \\ P_2(t) = \frac{2}{95} \exp\left(-\frac{19}{20}t\right) + \frac{1447}{1843} - \frac{3}{485} \exp\left(-\frac{97}{100}t\right); \\ P_3(t) = \frac{124}{5795} \exp\left(-\frac{19}{20}t\right) + \frac{24417}{31331} - \frac{22}{3395} \exp\left(-\frac{97}{100}t\right) + \frac{209}{36295} \exp\left(-\frac{17}{50}t\right); \\ P_4(t) = \frac{4}{95} \exp\left(-\frac{19}{20}t\right) + \frac{16}{19}. \end{cases} \quad (2)$$

Графическое изображение решения системы уравнений (1) имеет вид, представленный на рисунке 4. Из рисунка видно, что при заданных начальных значениях и коэффициентах системы дифференциальных уравнений (2) в установившемся режиме динамической системы массового обслуживания значения вероятностей P_1, P_2, P_3, P_4 достигают величин от 0,72 до 0,85, что свидетельствует о достаточно эффективной обработке разнородной полигонной измерительной информации.

Таким образом, с использованием разработанной математической модели могут быть получены: значение вероятности P_4 , которое и является вероятностью $P_{\text{вып. зад.}}$ события, состоящего в успешном выполнении этим комплексом задания по совместной обработке всей поступающей при испытаниях измерительной информации;

оценки реальных значений тактико-технических характеристик испытываемых образцов ВВТ.

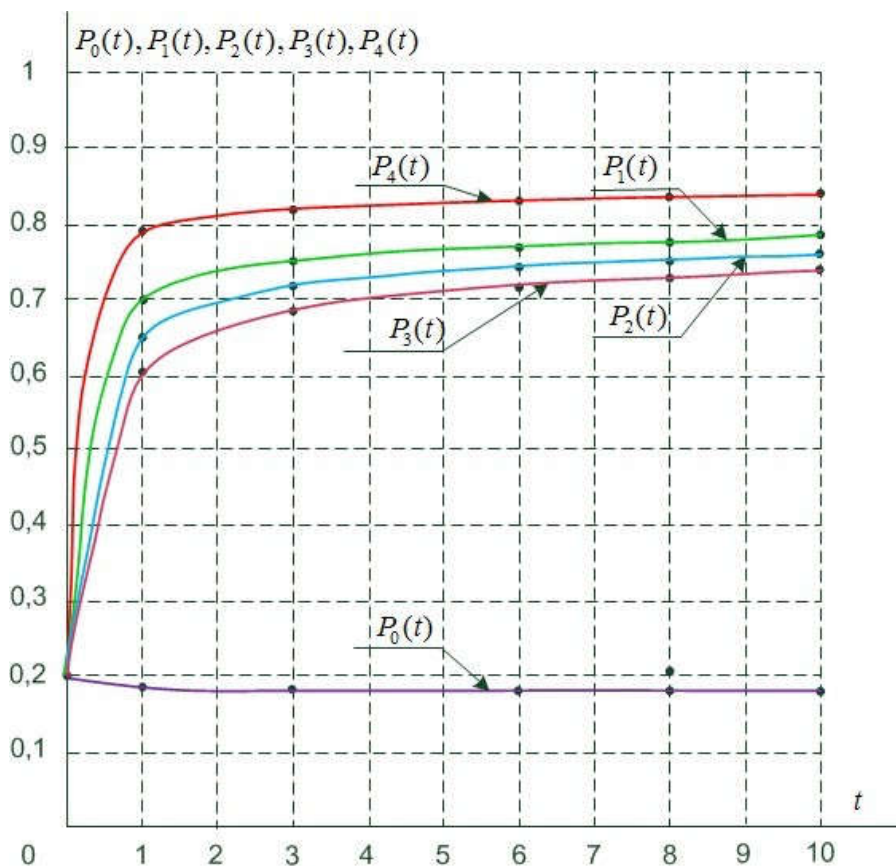


Рисунок 4 – Графическое изображение решения системы дифференциальных уравнений (1)

Изменяя типы вычислительных средств в рассматриваемых системах вычислительного комплекса, т. е. значений величин $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6, \mu_7$ при постоянных значениях коэффициентов $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ дифференциального уравнения (1), можно добиться такого режима работы рассматриваемой системы массового обслуживания, когда будет выполняться следующее неравенство:

$$P_{\text{вып. зад.}} \geq P_0, \quad (3)$$

где P_0 – заранее заданное значение вероятности, близкое к единице, например, $P_0 = 0,9 \dots 0,95$.

В случае выполнения неравенства (3) можно утверждать, что выбранный состав вычислительных средств ВК испытательного полигона позволяет в полной мере выполнить требования, предъявляемые к этому комплексу со стороны испытываемых систем вооружения.

На рисунке 5 приведено семейство зависимостей значений вероятности совместной своевременной обработки всей измерительной информации $\mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$ от значений скорости обработки измерительной информации системами ВК при $\lambda_{1,2,3,4,5,6,7} = 100$ кбит/с, $\lambda_{1,2,3,4,5,6,7} = 200$ кбит/с, $\lambda_{1,2,3,4,5,6,7} = 300$ кбит/с, $\lambda_{1,2,3,4,5,6,7} = 400$ кбит/с для различных значений скоростей передачи поступающей измерительной информации:

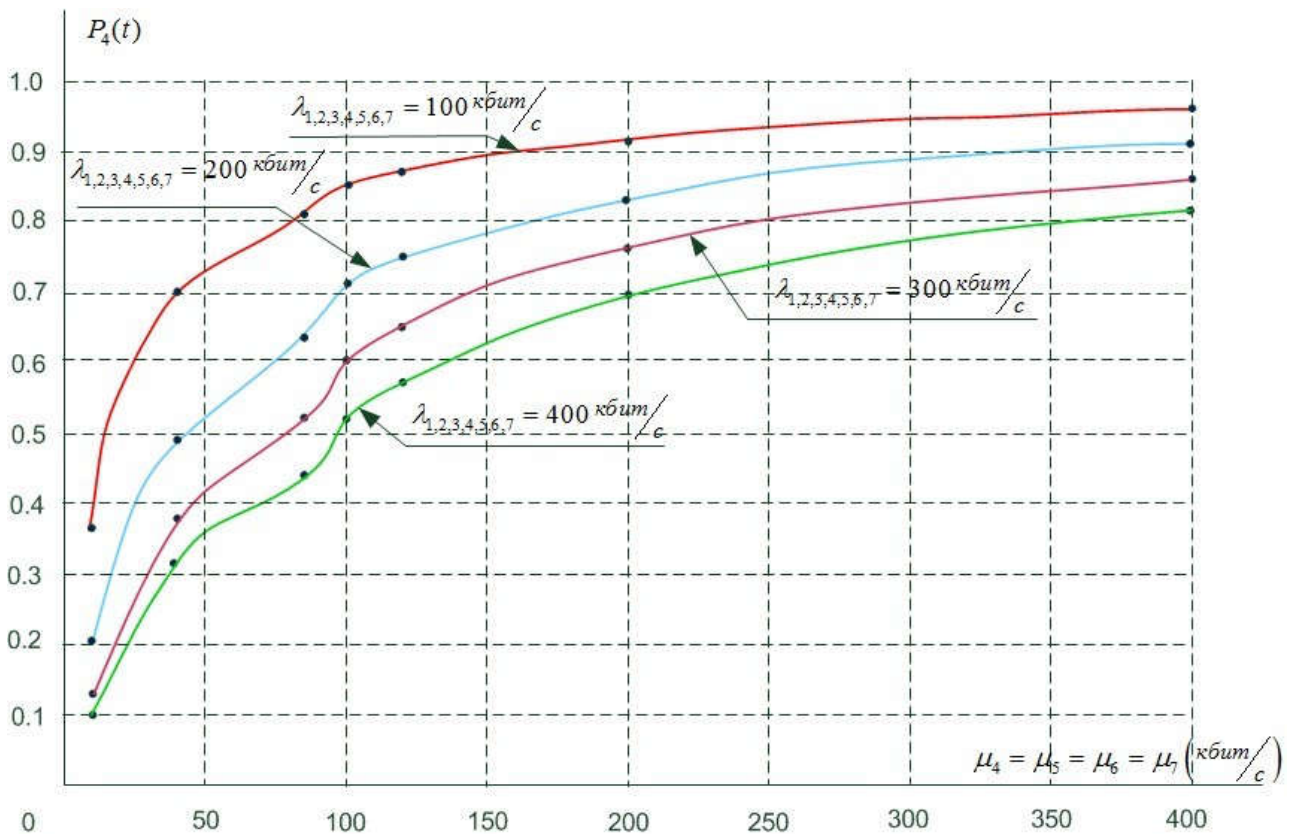


Рисунок 5 – Семейство зависимостей значений вероятности совместной своевременной обработки всей измерительной информации P_4 от значений скорости обработки измерительной информации системами ВК при $\mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$

Из приведенного семейства зависимостей можно сделать следующие выводы:

при увеличении производительности вычислительных средств систем вычислительного комплекса возрастает вероятность своевременной совместной обработки всей измерительной информации, поступающей в ВК по каналам передачи данных;

при одной и той же производительности вычислительных средств систем вычислительного комплекса, но при увеличении значений скоростей поступления в ВК из каналов передачи данных полигонной измерительной информации величина вероятности совместной своевременной обработки всей измерительной информации уменьшается.

Приведенные выводы не противоречат результатам практического применения вычислительных комплексов испытательных полигонов.

Таким образом, разработанная математическая модель вычислительного комплекса полигона может быть успешно использована при решении задач определения оптимального типажа средств вычислительных комплексов экспериментально-испытательной базы испытательных полигонов Минобороны России. При этом без учета временных задержек в системе обработки полигонной информации могут быть установлены типы и количество основных вычислительных средств, которые способны выполнить требования по временным показателям обработки разнородной полигонной измерительной информации, а также получены с заданной достоверностью оценки тактико-технических характеристик, испытываемых перспективных образцов ВВТ.

Список использованных источников

1. Боровков А.А. Вероятностные процессы в теории массового обслуживания. – М.: Наука, 1972.
2. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Наука, 1966.
3. Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Высшая школа, 1982.
4. Кузнецова В.А., Никулина Е.В. Введение в теорию массового обслуживания: Текст лекций. – Ярославль: Ярославский государственный университет, 2005.
5. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных / Под ред. П.А. Агаджанова, В.Е. Дулевича, А.А. Коростелева. – М.: Советское радио, 1969.
6. Манзон Б.М. Maple V Power Edition. – М.: Филинь, 1998.
7. Жданюк В.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. – М.: Советское радио, 1978.
8. Буренок В.М., Найденов В.Г. Методы повышения эффективности применения средств и систем обеспечения испытаний ВВСТ. – М.: Граница, 2007.