ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Тихоокеанский государственный университет

кафедра "Строительные и дорожные машины"

Методические указания к лабораторным работам по курсу "ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН"

для студентов специальности 190205.65 “Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование”

Составитель Сидорков В.В.

Хабаровск 2005

Лабораторная работа №1
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОГРЕЙДЕРА КАК ОДНОМАССОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы:
1. Ознакомится с программой моделирования одномассовой колебательной системы.
2. Исследовать работу грейдера, используя модель одномассовой колебательной системы.

Задачи:
1. Выявить характер и степень влияния параметров амортизатора на поведение колебательной системы.
2. Оценить влияние скорости движения автогрейдера на колебания его рабочего органа в зависимости от параметров, характеризующих неровности основания (дорожного полотна).

Все элементы строительных и дорожных машин (металлоконструкция, технологическое оборудование, рабочее место машиниста) испытывают на себе воздействие вибрации. Источники вибрации могут быть условно разделены на две группы: внешнее, по отношению к машине, и «внутренние».

Наиболее характерным внешним источником колебаний дорожных машин является неровность дороги или основания, по которому перемещается машина. В качестве «внутренних» источников колебаний могут быть отмечены вибрация силовой установки и вибрации, вызванные работой технологического оборудования СДМ.

Исследование колебаний имеет важное значение ввиду явно выраженного отрицательного воздействия вибрации на выполнение технологических операций , на работу и надежность машин.

Однако, применительно к строительным и дорожным машинам, исследование вибрации приобретает и другой смысл. Известно в частности, что использование вибрации позволяет снизить сопротивление резанию грунта отвалом бульдозера, вибрация позволяет повысить эффективность процесса уплотнения дорожно-строительных материалов, вибрация широко используется в индустрии строительных материалов.

Таким образом, перед инженером всегда стоит проблема поиска компромисса между отрицательными и положительными эффектами от наличия вибрации.

Для того, чтобы принять правильное решение по выбору конструктивных параметров машины или рабочего органа, по определению рациональных параметров и режимов работы технологического оборудования и рабочих органов, необходимо знать, как ведет себя та или иная конструкция, тот или иной объект при различных параметрах вибрации и режимах колебаний.

Большая часть строительных и дорожных машин при исследовании их колебаний, может быть представлена в виде одномассовой колебательной системы (Рис. 1).

Модель одномассовой колебательной системы включает в себя:
- объект, движение которого необходимо исследовать (масса m);
- основание (опорная поверхность) подвижное или неподвижное;

- связь между объектом и основанием (амортизатор);
- возмущающее воздействие ($P(t)$).

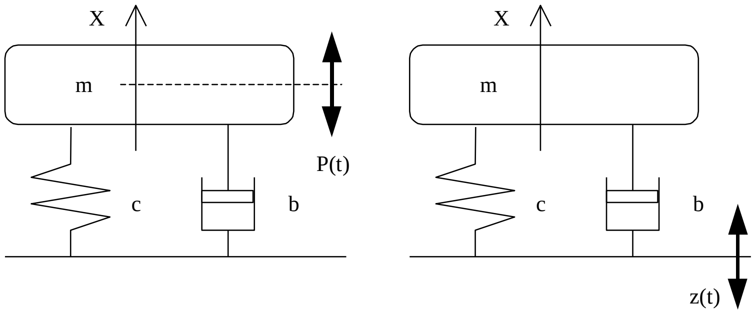

Рис. 1. Общий вид одномассовой колебательной системы.

В амортизаторе, в его динамическом поведении, принято выделять две главные составляющие: c – жесткость амортизатора (коэффициент жесткости); b – вязкость амортизатора (коэффициент демпфирования).

Возмущающее воздействие имеет, как правило, гармонический вид и изменяется по синусоидальному закону $\sqrt{2} \cdot \omega_0 < \omega$, если речь идет об инерционном (силовом) возмущении, где P_0 – амплитудное значение силы, ω – круговая частота колебаний, t – время. При кинематическом возмущении внешнее воздействие изменяется по аналогичному гармоническому закону, где z_0 – амплитуда колебаний основания.

В основу математической модели положено дифференциальное уравнение движения массы m, полученное исходя из принципа Даламбера (принцип освобождаемости связей):

$m \cdot \ddot{x} + b \cdot \dot{x} + c \cdot x = P(t)$ – для силового возмущения;

$m \cdot \ddot{x} + b \cdot (\dot{x} - \dot{z}) + c \cdot (x - z) = 0$ – для кинематического возмущения.

Большинство задач, решаемых с использованием одномассовой колебательной системы, сводятся к выбору параметров амортизатора (коэффициенты жесткости и вязкости) для обеспечения минимального перемещения массы m в вертикальном направлении.

В результате решения дифференциальных уравнений имеется возможность построить зависимости между частотой и амплитудой колебаний исследуемого объекта (амплитудно-частотная характеристика – АЧХ) при заданных параметрах колебательной системы.

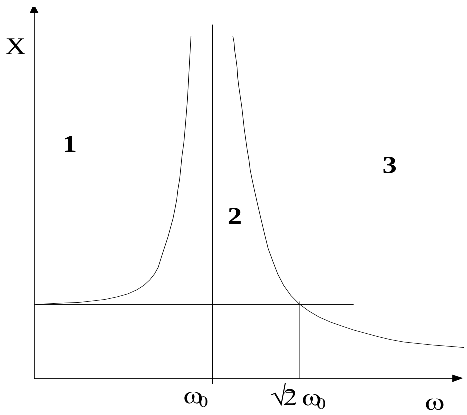

Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика

Классической является зависимость, на которой явно выражены три области: дорезонансная область (1), область резонанса (2), послерезонансная область (3) (рис.2)

Главной задачей при выборе параметров амортизатора является отыскание таких значений коэффициентов демпфирования и жесткости, при которых собственная (резонансная) частота колебаний (ω_0) исследуемой массы не совпадает с рабочей частотой (ω). Степень «несовпадения» зависит от требований, предъявляемых к машине или устройству в каждом конкретном случае. Однако, следует иметь в виду, что амортизатор будет эффективным только при условии, что $\sqrt{2} \cdot \omega_0 < \omega$. Более того, предпочтительным является работа в послерезонансной области, где АЧХ стабильна и обеспечивает тем самым, безопасность работы устройства или машины.

Применительно к строительно-дорожным машинам использование одномассовой колебательной системы для исследования рабочих процессов имеет ряд ограничений и допущений.

Прежде всего, необходимо определить, что является колеблющейся (подрессоренной) массой – сама машина или только ее рабочий орган. Далее, при выборе параметров возмущающего воздействия также необходимо иметь в виду, что неровности дороги, динамическое изменение сопротивлений на рабочем органе, имеют случайный характер и как правило не поддаются описанию в гармоническом виде. Кроме того, характеристики амортизатора (жесткость, демпфирование) не являются постоянными и изменяют свои значения, как в процессе работы, так и по объективным, не связанным с работой дорожно-строительных машин, причинам.

Основным назначением автогрейдера является планировка грунтовых площадок. В общем случае, исходные (начальные) неровности поверхности обрабатываемого участка могут быть охарактеризованы двумя величинами (рис. 3): высота неровностей (кочек) – h; шаг распределения неровностей на площадке – l. Разумеется, эти величины имеют случайный характер распределения. Для учебных целей предположим, что шаг распределения неровностей является постоянным, а высота – имеет фиксированное значение. Это позволит говорить о гармоническом воздействии неровностей дороги (основания) на автогрейдер и его рабочий орган. Если известны параметры колебательного движения хотя бы одной точки грейдера, не представляется сложным рассчитать и колебательное движение любой произвольной точки машины.

Наибольшее влияние неровности основания оказывают на переднюю ось автогрейдера. Имеет смысл говорить о кинематическом возбуждении массы автогрейдера m амплитудой воздействия h с некоторой частотой f. Рассчитав параметры колебаний передней оси машины можно перейти и к определению колебаний ее рабочего органа, а значит и к оценке качества выполненной работы.

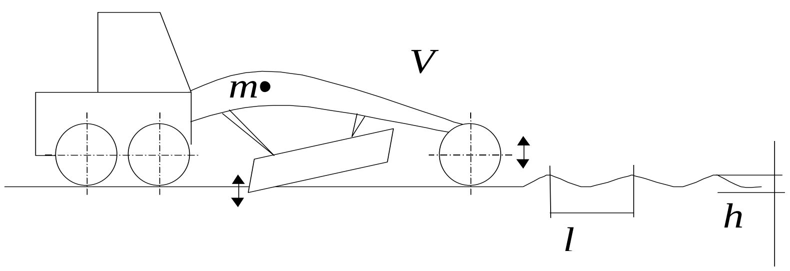

Рис. 3. Схема исследуемого процесса

Таким образом, для того, чтобы свести работу автогрейдера к одномассовой колебательной системе необходимо знать:

- массу автогрейдера;
- шаг распределения неровностей основания;
- высоту неровностей основания;
- скорость движения автогрейдера.

Исходные данные по характеристикам автогрейдеров и вариантам заданий представлены в таблице.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа выполняется с использованием программного продукта

«ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ОБЪЕКТА», созданного в Балтийском государственном техническом университете, (файл viso.exe).

Прежде чем приступать к выполнению лабораторной работы, необходимо ознакомиться с интерфейсом программы, при необходимости воспользовавшись опцией меню «ПОМОЩЬ».

Затем необходимо ввести исходные данные. (При ознакомлении с программой и установлении влияния параметров модели на ее поведение, значение коэффициента виброизоляции следует установить равным 1).

Особое внимание следует уделить правильному вводу данных, в соответствии с их размерностями.

Далее, необходимо подобрать такие значения параметров амортизатора при которых выполняется условие $\sqrt{2} \cdot \omega_0 < \omega$. При этом, следует обратить внимание на то, что рабочая частота колебаний грейдера (P_B) должна находится в послерезонансной области.

Эффективность выбранного амортизатора характеризуется минимальным полученным значением амплитуды колебаний автогрейдера и может быть оперативно оценена визуально с использованием опций меню «Колебания»-«Осциллятор и гравики» или «Колебания»-«Осциллятор и АЧХ».

После завершения исследования влияния неровностей основания на колебания грейдера необходимо сделать выводы в соответствии с целью и задачами работы и оформить отчет.

Таблица

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АВТОГРЕЙДЕРОВ И ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

№ варианта	Модель автогрейдера	Масса, т	Скорость передвижения, км/ч	Шаг неровностей основания, м	Высота неровностей основания, мм	Требуемый Кв
1	ДЗ-40	8,5	3,7–30,4	1,5	20	0,3
2	ДЗ-1	4,27	2,4–10,1	1,0	30	0,2
3	ДЗ-40	8,5	3,7–30,4	2,0	40	0,1
4	ДЗ-40А	8,5	3,25–27,0	1,8	50	0,2
5	ДЗ-61А	8,8	3,8–31,3	2,5	20	0,3
6	ДЗ-2А	13,0	3,3–26,7	1,6	30	0,2
7	ДЗ-31А	12,4	3,4–30,2	2,3	40	0,1
8	ДЗ-31	12,3	3,5–36,8	2,8	50	0,2
9	ДЗ-40	8,5	3,7–30,4	1,0	20	0,3
10	ДЗ-31А	12,4	3,4–30,2	1,2	30	0,2
11	ДЗ-40	8,5	3,7–30,4	1,7	40	0,1
12	ДЗ-2А	13,0	3,3–26,7	1,3	50	0,2
13	ДЗ-61А	8,8	3,8–31,3	2,2	20	0,3
14	ДЗ-1	4,27	2,4–10,1	0,8	30	0,2
15	ДЗ-40	8,5	3,7–30,4	1,5	40	0,1

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название, цели и задачи лабораторной работы.
2. Описание, схема исследуемого объекта (процесса) и модели, используемой при исследовании.

3. Исходные данные и результаты расчета.
4. АЧХ колебаний автогрейдера.
5. Выводы

Лабораторная работа №2
ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА МАШИНИСТА АВТОГРЕЙДЕРА

Цель работы:

1. Ознакомится с программой моделирования двухмассовой колебательной системы.
2. Исследовать работу грейдера, используя модель двухмассовой колебательной системы.

Задачи:

1. Выявить характер и степень влияния параметров амортизаторов на поведение колебательной системы.
2. Оценить влияние скорости движения автогрейдера на колебания рабочего места машиниста в зависимости от параметров, характеризующих неровности основания (дорожного полотна).
3. Подобрать параметры амортизатора кресла машиниста, обеспечивающие минимальную амплитуду колебаний рабочего места.

Для исследования колебаний рабочего места машиниста при движении автогрейдера можно использовать модель в виде одномассовой колебательной системы. Главной трудностью при выборе такой модели является неопределенность исходных параметров колебания (частоты, амплитуды) в виду того, что неровности основания оказывают влияние не непосредственно на кресло машиниста, а вызывают колебания металлоконструкции машины, которая в свою очередь, вызывает колебания рабочего места. В этой связи исследование колебательной системы "машинист–машина–основание" следует осуществлять с использованием моделей двухмассовых колебательных систем (Рис.1).

При рассмотрении двухмассовых колебательных систем принято использовать в качестве возмущающего силовое воздействие на обе или одну из масс. В общем случае гармоническое силовое воздействие зависит от характеристик вибровозбудителя и описывается уравнением

$$P_i(t) = P_{0i} \cdot \sin(\omega_i \cdot t), \tag{1}$$

$$P_{0i} = [m_i \cdot e_i] \cdot \omega_i^{\,2}, \tag{2}$$

где P_{0i} – амплитудное значение вынуждающей силы; m_i – масса дебаланса; e_i – эксцентриситет дебаланса; $[m_i \cdot e_i]$ – момент неуравновешенных масс; ω_i – частота вращения вала дебаланса.

Уравнения движения масс системы при силовом возмущении имеют вид:

$$\begin{cases} M_1 \cdot \ddot{x}_1 + b_1 \cdot \dot{x}_1 + b_2 \cdot (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot (x_1 - x_2) = P_1(t) \\ M_2 \cdot \ddot{x}_2 + b_3 \cdot \dot{x}_2 + b_2 \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_3 \cdot x_2 + c_2 \cdot (x_2 - x_1) = P_2(t) \end{cases}. \tag{3}$$

При составлении уравнений движения двухмассовой колебательной системы приняты следующие допущения:

- движение масс осуществляется только в вертикальном направлении;
- колеблющиеся тела абсолютно жесткие и их массы сосредоточены в точках;

- упругие связи линейны и обладают вязким трением;
- опоры связей – абсолютно жесткие;
- вынуждающие силы изменяются во времени строго по гармоническому закону.

Исходя из задач лабораторной работы, масса M_1 является моделью машиниста, а масса M_2 – моделью автогрейдера. Исследования колебаний автогрейдера в зависимости от неровностей основания проведены в ходе выполнения лабораторной работы №1. То есть, для массы M_2 известны частота колебаний и характеристики амортизатора. Неизвестным остается лишь возмущающее воздействие. Чтобы перейти от кинематического возмущения к силовому (используя программу "ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ОБЪЕКТА"), необходимо выполнить следующие действия:

- запомнить (записать) расчетное значение амплитуды колебаний автогрейдера для выбранных в соответствии с заданием параметров модели амортизатора;
- изменить характер воздействия с кинематического на соловой;
- подобрать такое значение амплитуды воздействия (силы) при котором расчетное значение амплитуды колебаний будет равно полученному ранее - при кинематическом возмущении;
- используя уравнение (2) рассчитать значение момента неуравновешенных масс, эквивалентный заданному кинематическому воздействию на металлоконструкцию автогрейдера.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для расчета колебаний рабочего места машиниста автогрейдера, в рамках выполнения лабораторной работы, будет использована программа "Расчет АЧХ и ФЧХ двухмассовой системы", разработанная на кафедре "Подъемно-транспортные и строительные машины" Санкт-Петербургского государственного технического университета. Прежде чем приступать к выполнению лабораторной работы, необходимо ознакомиться с интерфейсом программы, при необходимости воспользовавшись опцией меню «ПОМОЩЬ».

Программа находится в каталоге …\SDM.LAB\AMPL\… Файл AMPLM.exe.

Для заполнения окон данных в схеме колебательной системы используются клавиши <TAB>, <SHIFT>+<TAB> и <ENTER>.

При вводе исходных данных следует особое внимание уделять:

- значениям и размерностям вводимых величин;
- начальное значение изменяемого параметра должно быт меньше конечного;
- шаг изменяемого параметра должен позволять реализовать как минимум две итерации в направлении увеличения значения параметра.

Следует иметь в виду, что программа не выполнена в соответствии с принципом *KISS* (Keep it simple stupid) и неправильное обращение к ней равно как и ввод некорректных данных могут привести к блокировке работы ЭВМ (зависанию).

Основной задачей работы является определение численных значений параметров амортизатора – его жесткости и демпфирования. Возможной последовательностью выполнения работы может быть:

- ввод исходных данных (параметры колебаний и масса M_2, параметры амортизатора грейдера c_3, b_3 следует взять из лабораторной работы №1);
- выбор коэффициента демпфирования амортизатора рабочего места машиниста исходя из условия обеспечения минимального значения амплитуды колебаний, при фиксированном произвольном значении коэффициента жесткости;
- при выбранном (фиксированном) значении коэффициента демпфирования осу-

ществить выбор коэффициента жесткости исходя из необходимости обеспечить минимальное значение амплитуды колебаний рабочего места машиниста.

Используемая программа позволяет строить графики зависимостей $A=f(c)$, $A=f(b)$, что существенно упрощает процедуру выбора и обоснования тех или иных значений параметров амортизатора (A – амплитуда колебаний).

После завершения исследования влияния неровностей основания и параметров амортизаторов на колебания рабочего места машиниста автогрейдера необходимо сделать выводы в соответствии с целью и задачами работы и оформить отчет.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название, цели и задачи лабораторной работы.
2. Описание, схема исследуемого объекта (процесса) и модели, используемой при исследовании.
3. Исходные данные и результаты расчета.
4. График зависимости $A_1=f(c_2)$.
5. График зависимости $A_1=f(b_2)$.
6. График зависимости $A_1=f(\omega_2)$.
7. Выводы

Лабораторная работа №3
СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ (СТАТИСТИЧЕСКИХ) ДАННЫХ

Цель работы:

1. Ознакомиться с методом наименьших квадратов
2. Провести корреляционно-регрессионный анализ данных

Задачи:

1. Определить подходящий вид эмпирической формулы
2. Оценить тесноту связи аргумента и функции, рассчитать коэффициент корреляции
3. Определить параметры эмпирической формулы (коэффициенты уравнения регрессии)
4. Произвести оценку значимости параметров уравнения
5. Определить доверительные границы уравнения регрессии.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

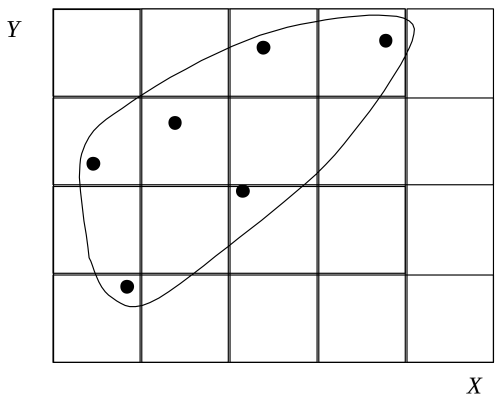

Рис. 1. Поле корреляции

Определение вида эмпирической формулы следует начинать с построения поля корреляции (поля рассеяния) и прочерчивания прикидочных кривых (рис. 1). В настоящее время нет общих правил для определения подходящего вида уравнения регрессии, однако есть эвристические способы определения вида эмпирической формулы для наиболее часто встречающихся зависимостей.

Для определения наиболее подходящего вида уравнения регрессии находят значения X_S и Y_S по формулам, приведенным в табл. 1.

Затем, используя соответствующие массивы исходных данных, определяют значение Y_S по рассчитанной величине X_S. Если X_S не находят среди исходных данных X_i, то Y_S определяют с помощью интерполяционной формулы

$$y_s = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{x+i} - x_i} \cdot (x_s - x_i),$$

где X_i и X_{i+1} – значения, между которыми находится X_S.

Таблица 1

Вид формулы	X_S	Y_{ST}	Уравнение регрессии
Линейная	$\frac{x_1 + x_n}{2}$	$\frac{y_1 + y_n}{2}$	$y = a_0 + a_1 \cdot x$
Степенная	$\sqrt{x_1 \cdot x_n}$	$\sqrt{y_1 \cdot y_n}$	$y = a_0 \cdot x^{a_1}$
Показательная	$\frac{x_1 + x_n}{2}$	$\sqrt{y_1 \cdot y_n}$	$y = a_0 \cdot a_1^{\ x}$
Гиперболическая	$\frac{2 \cdot x_1 \cdot x_n}{x_1 + x_n}$	$\frac{y_1 + y_n}{2}$	$y = a_0 + a_1 / x$
Комбинированная I	$\frac{x_1 + x_n}{2}$	$\frac{2 \cdot y_1 \cdot y_n}{y_1 + y_n}$	$y = \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot x}$
Комбинированная II	$\frac{2 \cdot x_1 \cdot x_n}{x_1 + x_n}$	$\frac{2 \cdot y_1 \cdot y_n}{y_1 + y_n}$	$y = \frac{x}{a_0 + a_1 \cdot x}$
Логарифмическая	$\sqrt{x_1 \cdot x_n}$	$\frac{y_1 + y_n}{2}$	$y = a_0 + a_1 \cdot \lg x$

Наименьшее значение $|Y_S – Y_{ST}|$ и определит вид уравнения регрессии, которым необходимо описывать исходный массив информации. Результаты расчетов для каждого возможного вида уравнения регрессии целесообразно свести в специальную таблицу для окончательного выбора подходящего вида уравнения.

Для рассмотрения смыслового содержания коэффициента корреляции, необходимо оценить отклонения аргумента и функции от их средних значений

$$(x_i - \bar{x}), (y_i - \bar{y}) \qquad (i = 1,2,...,n).$$

Однако сопоставление этих величин по всем значениям возможно только в относительных величинах. Для этого необходимо провести нормирование значений, деля их на среднеквадратические отклонения

$$\tilde{x} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} \qquad \text{и} \qquad \tilde{y} = \frac{y_i - \bar{y}}{\sigma_y}.$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}}; \qquad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}{n}}.$$

Коэффициент корреляции – это средняя величина произведения нормированных отклонений

$$r = (\tilde{x}_i \cdot \tilde{y}_i) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \tilde{x}_i \cdot \tilde{y}_i}{n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sigma_x} \cdot \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sigma_x} \cdot \frac{1}{n}.$$

Если в этой формуле произвести некоторые изменения, то будет получена зависимость, более приемлемая для машинного счета

$$r=\frac{n\cdot\sum_{i=1}^{n}x_i\cdot y_i-\sum_{i=1}^{n}x_i\cdot\sum_{i=1}^{n}\frac{y_i}{n}}{\sqrt{n\cdot\sum_{i=1}^{n}y_i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}y_i\right)^2}\cdot\sqrt{n\cdot\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2}}.$$

Если связь между признаками близка к линейной функциональной, то коэффициент корреляции равен единице ($r=\pm 1$). Если связь вообще не существует, то $r=0$. Принято считать, что при $r\leq 0{,}3$ – связь слабая, при $r=0{,}3\ldots0{,}7$ – связь средняя, при $r\geq 0{,}7$ – связь сильная, а при $r=\geq 0{,}9$ – весьма сильная.

Перед тем как определять коэффициент корреляции и параметры уравнения регрессии для нелинейных связей, их предварительно преобразуют к линейному виду, используя где необходимо логарифмирование (табл.2).

Таблица 2

Вид формулы	Исходное уравнение	X	Y	Преобразованное уравнение
Линейная	$y=a_0+a_1\cdot x$	$x=x$	$y=y$	$y=a_0+a_1\cdot x$
Степенная	$y=a_0\cdot x^{a_1}$	$x=\lg x$	$y=\lg y$	$y=\lg a_0+a_1\cdot x$
Показательная	$y=a_0\cdot a_1^{\,x}$	$x=x$	$y=\lg y$	$y=\lg a_0+\lg a_1\cdot x$
Гиперболическая	$y=a_0+a_1/x$	$x=\frac{1}{x}$	$y=y$	$y=a_0+a_1\cdot x$
Комбинированная I	$y=\frac{1}{a_0+a_1\cdot x}$	$x=x$	$y=\frac{1}{y}$	$y=a_0+a_1\cdot x$
Комбинированная II	$y=\frac{x}{a_0+a_1\cdot x}$	$x=\frac{1}{x}$	$y=\frac{1}{y}$	$y=a_0+a_1\cdot x$
Логарифмическая	$y=a_0+a_1\cdot\lg x$	$x=\lg x$	$y=y$	$y=a_0+a_1\cdot x$
Квадратическая	$y=a_0\cdot x+a_1\cdot x^2$	$x=x$	$y=\frac{y}{x}$	$y=a_0+a_1\cdot x$

После определения коэффициента корреляции необходимо оценить его значимость. Для этого определяют фактическое и теоретическое значения критерия Стьюдента. Связь между аргументом и функции может быть признана достоверной, а коэффициент корреляции – существенным, если фактическое (расчетное) значение критерия Стьюдента больше теоретического (табличного).

Фактическое значение критерия определяется по формуле

$$t_{\Phi}=\frac{r\cdot\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}.$$

Теоретическое значение критерия Стьюдента определяется по специальным таблицам для заданного значения доверительной вероятности P и количества экспериментальных точек (табл.3).

Определение параметров уравнения регрессии проводится на основе использования метода наименьших квадратов, согласно которому сумма квадратов отклонений исходных данных от результатов, полученных по уравнению регрессии, должна быть минимальна.

Для линейного регрессионного уравнения математическая запись сути метода имеет вид

$$z=\sum_{i=1}^{n}\left[y_i-\left(a_0+a_1\cdot x_i\right)\right]^2\rightarrow\min$$

Таблица 3

Кол-во точек	P при α			Кол-во точек	P при α		
	0,95	*0,95*	*0,999*		*0.95*	*0,99*	*0,999*
4	2,78	4,60	2,61	20	2,086	2,844	3,849
6	7,45	3,71	5,96	30	2,045	2,756	3,659
8	2,31	3,36	5,04	40	2,023	2,708	3,558
10	2,23	3,17	4,59	50	2,009	2,679	3,502
12	2,18	3,06	4,32	60	2,001	2,662	3,464
14	2,15	2,98	4,14	80	1,991	2,640	3,418
16	2,12	2,92	4,02	100	1,984	2,627	3,392
18	2,10	2,88	3,92	∞	1,960	2,576	3,291

Если взять частные производные по a_0 и a_1 от этого выражения, приравнять их нулю и решить систему линейных уравнений, то можно получить зависимости для расчета коэффициентов уравнения регрессии

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} (y_i \cdot x_i) \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i \right)^2};$$

$$a_1 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n} y_i \cdot x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} y_i \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i \right)^2}$$

Оценка значимости параметров уравнения регрессии проводится с помощью критерия Стьюдента. Для каждого из коэффициентов регрессии рассчитывается фактическое значение критерия

$$t_{a0} = \frac{|a_0| \cdot \sqrt{(n-2) \cdot \left[n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i \right)^2 \right]}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (y_i - y_{i\,теор})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}}$$

$$t_{a1} = \frac{|a_1| \cdot \sqrt{(n-2) \cdot \left[\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i \right)^2}{n} \right]}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (y_i - y_{i\,теор})^2}}.$$

Табличные значения критерия Стьюдента (табл.3) сравниваются с расчетными. Если расчетные значения меньше табличных, то коэффициент регрессии не является значимым и его можно приравнять нулю.

Доверительные границы для параметров уравнения регрессии определяются по формулам для a_0 – $\Delta_{a_0} = a_0 \pm t_{ТАБЛ} \cdot C_{a_0}$;

для a_1 – $\Delta_{a_1} = a_1 \pm t_{ТАБЛ} \cdot C_{a_1}$,

где Ca_0 – случайная погрешность свободного члена; Ca_1 – случайная погрешность коэффициента регрессии.

Случайные погрешности рассчитываются по зависимостям

$$C_{a_0} = \sigma_{ОСТ} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2}}{n \cdot \left[\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2} - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i \right)^2}{n} \right]}}; \qquad C_{a_1} = \frac{\sigma_{ОСТ}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2} - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i \right)^2}{n}}};$$

$$\sigma_{ОСТ}^2 = \frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - y_{i\,теор} \right]^2$$

Наименьшая ширина доверительного интервала теоретической линии регрессии определяется уравнением

$$\Delta y = \pm \frac{t_T \cdot \sigma_{ОСТ}}{\sqrt{n}}.$$

Верхняя и нижняя границы доверительного интервала теоретической функции (рис.2) соответственно определяются по уравнениям

$$y_B = y_T + \Delta y$$
$$y_H = y_T - \Delta y.$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название, цели и задачи лабораторной работы.
2. Описание, схема исследуемого объекта (процесса) и модели, используемой при исследовании.
3. Исходные данные и основные этапы их обработки.
4. Алгоритм и блок-схема обработки экспериментальных данных.
5. Листинг программы.
6. Результаты расчета коэффициента корреляции, определения параметров уравнения регрессии и оценки достоверности полученного уравнения.
7. Графическое представление исходных данных и результатов их обработки.
8. Выводы

Лабораторная работа №4
СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Цель работы:

1. Освоить навыки и способы создания математических моделей на основе «жестких» данных, представленных в виде табличных данных, графических или аналитических зависимостей.
2. Построить 4-х параметрическую математическую модель двигателя внутреннего сгорания по его регуляторной характеристике.

Задачи:

1. Проанализировать вид и характер зависимостей, представленных в регуляторной характеристике двигателя;
2. Выбрать метод математического описания зависимостей для каждой из пар моделируемых параметров;
3. Разработать алгоритм работы математической модели и составить его блок-схему;
4. Реализовать алгоритм в виде подпрограммы с минимальным количеством входных и выходных параметров.

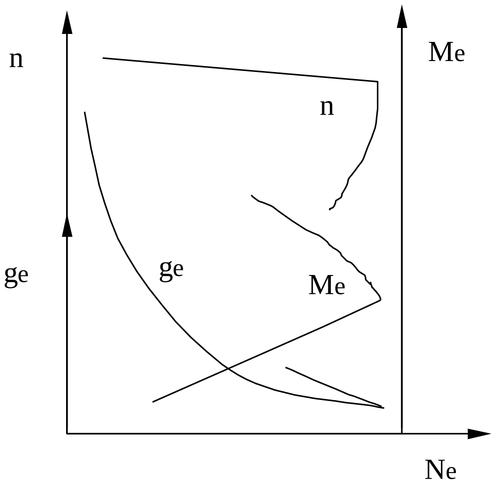

Рис. 1. Нагрузочно-регуляторная харак-

В качестве исходных данных для выполнения лабораторной работы используется график нагрузочной и регуляторной характеристик двигателя внутреннего сгорания (рис. 1). График представляет собой зависимость частоты вращения коленчатого вала двигателя (n), момента на валу двигателя (Me) и удельного расхода топлива (ge) от мощности, обеспечиваемого силовой установкой (Ne).

Разработанная математическая модель должна обеспечивать получение численных значений произвольной комбинации параметров работы двигателя для любого из задаваемых параметров. Например, используя в качестве входных параметров модели мощность, обеспечиваемую двигателем, пользователь должен получить информацию об оборотах, моменте и удельном расходе топлива. При вводе числа оборотов двигателя, пользователь должен получить информацию о мощности, моменте и удельном расходе топлива двигателя и т.д.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

После получения исходных данных необходимо проанализировать характер зависимостей параметров двигателя и определиться со способом реализации алгоритма работы математической модели.

Необходимо обратить внимание на следующие моменты:

- численные значения параметров двигателя имеют конечные значения и модель должна "реагировать" на ошибочно введенные данные;
- модель должна учитывать и режим работы двигателя (нагрузочный и регуляторный).

При выборе способа реализации математической модели возможны следующие подходы:

1. каждый из графиков или каждая из ветвей графиков могут быть представлены в табличной (матричной) форме с возможностью быстрого поиска по "узловым" точкам. Это потребует высокой точности при переводе графической информации в цифровой вид и не позволит при использовании модели исследовать промежуточные (неузловые) значения параметров двигателя;
2. каждый из графиков или каждая из ветвей графиков могут быть представлены в табличной (матричной) форме по "узловым" точкам, а поиск значений параметров при "неузловых" значениях параметров осуществляется по интерполяционным зависимостям. Это позволит исследовать модель при любых значениях

параметров двигателя;
3. каждый из графиков или каждая из ветвей графиков могут быть представлены в виде регрессионных зависимостей. Это потребует дополнительной работы на подготовительном периоде (определение параметров уравнений регрессии), но максимально упрощает алгоритм модели и позволяет исследовать любые числовые значения параметров.

После выбора способа реализации модели необходимо разработать алгоритм и составить программу моделирования двигателя внутреннего сгорания. Модель следует оформлять в виде подпрограммы с характерным названием (SMD-14, AM-01, D-108 и т.д.) в соответствии с вариантом.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Марка ДВС	Д130	Д180	Д108	Д54А	СМД7	Д48	АМ03	АМ01	СМД14	Д50	Д21	Д22

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название, цели и задачи лабораторной работы.
2. Исходные данные и описание метода реализации модели.
3. Алгоритм и листинг программы моделирования.

Лабораторная работа №5
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМУМА ФУНКЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВИДА ИЛИ ЗАДАННОЙ НЕЯВНО

Цель работы:

Освоение навыков оптимального проектирования и поиска решений в условиях многокритериальной задачи.

Задачи:
1. Выбрать метод оптимизации;
2. Обосновать критерий оптимизации;
3. Разработать алгоритм и блок-схему, реализующие выбранный метод оптимизации;
4. Составить программу;
5. Определить оптимальный режим работы двигателя внутреннего сгорания по произвольно заданным условиям (ограничениям).

Заключительным и важным этапом проектирования является определение оптимальных параметров объекта, системы, процесса или их математических моделей. Наиболее простым и широко используемым способом поиска оптимума для математических моделей является поиск экстремума функции (основной зависимости модели). Алгоритм поиска экстремума прост:
1. Взять первую производную функции;
2. Приравнять производную нулю и, решив алгебраическое уравнение, определить при каких значения аргумента функция имеет экстремум;
3. Выяснить, является ли определенный оптимум (экстремум) минимальным или

максимальным.

Для того, чтобы определить к какому типу оптимумов относится экстремум, необходимо выяснить, как изменяется знак производной при переходе через нулевое значение. Если производная меняет свой знак с «+» на «–», то найденный оптимум является максимальным.

Однако, у этого способа отыскания оптимума есть существенные недостатки, ограничивающие его применение. Прежде всего – исследуемая на оптимум функция должна быть непрерывна. Кроме того, она должна быть «гладкой», иначе невозможно будет взять производную на участке «перегиба». В таких случаях говорят о непрерывности, однозначности и определенности производной на исследуемом участке. Зависимости, представленные на рис. 1 не соответствуют этим требованиям и производить их исследование на оптимальность требует особого внимания.

Для отыскания оптимума сложных или явно не определенных функций используется несколько методов (рис. 2). Однако, все они применимы при условии, что исследуемая функция является унимодальной. Особенностью унимодальных функций является то, что они должны удовлетворять следующим условиям для произвольных пар аргументов (X_1, X_2) и значений функции (Y_1, Y_2):

$$\begin{cases} \text{при поиске максимума если } x_1 > x_{опт}, \text{ то } y_1 > y_2 \\ \text{при поиске минимума если } x_1 > x_{опт}, \text{ то } y_1 < y_2 \end{cases};$$

$$\begin{cases} \text{при поиске максимума если } x_2 < x_{опт}, \text{ то } y_1 > y_2 \\ \text{при поиске минимума если } x_2 < x_{опт}, \text{ то } y_1 < y_2 \end{cases}.$$

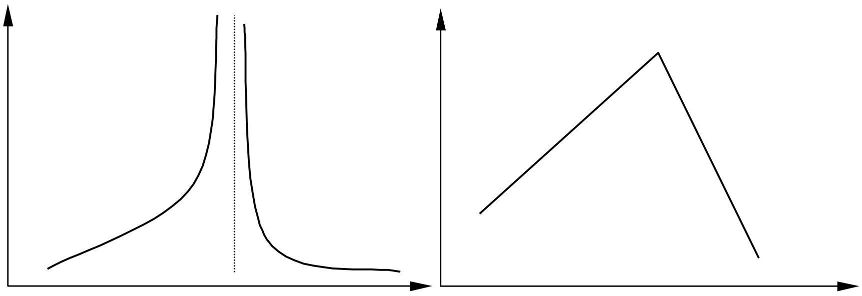

Рис. 1. Функции, не подлежащие исследованию на экстремум

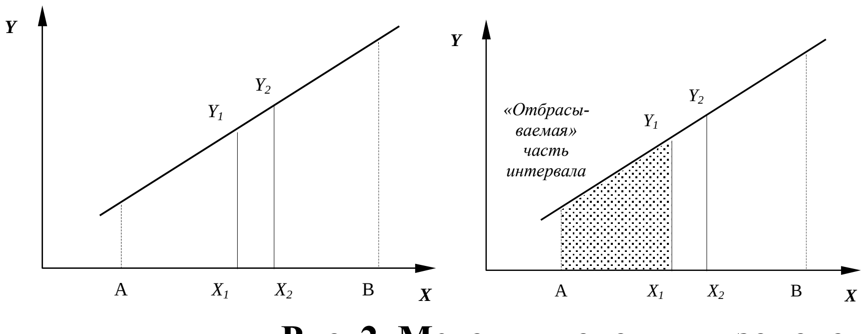

Рис. 2. Метод дихотомии, «золотого сечения»

К рассмотрению предлагается два метода поиска оптимума:

- метод *дихотомии*;
- метод «*золотого сечения*».

__МЕТОД ДИХОТОМИИ__

Метод основан на последовательном рассмотрении небольших отрезков аргументов на исследуемом интервале и, в зависимости от направления наклона функции, отбрасывании «ненужной» половины интервала аргументов.

Алгоритм метода (при поиске максимума)

1. Ограничиться интервалом [*A*, *B*], на котором будет осуществляться поиск оптимума;
2. Определить значения абсцисс двух точек (X_1, X_2), лежащих вблизи средины исходного интервала [*A*, *B*];
   - *для этого необходимо исходный интервал разделить пополам и от середины отложить влево и вправо отрезки длиной ΔX/2, где ΔX – элементарный шаг изменения аргумента функции (например – грамм, секунда, миллиметр*);

     $X_1 = \left(A + \frac{B-A}{2}\right) - \frac{\Delta X}{2}$; $\qquad X_2 = \left(A + \frac{B-A}{2}\right) + \frac{\Delta X}{2}$.
3. Определить значения целевой функции Y_1, Y_2 для точек X_1, X_2;
4. Определить следующий интервал поиска оптимума;
   - *для этого, используя свойства унимодальной функции, если $Y_2 \geq Y_1$, то левой границе интервала присваивается значение $A=X_1$ (интервал [A, X_1] отбрасывается); если $Y_2 \leq Y_1$, то правой границе интервала присваивается значение $B=X_2$ (интервал [X_2, B] отбрасывается);*
   - *значения Y_1 и Y_2 проверяются на принадлежность к оптимуму (сравниваются с оптимальным значением функции после предыдущего шага);*
5. Проверить условия окончания поиска оптимума;
   - *если $[Y_{ОПТ\ (i+1)} - Y_{ОПТ\ (i)}] \leq \varepsilon$, то оптимум обнаружен (ε – погрешность поиска оптимума);*
   - *если $[B–A] \leq \Delta X$, то поиск оптимума невозможен, так как исследуемый интервал соизмерим с элементарным шагом поиска;*
   - *если $i>i_{max}$, то поиск оптимума следует завершить, так как превышено заданное максимальное количество шагов (итераций);*
6. Если поиск оптимума не прекращен по условиям п.5, то осуществляется переход к п.2.

МЕТОД «ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ»

Метод основан на последовательном рассмотрении небольших отрезков аргументов на исследуемом интервале и, в зависимости от направления наклона функции, отбрасывании «ненужной» части интервала аргументов. Отбрасываемая часть составляет 0,6180339 от текущего интервала.

Алгоритм метода (при поиске максимума)

1. Ограничиться интервалом [*A*, *B*], на котором будет осуществляться поиск оптимума;
2. Определить значения абсцисс двух точек (X_1, X_2), лежащих вблизи средины исходного интервала [*A*, *B*];
   - $X_1 = B - (B-A)\cdot 0.6810339$, $X_2 = A + (B-A)\cdot 0.6810339$, *при этом одна из точек совпадет с одной из точек, определенных на предыдущем шаге, а значит и проводить повторные вычисления нет необходимости;*
3. Определить значения целевой функции Y_1 или Y_2 для точек X_1 или X_2 *(в зависимости от того, какая из точек не совпала с предыдущей итерацией)*;

4. Определить следующий интервал поиска оптимума;
   - *для этого, используя свойства унимодальной функции, если $Y_2 \geq Y_1$, то левой границе интервала присваивается значение $A=X_1$ (интервал $[A, X_1]$ отбрасывается); если $Y_2 \leq Y_1$, то правой границе интервала присваивается значение $B=X_2$ (интервал $[X_2, B]$ отбрасывается);*
   - *значения Y_1 и Y_2 проверяются на принадлежность к оптимуму (сравниваются с оптимальным значением функции после предыдущего шага);*
5. Проверить условия окончания поиска оптимума;
   - *если $[Y_{ОПТ\ (i+1)} - Y_{ОПТ\ (i)}] \leq \varepsilon$, то оптимум обнаружен ($\varepsilon$ – погрешность поиска оптимума);*
   - *если $[B–A] \leq \Delta X$, то поиск оптимума невозможен, так как исследуемый интервал соизмерим с элементарным шагом поиска;*
   - *если $i>i_{max}$, то поиск оптимума следует завершить, так как превышено заданное максимальное количество шагов (итераций);*
6. Если поиск оптимума не прекращен по условиям п.5, то осуществляется переход к п.2.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения лабораторной работы следует использовать математическую модель двигателя внутреннего сгорания, разработанную в предыдущей работе. Математическая модель по сути своей является неявно описанной функцией нескольких переменных и, следовательно, может быть подвергнута оптимизации по одному из параметров или по группе параметров.

Выбрав один из методов поиска оптимума необходимо разработать алгоритм и произвести поиск оптимального режима работы двигателя внутреннего сгорания по параметру, заданному преподавателем

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название, цели и задачи лабораторной работы.
2. Описание метода оптимизации режима работы двигателя.
3. Блок-схема алгоритма и программа оптимизации.
4. Исходные данные и результат расчета

Лабораторная работа №6
ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР "КОМПАС"

<u>Цель работы:</u>

Приобретение навыков использования САПР "КРМПАС" и создания геометрических моделей с несложной структурой.

<u>Задачи:</u>

1. Создать рабочие чертежи геометрических объектов, используя объемные изображения этих объектов.
2. Создать трехмерные модели геометрических объектов.
3. Создать рабочие чертежи геометрических объектов, используя в качестве источников данных трехмерные модели.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

На основе данных и изображений геометрических фигур (рис.1 -6) необходимо создать рабочие чертежи, необходимые и достаточные для изготовления изделий. Далее, необходимо создать трехмерные модели этих же объектов и на их основе получить "плоские" чертежи. Сравнить созданные чертежи с чертежами, сгенерированными на основе трехмерных моделей.



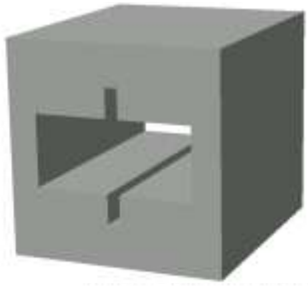
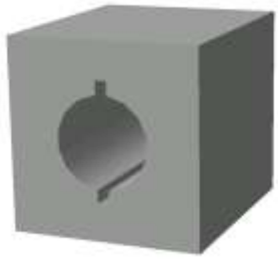
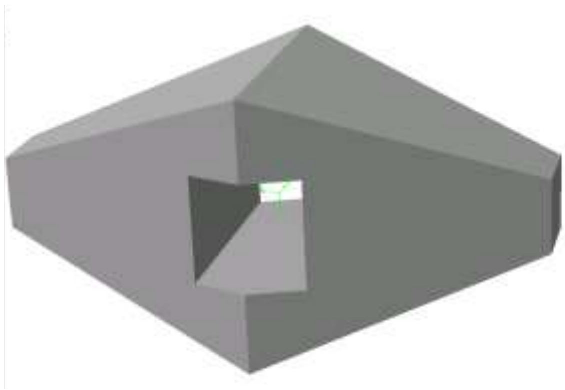
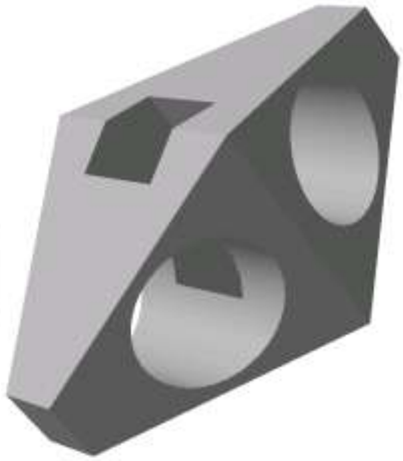

	рисунок 1 ------------------ рисунок 4							рисунок 5-----6					
вариант	D	d	H	h	L	Y	y	a	b	c	d	e	f
1	50	25	30	5	100	45	15	10	60	40	100	10	50
2	60	30	35	6	120	54	18	12	72	48	120	12	60
3	70	35	40	7	140	63	21	14	84	56	140	14	70
4	80	40	45	8	160	72	24	16	96	64	160	16	80
5	90	45	50	9	180	81	27	18	108	72	180	18	90
6	100	50	55	10	200	90	30	20	120	80	200	20	100
7	110	55	60	11	220	99	33	22	132	88	220	22	110
8	120	60	65	12	240	108	36	24	144	96	240	24	120
9	130	65	70	13	260	117	39	26	156	104	260	26	130
10	140	70	75	14	280	126	42	28	168	112	280	28	140
11	150	75	80	15	300	135	45	30	180	120	300	30	150
12	160	80	85	16	320	144	48	32	192	128	320	32	160

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Набор файлов с чертежами и моделями.