

7. Какие режимы работы двигателя используются при оценке коэффициентов запасов прочности КШМ?
8. По каким зависимостям определяется запас прочности деталей КШМ?
9. Предложите конструктивные мероприятия по снижению/ увеличению рассчитанных запасов прочности.
10. Может ли расчетчик получить на этапе проектирования данные теплового состояния двигателя для использования их в качестве ГУ при расчете деталей ЦПГ?
11. Чем различаются температурное, механическое и термомеханическое нагружения?
12. Какие еще виды нагружения испытывают элементы двигателя в реальных условиях эксплуатации?

Лабораторная работа № 9

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ

Теоретическая часть





Прежде чем рассматривать практическую часть оптимизационной задачи остановимся на ее предпосылках:

- во-первых, выполнение оптимизационной задачи позволяет узнать о поведении детали в условиях изменения нагрузки намного больше, чем это дает один расчет;
- во-вторых, выполнение оптимизационной задачи позволяет установить чувствительность конструкции к внешним воздействиям;
- в-третьих, это возможность уменьшения массово-габаритных показателей детали с вытекающей экономической, а в некоторых случаях и технологической эффективностью.

В программной среде *Ansys Workbench* оптимизация моделей проводится в модуле *DesignXplorer*. *DesignXplorer* основан на методе планирования эксперимента. Цель планирования эксперимента – достижение максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов. Планирование эксперимента применяется при поиске оптимальных условий, построении интерполяционных формул, выборе значимых факторов, оценке и уточнении констант теоретических моделей и др.

DesignXplorer использует входные и выходные параметры, которыми могут служить параметры *DesignModeler* или из различных систем автоматизированного проектирования. Входными параметрами могут быть значения толщины, длины, механические нагрузки, свойства материалов и т.д. Выходными параметрами, как правило, выступают масса, напряжение или частота колебаний и др.

После настройки входных и выходных параметров могут быть запущены следующие виды анализов в *DesignXplorer*:

- планирование эксперимента ( Design of Experiments);
- поверхность отклика ( Response Surface);
- оптимизация ( Optimization);
- шесть сигм-анализ ( Six Sigma Analysis).

Планирование эксперимента является основой *DesignXplorer*. Техника планирования эксперимента позволяет определить количество запусков расчетной задачи с учетом получения максимально точной поверхности отклика насколько это возможно. Каждая комбинация параметров, которая решается, именуется *Design Point* (точка конструирования или проектирования).

Поверхность отклика

После того как планирование эксперимента выполнено, создается поверхность отклика на основе рассчитанных результатов. Поверхность отклика создается для каждого выходного параметра. Исходными данными для построения поверхности отклика служат численные данные, представленные в таблице результатов *Design Point*. В общем случае поверхность отклика помогает провести анализ результатов расчета.

Оптимизация

Для того чтобы обеспечить прочностные показатели детали с меньшей массой или габаритами, в частности, необходимо использовать модуль оптимизации. Этот модуль позволит подобрать нужные входные параметры с учетом заданных пользователем ограничений на выходные параметры. Например, задав показатель массы и уровень напряжений, программа подберет требуемое минимальное значение каких-либо размеров детали.

Шесть сигм-анализ

Шесть сигм-анализ является методом, который включает в себя планирование эксперимента и анализ поверхности отклика. Этот вид анализа позволяет определить наиболее весомые факторы, показатели или параметры. У пользователя существует также возможность установки закона

распределения параметров. Это означает, что можно проследить взаимосвязь между законом распределения входных переменных и результатами для выходных параметров.

Практическая часть

Целью проведения оптимизационного исследования является минимизация массы детали с сохранением безопасного уровня напряжений. Входными параметрами выступают геометрические размеры детали. Частично начало этого расчета совпадает с материалами, приведенными в лабораторной работе № 5.

1. Создание параметрической модели

Создаем новый проект и блок геометрии. В модуле редактирования геометрии *Design Modeler* создаем эскиз равностороннего уголка со стороной, равной 50 мм. Толщина уголка 3 мм, а радиус скругления составляет 1 мм. Входными параметрами будут выступать радиус скругления R и толщина уголка S (рис. 9.1). Присваиваем им значения $radius=1$ и $Thickness=3$ соответственно, для чего отмечаем флажком эти параметры в дереве построения модели. После этого в окне *Parameters* должны появиться созданные параметры.

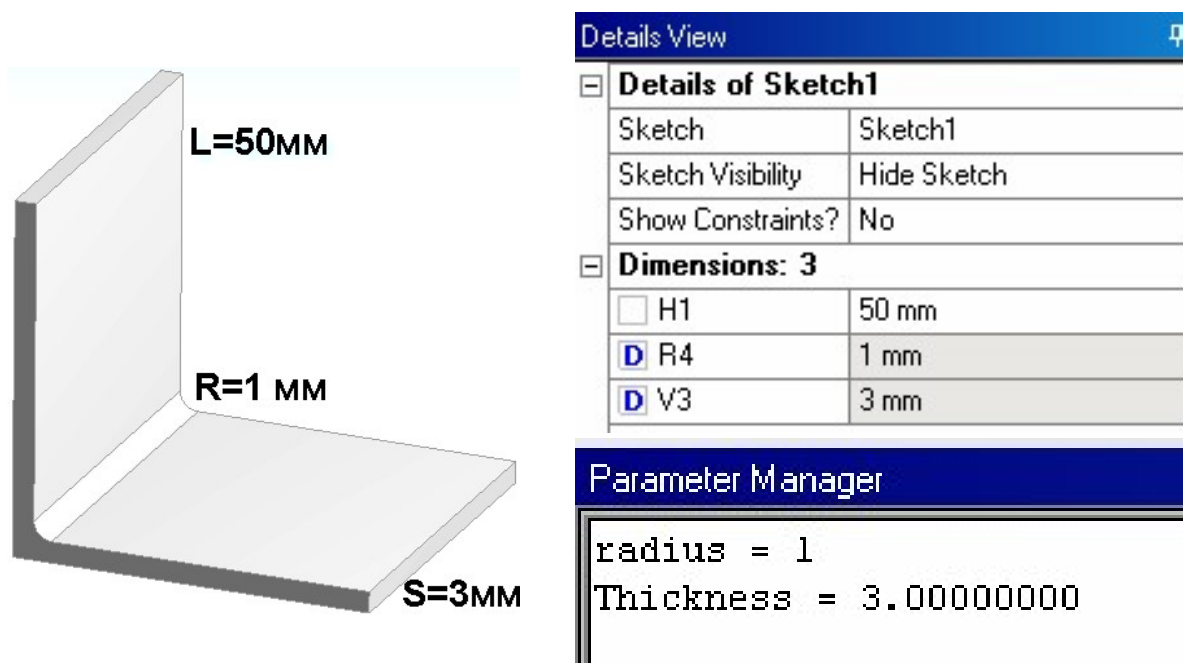


Рис. 9.1. Модель уголка, дерево построения и также окно с входными параметрами

2. Настройка исходных условий задачи

Создаем статический структурный анализ. Исходная геометрия для статического анализа уже создана, поэтому, зажав ЛКМ на геометрии нашей детали, перетаскиваем ее в блок структурного анализа (рис. 9.2).

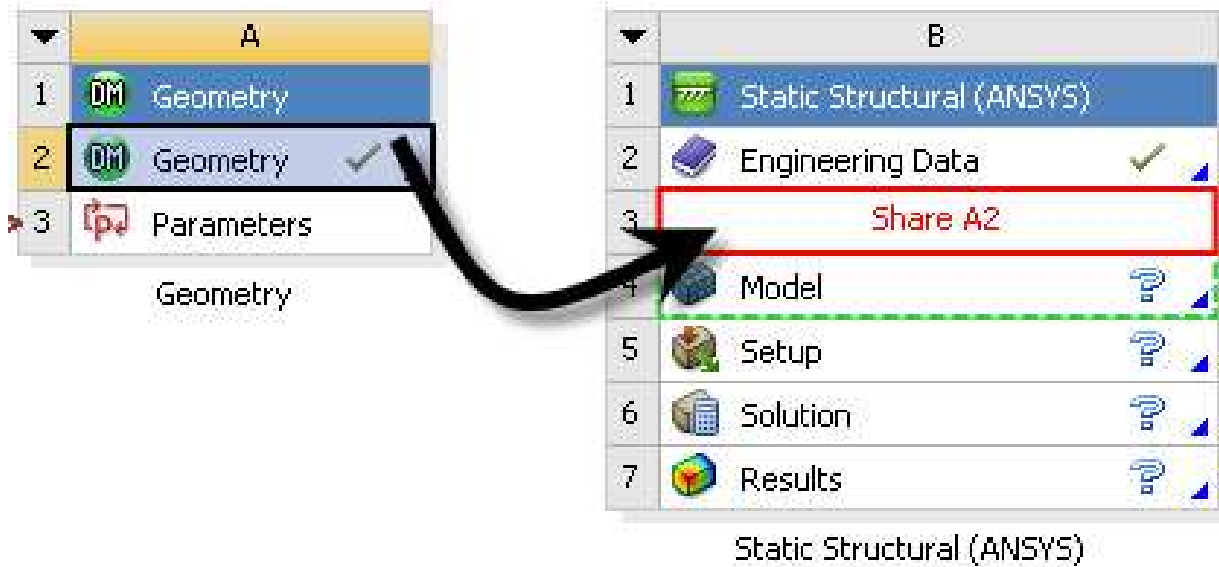


Рис. 9.2. Связь геометрии модели со структурным анализом

В качестве нагрузок задаем на одной из внешних кромок уголка силу 1000 Н, противоположный торец фиксируем во всех направлениях (рис. 9.3). Выполнив расчет, назначаем выходные параметры.

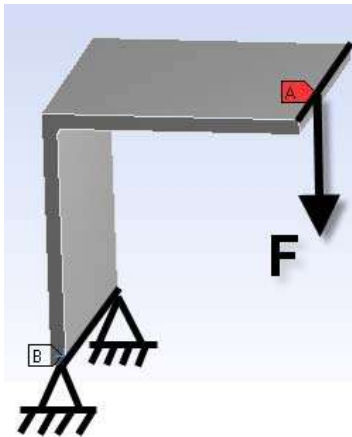


Рис. 9.3. Схема закрепления и нагружения

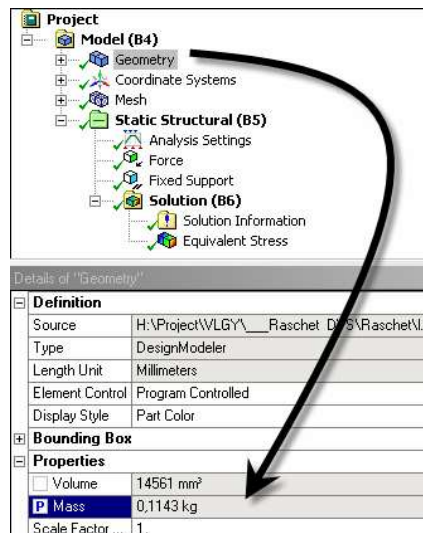


Рис. 9.4. Создание параметра «масса»



Рис. 9.5. Создание параметра «напряжение»

В качестве выходных параметров выбираем массу (рис. 9.4) и эквивалентное напряжение на поверхности скругления (рис. 9.5).

После выполненных действий проект станет выглядеть подобно рис. 9.6.

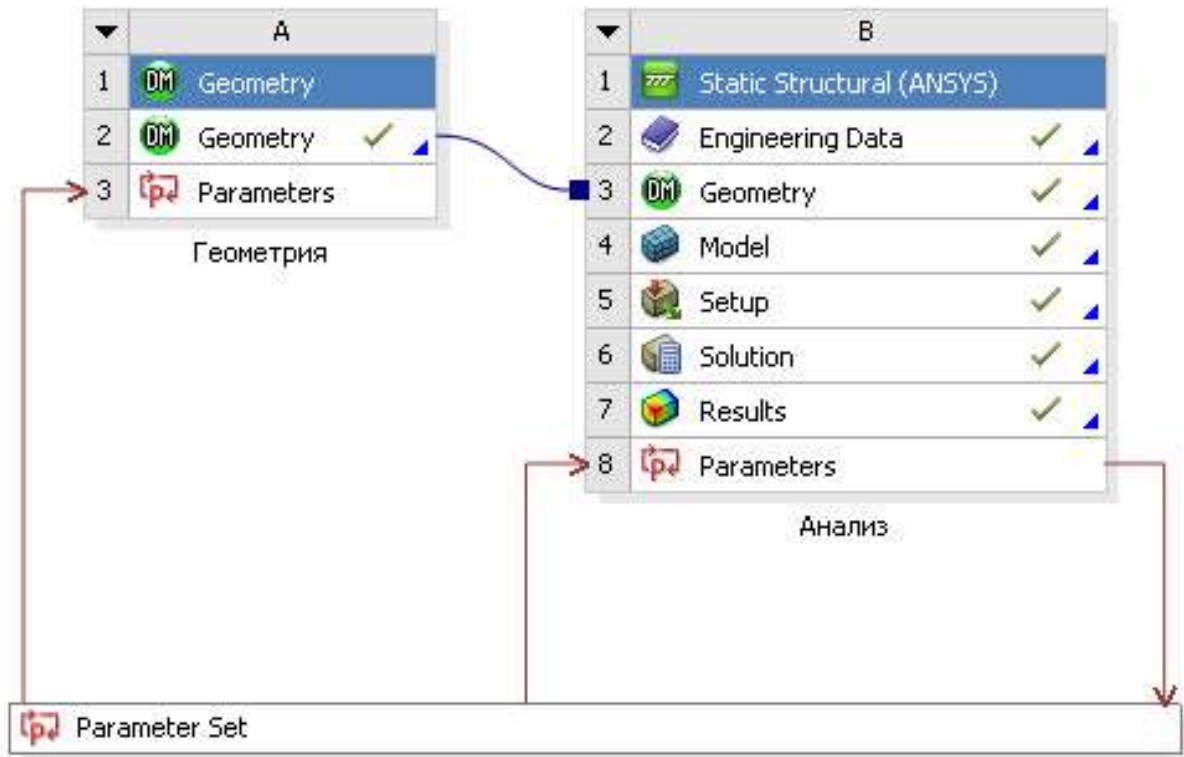



Рис. 9.6. Схема проекта со связанными параметрами

3. Настройка оптимизационной задачи

Для добавления блока оптимизации в созданный проект выполняем команду *View – Toolbox*. На появившейся панели выбираем иконку оптимизации  Goal Driven Optimization и добавляем ее в проект, просто перетаскив с помощью ЛКМ (рис. 9.7).

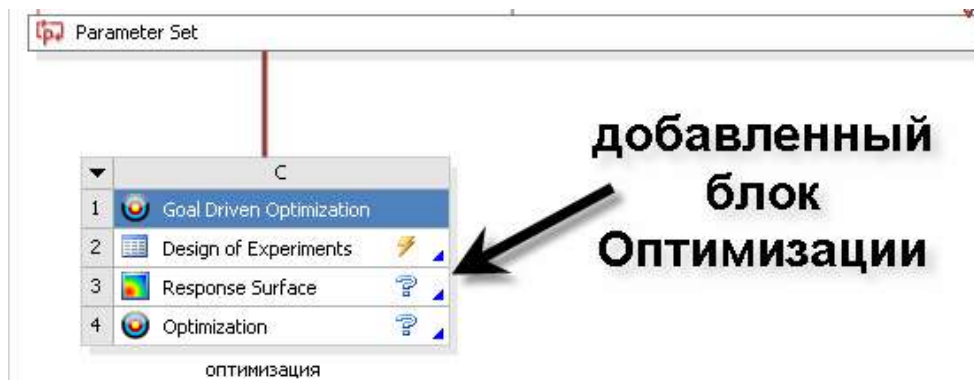


Рис. 9.7. Схема проекта с оптимизацией

Выполняем команду в строке *Design of Experiment – ПКМ – Edit*. После чего будет осуществлен переход в блок настройки входных параметров.

Наша задача состоит в том, чтобы выбрать допустимые пределы изменения радиуса скругления уголка и толщины стенки. Входные же параметры будут рассчитаны после выполнения соответствующих расчетов.

Для задания нижней и верхней границы диапазона изменения радиуса скругления выполняем команду *View – Outline* и ЛКМ выделяем строку с интересующим нас параметром (рис. 9.8). В соседнем окне *Properties of Outline* изменяем значения нижней границы (*Lower Bound = 1*) и верхней (*Upper Bound = 3*) (см. рис. 9.8).

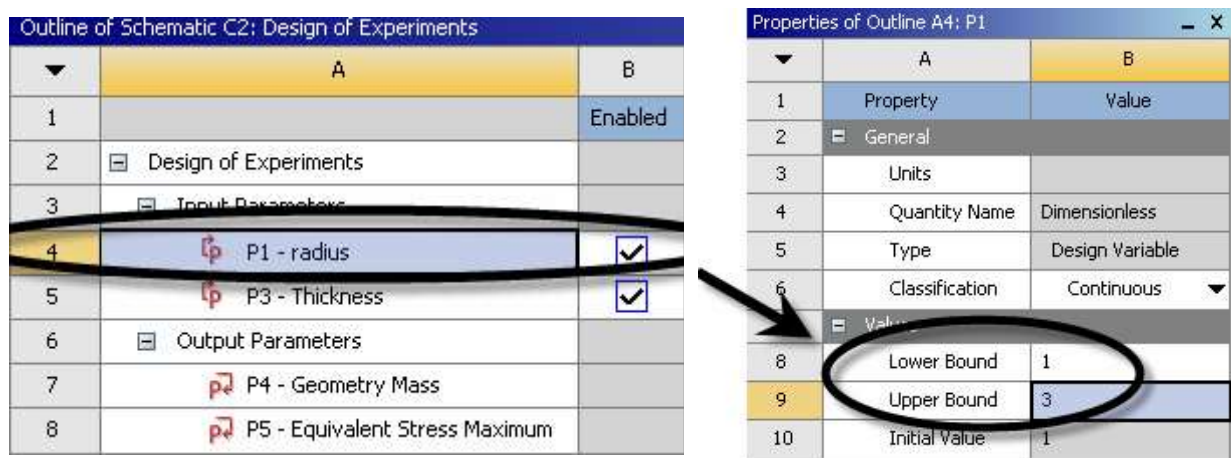


Рис. 9.8. Выбор параметров и диапазона их изменения

Аналогичным образом поступаем для второго параметра *Thickness* (толщина уголка). Устанавливаем значения нижнего и верхнего пределов, равные 2 и 4 соответственно.

4. Планирование эксперимента

Для того чтобы составить матрицу планирования входных параметров, необходимо выполнить команду *Preview Design of Experiment* . После выполнения этой команды окно *Table of Schematic* обновится, после чего станет возможно просмотреть, какое количество расчетов понадобится программной среде для выполнения данного анализа. В нашем случае это 10 расчетов. Количество расчетов заметно влияет на расчетное время задачи и определяется исходя из количества параметров и их взаимосвязей. Заметно на расчетном времени сказывается вычислительная мощность компьютера и число процессоров.

В *Ansys Workbench* существует возможность выбора типов планирования эксперимента: полный факторный эксперимент, дробный факторный эксперимент, использование центрального композиционного планирования и др. В свою очередь, каждый из этих типов имеет еще несколько настроек, ознакомиться более подробно с которыми можно из официальной справки к программной среде. Кроме того, пользователь сам может вручную ввести матрицу планирования входных факторов, выбрав тип планирования как *Custom*.

В нашем случае выбираем в строке *Design Experiment Type* – *Central Composite Design*, то есть центрально композиционный план. Остальные настройки оставляем по умолчанию.


5. Определяем планирование эксперимента

После выполнения расчета матрица планирования будет заполнена результатами расчета массы и напряжений при различных значениях входных параметров (рис. 9.9).

Table of Schematic C2: Design of Experiments					
	A	B	C	D	E
1	Name	P1 - radius	P3 - Thickness	P4 - Geometry Mass (kg)	P5 - Equivalent Stress Maximum (MPa)
2	1	1,5	2,5	0,095861	1021,6
3	2	1	2,5	0,095756	1056,1
4	3	2	2,5	0,096009	1017,8
5	4	1,5	2	0,07712	1627,5
6	5	1,5	3	0,11441	717,32
7	6	1	2	0,077014	1627,1
8	7	2	2	0,077267	1627,8
9	8	1	3	0,1143	1078
10	9	2	3	0,11455	705,44

Рис. 9.9. Результаты расчета масс и напряжений

6. Построение поверхности отклика

Поскольку расчет выполнен, мы можем провести расчет поверхности отклика, для чего переходим в строку *Response Surface*  *Response Surface* и выполняем команду *Update Response Surface*.

На рис. 9.10 и 9.11 показаны поверхности отклика для массы и напряжений.

Помимо всего прочего пользователь имеет возможность проанализировать, оставаясь в этом же окне, чувствительность массы или напряжений

от входных параметров, а также оценить взаимосвязь между входными и выходными параметрами.

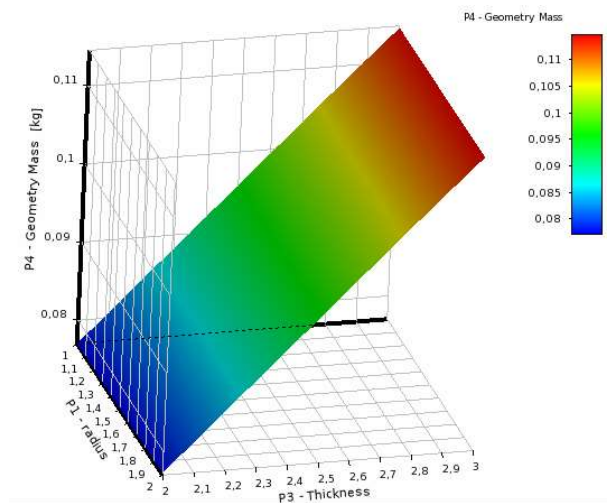


Рис. 9.10. Поверхность отклика для параметра массы

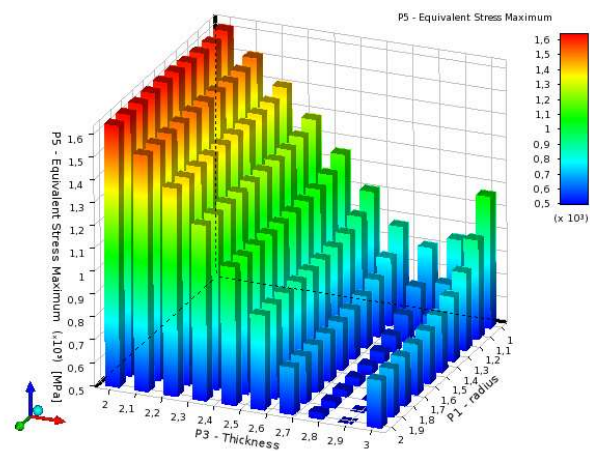


Рис. 9.11. Столбиковая диаграмма отклика для параметра напряжения

7. Запуск оптимизации

После выполнения расчета поверхности отклика появляется возможность получить оптимальную конструкцию с учетом сформулированных требований к массе и напряжениям.


Последняя строка блока оптимизации позволяет провести все необходимые настройки для выполнения поставленной цели. Переходим в окно *Optimization* Optimization. Таблица, находящаяся в окне *Table of Schematic*, служит как раз для настройки целей оптимизации.

Допустим, мы поставили перед собой цель минимизировать массу уголка на уровне 120 г, при этом сохранив безопасный для нас уровень напряжений 760 МПа. Тогда необходимо заполнить таблицу подобно рис. 9.12.

Table of Schematic C4: Optimization					
	A	B	C	D	E
1		P1 - radius	P3 - Thickness	P4 - Geometry Mass (kg)	P5 - Equivalent Stress Maximum (MPa)
2	Optimization Study				
3	Objective	No Objective	No Objective	Values <= Target	Values <= Target
4	Target Value			0,12	750
5	Importance	Lower	Higher	Default	Higher

Рис. 9.12. Заполнение таблицы для задачи оптимизации

Последняя строка таблицы с названием *Importance* служит для обозначения приоритетности заданных факторов.

Выполнив команду *Update Optimization* , будут получены результаты расчета. Программа предложит пользователю выбрать подходящего кандидата, который будет отмечен количеством звездочек (рис. 9.13).

6	GDO Sample Set 1				
7	Candidate A	1,835	2,7941	★ 0,10696	★★★ 506,7
8	Candidate B	1,615	2,7394	★ 0,10486	★★★ 580,78
9	Candidate C	1,355	2,7706	★ 0,10596	★★★ 568,77

Рис. 9.13. Кандидаты для набора значений параметров, предложенные программой

Как мы видим, кандидаты не имеют между собой существенной разницы, поэтому целесообразно выбрать тот, который более всего подходит для пользователя. После того как будет выбран кандидат, желательно провести расчет еще раз с учетом этих параметров, чтобы удостовериться в правильности результатов. Кроме того, необходимо учитывать технологию изготовления этой детали, что вполне вероятней отразится на точности принимаемых геометрических размеров. К примеру, размер 1,835 мм (кандидат А, см. рис. 9.13) выполнен с точностью до сотых, поэтому его необходимо округлить до размера 1,84 мм.

Вопросы для самопроверки и практические задания

1. Выполнить оптимизационный расчет одного из элементов двигателя, предварительно согласовать задание с преподавателем. Подготовить отчет.
2. Почему уравнение регрессии – многочлен, от чего зависит количество членов в уравнении регрессии, количество коэффициентов регрессии, количество опытов в плане?
3. Какие условия должны соблюдаться при выборе интервалов варьирования факторов?
4. Какие компьютеры рациональны для выполнения работ по математическому моделированию?
5. Достигается ли экономический эффект при применении оптимизации?