

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра технологии машиностроения

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Программа, методические указания
и контрольные задания для студентов
заочной формы обучения

Составитель
А.А. КОДИН

Владимир 2003

УДК 621.002

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
Б.Г. Белобоков

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Основы научных исследований: Программа, метод. указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения / Владим. гос. ун-т; Сост. А.А. Кодин. Владимир, 2003. 28 с.

Дисциплина «Основы научных исследований» изучается студентами машиностроительных специальностей высших учебных заведений. Она не входит в Государственный образовательный стандарт, поэтому содержится в учебных планах в разделе «Дисциплины по выбору студента». Данная работа состоит из пяти разделов: термины и определения, система подготовки научных кадров, современные методы теоретических исследований, планирование эксперимента, общие требования по оформлению отчёта по научно-исследовательской работе.

Методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения специальностей 120100 – технология машиностроения, 120700 – машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов, а также могут быть использованы студентами других машиностроительных специальностей и форм обучения.

Ил. 3. Библиогр.: 7 наим.

УДК 621.002

Инженеру – специалисту в области машиностроения – в своей практической деятельности приходится принимать много технических решений, требующих научного обоснования. В современных условиях интенсивного увеличения объема научной и научно-технической информации, быстрой смены знаний, техники и технологий особое значение приобретает подготовка специалистов, имеющих высокую профессиональную и научную подготовку, способных к самостоятельной творческой работе, умеющих пользоваться современными методами теоретического и экспериментального исследования.

Цель данного издания – ознакомить студентов с современными методами теоретических и экспериментальных исследований, а также с общим состоянием дел в области использования для этого средств вычислительной техники.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Материал дисциплины “Основы научных исследований” изучается самостоятельно студентами согласно программе и методическим указаниям, приведенным ниже. В соответствии с программой студенты пишут и защищают реферат. В период экзаменационной сессии студенты прослушивают обзорные лекции в объеме четырех часов и выполняют лабораторные работы также в объеме четырех часов.

Курс состоит из пяти разделов:

1. Термины и определения.
2. Подготовка кадров высшей квалификации.
3. Методы теоретических исследований.
4. Планирование эксперимента.
5. Общие требования и правила оформления отчета о научно-исследовательской работе.

При изучении разделов 3, 4 следует сделать акцент на сферу той профессиональной деятельности, в которой ведется подготовка специалиста. При выполнении контрольных работ, связанных с методами теоретических исследований, планированием эксперимента и обработкой его результатов, желательно использовать вычислительную технику.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ "ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ"

Программа первого раздела

*Технические науки. Знание. Научная идея.
Гипотеза. Теория. Закон. Методология. Метод. Индукция. Дедукция.*

Пояснения и методические указания по изучению первого раздела

При изучении этого раздела необходимо четко разобраться с терминами и определениями, иначе неоднозначные, по разному трактуемые понятия могут привести к взаимному непониманию специалистов, противоречию их взглядов там, где этого противоречия нет.

Наука – сфера исследовательской деятельности, направленная на получение новых знаний о природе, обществе и мышлении.

Технические науки – специфическая система знаний о целенаправленном преобразовании природных тел и процессов в технические объекты, о методах конструктивно-технической деятельности, а также о способах функционирования технических объектов в системе общественного производства.

Знание – идеальное воспроизведение в языковой форме обобщенных представлений о закономерных связях объективного мира.

Научная идея – интуитивное объяснение явления без промежуточной аргументации, без осознания всей совокупности связей, на основании которой делаются выводы. Она базируется на уже имеющемся знании, но вскрывает ранее не замеченные закономерности.

Гипотеза – предположение о причине, которая вызывает данное следствие.

Теория – система обобщенного знания, объяснения тех или иных сторон действительности.

Закон – существенная внутренняя связь явлений, обуславливающая их необходимое закономерное развитие. Закон выражает определенную устойчивую связь между явлениями или свойствами материальных объектов.

Методология – философское учение о методах познания и преобразования действительности, применение принципов мировоззрения к процессу познания, духовному творчеству и практике.

Метод – способ достижения цели.

Индукция – умозаключение от фактов к некоторой гипотезе.

Дедукция – умозаключение, в котором вывод о некотором элементе множества делается на основании знания общих свойств всего множества.

Контрольные вопросы и задания по первому разделу

1. Дайте понятие термина “наука”.
2. Дайте понятие термина “технические науки”.
3. Что такое “знание”?
4. Что такое “научная идея”?
5. Дайте понятие термина “гипотеза”.
6. Дайте определение термина “закон”.
7. Что такое “методология”, “метод”?
8. Что такое “индукция” и “дедукция”?

Программа второго раздела

Общие проблемы по подготовке научных кадров в Российской Федерации. Закон Российской Федерации “О высшем и послевузовском профессиональном образовании”. Государственные образовательные стандарты. Ступени высшего профессионального образования. Виды высших учебных заведений. Формы обучения. Ученые степени. Ученые звания. Аспирантура. Докторантура.

Пояснения и методические указания по изучению второго раздела

Государственной Думой 19 июля 1996 года принят закон Российской Федерации “О высшем и послевузовском профессиональном образовании”. Этот закон одобрен Советом Федерации 7 августа 1996 года и опубликован в печати¹.

Государственные образовательные стандарты высшего и послевузовского профессионального образования предназначены для обеспечения:

1. Качества высшего и послевузовского профессионального образования;
2. Единства образовательного пространства Российской Федерации;

¹ Бюллетень Государственного комитета Российской Федерации по высшему образованию. – М.: Московский лицей, 1996. – № 10.

3. Основы для объективной оценки деятельности образовательных учреждений;

4. Признания и установления эквивалентности документов иностранных государств о высшем и послевузовском профессиональном образовании.

В Российской Федерации устанавливаются следующие ступени высшего профессионального образования:

- высшее профессиональное образование, подтверждаемое присвоением лицу, успешно прошедшему итоговую аттестацию, квалификации (степени) “бакалавр”;
- высшее профессиональное образование, подтверждаемое присвоением лицу, успешно прошедшему итоговую аттестацию, квалификации “дипломированный специалист”;
- высшее профессиональное образование, подтверждаемое присвоением лицу, успешно прошедшему итоговую аттестацию, квалификации (степени) “магистр”.

Высшим учебным заведением является образовательное учреждение, учрежденное и действующее на основании законодательства Российской Федерации об образовании, имеющее статус юридического лица и реализующее в соответствии с лицензией образовательные программы высшего профессионального образования.

В Российской Федерации установлены следующие виды высших учебных заведений: университет, академия, институт.

1. *Университет* – высшее учебное заведение, которое:

- реализует образовательные программы высшего и послевузовского профессионального образования по широкому спектру направлений подготовки (специальностей);
- осуществляет подготовку, переподготовку и (или) повышение квалификации, научных и научно-педагогических работников;
- выполняет фундаментальные и прикладные научные исследования по широкому спектру наук;
- является ведущим научным и методическим центром в области своей деятельности.

2. *Академия* – высшее учебное заведение, которое:

- реализует образовательные программы высшего послевузовского профессионального образования;

- осуществляет подготовку, переподготовку и (или) повышение квалификации работников высшей квалификации для определенной области научной и научно-педагогической деятельности;
- выполняет фундаментальные и прикладные научные исследования преимущественно в одной из областей науки или культуры;
- является ведущим научным и методическим центром в своей области.

3. *Институт* – высшее учебное заведение, которое:

- реализует образовательные программы высшего профессионального образования, а также, как правило, образовательные программы послевузовского профессионального образования;
- осуществляет подготовку и (или) повышение квалификации работников для определенной области профессиональной деятельности;
- ведет фундаментальные и (или) прикладные научные исследования.

Основные образовательные программы высшего профессионального образования обучающимся могут осваиваться в различных формах: очной, очно-заочной (вечерней), заочной, в форме экстерната. *Экстернат* – самостоятельное изучение обучающимся дисциплины с последующей аттестацией (текущей и итоговой) в высшем учебном заведении.

В Российской Федерации установлены две ученые степени: кандидат наук и доктор наук. Перечень (название) наук, по которым присваиваются ученые степени, определены Правительством Российской Федерации.

В Российской Федерации установлены два ученых звания: доцент и профессор.

Ученое звание доцента может быть присвоено лицу, имеющему, как правило, ученую степень кандидата наук, ведущему преподавательскую, научную и методическую работу в высших учебных заведениях.

Ученое звание профессора может быть присвоено лицу, имеющему, как правило, ученую степень доктора наук, ведущему преподавательскую, научную и методическую работу в области высшего и послевузовского профессионального образования.

Аспирантом является лицо, имеющее высшее профессиональное образование и обучающееся в аспирантуре, и подготавливающее диссертацию на соискание ученой степени кандидата наук.

Докторантом является лицо, имеющее ученую степень кандидата наук, зачисленное в докторантуру для подготовки диссертации на соискание ученой степени доктора наук.

Соискателем является лицо, имеющее высшее профессиональное образование, прикрепленное к организации или учреждению, которые имеют аспирантуру и (или) докторантуру, и подготавливающее диссертацию на соискание ученой степени кандидата наук без обучения в аспирантуре, либо лицо, имеющее ученую степень кандидата наук и подготавливающее диссертацию на соискание ученой степени доктора наук.

Контрольные вопросы и задания по второму разделу

1. Для чего создаются Государственные образовательные стандарты?
2. Назовите ступени высшего профессионального образования.
3. Какие виды высших учебных заведений существуют в Российской Федерации?
4. Какие формы обучения существуют в Российской Федерации?
5. Какие ученые степени и звания существуют в Российской Федерации?
6. Через какие структуры ведется подготовка научных кадров?

Программа третьего раздела

Метод конечных элементов (МКЭ). Области применения МКЭ. Основная идея МКЭ. Типы элементов. Построение дискретной модели. Функции элемента. Одномерный симплекс-элемент. Примеры использования МКЭ.

Исследование операций. Предмет исследования операций. Основные понятия и принципы исследования операций. Математические модели операции. Прямые и обратные задачи. Задачи линейного программирования. Понятие о нелинейном программировании. Понятие о динамическом программировании. Примеры применения исследования операций.

Пояснения и методические указания по изучению третьего раздела

При изучении данного раздела следует уяснить, что большинство современных методов теоретических исследований основано на использовании различных моделей: мысленных (интуитивных), математических, физических.

МКЭ широчайшим образом используется в качестве дискретной модели во многих системах автоматизированного проектирования. Лицо, по-

лучающее высшее образование, должно ясно представлять, каким образом формируется конечно-элементная модель объекта, иначе оценить результаты моделирования будет невозможно: так как задача специалиста состоит в том, чтобы он мог четко интерпретировать полученные расчеты.

Задачи исследования операций возникают в различных областях деятельности человека. Научный подход к этим задачам расширяет кругозор исследователя, обеспечивает взаимообогащение методов и подходов.

МКЭ – эффективный численный метод решения инженерных и физических задач. Область его применения велика – от анализа напряжений и деформаций в конструкциях самолетов и космических кораблей, ракет или автомобилей до таких сложных систем, как атомные электростанции.

С его помощью рассчитывают течение жидкостей, газов, фильтрацию, решаются задачи электростатики и т.д., анализируются колебания систем.

Основная идея МКЭ состоит в том, что любую непрерывную величину (температуру, давление, перемещение) можно аппроксимировать дискретной моделью, построенной на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей.

При построении дискретной модели поступают следующим образом:

1. В рассматриваемой области (конструкции) фиксируется конечное число точек (рис. 1). Эти точки принято называть узловыми точками, или узлами.

2. Значение непрерывной величины в каждом узле считается переменной, которая должна быть определена.

3. Область определения непрерывной величины разбивается на конечное число подобластей, называемых элементами. Эти элементы имеют общие условные точки и в совокупности аппроксимируют форму области (конструкции).

4. Непрерывная величина аппроксимируется на каждом элементе полиномом, который определяется с помощью узловых значений этой величины.

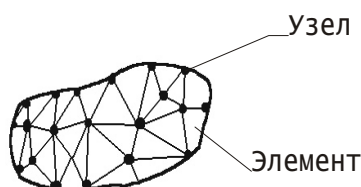


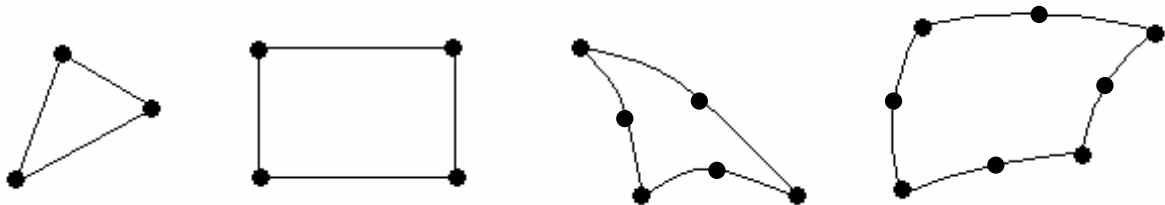
Рис. 1. Дискретная модель области (конструкции)

Типы конечных элементов:

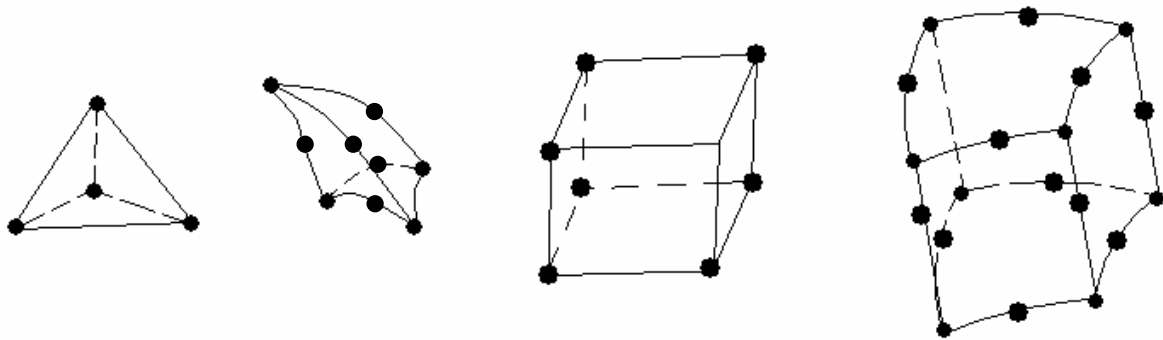
1. Одномерные конечные элементы



2. Двухмерные конечные элементы



3. Трехмерные конечные элементы



4. Осесимметричные конечные элементы представляют собой тор с поперечным сечением по типу двухмерных конечных элементов.

Равномерное разбиение, когда все элементы имеют одинаковую форму и размеры, обычно не проводится, так как в конструкциях существуют концентрации напряжений, температурные градиенты и т. п., то есть в определенных случаях требуется знать более подробную картину.

В качестве функции элемента обычно применяется полином. Порядок полинома зависит от числа используемых в каждом узле элемента данных о непрерывной функции. Например,

для элемента типа 1) $\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x$,

для элемента типа 2) $\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 xy$,

для элемента типа 2) $\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 y^2 + \alpha_6 xy$.

В полиномах: ϕ – искомая величина (температура, давление, перемещение и т. п.); $\alpha_1, \alpha_2 \dots$ – коэффициенты (неизвестные), которые определяются через условные значения ϕ, x, y – координаты.

Рассмотрим одномерный линейный элемент (симплекс-элемент рис. 2). Это прямолинейный отрезок длины L с двумя узлами (по одному на каждом конце).

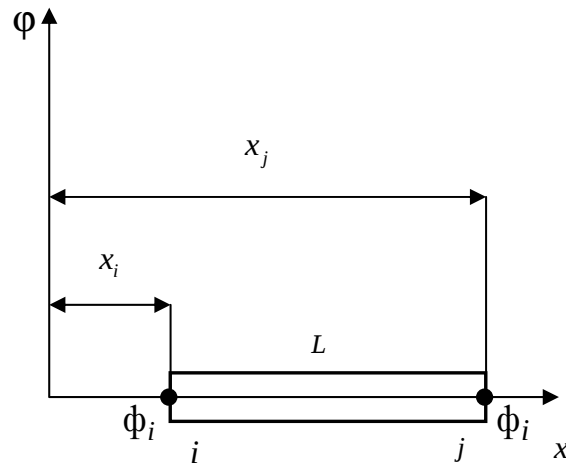


Рис. 2. Симплекс-элемент

i, j – номера узлов; x_i, x_j – координаты узлов; ϕ_i, ϕ_j – условные значения искомой величины.

Как правило, интерполяционный полином имеет вид: $\phi = \alpha_1 + \alpha_2 x$. (1)

Неизвестные коэффициенты α_1 и α_2 могут быть определены с помощью условий в узловых точках:

$$\left. \begin{array}{l} \phi = \phi_i \\ x = x_i \end{array} \right| \quad \left. \begin{array}{l} \phi = \phi_j \\ x = x_j \end{array} \right| \quad (2)$$

Подставим (2) в (1) и получим систему двух уравнений с двумя неизвестными α_1 и α_2 :

$$\begin{cases} \phi_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i, \\ \phi_j = \alpha_1 + \alpha_2 x_j. \end{cases} \quad (3)$$

В результате решения системы уравнений (3) получим:

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \frac{\phi_i x_j - \phi_j x_i}{L}, \\ \alpha_2 &= \frac{\phi_j - \phi_i}{L},\end{aligned}\tag{4}$$

где $L = x_j - x_i$.

Подставив (4) в (1), будем иметь:

$$\phi = \left(\frac{\phi_i x_j - \phi_j x_i}{L} \right) + \frac{(\phi_j - \phi_i)}{L} x = \left(\frac{x_j - x}{L} \right) \phi_i + \left(\frac{x - x_i}{L} \right) \phi_j.\tag{5}$$

В уравнении (5) выражения, стоящие в скобках, носят название функций формы элемента N_i и N_j :

$$\frac{x_j - x}{L} = N_i ; \quad \frac{x - x_i}{L} = N_j ,$$

тогда выражение (5) принимает вид

$$\phi = N_i \phi_i + N_j \phi_j\tag{6}$$

или в матричной форме записи

$$\phi = [N_i N_j] \begin{bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \end{bmatrix} = [N] [\phi].\tag{7}$$

Рассмотрим двухмерный симплекс-элемент. Это произвольный треугольник с прямолинейными сторонами (рис. 3).

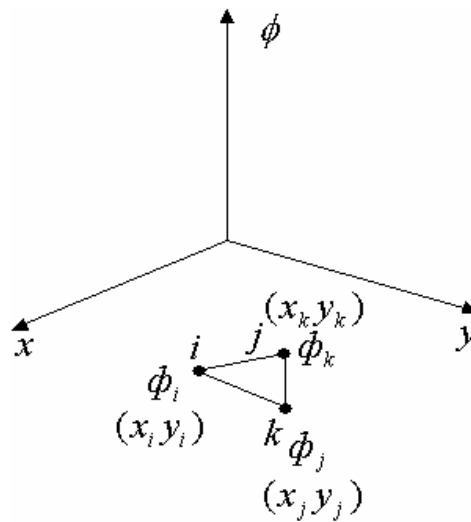


Рис. 3. Двухмерный симплекс-элемент

i, j, k – координаты номера узлов; (x_i, y_i) , (x_j, y_j) , (x_k, y_k) – координаты узлов;

ϕ_i, ϕ_j, ϕ_k – координаты искомой величины в узлах.

Интерполяционный полином имеет вид:

$$\phi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \quad (8)$$

В узлах выполняются следующие условия:

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_i \begin{cases} x = x_i \\ y = y_i \end{cases} \\ \phi &= \phi_j \begin{cases} x = x_j \\ y = y_j \end{cases} \\ \phi &= \phi_k \begin{cases} x = x_k \\ y = y_k \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

Подставив (9) в (8), получим систему трех уравнений с тремя неизвестными α_1, α_2 и α_3 :

$$\begin{cases} \phi_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i, \\ \phi_j = \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j, \\ \phi_k = \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k. \end{cases} \quad (10)$$

Из решения (10) получим:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1}{2A} [(x_j y_k - x_k y_j) \phi_i + (x_k y_i - x_i y_k) \phi_j + (x_i y_j - x_j y_i) \phi_k] \\ \alpha_2 &= \frac{1}{2A} [(y_j - y_k) \phi_i + (y_k - y_i) \phi_j + (y_i - y_j) \phi_k] \\ \alpha_3 &= \frac{1}{2A} [(x_k - x_j) \phi_i + (x_i - x_k) \phi_j + (x_j - x_i) \phi_k], \end{aligned} \quad (11)$$

где $2A$ – удвоенная площадь треугольного элемента:

$$2A = \det \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}$$

Подставив значения α_1, α_2 и α_3 из (11) в (8) и преобразовав, получим формулу, аналогичную (6) и (7):

$\phi = N_i \phi_i + N_j \phi_j + N_k \phi_k$ или

$$\phi = [N_i \ N_j \ N_k] \begin{bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \phi_k \end{bmatrix} \quad (12)$$

В формулах (12):

$$N_i = \frac{1}{2A}(a_i + b_i x + c_i y) \text{ и } \begin{cases} a_i = x_j y_k - x_k y_j \\ b_i = y_j - y_k \\ c_i = x_k - x_j \end{cases}$$

$$N_j = \frac{1}{2A}(a_j + b_j x + c_j y) \text{ и } \begin{cases} a_j = x_k y_j - y_k x_j \\ b_j = y_k - y_j \\ c_j = x_j - x_k \end{cases}$$

$$N_k = \frac{1}{2A}(a_k + b_k x + c_k y) \text{ и } \begin{cases} a_k = x_i y_j - x_j y_i \\ b_k = y_i - y_j \\ c_k = x_j - x_i \end{cases}$$

Аналогично определяются функции формы для других типов элементов.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам организации и управления, поскольку решение организационных задач даст гораздо больший экономический эффект, чем решение задачи на уровне конкретного технического объекта (станка, машины и т.п.), хотя это тоже важно – чтобы объект обладал высокими технико-экономическими показателями.

Быстрое развитие и усложнение технических объектов привело к усложнению технологии управления ими, от науки потребовались рекомендации не только по разумному, но и оптимальному управлению. Потребности практики вызвали к жизни специальные научные методы, которые объединились под термином “исследование операций”. Эта наука, занимающаяся расчётами, облегчающими людям принимать решение.

Исследование операций – это применение математических, количественных методов для обоснования решений во всех областях целенаправленной человеческой деятельности.

В настоящее время исследование операций используется в разных областях: промышленность, сельское хозяйство, строительство, торговля, бытовое обслуживание, транспорт, связь, здравоохранение, охрана природы, военное дело и т.д.

Операцией называется всякое мероприятие (система действий), объединённое единым замыслом и направленное к достижению какой-то цели.

Естественно, что операция всегда должна быть управляемой. То есть от исполнителей зависит, каким образом выбрать параметры, характеризующие её осуществление. В противном случае достижение цели, поставленной операцией, становится случайным процессом.

Решение – всякий определённый выбор зависящих от исполнения параметров.

Оптимальными называются решения, по тем или иным признакам предпочтительные перед другими. Заметим, что в исследовании операций не идёт речь о строгом оптимуме; в математическом понимании это, скорее всего, рациональные решения.

Таким образом, цель исследования операций – предварительное количественное обоснование оптимальных решений.

Следует заметить, что исследование операций в большинстве случаев только выделяет область оптимальных решений, а окончательный выбор делает человек.

Элементы решения – совокупность параметров, которые образуют решение.

В любой задаче исследования операций имеются ограничения параметров, например, мощность станка, грузоподъёмность машины, сырьевые запасы и т.п.

Чтобы сравнивать между собой по эффективности разные решения, нужно иметь количественный критерий. Этот количественный критерий называют целевой функцией или показателем эффективности.

Для применения количественных методов требуется математическая модель. При построении математической модели реальное явление неизбежно упрощается, схематизируется, и эта схема явления описывается с помощью того или иного математического аппарата. Общих способов построения математических моделей не существует. В каждом конкретном случае модель выбирается исходя из вида операции, её целевой функции. Математическая модель должна отражать важнейшие черты явления, все существенные факторы, от которых зависит успех операции.

Грамотность научного исследования состоит в том, чтобы оценить ту погрешность, которую вносят в математическую модель неучтённые в ней факторы.

Прямые задачи исследования операций отвечают на вопрос: что будет, если в заданных условиях исполнитель примет какое-то решение? То есть, чему будет равен показатель эффективности?

Обратные задачи исследования операций отвечают на вопрос: какое выбрать решение, чтобы показатель эффективности стал оптимальным (максимальным или минимальным).

Когда показатель эффективности W зависит только от двух групп параметров: заданных условий α и элементов решения x , т.е. $W = W(\alpha, x)$ (в число заданных условий входят и ограничения), а требуется найти такие значения x , которые обращают W в экстремум. Данные задачи носят общее название задач математического программирования (планирования). Для них характерны две вещи. Во-первых, показатель эффективности W линейно зависит от элементов решения x , во-вторых, ограничения, налагаемые на элементы решения, имеют вид линейных неравенств.

Общая постановка задачи нелинейного программирования следующая. Требуется найти неотрицательные значения переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$, удовлетворяющие каким-то ограничениям вида, например

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 \\ \varphi_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 \\ \\ \varphi_3(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 , \end{array} \right.$$

и обращающие в максимум произвольную нелинейную функцию этих переменных:

$$W = W(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max.$$

Общих способов решения задач нелинейного программирования не существует; в каждой конкретной задаче способ выбирается в зависимости от вида функции W и накладываемых на элементы решения ограничений.

Динамическое программирование – это особый метод оптимизации решений, специально приспособленных к многоэтапным (многошаговым) операциям.

Рассмотрим операцию Q , состоящую из m этапов. Эффективность операции определяется некоторым показателем W . Этот показатель складывается из частных показателей ω_i на отдельных этапах:

$$W = \sum_{i=1}^m \omega_i.$$

Совокупность всех шагов управления $x_1, x_2, \dots, x_m$ представляет собой управление операцией в целом x :

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m).$$

Требуется найти полное управление x , при котором W обращается в экстремум (максимум или минимум):

$$W = \sum_{i=1}^m \omega_i \rightarrow \max(\min)$$

Контрольные вопросы и задания по третьему разделу

1. Назовите области применения МКЭ.
2. В чём состоит основная идея МКЭ?
3. Какие типы элементов применяются на практике?
4. Что такое “функции элемента”?
5. Чем занимается наука “исследование операций”?
6. Назовите основные принципы исследования операций.
7. В чём суть прямой и обратной задачи исследования операций.
8. Дайте понятие задач линейного программирования.
9. Дайте понятие задач нелинейного программирования.
10. Дайте понятие задач динамического программирования.

Программа четвёртого раздела

Классификация, типы и задачи эксперимента. Естественный эксперимент. Искусственный эксперимент. Простой эксперимент. Сложный эксперимент. Вещественный эксперимент. Энергетический эксперимент. Модельный эксперимент. Однофакторный эксперимент. Многофакторный эксперимент. Параметр оптимизации. Виды параметров оптимизации. Требования к параметру оптимизации. Факторы. Требования, предъявляемые к факторам. Выбор модели. Полный факторный эксперимент. Понятие о дробном факторном эксперименте. Примеры планирования эксперимента.

Пояснения и методические указания по изучению четвёртого раздела

Важнейшей составной частью научных исследований является эксперимент, основа которого – научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями.

Постановка и организация эксперимента определяется его назначением. Эксперименты, которые проводят в различных отраслях науки, разделяют на химические, биологические, физические, психологические, социальные и т.п. Они различаются по способу формирования условий (естественные и искусственные); по целям исследования (преобразующие, констатирующие, контролирующие, решающие); по организации проведения (лабораторные, натурные, полевые, производственные и т.п.); по структуре изучаемых объектов и явлений (простые, сложные); по характеру внешних воздействий на объект исследования (вещественные, информационные, энергетические); по характеру взаимодействия средства экспериментального исследования с объектом исследования (обычный и модельный); по типу моделей, исследуемых в эксперименте (материальный и мысленный); по контролируемым величинам (пассивный и активный); по числу варьируемых факторов (однофакторный и многофакторный); по характеру изучаемых объектов или явлений (технологические, социометрические) и т.п.

Естественный эксперимент предполагает проведение опытов в естественных условиях существования объекта исследования. Чаще всего используется в биологических, социальных, педагогических и психологических науках.

Искусственный эксперимент используется для изучения объектов, не имеющих разветвлённой структуры, с небольшим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих простейшие функции.

Сложный эксперимент изучает явления или объекты с разветвлённой структурой и большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, выполняющих сложные функции.

Вещественный эксперимент предполагает изучение влияния различных вещественных факторов на состояние объекта исследования.

Энергетический эксперимент используется для изучения воздействия различных видов энергии (электронной, механической, тепловой и т.д.) на объект исследования. Этот тип эксперимента широко распространён в естественных науках.

Обычный (или классический) эксперимент включает экспериментатора как познающего объекта; объект или предмет экспериментального исследования и средства (инструменты, приборы, экспериментальные установки), при помощи которых осуществляется эксперимент.

Модельный эксперимент в отличие от обычного имеет дело с моделью исследуемого объекта. Модель входит в состав экспериментальной установки, замещая не только объект исследования, но часто и условия, в которых изучается данный объект.

Однофакторный эксперимент предполагает выделение нужных факторов; стабилизацию мешающих факторов; поочерёдное варьирование интересующих исследование факторов.

Многофакторный эксперимент (полный факторный и дробный факторный) состоит в том, что варьируются все переменные сразу и каждый эффект оценивается по результатам всех опытов, проведённых в данной серии экспериментов.

При планировании эксперимента очень важно определить параметр, который нужно оптимизировать. В зависимости от объекта и цели исследования параметры оптимизации могут быть весьма разнообразными: экономические (прибыль, себестоимость), технико-экономические (производительность, надёжность, коэффициент полезного действия), технико-технологические (выход продукта, физические характеристики продукта), прочие (психологические, статистические, эстетические).

Параметр оптимизации – это признак, по которому исследователь хочет оптимизировать процесс. Параметр оптимизации должен быть эффективным с точки зрения достижения цели, универсальным, количественным и выражаться одним числом, статистически эффективным, имеющим физический смысл, простым и легко вычисляемым.

Фактором называется измеряемая переменная величина, принимающая в некоторый момент времени определённое значение. Факторы соответствуют способам воздействия на объект исследования. Они определяют как сам объект, так и его состояние. Требования к факторам: управляемость и однозначность. Управляемость означает, что экспериментатор, выбрав нужное значение фактора, может его поддерживать постоянным в течение всего опыта. Однозначность фактора состоит в том, что он не должен быть функцией других факторов. Но в планировании могут участвовать сложные факторы, такие, как соотношения между компонентами, их логарифмы и т.п.

Кроме того, факторы должны быть операциональными, то есть, чтобы точно определить фактор, нужно указать последовательность действий (операций), с помощью которых устанавливаются его конкретные значения (уровни). Так, если фактором является давление в некотором аппарате, то необходимо указать, в какой точке и с помощью какого прибора оно измеряется. Введение операционального определения обеспечивает однозначное понимание фактора.

Требования к совокупности факторов: совместимость и отсутствие линейной корреляции.

Точность фиксации факторов должна быть высока. Степень точности определяется диапазоном изменения факторов.

При планировании эксперимента под моделью понимают функцию вида

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

где $(x_1, x_2, \dots, x_k)$ – факторы. Выбрать модель – значит выбрать вид этой функции. Тогда останется спланировать и провести эксперимент для определения коэффициентов функции. Одно из главных требований к модели – это её способность предсказывать направление опытов, причём с требуемой точностью. В планировании эксперимента в качестве модели принимают полиномы различных степеней. Это соглашение базируется на накопленном разными исследователями опыте. Например, для двух факторов x_1 и x_2 :

- полином нулевой степени $y = b_0$,

- полином первой степени $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$,

- полином второй степени

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2,$$

- полином третьей степени

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{112}x_1^2x_2 + b_{122}x_1x_2^2 + b_{111}x_1^3 + b_{222}x_2^3.$$

В этих формулах $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{222}$ неизвестные коэффициенты, которые определяются при эксперименте.

Первым шагом при планировании эксперимента является выбор локальной области факторного пространства. При этом оцениваются границы областей определения факторов. Локальная область проведения экспе-

римента выбирается в два этапа: определение основного уровня и интервалов варьирования факторов. Основной (нулевой) уровень – точка в факторном пространстве, задаваемая комбинацией уровней факторов. Построение плана эксперимента сводится к выбору экспериментальных точек, симметричных относительно основного уровня.

На втором этапе для каждого фактора определяются два уровня, на которых он варьируется в эксперименте. Уровни факторов изображаются двумя точками на координатной оси, симметричными относительно основного уровня. Один из уровней – верхний, другой – нижний. Интервалом варьирования факторов называется некоторое число (свое для каждого фактора), прибавление которого к основному уровню даёт верхний, а вычитание – нижний уровень.

Для упрощения записи условий эксперимента и обработки экспериментальных данных масштабы по осям задают так, чтобы верхний уровень соответствовал $+1$, нижний – (-1) , основной – нулю.

Коэффициенты, вычисляемые по результатам эксперимента, указывают на силу влияния факторов. Эффект фактора численно равен удвоенному коэффициенту. Если эффект одного фактора зависит от уровня, на котором находится другой фактор, то это говорит о взаимодействии этих факторов.

С увеличением числа факторов резко возрастает количество опытов полного факторного эксперимента, а также число степеней свободы

$$f = N - q,$$

где N – число опытов, q – число неизвестных коэффициентов модели эксперимента. Для линейного полинома $q = k + 1$, где k – число факторов. Так, при $k = 3, N = 8, q = 4$ получим $f = 4$, при $k = 5, N = 32, q = 6$ получим $f = 26$. Для расчёта неизвестных коэффициентов полиномов достаточно, чтобы $f = 1$.

Возникает вопрос: как сократить число опытов? Для этого используется дробный факторный эксперимент. Его суть заключается в том, что для нахождения математического описания процесса используется определённая часть полного факторного плана ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ и т.д.), называемая дробным факторным планом (дробной репликой полного факторного плана). А для построения дробных реплик используют следующее правило: чтобы сократить число опытов при введении в планирование нового фактора, нужно поместить этот фактор в вектор-столбец матрицы планирования, принадлежащий взаимодействию, которым можно пренебречь.

Эффективность применения дробных реплик зависит от удачного выбора системы смешивания линейных эффектов с эффектами взаимодействия, а также от умелой стратегии экспериментирования в случае значимости некоторых взаимодействий.

Контрольные вопросы и задания по четвёртому разделу

1. Что такое “естественный эксперимент”?
2. Что такое “искусственный эксперимент”?
3. Дать понятие простого и сложного экспериментов.
4. Что такое “вещественный эксперимент”?
5. Что такое “энергетический эксперимент”?
6. Что такое “модельный эксперимент”?
7. В чём суть однофакторного и многофакторного экспериментов?
8. Назовите виды параметров оптимизации. Какие требования предъявляют к ним?
9. Какие требования предъявляют к факторам?
10. Какие математические выражения используют для моделирования эксперимента?
11. В чём суть полного и дробного факторного эксперимента?

Программа пятого раздела

Структура отчёта. Титульный лист. Список исполнителей. Реферат. Содержание. Перечень условных обозначений, символов, единиц и терминов. Введение. Основная часть. Заключение. Список использованных источников. Приложения.

Пояснения и методические указания по изучению пятого раздела

Отчёт по научно-исследовательской работе НИР – научно-технический документ, который содержит систематизированные данные о научно-исследовательской работе, описывающий процесс или результаты научно-технического исследования, или состояние научно-технической проблемы.

Структура и правила оформления отчета определяются ГОСТ 7.32 – 91.

При выполнении НИР, кроме заключительного отчёта о работе в целом, могут быть составлены промежуточные расчёты по отдельным этапам НИР.

Отчёт о НИР подлежит обязательному нормоконтролю в организации-исполнителе.

Структурными элементами отчёта о НИР являются: титульный лист; список исполнителей; *реферат*; содержание; перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц и терминов; введение; основная часть; заключение; список использованных источников; приложения.

Титульный лист – первая страница отчёта о НИР, служит источником информации, необходимой для обработки и поиска документа.

В список исполнителей должны быть включены фамилии и инициалы, должности, учёные степени, учёные звания руководителей НИР, ответственных исполнителей, исполнителей и соискателей, принимавших творческое участие в выполнении работы.

Общие требования к реферату отчёта о НИР определены ГОСТ 7.9. Реферат должен содержать: сведения об объекте опыта, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестве книг отчёта, количестве использованных источников, перечень ключевых слов, текст реферата.

Содержание включает введение, наименование всех разделов, пунктов (если они имеют наименование), заключение с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы отчёта о НИР.

Принятые в отчёте малораспространённые сокращения, условные обозначения, символы, единицы и специфические термины должны быть представлены в виде отдельного списка.

Введение должно содержать оценку современного состояния решаемой научно-технической проблемы, основание и исходные данные для разработки темы, обоснование необходимости проведения НИР, сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них, сведения о метрологическом обеспечении НИР. Во введении должны быть показаны актуальность и новизна темы, связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.

Основная часть отчёта должна содержать данные, отражающие суть, методику и основные результаты выполненной НИР.

В заключении даются: краткие выводы по результатам выполненной НИР или отдельных её этапов, оценка полноты решений поставленных задач, разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов НИР, оценка технико-экономической эффективности внедрения. Если определение технико-экономической эффективности невозможно, необходимо указать народнохозяйственную, научную, социальную значимость работы.

Контрольные вопросы и задания по пятому разделу

1. Опишите структуру отчёта по НИР.
2. Какие вопросы должны быть отражены во введении?
3. Какие вопросы должны быть отражены в основной части?
4. Какие вопросы должны быть отражены в заключении?

Рекомендуемые темы лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Разработка математической модели управления запасами.

Лабораторная работа 2. Оптимизация режимов токарной обработки.

Лабораторная работа 3. Выбор оптимальной последовательности обработки деталей на станках.

Лабораторная работа 4. Планирование эксперимента для поиска оптимальных параметров режущего инструмента.

Лабораторная работа 5. Исследование упругой характеристики системы “шпиндель-деталь” токарного станка.

Примечание. Рекомендуемая тематика лабораторных работ приведена для студентов специальностей 120100 – технология машиностроения и 120700 – машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов.

Рекомендуемые темы рефератов (контрольных работ)

1. Анализ точности механической обработки методами математической статистики.

2. Аналитический расчёт суммарной погрешности обработки на основе выявления отдельных факторов.

3. Выбор и обоснование планов контроля точности настройки технологического оборудования.

4. Обзор методов повышения стойкости металлорежущего инструмента.

5. Повышение стойкости свёрл за счёт оптимальной геометрии.

6. Повышение стойкости токарных резцов легированием.

7. Влияние поверхностного пластического деформирования на качество поверхностного слоя.

8. Влияние поверхностного пластического деформирования на точность деталей.

9. Влияние поверхностного пластического деформирования на износостойкость деталей.

10. Влияние остаточных напряжений на точность механической обработки.
11. Исследование обработки поверхностей деталей металлическими щётками.
12. Автоматизация сборочных операций.
13. Изготовление корпусных деталей в автоматизированном производстве.
14. Изготовление в автоматизированном производстве деталей типа тел вращения.
15. Изготовление деталей зубчатых передач в автоматизированном производстве.
16. Автоматизация операций механической обработки деталей резанием.
17. Исследование методов получения цилиндрических зубчатых колёс.
18. Технологичность конструкции изделия.
19. Исследование методов получения наружных резьбовых поверхностей.
20. Исследование конструкций фрез.

Примечание. Рекомендуемая тематика рефератов приведена для студентов специальностей 120100 – технология машиностроения и 120700 – машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов.

Рекомендательный библиографический список

1. Основы научных исследований / Под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высш. шк., 1989. – 400 с.
2. Кане М.М. Основы научных исследований в технологии машиностроения: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 231 с.
3. Кузнецов Ю.Н., Кузубов В.И., Волощенко А.Б. Математическое программирование: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1980. – 303 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Сов. радио, 1972. – 551 с.
5. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
6. Адлер Ю.Г., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	3
ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ	
«ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»	4
<i>Программа первого раздела</i>	4
Пояснения и методические указания по изучению первого раздела	4
Контрольные вопросы и задания по первому разделу	5
<i>Программа второго раздела</i>	5
Пояснения и методические указания по изучению второго раздела	5
Контрольные вопросы и задания по второму разделу	8
<i>Программа третьего раздела</i>	8
Пояснения и методические указания по изучению третьего раздела	8
Контрольные вопросы и задания по третьему разделу	17
<i>Программа четвёртого раздела</i>	17
Пояснения и методические указания по изучению четвёртого раздела	18
Контрольные вопросы и задания по четвёртому разделу	22
<i>Программа пятого раздела</i>	22
Пояснения и методические указания по изучению пятого раздела	22
Контрольные вопросы и задания по пятому разделу	24
Рекомендуемые темы лабораторных работ	24
Рекомендуемые темы рефератов (контрольных работ)	24
Рекомендательный библиографический список	26

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Программа, методические указания
и контрольные задания для студентов
заочной формы обучения

Составитель

КОДИН Александр Александрович

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.В.Морозов

Редактор Е.А. Амирсейидова

Корректор В.В. Гурова

Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 22.04.03.

Формат 60х84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,84. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.