

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

**ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ,
МОДЕЛИРОВАНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение»
(профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик при
изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном
производстве») всех форм обучения

Воронеж 2022

УДК 621.01(07)
ББК 34.5я7

Составители: д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин,
канд. техн. наук, доц. Ю. А. Невструев

Диагностика технологического оборудования с помощью прикладных программ, моделирования и статистического анализа: методические указания к выполнению практических работ для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: С. Ю. Жачкин, Ю. А. Невструев. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 16 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению практических работ, рассматриваются методы диагностирования сложных технических систем и объектов с количественной оценкой показателей надежности.

Предназначены для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик изготовления изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле 71-2022.МУ_ПР_ДТОсПППМиСА.pdf.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.01(07)
ББК 34.5я7

Рецензент – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры
автоматизированного оборудования машиностроительного
производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития техники дальнейший прогресс в разработке более совершенных конструкций наземного оборудования ракетных комплексов чаще всего сдерживается не трудностями проведения расчетов, которые обычно вполне обеспечиваются современной вычислительной техникой, а погрешностями имеющихся исходных данных. Такие погрешности являются неустранимыми в процессе расчетов и порождаются разбросом характеристик применяемых материалов, погрешностями изготовления конструкций, а также недостаточным знанием о действующих нагрузках. Все это требует увеличения коэффициентов запаса и, как следствие, увеличения массы и габаритов проектируемых систем.

Влияние неустранимых погрешностей может быть уменьшено путем проведения соответствующих экспериментов, что, как правило, является достаточно дорогостоящим мероприятием, и все равно не позволяет устранить их полностью. Поэтому необходимо минимизировать влияние неустранимых погрешностей на результаты расчетов, что обеспечивается применением методов теории надежности. Они позволяют проектировать конструкции наземного оборудования с учетом всей имеющейся информации о соответствующих погрешностях, и в результате проектировать более легкие и компактные конструкции.

Данное домашнее задание посвящено изучению применения методов теории надежности на примере расчета прочности державки инструмента.

1. ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Условием работоспособности конструкции, подверженной силовому нагружению, в общем случае является то, что выраженная в каких-либо единицах прочность конструкции R должна быть больше нагрузки N , воспринимаемой этой конструкцией. Обозначив их разность как запас прочности Z , запишем это условие как:

$$Z = R - N > 0 . \quad (1)$$

В реальных системах из-за наличия неустранимой погрешности запас прочности Z всегда является случайной величиной. Неустранимая погрешность возникает вследствие погрешностей исходных данных, типичными из которых являются: погрешности свойств материалов, погрешности размеров, и погрешности прилагаемых нагрузок. При этом, вероятность работоспособности конструкции P , как и вероятность отказа Q , заключающегося в разрушении конструкции, определяются свойствами распределения случайной величины Z , и численно равны площадям под положительной и отрицательной ветвями графика плотности вероятности $f(Z)$ соответственно (рис. 1).

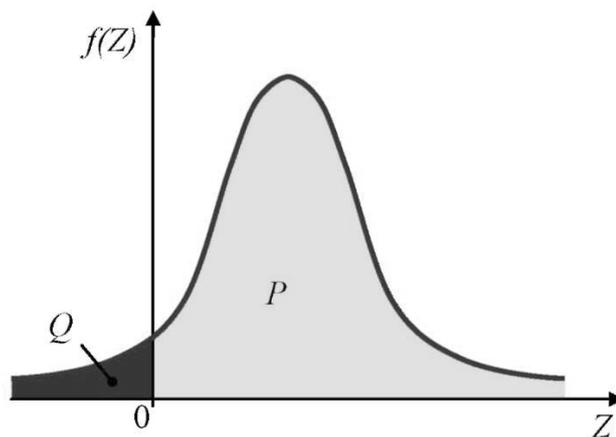


Рис. 1. Распределение запаса прочности

Это сводит задачу проверочного расчета конструкции на прочность к сравнению величины вероятности безотказной работы P с ее допустимым значением $[P]$, а при конструкторском расчете – к подбору таких параметров конструкции, при которых достигается требуемая вероятность безотказной работы $P > [P]$.

В случае нормального распределения величины Z условие (1) может быть выражено как [1]:

$$Z + U_Q \sigma_Z > 0, \quad (2)$$

где Z – математическое ожидание запаса прочности; U_Q – квантиль стандартного нормального распределения для допустимой вероятности отказа $[Q] = 1 - [P]$; σ_Z – среднеквадратическое отклонение запаса прочности.

В реальных задачах при $[P] > 0,5$ величина квантиля U_Q получится отрицательной, поэтому зависимость (2), с учетом свойств симметричности нормального распределения, удобнее представлять в виде:

$$Z - U_P \sigma_Z > 0 ;$$

или

$$Z > u_P \sigma_Z. \quad (3)$$

В задачах, связанных с прочностью на изгиб, запас прочности (1) удобно рассматривать в виде разности моментов;

$$Z = M_R - M_N.$$

В этом случае, используемом в данной практической работе, прочностью будет являться максимальный изгибающий момент, который фактически может выдержать конструкция M_R , а нагрузкой – максимальный изгибающий момент, который может возникнуть в конструкции под действием заданной нагрузки M_N . Обе эти величины в общем случае будут являться случайными.

Соответственно, левая часть уравнения (3) примет вид:

$$\bar{Z} = \bar{M}_R - \bar{M}_N,$$

где M_R – математическое ожидание максимального изгибающего момента, который фактически может выдержать конструкция; M_N – математическое ожидание максимального изгибающего момента, который может возникнуть в конструкции под действием заданной нагрузки.

Для расчета правой части уравнения (3) рассмотрим влияние задаваемых значений исходных данных на запас прочности. Для этого представим все исходные данные (и коэффициенты) в виде случайных величин со своими функциями распределения. Влиянием других погрешностей расчетов (кроме неустранимых) пренебрежём.

В этом случае решение задачи моделирования для каждого набора фиксированных исходных данных порождает следующую функциональную зависимость:

$$Z = F(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (4)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – фиксированные значения исходных данных.

При расчете погрешностей вводятся следующие допущения:

1. Значения исходных данных являются независимыми случайными величинами.
2. Значения исходных данных имеют нормальные законы распределения.
3. Зависимости результатов расчетов от изменения отдельных параметров расчета в пределах допустимых погрешностей можно считать линейными.
4. Зависимости результатов расчетов от изменения отдельных параметров расчета не изменяются от изменения других параметров расчета в пределах их погрешностей.

На практике для задания погрешностей случайных исходных данных x_i часто используется не их среднеквадратические отклонения σ_{xi} , а коэффициент вариации v_{xi} ;

где \bar{x}_i – математическое ожидание случайной величины x_i .

Еще чаще используется допуск случайной величины. В случае если центр поля допуска совпадает с математическим ожиданием, применяется запись:

$$x_i = \bar{x}_i \pm \Delta x_i,$$

где считается, что значение x_i с некоей доверительной вероятностью P_i попадет в интервал минимального $x_i^{\min} = \bar{x}_i - \Delta x_i$ и максимального $x_i^{\max} = \bar{x}_i + \Delta x_i$; значений X_i , а Δx , называют погрешностью x_i .

Величина доверительной вероятности P_i при этом определяется принятыми процедурами контроля качества, и на практике часто либо задается в виде значений, содержащих кратное число девяток после запятой (0,999; 0,9999; ...) либо задается равной 0,997, с тем, чтобы выполнялось соотношение

$$\Delta x_i = 3\sigma_{xi},$$

которое называют «правилом трех сигм».

В общем случае для нормально распределенной величины X_i :

$$\Delta x_i = u_{p'i} \sigma_{xi},$$

где $u_{p'i}$ - квантиль стандартного нормального распределения для вероятности

$$P' = 1 - (1 - P_i)/2.$$

При принятых допущениях имеют место соотношения:

$$\bar{x}_i - x_i^{\min} = x_i^{\max} - \bar{x}_i = u_{p'i} \sigma_{xi};$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sum [(F(x_i^{\max}) - F(\bar{x}_i)) u_{p'i}]^2},$$

где $F(x_i^{\max})$ и $F(\bar{x}_i)$ - значения результатов расчетов, полученные для максимального значения i -го исходного параметра (при средних значениях остальных параметров) и для среднего значения всех параметров:

$$F(\bar{x}_i) = F(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n);$$

$$F(x_i^{\max}) = F(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_{i-1}, x_i^{\max}, \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_n).$$

В случае, если доверительные вероятности для параметров расчета X_i и запаса прочности заданы одинаковыми:

$$P'_1 = P'_2 = \dots = P'_n = P,$$

то можно использовать следующее соотношение:

$$\Delta Z = \sqrt{\sum_{i=1}^n (F(x_i^{\max}) - F(\bar{x}_i))^2}, \quad (5)$$

где ΔZ - погрешность запаса прочности.

При этом, в случае использования для задания погрешностей правила «трех сигм», вероятность безотказной работы инструмента составит $P = 0,99865$.

Если, сохраняя допущения 3 и 5, заменить допущения 1 и 2 (о независимости и нормальном распределении случайных величин) на допущение 5 о том, что все случайные исходные данные x_i могут изменяться только строго в пределах от x_i^{\min} до x_i^{\max} , то можно получить зависимость для расчета погрешности результатов наихудшего случая:

$$\Delta Z = \sum_{i=1}^n |F(x_i^{\max}) - F(\bar{x}_i)|.$$

В общем случае, если для части случайных исходных данных можно принять допущение 2, а для других - допущение 5, используется следующая зависимость:

$$\Delta Z = \sqrt{\sum_{i=1}^n (F(x_i^{\max}) - F(\bar{x}_i))^2} + \sum_{j=m+1}^n |F(x_j^{\max}) - F(\bar{x}_j)|.$$

При проведении реальных вычислений, полученный результат означает, что для оценки погрешности расчета помимо среднего значения результата $Z = F(x)$, должны быть вычислены $F(x_i^{\max})$ (или $F(x_i^{\min})$) для каждой i -й случайной величины. Таким образом, длительность расчетов возрастает пропорционально первой степени количества случайных исходных данных. Заметим, что при отказе от допущения 5 (о независимости погрешностей, вносимых различными исходными данными) длительность расчетов возрастала бы экспоненциально при увеличении числа учитываемых случайных исходных данных.

В данном домашнем задании все исходные данные будут приняты нормально распределенными, что позволяет записать:

$$\Delta Z = u_p \sigma_z = \sqrt{\Delta M_R^2 + \Delta M_N^2},$$

где ΔM_R и ΔM_N вычисляются по зависимостям, аналогичным зависимости (5):

$$\Delta M_R = \sqrt{\sum_i (M_{Ri} - \bar{M}_R)^2};$$

$$\Delta M_N = \sqrt{\sum_i (M_{Ni} - \bar{M}_N)^2}.$$

Из этих зависимостей, в частности, следует, что уменьшение погрешностей, как нагрузки, так и прочностных параметров, уменьшает необходимый запас прочности, поэтому эти погрешности следует, по возможности, уменьшать. Уравнение (3) при этом примет вид:

$$\bar{M}_R - \bar{M}_N = \sqrt{\Delta M_R^2 + \Delta \bar{M}_N^2}$$

или

$$(\bar{M}_R - \bar{M}_N)^2 = \Delta M_R^2 + \Delta \bar{M}_N^2 . \quad (6)$$

В случае, если требуется провести расчет при

$$P \neq P'_1 = P'_2 = \dots = P'_n ,$$

уравнение (6) примет вид

$$\frac{u_{P'_i}}{u_P} (\bar{M}_R - \bar{M}_N)^2 = \Delta M_R^2 + \Delta \bar{M}_N^2 . \quad (7)$$

При этом, с повышением заданной вероятности безотказной работы, прочность конструкции при неизменной нагрузке необходимо будет увеличивать.

Заметим, что приведенные зависимости справедливы не только для расчетов на прочность, но могут быть использованы и при проведении других видов расчетов при соблюдении соответствующих допущений.

На практике полученные методами теории надежности решения, как правило, все же не учитывают всех источников погрешностей. Поэтому в расчетах обычно используют также коэффициенты запаса, которые в этом случае назначаются минимальными, что оформляется соответствующим стандартом или нормами, принятыми на конкретном предприятии.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В данной практической работе необходимо методами теории надежности произвести проектировочный расчет инструмента под действием изгибающего момента, для чего определить величину параметра d сечения державки при заданных вероятностях безотказной работы $P = 0,99865$ и $P = 0,99999$. Сделать выводы о влиянии заданной вероятности безотказной работы на требуемые размеры сечения державки.

Каждый вариант задания образуется сочетанием букв и цифр, каждая из которых позволяет найти в таблицах прил. 2 все необходимые исходные данные.

Все задаваемые величины считать нормально распределенными. Во всех случаях, кроме прочности материала считать симметричный допуск величины равным трем ее среднеквадратическим отклонениям.

В схемах сечений размеры с одинаковыми индексами (например, два размера A_1) считать идентичными, а с разными (например, A_1 и A_2) - считать независимыми случайными величинами. В остальном считать, что приведенные выше допущения 1 ... 4 полностью выполняются.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Поскольку при выполнении такого рода расчетов необходимо вычитать близкие значения, во избежание потери точности расчетов результаты промежуточных вычислений округлять не рекомендуется.

1) Расчет допуска предела пропорциональности материала

Значения погрешностей прочностных параметров материалов в общем случае можно узнать либо из справочников по надежности [2], либо по результатам проведения соответствующих испытаний. Испытания при этом дают намного более надежные результаты, но в рамках данной практической работы рекомендуется пользоваться данными из справочника [2], считая, что среднее значение предела пропорциональности материала равно номинальному.

В таблице прил. 1 для материалов приведен предел пропорциональности σ_{02} и коэффициент вариации прочности (в пределах одной плавки) ν_M . Симметричный допуск предела пропорциональности материала принимаем равным трем его среднеквадратическим отклонениям:

$$\Delta\sigma_{02} = 3\nu_M \sigma_{02}.$$

2) Расчет прочности конструкции

Для подбора размеров сечения инструмента необходимо в соответствии с приведенными в прил.1 сечениями и соотношениями их размеров построить функцию зависимости прочности (максимального изгибающего момента, который фактически может выдержать конструкция M_R) от размера d :

$$M_R(d) = \sigma_{0.2} W_x.$$

где W_x – момент сопротивления определяется методами теории сопротивления материалов [1].

В зависимости от заданной схемы сечения количество и состав случайных величин, от которых зависит M_R , может изменяться.

Необходимо определить математическое ожидание M_R :

$$\bar{M}_R = M_R(\bar{\sigma}_{0.2}, \bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots)$$

и значения M_R для смещенного значения каждой из переменных:

$$M_{R1} = M_R(\bar{\sigma}_{0.2} + \Delta\sigma_{0.2}, \bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots);$$

$$M_{R2} = M_R(\bar{\sigma}_{0.2}, \bar{A}_1 + \Delta A_1, \bar{A}_2, \dots);$$

$$M_{R3} = M_R(\bar{\sigma}_{0.2}, \bar{A}_1, \bar{A}_2 + \Delta A_2, \dots).$$

на основании которых рассчитывается погрешность M_R :

$$\Delta M_R = \sqrt{\sum_i (M_{Ri} - \bar{M}_R)^2}.$$

При этом M_R и ΔM_R получаются некоторыми функциями от характерного размера d .

3) Расчет нагрузки

Необходимо построить заданную расчетную схему по приведенным в таблице размерам. Далее для заданных в таблице нагрузок определяются реакции в опорах, для чего строится эпюра изгибающего момента [3].

С помощью построенной эпюры определяется зависимость для расчета максимального изгибающего момента в сечении державки $M_N(a, b, c, e, P, q, M)$.

В зависимости от заданной схемы державки и соотношения размеров количество и состав случайных величин, от которых зависит M_N , может изменяться.

Необходимо определить математическое ожидание M_N . В общем случае оно рассчитывается по зависимости:

$$\bar{M}_N = M_N(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{e}, \bar{P}, \bar{q}, \bar{M}).$$

Рассчитываются также значения M_N для смещенного значения каждой из переменных:

$$\begin{aligned} M_{N1} &= M_N(\bar{a} + \Delta a, \bar{b}, \bar{c}, \dots) ; \\ M_{N2} &= M_N(\bar{a}, \bar{b} + \Delta b, \bar{c}, \dots) ; \\ M_{N3} &= M_N(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c} + \Delta c, \dots) . \end{aligned}$$

на основании которых рассчитывается погрешность M_N

$$\Delta M_N = \sqrt{\sum_i (M_{Ni} - \bar{M}_N)^2} .$$

При этом \bar{M}_R и ΔM_R , в отличие от случая прочности конструкции, будут иметь конкретные числовые значения.

4) Определение необходимого размера сечения при вероятности безотказной работы 0,99865. Решаем относительно d уравнение

$$(\bar{M}_R - \bar{M}_N)^2 = \Delta M_R^2 + \Delta \bar{M}_N^2$$

с использованием замены переменной $x = 10^m d^3$, где m - наиболее удобный при решении данного варианта целый показатель степени. Истинным решением полученного квадратного уравнения будет максимальное, так как именно оно соответствует случаю положительной разности $(\bar{M}_R - \bar{M}_N)$ в левой части уравнения.

Полученный размер d можно округлять только в большую сторону, так как иначе заданное условие соблюдаться не будет.

5) *Определение необходимого размера сечения при вероятности безотказной работы 0,99999.* Решаем относительно d уравнение:

$$\frac{u_{p_i}^2}{u_p^2} (\bar{M}_R - \bar{M}_N)^2 = \Delta M_R^2 + \Delta \bar{M}_N^2$$

с использованием замены переменной $x = 10^m d^3$, где m - наиболее удобный при решении данного варианта целый показатель степени. Истинным решением полученного квадратного уравнения будет максимальное, так как именно оно соответствует случаю положительной разности $(\bar{M}_R - \bar{M}_N)$ в левой части уравнения.

Для погрешностей, заданных по правилу «трех сигм» и вероятности безотказной работы 0,99865

$$u_{p_i} = 3$$

Для вероятности безотказной работы 0,99999

$$u_p = 4,265$$

И в этом случае полученный размер d можно округлять только в большую сторону, так как иначе заданное условие соблюдаться не будет.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Практическая работа сдается в машинописном виде на листах формата А4 в сброшюрованном и подписанном автором виде. Практическая работа должна содержать титульный лист, оформленный согласно общим правилам оформления технической документации, и выводы, содержащие полученный результат в явной форме. Обязательно приведение соответствующих варианту задания расчетных схем державки и ее сечения.

Также в практической работе должны быть приведены исходные данные варианта расчета, основные расчетные зависимости, а также отражены результаты промежуточных вычислений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При вдумчивом выполнении студентом практической работы, полученные компетенции позволят не только успешно проводить расчеты прочности конструкции оборудования методами теории надежности, но и выполнять по аналогии этими методами другие виды расчетов оборудования стартовых и технических комплексов, в частности: тепловые, термомеханические, гидравлические и другие.

Данные навыки позволят студенту быть более востребованным и конкурентоспособным специалистом, способным создавать новые образцы оборудования, отличающиеся на текущем уровне науки и техники максимальной эффективностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. - М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
2. Надежность в машиностроении. Справочник / под общ. ред. В. В. Шашкина, Г. П. Карзова. – Сбп.: Политехника, 1992. – 719 с.
3. Александров, А. В. Сопротивление материалов: учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин; Под ред. А. В. Александрова. – 3-е изд. испр. – М: Высшая школа, 2003. – 560 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ.....	3
2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	8
3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	9
4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	12
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	12
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	13
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	13

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Вариант	Марка стали	$\sigma_{0,2}$, МПа	v_M
0	Сталь 30	290	0,037
1	Сталь 40	315	0,044
2	Сталь 50	530	0,049
3	Сталь 45	275	0,051
4	Сталь 55	710	0,032
5	Сталь 35	245	0,036
6	Сталь 20	215	0,047
7	Сталь 25	195	0,038
8	Сталь 20X	390	0,036
9	Сталь 20 ХН	600	0,041
	Сталь 30А	298	0,045
	Сталь 40А	327	0,039
	Сталь 50А	549	0,042
	Сталь 45А	292	0,041
	Сталь 55А	720	0,034
	Сталь 35А	255	0,032
	Сталь 20А	228	0,047
	Сталь 25А	209	0,044
	Сталь 20ХА	412	0,034
	Сталь 20 ХНА	615	0,046

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

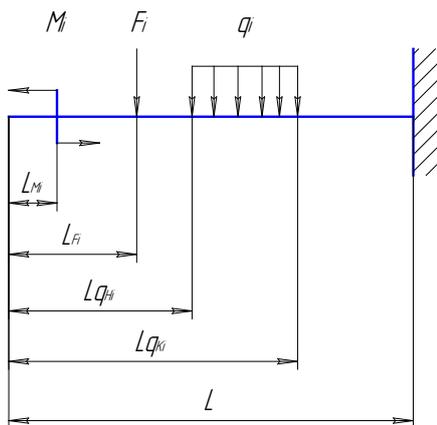


Рис. П.2.1 Схема нагружения инструмента

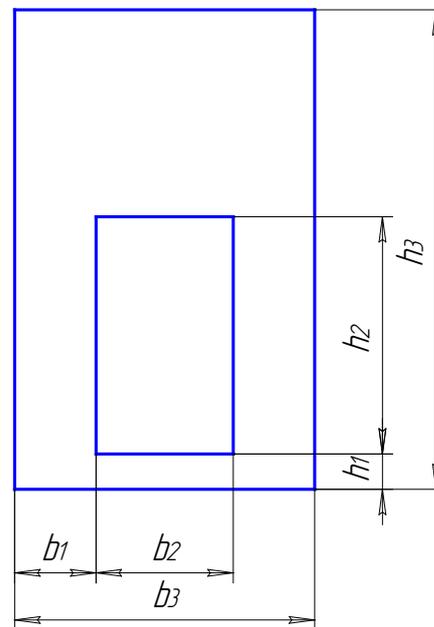


Рис. П.2.2. Геометрическая форма сечения державки

Таблица П.2.1

Данные к схеме нагружения

№ вар	M_1 Нм	F_1 кН	F_2 кН	q_1 кН/м	$L_{оп1}$ см	$L_{ср1}$ см	$L_{ср2}$ см	$L_{оп1}$ см	$L_{оп2}$ см	$L_{оп1}$ см	$L_{оп2}$ см	L см
0	100±2	10±1	-	20	1±0,1	2±0,1	-	2	-	2	3	5
1	150±4	20±1	-	10	2±0,1	0,5±0,1	-	1	-	1	3	6
2	180±7	27±1	-	17	2,5±0,1	0,8±0,1	-	2,3	-	2,3	5,1	7
3	185±8	20±1	12±1	-	4±0,1	1±0,1	3±0,2	-	-	-	-	8
4	122±9	38±12	-	28	3±0,2	0,5±0,1	-	2	-	2	5	9
5	-	42±2	21±2	33	-	7,8±0,2	4,4±0,2	2	4,4±0,2	2	7	10
6	140±4	50±3	-	61	4±0,2	1±0,1	-	4	-	4	6	11
7	20±1	120±4	-	30	0,5±0,1	1±0,1	-	1	-	1	7	12
8	70±1	90±2	60±2	45	0,2±0,1	0,1±0,1	1,5±0,1	1	1,5±0,1	1	6	10
9	100±2	170±2	40±2	60	1±0,1	0,1±0,1	0,8±0,1	0,5	0,8±0,1	0,5	5	8
10	84±2	142±2	35±1	47	0,8±0,1	1,3±0,1	2±0,1	1,2	2±0,1	1,2	2,2	5,5
11	54±5	-	58±1	21	2,6±0,1	-	3,2±0,1	2	3,2±0,1	2	3,8	9
12	41±3	57±1	-	-	3,4±0,2	27±0,3	-	-	-	-	-	8,6
13	-	39±2	51±2	47	-	1,6±0,1	2,8±0,1	1,4	2,8±0,1	1,4	4,2	11
14	56±4	24±2	69±3	13	2,1±0,2	1,8±0,1	2,6±0,1	2,1	2,6±0,1	2,1	3,3	10
15	32±2	29±2	27±3	47	0,8±0,1	0,4±0,1	2,2±0,1	2,0	2,2±0,1	2,0	3,4	8
16	36±	-	-	42	1,3±0,1	-	-	0,4	-	0,4	5,6	9
17	-	23±1	58±2	29	-	2,1±0,1	3,6±0,1	2,5	3,6±0,1	2,5	4,4	8
18	32±2	58±2	34±1	42	0,2±0,1	1,9±0,1	2,2±0,1	1,6	2,2±0,1	1,6	4,7	10
19	25±1	24±1	36±1	37	1,1±0,1	2,3±0,1	2,8±0,1	1,4	2,8±0,1	1,4	5,6	11

Таблица П.2.2

Размеры сечения державки, мм

№ вар	b ₁	b ₂	b ₃	h ₁	h ₂	h ₃
0	8±0,2	20±0,1	36±0,1	15±0,15	25±0,1	50±0,2
1	4±0,1	15±0,2	23±0,2	5±0,1	45±0,1	55±0,1
2	7±0,1	22±0,1	36±0,1	10±0,2	15±0,1	35±0,1
3	10±0,1	10±0,1	30±0,1	8±0,15	28±0,1	44±0,1
4	7±0,15	24±0,2	38±0,2	9±0,1	27±0,1	45±0,2
5	5±0,1	23±0,1	33±0,1	8±0,1	54±0,1	81±0,1
6	3±0,1	10±0,1	16±0,1	4±0,1	5±0,1	13±0,2
7	4±0,2	7±0,2	15±0,2	5±0,2	8±0,1	18±0,1
8	8±0,2	21±0,1	37±0,1	10±0,2	24±0,1	44±0,1
9	10±0,15	31±0,1	51±0,1	14±0,2	21±0,1	49±0,1
10	4±0,2	6±0,2	14±0,2	7±0,1	12±0,1	26±0,2
11	3±0,2	8±0,1	14±0,1	5±0,15	14±0,1	24±0,1
12	2±0,1	7±0,2	11±0,2	7±0,1	9±0,1	23±0,2
13	4±0,1	5±0,1	13±0,1	9±0,1	14±0,1	32±0,1
14	3±0,1	7±0,1	13±0,1	7±0,1	15±0,1	29±0,1
15	6±0,1	6±0,2	18±0,2	7±0,2	11±0,1	25±0,2
16	2±0,1	4±0,1	8±0,1	4±0,2	14±0,1	22±0,1
17	5±0,1	8±0,2	18±0,2	5±0,2	11±0,1	21±0,1
18	7±0,1	9±0,1	23±0,1	8±0,2	10±0,1	26±0,2
19	3±0,1	4±0,1	10±0,1	4±0,2	14±0,1	22±0,1

**ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
С ПОМОЩЬЮ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ,
МОДЕЛИРОВАНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение»
(профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик
при изготовлении изделий в автоматизированном
машиностроительном производстве»)
всех форм обучения

Составители:

Жачкин Сергей Юрьевич
Невструев Юрий Алексеевич

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 12.04.2022.

Уч.-изд. л. 1,0.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84