

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ»**

## **1. Цель и задачи выполнения курсовой работы**

Курсовая работа по дисциплине «Численные методы в энергомашиностроении» выполняется студентами в 5 семестре и состоит из трех блоков, которые они выполняют в течение семестра. Цель работы – является изучения расчета деталей ДВС при действии напряжений, переменных во времени, а также решение задач теории упругости с использованием полиномов и основ используемых в настоящее время численных методов, в том числе, метода сеток.

Задачей выполнения курсовой работы по дисциплине «Численные методы в энергомашиностроении» является получение новых знаний о численных методах расчета деталей и узлов в энергомашиностроении (приближенные методы теории упругости, метод сеток) с использованием ПЭВМ за счет самостоятельного выполнения заданий, выданных преподавателем. Полученные знания применяются студентами в курсовом и дипломном проектировании, проводимом на кафедре.

## **2. Порядок выполнения работы**

Практически руководство курсовой работой начинается с выдачи студентам заданий. После вводной лекции обычно следует индивидуальная беседа руководителя со студентом, в ходе которой выясняются заинтересованность темой и степень подготовленности студента к выполнению задания, а также даются рекомендации с учетом особенностей темы, научно-теоретической и практической подготовки студента.

Как показала практика выполнения курсовых работ, наилучшие результаты проектирование дает тогда, когда проводится в специализированных (например компьютерных) классах кафедры. В этом случае достаточно просто выяснить все непонятные вопросы, методы расчета, которые неизбежно встречаются при выполнении курсовой работы. При этом каждый студент знакомится с работой своих товарищей и при желании становится участником обсуждения тем, проводимых руководителем при просмотре выполненных работ. Индивидуальные консультации также способствуют развитию самостоятельной работы студентов, так как помогают им понять допущенные ошибки и найти правильные пути к достижению необходимого результата.

Блоки заданий выдаются студентам последовательно, а после выполнения работы студенты. В период выполнения курсовой работы проводится контроль самостоятельной работы студентов по освоению материала, прочитанного на лекциях, изученного на практических занятиях. Для этого детально расписывается график выполнения курсовой

работы по индивидуальному заданию, которое выдается каждому студенту в начале семестра. К каждому рейтингу в течение семестра необходимо представить часть расчетно-пояснительной записки на листах бумаги формата А4. Образец оформления титульного листа расчетно-пояснительной записки приводится в прил. 1.

### 3. Темы курсовых работ

#### Блок 1.

##### Задание 1.

Дано: Эскиз вала (табл. 1).

1. Размеры детали (по указанию преподавателя).
2. Величина нормальных и касательных напряжений (табл. 2).
3. Состояние поверхность после обработки.
4. Материал вала.

Требуется: установить эквивалентное напряжение для простых видов деформации и определить коэффициент запаса прочности для сложного напряженного состояния.

Таблица 1

Эскизы деталей и их размеры

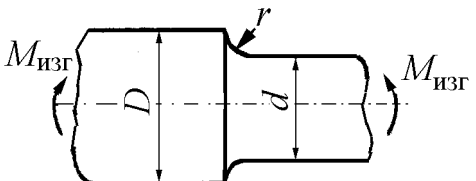
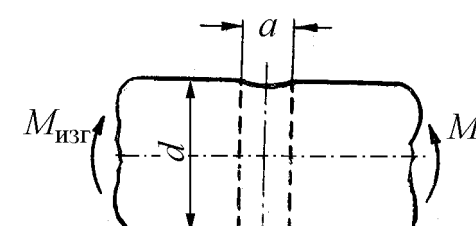
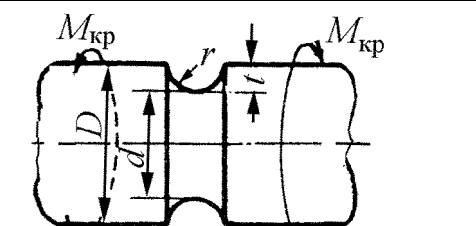
Номер детали	Эскиз	№ п/п	Размеры детали, мм			
			$D$	$d$	$r$	$a$
1		1	48	32	3	—
		2	50	40	5	—
		3	60	45	5	—
		4	60	50	6	—
		5	75	52	8	—
		6	72	58	7	—
		7	72	60	6	—
		8	75	60	5	—
2		1	—	35	—	3,5
		2	—	45	—	4,5
		3	—	55	—	5
		4	—	65	—	4,5
		5	—	75	—	5
		6	—	65	—	4,5
		7	—	55	—	5,5
		8	—	45	—	6,5
		9	—	35	—	6
		10	—	45	—	5
3		1	48	45	3	—
		2	50	45	5	—
		3	60	55	5	—
		4	60	54	6	—
		5	75	67	8	—
		6	72	65	7	—
		7	72	66	6	—
		8	75	70	5	—
		9	80	73	7	—
		10	85	80	5	—

Таблица 2  
Величина нормальных и касательных напряжений (к табл. 1)

№ п/п.	$\sigma_{\max}$ , МПа	$\sigma_{\min}$ , МПа	$\tau_{\max}$ , МПа	$\tau_{\min}$ , МПа
1	100	-80	40	-20
2	200	-65	30	10
3	250	-75	35	-25
4	230	-45	50	-20
5	150	-35	45	-25
6	165	-25	35	-35
7	210	-35	40	-30
8	215	-24	50	-35
9	220	46	45	-25
10	225	56	35	20
11	215	45	45	-35
12	245	35	55	-25
13	235	24	56	-25
14	225	-45	65	-35
15	215	-34	75	-45
16	220	-25	45	-35
17	200	-25	57	-45
18	205	-35	76	-65
19	208	-45	78	-75
20	210	-55	56	-35

#### Материал вала

Приведенные в табл. П16.1 валы изготовлены:

Эскиз 1 – из сталей 45Х, 40ХН, 40Х.

Эскиз 2 – из сталей 40ХФ, 50ХФ, 12ХНЗА.

Эскиз 3 – из сталей 40ХМА, 19ХНВА, 37ХНЗА.

#### Состояние поверхности

При расчете запасов прочности учесть состояние поверхности валов:

Эскиз 1 – тонкое шлифование.

Эскиз 2 – грубое полирование.

Эскиз 2 – грубое полирование.

**Примечание.** Необходимость расчета по усталостному разрушению или по текучести устанавливается по предельным значениям  $k_\sigma$  или  $k_\tau$  (прил. 1, табл. П1.4, П1.5 в учебном пособии [2]). Если по нормальным и касательным напряжениям расчет запаса прочности ведется по разным критериям, то при сложном напряженном состоянии необходимо провести расчет как по усталостному разрушению, так по текучести.

Если запасы прочности оказываются ниже нормативных, то разрабатываются мероприятия по повышению прочности и проводится новый расчет.

#### Задание 2.

##### Расчёт щеки коленчатого вала поршневого двигателя

1. Нарисовать эскиз коленчатого вала по исходным данным и найти ширину щеки при статическом расчёте.

2. Провести поверочный расчёт щеки при действии переменных напряжений и найти общий запас прочности.

**Примечание.** Размеры щеки могут корректироваться по результатам поверочного расчёта или исходя из статистических данных, приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Размеры шеек и нагрузки на коленчатый вал

№ п/п	$D_{кш}$ , мм	$D_{шш}$ , мм	$r_{кр}$ , мм	Изгибающий момент, Н·м		Крутящий момент, Н·м	
				$M_{max}$	$M_{min}$	$M_{max}$	$M_{min}$
1	75	68	62,5	776	-300	650	-260
2	70	65	60	750	-250	480	-300
3	72	66	58	800	-280	550	-240
4	70	68	56	780	-270	625	-187
5	72	67	57	720	-320	585	-245
6	73	66	55	715	-325	625	-315
7	76	68	62	785	-350	615	-325
8	75	66	60	795	-315	585	-215
9	75	65	58	780	-310	565	-235
10	72	65	58	760	-315	625	-225
11	70	62	55	725	-310	580	-315
12	68	65	50	715	-315	625	-215
13	70	65	56	710	-225	615	-210
14	72	66	58	715	-214	610	-213
15	73	65	55	716	-210	612	-211
16	74	65	56	717	-215	611	-210
17	75	68	58	719	-213	595	-209
18	75	67	55	718	-209	597	-207
19	75	66	54	717	-208	596	-204
20	76	66	55	714	-206	585	-202
21	77	65	56	714	-205	575	-187
22	75	65	55	725	-211	585	-202
23	75	66	56	715	-185	575	-185
24	75	65	66	717	-186	585	-186
25	75	65	64	715	-187	595	-187
26	72	66	65	718	-188	585	-186
27	70	65	55	716	-187	596	-187
28	72	65	55	718	-196	593	-189
29	74	65	56	717	-197	595	-192
30	75	66	58	719	-198	596	-193

Для выбора коэффициентов, необходимых при расчете запаса прочности необходимо воспользоваться приложениями [1] с. 118-138. В учебном пособии имеются также примеры решения типовых задач.

## Блок 2.

### ЗАДАНИЕ 3. РЕШЕНИЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИЙ НАПРЯЖЕНИЙ

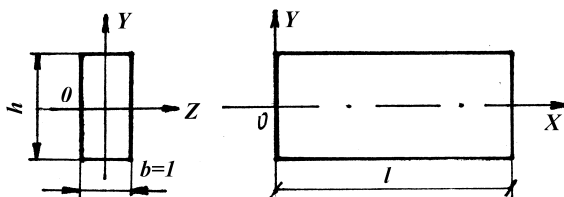


Рис. к задаче 1

Рассматривается полоса-балка узкого прямоугольного сечения (см. рис.) длиной  $l$ , высотой  $h$  и толщиной  $b=l$ . Начало координат принято в середине левого торца; главные оси поперечного сечения –  $O_y$  и  $O_z$ ;

продольная ось  $O_x$  проходит посередине полосы. Объёмными силами можно пренебречь.

Заданы выражения для функции напряжений (см. табл. 4).

Требуется:

1. проверить, может ли предложенная функция быть принята для решения плоской задачи теории упругости ([1], п. 5.3, 5.4);
2. пользуясь формулами напряжений Эри, найти выражения для напряжений;
3. построить эпюры напряжений для одного произвольного сечения, перпендикулярного оси  $X$ , и другого, перпендикулярного оси  $Y$ ;
4. установить с помощью уравнений теории упругости граничные воздействия на полосу и дать их изображение на рисунке полосы;
5. дать заключение относительно вида деформации заданной полосы-балки.

№ п/п	Вариант 1		Вариант 2	
	Функция 1	Функция 2	Функция 1	Функция 2
1	$\varphi = ax^2 + by^2$	$\varphi = axy^3 + by^2$	$\varphi = ay^3 + bx^2$	$\varphi = axy + bx^3$
2	$\varphi = ax^2 + bxy$	$\varphi = axy^3 + bxy$	$\varphi = axy^2 + by^3$	$\varphi = axy + bx^2y$
3	$\varphi = ax^2 + bx^3$	$\varphi = axy^3 + bx^3$	$\varphi = axy^2 + by^2$	$\varphi = axy + bxy^2$
4	$\varphi = ax^2 + bx^2y$	$\varphi = axy^3 + bx^2y$	$\varphi = axy^2 + bx^3$	$\varphi = axy + by^3$
5	$\varphi = ax^2 + bxy^2$	$\varphi = axy^3 + bxy^2$	$\varphi = axy^3 + by^2$	$\varphi = axy + bxy^3$
6	$\varphi = ax^2 + by^3$	$\varphi = axy^3 + by^3$	$\varphi = axy^3 + bxy$	$\varphi = ax^3 + bx^2y$
7	$\varphi = ax^2 + bxy^3$	$\varphi = axy + bx^3$	$\varphi = axy^3 + bx^2$	$\varphi = ax^3 + bxy^2$
8	$\varphi = ay^2 + bxy$	$\varphi = axy + bx^2y$	$\varphi = ay^3 + bxy$	$\varphi = ax^3 + by^3$
9	$\varphi = ay^2 + bx^3$	$\varphi = axy + bxy^2$	$\varphi = axy^2 + by^2$	$\varphi = ax^3 + bxy^3$
10	$\varphi = ay^2 + bx^2y$	$\varphi = axy + by^3$	$\varphi = axy + by^2$	$\varphi = ax^2y + bxy^2$
11	$\varphi = ay^2 + bxy^2$	$\varphi = axy + bxy^3$	$\varphi = ax^3 + by^2$	$\varphi = ax^2y + by^3$
12	$\varphi = ay^2 + by^3$	$\varphi = ay^3 + bx^2y$	$\varphi = ax^3 + bxy$	$\varphi = ax^2y + bxy^3$
13	$\varphi = ay^2 + bxy^3$	$\varphi = ay^3 + bxy^2$	$\varphi = ax^3 + by^2$	$\varphi = ay^3 + bxy^3$
14	$\varphi = axy + bx^3$	$\varphi = ay^3 + bx^2$	$\varphi = ax^2 + by^2$	$\varphi = axy^3 + by^2$
15	$\varphi = axy + bx^2y$	$\varphi = axy^2 + by^3$	$\varphi = ax^2 + bxy$	$\varphi = axy^3 + bxy$
16	$\varphi = axy + bxy^2$	$\varphi = axy^2 + by^2$	$\varphi = ax^2 + bx^3$	$\varphi = axy^3 + bx^3$
17	$\varphi = axy + by^3$	$\varphi = axy^2 + bx^3$	$\varphi = ax^2 + bx^2y$	$\varphi = axy^3 + bx^2y$
18	$\varphi = axy + bxy^3$	$\varphi = axy^3 + by^2$	$\varphi = ax^2 + bxy^2$	$\varphi = axy^3 + bxy^2$
19	$\varphi = ax^3 + bx^2y$	$\varphi = axy^3 + bxy$	$\varphi = ax^2 + by^3$	$\varphi = axy^3 + by^3$
20	$\varphi = ax^3 + bxy^2$	$\varphi = axy^3 + bx^2$	$\varphi = ax^2 + bxy^3$	$\varphi = axy + bx^3$
21	$\varphi = ax^3 + by^3$	$\varphi = ay^3 + bxy$	$\varphi = ay^2 + bxy$	$\varphi = axy + bx^2y$
22	$\varphi = ax^3 + bxy^3$	$\varphi = axy^2 + by^2$	$\varphi = ay^2 + bx^3$	$\varphi = axy + bxy^2$
23	$\varphi = ax^2y + bxy^2$	$\varphi = axy + by^2$	$\varphi = ay^2 + bx^2y$	$\varphi = axy + by^3$
24	$\varphi = ax^2y + by^3$	$\varphi = ax^3 + by^2$	$\varphi = ay^2 + bxy^2$	$\varphi = axy + bxy^3$
25	$\varphi = ax^2y + bxy^3$	$\varphi = ax^3 + bxy$	$\varphi = ay^2 + by^3$	$\varphi = ay^3 + bx^2y$

Примеры решения подобных задач приведены в учебном пособии [1], с. 86-88.

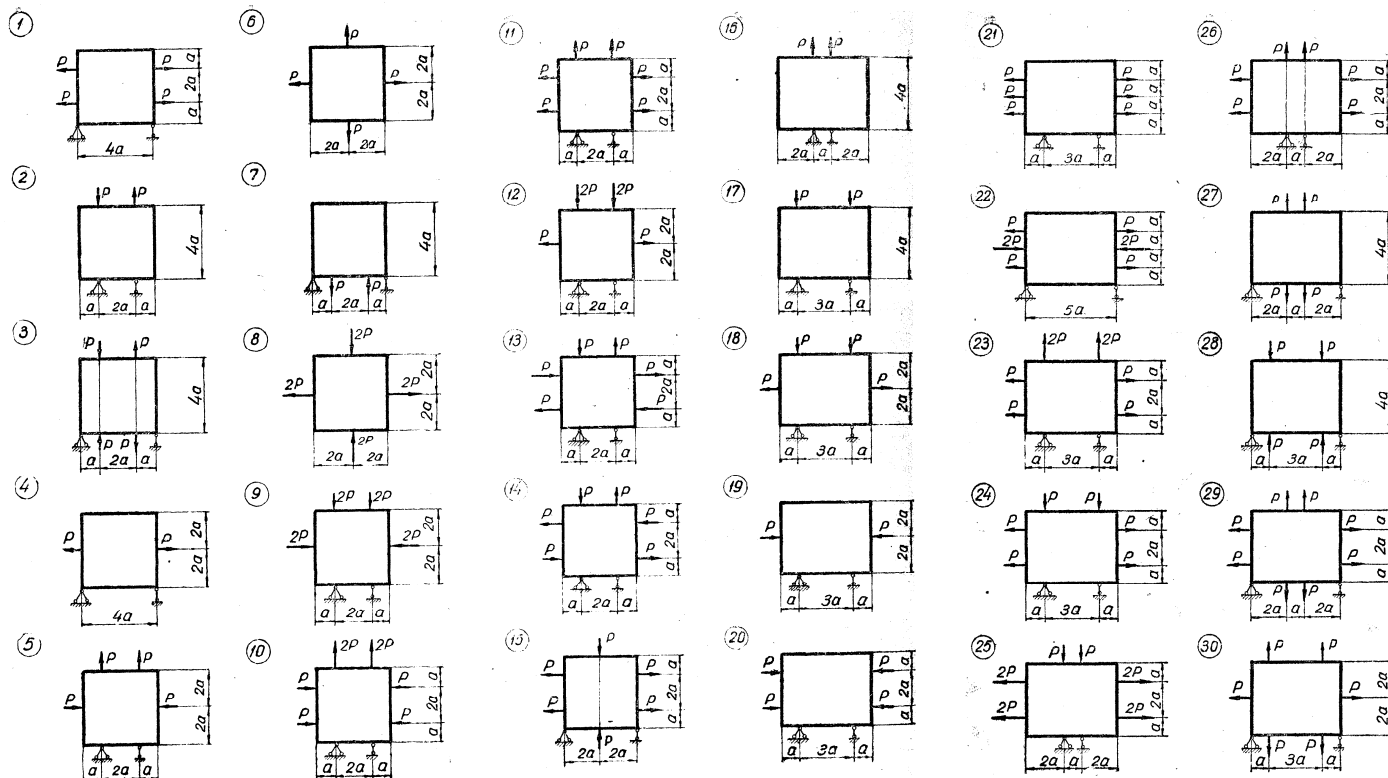
### Блок 3

#### Задание 4

Для приведённой на схеме балки-стенки (см. рис) требуется:

- Используя метод сеток, определить значение функции  $\varphi$  в узлах сетки.
- Построить эпюры напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$  по характерным сечениям.

Решить задачу в общем виде.



Поскольку задание 4 носит комплексный характер, то рекомендуется перед началом выполнения работы ознакомиться с решением, приведенным в учебном пособии [1], с. 108-115, а также 143-148.

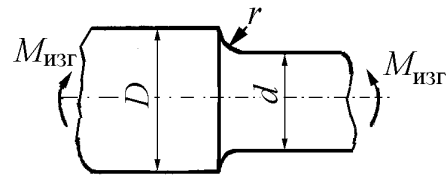
#### 4. Основные требования к написанию курсовой работы

После выполнения расчетов каждый блок курсовой работы оформляется для защиты перед преподавателем. Расчетно-пояснительная записка оформляется на листах бумаги А4 на компьютере или черной ручкой. Чертежи при необходимости оформляются также либо на компьютере или карандашом. В записке должно быть приведено порядок выполнения каждого задания с указанием, откуда взяты зависимости для вычисления, а также как выбираются необходимые коэффициенты. Ниже приводится пример такого оформления (все ссылки в примере на приложения, приведенные в учебном пособии [2]).

**Пример.** Определить предел выносливости при изгибе по симметричному циклу для шлифованного ступенчатого вала в месте изменения его диаметра с  $d = 80$  до  $D = 100$  мм. Радиус галтели  $r = 6$  мм (рис. 44). Материал вала – сталь 45. Ее механические

характеристики равны:  $\sigma_B = 600$  МПа;  $\sigma_{-1}^I = 260$  МПа.

**Решение.** Из рис. П2.1 для  $\frac{r}{d} = \frac{6}{80} = 0,075$  и  $\frac{D}{d} = 2$  по кривой 3 (углеродистая сталь  $\sigma_B = 500$



МПа, диаметр модели  $d_1=30\dots50$  мм) находим  $(K_\sigma)_{d_1} = 1,70$  (за диаметр  $d_1$  принимаем среднюю величину интервала  $30\dots50$  мм, т. е.  $d_1=40$  мм).

Поправку, учитывающую влияние предела прочности  $\xi_\sigma$ , определяем из рис.П2.2 прил. 2. Для  $\sigma_B = 600$  МПа и  $\frac{r}{d} = 0,075$  поправочный коэффициент  $\xi_\sigma = 1,02$  и при  $\frac{D}{d} = 2$  коэффициент концентрации

$$(K_\sigma)_{d_1}' = \xi_\sigma (K_\sigma)_{d_1} = 1,02 \cdot 1,7 = 1,73.$$

Поправку, учитывающую влияние отношения диаметров  $D/d$ , находим из рис. П3.3 прил. 3. Для  $\frac{D}{d} = \frac{100}{80} = 1,25$  по кривой 1 поправочный коэффициент  $\xi_d = 0,84$  и коэффициент концентрации с учетом поправки для  $D/d$  будет равен

$$(K_\sigma)_{d_1}'' = 1 + \xi_d [(K_\sigma)_{d_1}' - 1] = 1 + 0,84(1,73 - 1) = 1,61.$$

Эффективный коэффициент концентрации напряжений для детали ( $d = 80$  мм) определяем по формуле (33) (с заменой  $(K_\sigma)_{d_1}$  на  $(K_\sigma)_{d_1}''$ ):

$$(K_\sigma)_D = (K_\sigma)_{d_1}'' \frac{(\varepsilon_{\sigma_{ск}})_{d_1}}{(\varepsilon_{\sigma_{ск}})_d (\varepsilon_\sigma)_{d_1}}.$$

Из рис. 37 находим по кривой 4 при  $d_1 = 40$  мм,  $(\varepsilon_{\sigma_{ск}})_{d_1} = 0,73$ ; при  $d = 80$  мм,  $(\varepsilon_{\sigma_{ск}})_d \approx 0,63$ . По кривой 2 при  $d_1 = 40$  мм,  $(\varepsilon_\sigma)_{d_1} = 0,85$ .

Подставляя найденные величины, получим:

$$(K_\sigma)_D = (K_\sigma)_{d_1}'' \frac{(\varepsilon_{\sigma_{ск}})_{d_1}}{(\varepsilon_{\sigma_{ск}})_d \cdot (\varepsilon_\sigma)_{d_1}} = 1,61 \frac{0,73}{0,63 \cdot 0,85} = 2,20.$$

Так как коэффициент  $(K_\sigma)_{d_1}$  определялся на образцах достаточно большого диаметра ( $d_1 = 40$  мм), то для определения эффективного коэффициента концентрации  $(K_\sigma)_D$  можно воспользоваться приближенной формулой (35)

$$(K_\sigma)_D = \frac{(K_\sigma)_{d_1}''}{(\varepsilon_\sigma)_d}.$$

Для диаметра  $d = 80$  мм по кривой 2 рис. 37 находим  $(\varepsilon_{\sigma})_d = 0,73$ ;  $(K_{\sigma})_{d_1}'' = 1,61$  нами уже найдено ранее, следовательно

$$(K_{\sigma})_d = \frac{1,61}{0,73} = 2,21.$$

Коэффициент поверхностной чувствительности  $\beta$  для шлифованной поверхности при  $\sigma_B = 600$  МПа находим по кривой 2 рис. 42  $\beta = 0,93$  или по формуле  $\beta = 1 - 0,0001 \sigma_B = 1 - 0,0001 \cdot 600 = 0,94$ .

Предел выносливости вала при симметричном цикле вычисляем по формуле (38)

$$(\sigma_{-1k})_d = \frac{(\sigma_{-1})_{d_0}'' \cdot \beta}{(K_{\sigma})_d} = \frac{260 \cdot 0,93}{2,21} = 109 \text{ МПа.}$$

## 5. Критерии оценки курсовой работы

Защита курсовой работы – это особая форма проверки индивидуального выполнения ее, полученных знаний и навыков. Кроме того, защищая работу, студент учится всесторонне обосновывать предложенные им решения, а также глубоко осмысливать выполненную работу. Защита предполагает короткий доклад студента по содержанию работы и ответы на вопросы. В результате защиты студенты получают зачет.

К защите допускаются студенты с аккуратно оформленной работой.

## 6. Список литературы

### Основная литература

1. Гоц А.Н. Численные методы расчета в энергомашиностроении; учеб. пособие. В 2 ч. Ч.1, 151 с. –2012 г., Владим. гос. ун-т имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ.
2. Гоц А.Н. Расчеты на прочность деталей ДВС при напряжениях, переменных во времени: учебное пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ; инфра-м, 2013. – 208 с.
3. Гоц А.Н. Расчеты на прочность деталей ДВС при напряжениях, переменных во времени: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. Владим. гос. ун-т имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ. 2011 – 140 с.



Приложение 1

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования**

**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВЛГУ)**

**Кафедра «Тепловые двигатели и энергетические установки»**

**Расчетно-пояснительная записка к курсовой работе  
по дисциплине « Численные методы в энергомашиностроении»  
Блок 1. Расчеты на прочность при переменных напряжениях**

Выполнил

студент гр ЭНб-113

Иванов И.И.

Проверил

проф. Петров П.П.

**Владимир 2013**