


**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

  
Руководитель ОПОП ВО  
доцент Ю.В. Ильюшин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО  
ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ  
ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО  
ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

<b>Уровень высшего образования:</b>	Подготовка кадров высшей квалификации
<b>Направление подготовки:</b>	09.06.01 Информатика и вычислительная техника
<b>Направленность (профиль):</b>	Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Нормативный срок обучения:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	д.т.н., профессор Д.А. Первухин

Санкт-Петербург

Дисциплина входит в состав Блока 1, в вариативную часть основной профессиональной образовательной программы высшего образования - программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (ОПОП ВО аспирантуры) по направлению подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника.

Целями изучения дисциплины «Планирование вычислительного эксперимента и обработка информации» являются:

- расширение знаний аспирантов и будущих преподавателей в области современных методов планирования эксперимента;
- расширение у аспирантов углубленных профессиональных знаний о предметной области за счет изучения основных методов и принципов планирования эксперимента, выполнения вычислительных экспериментов на базе математических моделей и обработки их результатов с использованием математического инструментария и прикладного программного обеспечения.

Основные задачи дисциплины:

- расширение и углубление профессиональных знаний, полученных при подготовке в магистратуре;
- формирование умений исследовать путем вычислительных экспериментов технические и технологические процессы в предметной области;
- формирование у аспиранта способностей применения методологии компьютерного моделирования с целью дальнейшего использования при написании кандидатской диссертации.

### **Самостоятельная работа аспирантов**

Самостоятельная работа аспиранта включает:

- тематическую работу с рекомендованной научной литературой;
- самостоятельное изучение разделов дисциплины;
- исследовательскую работу, анализ научных публикаций по теме курса;
- подготовку к зачетам.

Самостоятельная работа обучающихся направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

Самостоятельная работа аспирантов - планируемая учебная и научно-исследовательская работа аспирантов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя.

Целью самостоятельной работы аспирантов является овладение фундаментальными и профессиональными знаниями и умениями по профилю будущей специальности.

### **Основные задачи самостоятельной работы аспирантов**

- изучение теоретического курса, углубление и расширение теоретического курса, углубление и расширение теоретической подготовки в области правовой охраны интеллектуальной собственности;
- формирование самостоятельного мышления, способностей к саморазвитию и самореализации;
- закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;

- использование материала, полученного в ходе самостоятельных занятий в процессе ознакомления с нормативной, справочной документацией и специальной литературой.

Основными формами самостоятельной работы аспирантов по изучаемой дисциплине являются:

- работа с учебной/научной литературой и углубление знаний при решении практических задач;
- подготовка к зачету.

### **Основы математического планирования эксперимента**

*Планирование эксперимента* - это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Задачи, для решения которых может использоваться планирование эксперимента, чрезвычайно разнообразны. К ним относятся: поиск оптимальных условий, построение интерполяционных формул, выбор существенных факторов, оценка и уточнение констант теоретических моделей, выбор наиболее приемлемых из некоторого множества гипотез о механизме явлений, исследование диаграмм состав - свойство и т.д. Одной из главных задач эксперимента является получение и проверка математической модели объекта, описывающей в количественной форме взаимосвязи между входными и выходными параметрами объекта.

*Общая последовательность* при планировании эксперимента с целью получения математической модели такова:

- 1) Определение объекта исследований, параметров оптимизации, факторов, интервалов и уровней варьирования.
- 2) Выбор зависимости (линейная, квадратичная и т.д.) и полинома для построения модели.
- 3) Составление матрицы планирования для проведения эксперимента.
- 4) Проведение эксперимента.
- 5) Математическая обработка полученных данных: поиск коэффициентов регрессии и составление математической модели.
- 6) Проверка адекватности модели.

**Объект исследования.** В теории планирования эксперимента объект исследований принято представлять в виде «черного ящика» (рисунок 1). Стрелки справа изображают численные характеристики целей исследования. Мы их обозначаем буквой  $y$  и называем *параметрами оптимизации*. В литературе встречаются другие названия: критерий оптимизации, целевая функция, выход «черного ящика» и т.д.

Для проведения эксперимента необходимо иметь возможность воздействовать на наведение «черного ящика». Все способы такого воздействия мы обозначаем буквой  $x$  и называем *факторами*. Их называют также входами «черного ящика».

*Однофакторный* пассивный эксперимент проводится путем выполнения  $n$  пар измерений в дискретные моменты времени единственного входного параметра  $x$  и соответствующих значений выходного параметра  $y$ . Аналитическая зависимость между этими параметрами вследствие случайного характера возмущающих воздействий

рассматривается в виде зависимости математического ожидания  $y$  от значения  $x$ , носящей название регрессионной. Целью однофакторного пассивного эксперимента является построение *регрессионной модели* - установление зависимости  $y = f(x)$ .

*Многофакторный* пассивный эксперимент проводится при контроле значений нескольких входных параметров  $x_i$  и его целью является установление зависимости выходного параметра от двух или более переменных  $y = F(x_1, x_2, \dots)$ .

*Полный факторный* эксперимент предполагает возможность управлять объектом по одному или нескольким независимым каналам.

При многофакторном и полном факторном эксперименте выходных параметров может быть несколько.

Под *параметром оптимизации* (критерий оптимизации) понимают характеристику цели, заданную количественно. Параметр оптимизации является реакцией (откликом) на воздействие факторов, которые определяют поведение выбранной системы.

Он должен быть *количественным*, задаваться числом. Множество значений, которые может принимать параметр оптимизации, называется областью его определения. Количественная оценка параметра оптимизации на практике не всегда возможна. В таких случаях пользуются приемом, называемым ранжированием. При этом параметрам оптимизации присваиваются оценки - ранги по заранее выбранной шкале: двухбалльной, пятибалльной и т.д.

*Параметр оптимизации должен соответствовать следующим требованиям:*

1) должен быть *количественным*.  
2) выражаться *одним числом*.  
3) должен обладать *однозначностью* в статистическом смысле. Заданному набору значений факторов должно соответствовать одно значение параметра оптимизации, при этом обратное неверно: одному и тому же значению параметра могут соответствовать разные наборы значений факторов.

4) должен давать *возможность действительно эффективной оценки функционирования системы*. Представление об объекте не остается постоянным в ходе исследования. Оно меняется по мере накопления информации и в зависимости от достигнутых результатов. Это приводит к последовательному подходу при выборе параметра оптимизации. Так, например, на первых стадиях исследования технологических процессов в качестве параметра оптимизации часто используется выход продукта. Однако в дальнейшем, когда возможность повышения выхода исчерпана, начинают интересоваться такими параметрами, как себестоимость, чистота продукта и т.д.

5) *требование универсальности* или *полноты*. Под универсальностью параметра оптимизации понимают его способность всесторонне охарактеризовать объект. В частности, технологические параметры недостаточно универсальны: они не учитывают экономику. Универсальностью обладают, например, обобщенные параметры оптимизации, которые строятся как функции от нескольких частных параметров.

б) желательно, чтобы параметр оптимизации имел *физический смысл, был простым и легко вычисляемым*.

После выбора объекта исследования и параметра оптимизации нужно рассмотреть все **факторы**, которые могут влиять на процесс. Если какой-либо существенный фактор окажется неучтенным и принимал произвольные значения, не контролируемые

экспериментатором, то это значительно увеличит ошибку опыта. При поддержании этого фактора на определенном уровне может быть получено ложное представление об оптимуме, т.к. нет гарантии, что полученный уровень является оптимальным.

С другой стороны, большое число факторов увеличивает число опытов и размерность **Фактором** называется измеряемая переменная величина, принимающая в некоторый момент времени определенное значение и влияющая на объект исследования. В практических задачах области определения факторов имеют ограничения, которые носят либо принципиальный, либо технический характер.

Факторы разделяются на количественные и качественные.

К количественным относятся те факторы, которые можно измерять, взвешивать и т.д. Качественные факторы - это различные вещества, технологические способы, приборы, исполнители и т.п.

Хотя качественным факторам не соответствует числовая шкала, но при планировании эксперимента к ним применяют условную порядковую шкалу в соответствии с уровнями, т.е. производится кодирование.

**Факторы должны быть управляемыми**, это значит, что выбранное нужное значение фактора можно поддерживать постоянным в течение всего опыта. Планировать эксперимент можно только в том случае, если уровни факторов подчиняются воле экспериментатора. Например, экспериментальная установка смонтирована на открытой площадке. Здесь температурой воздуха мы не можем управлять, ее можно только контролировать, и потому при выполнении опытов температуру, как фактор, мы не можем учитывать.

**Точность замеров** факторов должна быть возможно более высокой. Степень точности определяется диапазоном изменения факторов. В длительных процессах, измеряемых многими часами, минуты можно не учитывать, а в быстрых процессах приходится учитывать доли секунды.

**Факторы должны быть однозначны.**

Трудно управлять фактором, который является функцией других факторов. Но в планировании могут участвовать другие факторы, такие, как соотношения между компонентами, их логарифмы и т.п.

При планировании эксперимента одновременно изменяют несколько факторов, поэтому необходимо знать требования к совокупности факторов. Прежде всего выдвигается **требование совместимости.** Совместимость факторов означает, что все их комбинации осуществимы и безопасны. Несовместимость факторов наблюдается на границах областей их определения. Избавиться от нее можно сокращением областей. Положение усложняется, если несовместимость проявляется внутри областей определения. Одно из возможных решений - разбиение на подобласти и решение двух отдельных задач.

При планировании эксперимента важна **независимость** факторов, т.е. возможность установления фактора на любом уровне вне зависимости от уровней других факторов. Если это условие невыполнимо, то невозможно планировать эксперимент.

Фактор считается заданным, если указаны его название и область определения. В выбранной области определения он может иметь несколько значений, которые соответствуют числу его различных состояний. Выбранные для эксперимента количественные или качественные состояния фактора носят название **уровней фактора.** Минимальное число уровней, обычно применяемое на первой стадии работы, равно 2. Это

верхний и нижний уровни, обозначаемые в кодированных координатах через +1 и -1. Но такое число уровней недостаточно для построения моделей второго порядка (ведь фактор принимает только два значения, а через две точки можно провести множество линий различной кривизны).

Выбор уровней варьирования может осуществляться следующим образом. Предположим, в некоторой задаче фактор (температура) мог изменяться от 140 до 180°C. Естественно, за нулевой уровень было принято среднее значение фактора, соответствующее 160°C. Тогда при трех уровнях варьирования значение фактора на верхнем уровне (+1) будет равно 180°C, а на нижнем 140°C. Интервал варьирования будет равен 20°C.

При решении задачи будем использовать математические модели исследования. Под математической моделью мы понимаем уравнение, связывающее параметр оптимизации с факторами. Это уравнение в общем виде можно записать так:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

где символ  $f(\dots)$ , как обычно в математике, заменяет слова: «функция от». Такая функция называется функцией отклика.

Наиболее часто в качестве моделей применяются приведенные ниже полиномы. Полином первой степени:

$$y = \theta_0 + \sum_1^k \theta_i x_i + \sum_1^k \theta_{ij} x_i x_j$$

Полином второй степени:

$$y = \theta_0 + \sum_1^k \theta_i x_i + \sum_1^k \theta_{ij} x_i x_j + \sum_1^k \theta_{ii} x_i^2 .$$

Полиномы третьей степени:

$$y = \theta_0 + \sum_1^k \theta_i x_i + \sum_1^k \theta_{ij} x_i x_j + \sum_1^k \theta_{ij} x_i^2 x_j + \\ + \sum_1^k \theta_{ijj} x_i x_j^2 + \sum_1^k \theta_{iii} x_i^3 .$$

В этих уравнениях:  $y$  - значения критерия;  $\theta_i$  - линейные коэффициенты регрессии;  $\theta_{ij}$  - коэффициенты двойного взаимодействия;  $x_i$  - кодированные значения факторов.

Модель должна быть *адекватной*, т.е. с достаточной точностью описывать изменение реального процесса. *Проверка адекватности модели* выполняется при помощи специальных статистических методов.

После определения факторов, их уровней и интервалов варьирования, параметров оптимизации и построения информационной модели необходимо заполнить матрицу планирования, по которой в дальнейшем будет проводиться эксперимент.

Число возможных опытов определяются по выражению

$$N = p^k,$$

где  $N$  - число опытов;  $p$  - число уровней;  $k$  - число факторов.

### Расчет коэффициентов регрессии

Построив матрицу планирования, осуществляют эксперимент. Получив экспериментальные данные рассчитывают значения коэффициентов регрессии.

Их можно рассчитать следующим образом. Значение свободного члена ( $\theta_0$ ) берут как среднее арифметическое всех значений параметра оптимизации в матрице:

$$\theta_0 = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N},$$

где  $y_u$  - значения параметра оптимизации в  $u$ -м опыте;  $N$  - число опытов в матрице.

Линейные коэффициенты регрессии рассчитывают по формуле:

$$\theta_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} y_u}{N},$$

где  $x_{iu}$  - кодированное значение фактора  $x_i$  в  $u$ -м опыте.

Коэффициенты регрессии, характеризующие парное взаимодействие факторов, находят по формуле:

$$\theta_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} y_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} y_u}{N}.$$

Полное число всех возможных коэффициентов регрессии, включая  $\theta_0$ , линейные коэффициенты и коэффициенты взаимодействий всех порядков, равно числу опытов полного факторного эксперимента.

Для планирования эксперимента и математической обработки полученных данных (в т.ч. расчета коэффициентов регрессии и получения математической модели) рекомендуется использование различных прикладных пакетов программ (например, STATGRAPHICS, STATISTIKA и др.)

### **Задания**

1. Требуется определить влияние различных факторов на эффективную мощность двигателя с искровым зажиганием, установленного на испытательном стенде. Для этого необходимо спланировать многофакторный эксперимент.

- 1) Определите объект исследований.
- 2) Определите управляемые факторы и по возможности их пределы и уровни варьирования. Чем ограничены пределы варьирования.
- 3) Определите, что будет являться критерием оптимизации (параметром состояния).
- 4) Определите возможные возмущающие воздействия.
- 5) Постройте информационную модель в виде «черного ящика».

6) Выберите предполагаемую зависимость (линейная, квадратичная и т.д.) и полином для построения модели.

7) Составьте матрицу планирования эксперимента.

8) Поясните, как провести эксперимент и обработать экспериментальные данные.

9) Ответьте, какие результаты после проведения эксперимента и математической обработки полученных данных вы можете получить.

**2.** Требуется определить влияние содержания хрома и марганца на твердость стальной втулки при прочих равных условиях. Для этого необходимо спланировать многофакторный эксперимент.

1) Определите объект исследований.

2) Определите управляемые факторы и по возможности их пределы и уровни варьирования. Чем ограничены пределы варьирования.

3) Определите, что будет являться критерием оптимизации (параметром состояния).

4) Определите возможные возмущающие воздействия.

5) Постройте информационную модель в виде «черного ящика».

6) Выберите предполагаемую зависимость (линейная, квадратичная и т.д.) и полином для построения модели.

7) Составьте матрицу планирования эксперимента.

8) Поясните, как провести эксперимент и обработать экспериментальные данные.

9) Ответьте, какие результаты после проведения эксперимента и математической обработки полученных данных вы можете получить.

**3.** Требуется определить влияние различных факторов на скорость сушки рулонного сена помещенного в экспериментальную установку для досушивания, имеющую вентилятор и тэны для нагрева подаваемого воздуха. Для этого необходимо спланировать многофакторный эксперимент.

1) Определите объект исследований.

2) Определите управляемые факторы и по возможности их пределы и уровни варьирования. Чем ограничены пределы варьирования.

3) Определите, что будет являться критерием оптимизации (параметром состояния).

4) Определите возможные возмущающие воздействия.

6) Выберите предполагаемую зависимость (линейная, квадратичная и т.д.) и полином для построения модели.

7) Составьте матрицу планирования эксперимента.

8) Поясните, как провести эксперимент и обработать экспериментальные данные.

9) Ответьте, какие результаты после проведения эксперимента и математической обработки полученных данных вы можете получить.

**4.** Имеется установка для определения влияния вязкости масла на износ шестерен коробки перемены передач (предложите вариант конструкции). Требуется определить влияние вязкости масла на износ шестерен при различных режимах работы КПП. Для этого необходимо спланировать многофакторный эксперимент.

1) Определите объект исследований.

2) Определите управляемые факторы и по возможности их пределы и уровни варьирования. Чем ограничены пределы варьирования.

3) Определите, что будет являться критерием оптимизации (параметром состояния).



- 4) Определите возможные возмущающие воздействия.
- 5) Постройте информационную модель в виде «черного ящика».
- 6) Выберите предполагаемую зависимость (линейная, квадратичная и т.д.) и полином для построения модели.
- 7) Составьте матрицу планирования эксперимента.
- 8) Поясните, как провести эксперимент и обработать экспериментальные данные.
- 9) Ответьте, какие результаты после проведения эксперимента и математической обработки полученных данных вы можете получить.

### **Подготовка к зачету**

На зачет выносятся материал в объеме, предусмотренном рабочей программой учебной дисциплины. Зачет проводится на последнем занятии. Форма зачета может быть устной (по билетам) или письменной (тестирование). Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету представлен ниже.

Готовиться к зачету необходимо последовательно, с учетом контрольных вопросов, разработанных преподавателем кафедры. Сначала следует определить место каждого контрольного вопроса в соответствующем разделе темы учебной программы, а затем внимательно прочитать и осмыслить рекомендованные научные работы, соответствующие разделы рекомендованных учебников, конспекты лекций и собственные конспекты, составленные при подготовке к практическим занятиям. Работу над темой можно считать завершенной, если вы сможете ответить на все контрольные вопросы и дать определение понятий по изучаемой теме.

Для обеспечения полноты ответа на контрольные вопросы и лучшего запоминания теоретического материала рекомендуется составлять план ответа на контрольный вопрос. Это позволит сэкономить время для подготовки непосредственно перед зачетом за счет обращения не к литературе, а к своим записям. При подготовке необходимо выявлять наиболее сложные, дискуссионные вопросы, с тем, чтобы обсудить их с преподавателем на консультациях. Нельзя ограничивать подготовку к зачету простым повторением изученного материала. Необходимо углубить и расширить ранее приобретенные знания за счет новых идей и положений.

### **Цель и основные задачи текущего контроля по дисциплине**

Текущий контроль имеет целью проверить ход формирования компетенций в соответствии с этапами ее освоения. Текущий контроль осуществляется в ходе учебного процесса и консультирования обучающихся по результатам выполнения самостоятельной работы. Основными формами текущего контроля знаний являются:

- обсуждение на консультациях вопросов тем и контрольных вопросов (устный ответ);
- участие в дискуссии по наиболее актуальным темам дисциплины (устный ответ).

### **Критерии оценивания результатов текущего контроля. Критерии оценивания устных ответов обучающихся**

Развернутый ответ аспиранта должен представлять собой связное, логически последовательное сообщение на определенную тему, показывать его умение применять определения, правила в конкретных случаях.

При оценке ответа аспиранта необходимо руководствоваться следующими критериями:

- 1) полнота и правильность ответа;
- 2) степень осознанности, понимания изучаемого материала;
- 3) знание терминологии и правильное ее использование;
- 4) соответствие требованиям рабочей программы по дисциплине.

### **Порядок проведения дифференцированного зачета**

Дифференцированный зачет проводится и оценивается в соответствии с требованиями.

### **Примерный перечень вопросов для проведения дифференцированного зачета:**

- 1 Основные типы задач планирования вычислительного эксперимента. 2 Функция отклика
- 3 Регрессионный и факторный анализ.
- 4 Однокритериальные и многокритериальные задачи оптимизации. 5 Факторы и параметры оптимизации.
- 6 Этапы планирования эксперимента.
- 7 Реализация эксперимента.
- 8 Обработка результатов эксперимента. 9 Линейная и нелинейная регрессия.
- 10 Требования, предъявляемые к оценкам параметров регрессии. 11 Нахождение оценок при нелинейной параметризации.
- 12 Наилучшие квазилинейные оценки.
- 13 Оценки дисперсии результатов эксперимента. 14 Эффективность эксперимента.
- 15 Регрессионный анализ при наличии ошибок в определении контрольных показателей системы.
- 16 Методы анализа экспериментальных данных при одновременном измерении нескольких контрольных величин.
- 17 Способы сравнения результатов экспериментов. 18 Понятие плана эксперимента.
- 19 Критерии оптимальности планов.
- 20 Условия проведения активного эксперимента. 21 Полный факторный эксперимент.
- 22 Обработка результатов.
- 23 Точечные и интервальные оценки параметров. 24 Дисперсия воспроизводимости.
- 25 Дробный факторный эксперимент. 26 Определяющие контрасты.
- 27 Разрешая способность плана.
- 28 Главные определяющие контрасты.
- 29 Обобщенные определяющие контрасты. 30 Рототабельность планов.
- 31 D, A, G, E – оптимальные планы.
- 32 Применение планов первого порядка в отсеваемых экспериментах.
- 33 Постановка задач планирования эксперимента при поиске оптимальных решений.
- 34 34 Классификация методов и классификация эксперимента.
- 35 Метод Гаусса-Зейделя.
- 36 Градиентные методы.
- 37 Факторные методы оптимизации.
- 38 38 Метод Бокса-Улксона.

- 39 Центральный композиционный план второго порядка.
- 40 Ортогональные центральные композиционные планы.
- 41 Рототабельные центральные композиционные планы.
- 42 Постановка задачи дисперсионного анализа.
- 43 Однофакторный дисперсионный анализ.
- 44 Статистическая проверка гипотез.
- 45 Двухфакторный эксперимент.
- 47 Иерархическая классификация факторов.
- 47 Перекрестная классификация факторов.
- 48 Латинские и греко-латинские квадраты.

### **Критерии оценок промежуточной аттестации успеваемости по итогам освоения дисциплины**

Развернутый ответ обучающегося должен представлять собой связное, логически последовательное сообщение на определенную тему, показывать его умение применять определения и правила в конкретных случаях.

При оценке ответа обучающегося необходимо руководствоваться следующими критериями:

- 1) полнота и правильность ответа;
- 2) степень осознанности и понимания изучаемого материала;
- 3) знание терминологии и правильное ее использование;
- 4) соответствие требованиям рабочей программы по дисциплине.

Оценка «отлично». Ответы на поставленные вопросы излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Полно раскрываются причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Делаются обоснованные выводы. Соблюдаются нормы литературной речи.

Оценка «хорошо». Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно. Материал излагается уверенно. Раскрыты причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. Соблюдаются нормы литературной речи.

Оценка «удовлетворительно». Допускаются нарушения в последовательности изложения. Неполно раскрываются причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Демонстрируются поверхностные знания вопроса, с трудом решаются конкретные задачи. Имеются затруднения с выводами. Допускаются нарушения норм литературной речи.

Оценка «неудовлетворительно». Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине. Не раскрываются причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Не проводится анализ. Выводы отсутствуют. Ответы на дополнительные вопросы отсутствуют. Имеются заметные нарушения норм литературной речи.

Итоговая оценка не может превышать оценки, полученной по результатам выполнения самостоятельной работы, и заносится в зачетную ведомость.

## УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

1. Карманов Ф.И., Острейковский В.А. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCad: учеб. пособие. М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 208 с.

Режим доступа – <http://znanium.com/bookread2.php?book=508241>

- Волосухин В.А., Тищенко А.И. Планирование научного эксперимента: Учебник/, 2-е изд. М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 176 с.

Режим доступа – <http://znanium.com/catalog/product/516516>

2. Соколов Г.А., Сагитов Р.В. Введение в регрессионный анализ и планирование регрессионных экспериментов в экономике: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2010. 202 с.

Режим доступа – <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=177060>

3. Злотников К. А., Ткачева Л. В. Информационные технологии обработки данных и процесс принятия решений [Текст] : учеб.-метод. комплекс / сост.: - СПб. : Изд-во СЗТУ, 2009. - 180 с.

### Дополнительная литература

1. Аттетков А.В., Зарубин В.С., Канатников А.Н. Методы оптимизации: Учебное пособие /.

- М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 270 с

Режим доступа – <http://znanium.com/catalog/author/06e407c8-f77e-11e3-9766-90b11c31de4c>

2. Орлова И.В., Половников В.А. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование: учеб. пособие. 3-е изд. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2014. 389 с.

Режим доступа – <http://znanium.com/bookread2.php?book=424033>

3 Кельберт М.Я., Сухов Ю.М. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Том I. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики: Учебное пособие / - 2-е изд.

- :, 2017. - 486 с

Режим доступа – <http://znanium.com/catalog/product/958605>

4. Власов М.П., Шимко П.Д. Оптимальное управление экономическими системами: учеб. пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. 312 с.

Режим доступа – <http://znanium.com/bookread2.php?book=339245>

5. Попов В. Н., Шпаков П. С. Статистическая обработка экспериментальных данных Издательство Московского государственного горного университета, 2003 – 261 с.

Режим доступа – <http://znanium.com/catalog/product/999904>

6. Длин А.М. Математическая статистика в технике [Текст] : учебник для вузов / А. М. Длин. - Изд. 3-е, перераб. - М. : Сов. наука, 1958. - 465 с.

**ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»,  
НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Информационная справочная система «Консультант плюс».
2. Библиотека ГОСТов [www.gostrf.com](http://www.gostrf.com).
3. Сайт Российской государственной библиотеки. <http://www.rsl.ru/>
4. Сайт Государственной публичной научно-технической библиотеки России.  
<http://www.gpntb.ru/>
5. Каталог образовательных интернет ресурсов <http://www.edu.ru/modules.php>
6. Электронные библиотеки: <http://www.pravoteka.ru/>,  
<http://www.zodchii.ws/>, <http://www.tehlit.ru/>.
7. Специализированный портал по информационно-коммуникационным технологиям  
в образовании <http://www.ict.edu.ru>