



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Мытищинский филиал
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ космический

КАФЕДРА К2

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 2
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРОИЗВОДСТВА ЭВМ»

Студент КЗ-66Б

(Подпись, дата)

Несмеянов С.А.
(И.О.Фамилия)

Доцент К2, к.т.н.

(Подпись, дата)

Удалов М.Е.
(И.О.Фамилия)

2025 г.

Вариант №13

Задача 1. Расчёт на действие вибрации печатного узла


Таблица 1

Номер варианта	Материал печатной платы, если нет ДЗ1	Номер способа крепления	Размеры платы, если не рассчитаны свои в ДЗ1			Номер варианта ДЗ1 для расчёта массы элементов	Ускорение внешнего источника синусоидальной вибрации a_w , м/с ²
			a , мм	b , мм	h , мм		
11	Стеклотекстолит	4	62,5	42,5	1,3	1	19,6
12	Гетинакс	5	65	45	1,4	2	39,2
13	Стеклотекстолит	6	67,5	47,5	1,5	3	39,2

Так как я выполнил ДЗ №1, то у меня будут другие размеры.

Длина, ширина, масса, материал печатной платы:

- Длина (А) - 70 мм, Ширина (В) – 70 мм, Высота (Н) – 2 мм, материал ПП - Стеклотекстолит.
- Способ крепления - 6, где схема:

Номер	Схема крепления	Коэффициенты			
		k	α	β	γ
6		9,87	1	2,57	5,14

Коэффициенты:

- $k = 9,87$
- $\alpha = 1$
- $\beta = 2,57$
- $\gamma = 5,14$

Максимальное смещение блока для вычисленной внешней вибрации рассчитывать по формуле:

$$\varepsilon_{\text{бл}}^{\text{max}} = \frac{a_w}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_B^2}$$

Собственная частота печатной платы f_0 , Гц, с распределённой нагрузкой для различных вариантов крепления определяется выражением:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{K_a}{a^2} \sqrt{\frac{Dab}{M}} = \frac{1}{2\pi} \frac{29,13}{0,07^2} \sqrt{\frac{21,02 \cdot 0,07 \cdot 0,07}{0,04339}} = 1457,71 \text{ Гц}$$

где a – длина большей стороны печатной платы, м; b – длина меньшей стороны печатной платы, м; $M = (m_{\text{п}} + m_{\text{э}})$, кг – общая масса печатной платы $m_{\text{п}}$ и элементов $m_{\text{э}}$; D – цилиндрическая жёсткость печатной платы, Н·м; K_{α} – коэффициент, зависящий от способа закрепления печатного узла, определяется выражением:

$$K_{\alpha} = k \sqrt{\alpha + \beta \frac{a^2}{b^2} + \gamma \frac{a^4}{b^4}}$$

$$K_{\alpha} = k \sqrt{\alpha + \beta \frac{a^2}{b^2} + \gamma \frac{a^4}{b^4}} = 9,87 * \sqrt{1 + 2,57 * \frac{0,07^2}{0,07^2} + 5,14 * \frac{0,07^4}{0,07^4}} = 29,13$$

При жёстком закреплении нет угловых и линейных перемещений стороны печатного узла (разъёмное соединение, прижатие или закрепление винтами). При опёртом закреплении нет линейного перемещения, но возможен поворот по опёртой стороне (сторона устанавливается в пазы). Свободная сторона печатного узла допускает линейные и угловые перемещения.

Общая масса печатного узла M , кг (печатной платы $m_{\text{п}}$ и элементов $m_{\text{э}}$), определяется выражением:

$$M = m_{\text{п}} + m_{\text{э}} = \rho * A * B * H + \sum_{i=1}^N m_i n_i = 43,39 \text{ г}$$

где ρ – плотность печатной платы, кг/м³; h – толщина печатной платы, м; m_i – масса i -го элемента, кг; n_i – количество элементов i -го типа; N – количество типов элементов РЭС.

Таблица 2

2.5. Значения коэффициентов E , μ , ρ

Материал	Модуль упругости $E \cdot 10^{10}$, Н/м ²	Коэффициент Пуассона μ	Плотность $\rho \cdot 10^3$, кг/м ³
Сталь	20,6	0,3	7,8
Алюминий	7,1	0,3	2,7
Дюралюминий	7,3	0,32	2,8
Магниевый сплав	4,12	0,3	1,8
Стеклотекстолит типа СФ, СТЭФ печатной схемы	3	0,22	2

Цилиндрическая жёсткость печатной платы D , Н·м, определяется формулой:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)},$$

где E – модуль упругости, Н/м²; μ – коэффициент Пуассона. Значения коэффициентов E , μ , ρ приведены в табл. 2. Для стеклотекстолита коэффициент Пуассона = 0,22. Модуль упругости E для стеклотекстолита = $3 \cdot 10^{10}$ Н/м².

$$D = \frac{Eh^3}{12 * (1 - \mu^2)} = \frac{3 * 10^{10} * 0,002^3}{12 * (1 - 0,22^2)} = 21,02 \text{ Н} * \text{м}$$

После нахождения собственной частоты печатной платы f_0 осуществляется проверка выполнения условия заданным техническим требованиям:

$$f_0 > 2f_v,$$

где f_v – частота вибрации внешнего источника, Гц

Значения коэффициентов, необходимых для f_0 :

- $M = 43,39 \text{ г}$
- $D = 21,02 \text{ Н} * \text{м}$
- $K_\alpha = 29,13$

Следовательно, после подстановки этих значений в формулу f_0 , я получаю следующий результат:

$$f_0 = 1457,71 \text{ Гц, тогда } f_v \approx \frac{f_0}{2} \approx 728,85 \text{ Гц.}$$

Значит, для $f_v = 728,85 \text{ Гц}$ максимальное смещение блока для вычисленной внешней вибрации составит $\varepsilon_{\text{бл}}^{\text{max}} = \frac{39,2}{4\pi^2 * 728,85^2} = 1,869 \text{ мкм.}$

Задача 2. Расчёт печатного узла на действие удара

Для расчёта на действие удара необходимо иметь исходные данные: ускорение удара a_y , м/с²; длительность импульса удара $t_{\text{иу}}$, с; форма удара (рис. 1); размеры платы a и b ; форму удара.

Максимальное смещение печатного узла для прямоугольного импульса S_y , м, определяется выражением:

$$S_y = \frac{a_y}{\omega_0^2} K_y = \frac{a_y}{2\pi f_0^2} K_y,$$

где f_0 – частота собственных колебаний печатного узла; K_y – коэффициент передачи удара.

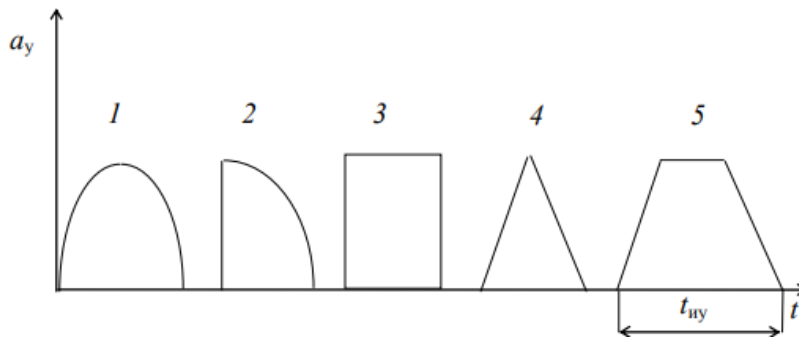


Рис. №1. Форма удара импульса

Коэффициент передачи удара определяется формулой:

$$K_y = 2 \sin \frac{\pi \Delta \omega}{2},$$

где $\Delta \omega$ - коэффициент расстройки, вычисляется по формуле:

$$\Delta \omega = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\omega}{2\pi f_0} = \frac{314}{2\pi * 1457,71} = 0,034 \text{ Гц},$$

где ω - условная частота удара, Гц:

$$\omega = \frac{\pi}{t_{\text{иу}}} = 314 \text{ рад/с}.$$

После подстановки уравнений получено выражение:

$$K_y = 2 \sin \frac{\pi \Delta \omega}{2} * \frac{\pi/t_{\text{иу}}}{2\pi f_0} = 2 \sin \frac{\pi/t_{\text{иу}}}{4f_0}$$

Проверка условия ударопрочности по максимальному смещению печатного узла определяются выражением:

$$S_y < 0,003b(a),$$

где a или b – размер стороны печатного узла, параллельно которой установлены электрорадиоэлементы (ЭРЭ).

Рассчитывается ударное ускорение:

$$a_y = H_y * K_y = H_y * 2 \sin \frac{\pi/t_{\text{иу}}}{4f_0},$$

где H_y – амплитуда ускорения ударного импульса, м/с^2 ; $H_y = 250 \text{ м/с}^2$ (исходя из пятой группы по механическим воздействиям).

$$a_y = 250 * 2 \sin \left(\frac{\pi}{4 * 1457,71} \right) = 26,93 \text{ м/с}^2$$

После дальнейшей подстановки получено выражение:

$$S_y = \frac{a_y}{(2\pi f_0)^2} * 2 \sin \frac{\pi}{4f_0} = \frac{26,93}{(2 * 3,14 * 1457,71)^2} * 2 \sin \left(\frac{\pi}{4 * 1457,71} \right) = 3,46 * 10^{-8} \text{ м}$$

Проверяем ударопрочность:

$$0,003b = 0,003 * 0,07 = 2,1 * 10^{-4} \text{ м}$$

$$3,46 * 10^{-8} < 2,1 * 10^{-4} - \text{верно.}$$

Для полусинусоидального импульса коэффициент передачи удара определяется формулой:

$$K_y = \frac{\Delta\omega}{1 - \Delta\omega^2} * \cos \frac{\pi\Delta\omega}{2} = \frac{0,034}{1 - 0,034^2} * \cos \frac{\pi * 0,034}{2} = 0,034$$

Рассчитывается ударное ускорение:

$$a_y = H_y * K_y = H_y * \frac{\Delta\omega}{1 - \Delta\omega^2} * \cos \frac{\pi\Delta\omega}{2},$$

где H_y – амплитуда ускорения ударного импульса, м/с²; $H_y = 250 \text{ м/с}^2$ (исходя из пятой группы по механическим воздействиям):

$$a_y = H_y * K_y = 250 * 0,034 = 8,57 \text{ м/с}^2$$

Максимальное смещение печатного узла для полусинусоидального импульса можно получить на основании выражения:

$$S_y = \frac{a_y}{\omega^2} * \left(\frac{\Delta\omega}{1 - \Delta\omega^2} * \cos \frac{\pi\Delta\omega}{2} \right) = \frac{8,57}{314^2} * 0,034 = 2,97 * 10^{-6} \text{ м}$$

Проверяем ударопрочность: $2,97 * 10^{-6} < 2,1 * 10^{-4} - \text{верно.}$

Задача 3. Расчет амортизационной системы блока РЭС.

Номер варианта	Тип корпуса	Количество корпусов	Материал платы	Минимальное расстояние между микросхемами, мм	Толщина платы h , мм
11	CDIP16	7	Гетинакс	1.7	1.3
12	PDIP8	16	Стеклотекстолит	1.8	1.4
13	SDIP20	14	Гетинакс	2.1	1.5
14	QFP40	23	Стеклотекстолит	1.9	1.6

Вес корпуса SDIP20 = 2 г, ссылаясь на документацию [2].

Размеры микросхемы в корпусе SDIP20: 24.64x7.62 мм с учетом ножек, ссылаясь на документацию [3].

Поскольку корпусов микросхем 14, то пусть они будут расположены по 4 элемента в 3 ряда, и 2 элемента будут располагаться ниже 4-ым рядом (Рис. №1):

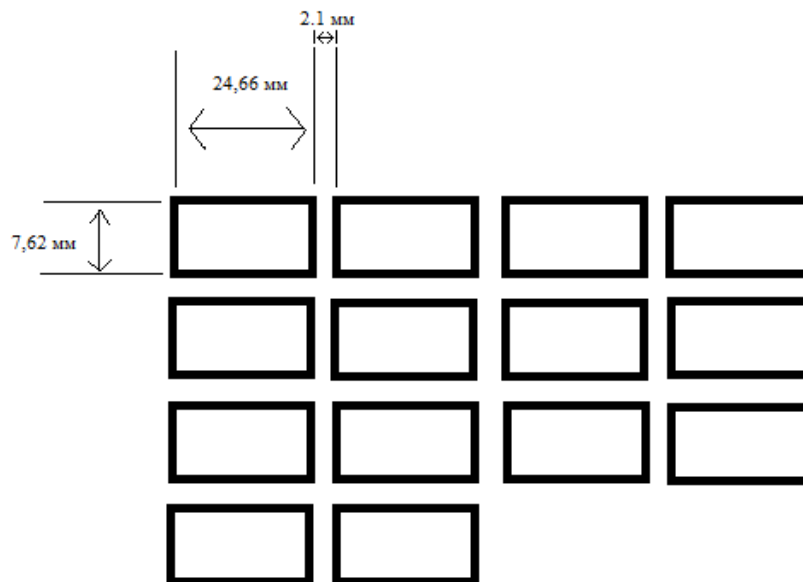


Рис. №1. Схема расположения корпусов на блоке РЭС

Отсюда длина ПП с учётом минимального расстояния между микросхемами и 2 мм отступов от краёв: $A_{пп} = 4 * 24,66 + 3*2,1 + 2*2 = 108,94$ мм.

Тогда ширина печатной платы $B_{пп} = 4 * 7,62 + 3*2,1 + 2*2 = 40,78$ мм.

Расположив центр ПП в начале координат, определим координаты всех 4-ёх амортизаторов (Рис. №2):

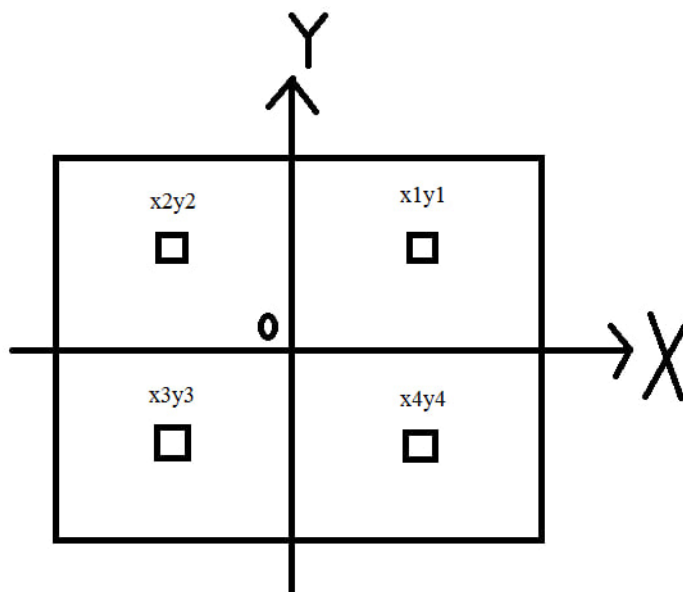


Рис. №2. Схема расположения амортизаторов на блоке РЭС

Модуль координаты по абсциссе: $x' = \frac{A_{пп}-2}{2} = 26,235$ мм

Модуль координаты по ординате: $y' = \frac{B_{пп}-2}{2} = 9,195$ мм

Рассчитываются статические нагрузки на амортизаторы. Условия статического равновесия системы амортизации:

$$\sum p_i = G;$$

$$\sum p_i x_i = 0; \sum p_i y_i = 0; \sum p_i z_i = 0,$$

где p_i – весовая нагрузка, приходящаяся на i -й амортизатор; G – вес блока.

Блок устанавливается на носителе без перекосов (поэтому $Z = 0$), тогда получаем:

$$\sum P_i = G; \sum p_i x_i = 0; \sum p_i y_i = 0$$

Задаваясь координатами размещения амортизаторов, получаю систему из четырёх линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \\ x_1 y_1 & x_2 y_2 & x_3 y_3 & x_4 y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

где $x_1 = 0,026235$ м, $x_2 = -0,026235$ м, $x_3 = -0,026235$ м, $x_4 = 0,026235$ м, $y_1 = 0,009195$ м, $y_2 = 0,009195$ м, $y_3 = -0,009195$ м, $y_4 = -0,009195$ м, $G = \frac{n * m_{SDIP20} + \rho * A * B * h}{1000} * g = \frac{14 * 2 + 0,0018 * 108,94 * 40,78 * 1,5}{1000} * 9,8 = 0,39195$ Н

Решая эту систему относительно нагрузок на амортизаторы, нашел статические нагрузки на амортизаторы:

$$p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = 0,098 \text{ Н.}$$

Исходя из полученных значений, я выбирал тип амортизаторов АФД-1, статические нагрузки в пределах 2-3 Н.

Далее рассчитывается резонансная частота блока на амортизаторах. Так как амортизаторы расположены симметрично и центр масс совпадает с центром жёсткости, то резонансная частота находится по формуле:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{\Sigma}}{m}},$$

Где $m = \frac{G}{g_{\text{уск.св.падения}}} = 39,9$ г – масса блока, K_{Σ} – суммарная жёсткость системы.

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^4 K_{\text{ам}i} = 1 * 4 = 4 \frac{\text{Н}}{\text{мм}} = 4000 \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$

где $K_{\text{ам}} = 1$ Н/мм - статический коэффициент жесткости, зависящий от типа амортизатора.

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4000}{0,0399}} = 50,33 \text{ Гц}$$

Список использованных источников

1. Компьютерные технологии для расчёта тепловых режимов и механических воздействий: учебное пособие / Д.Ю. Муромцев, О.А. Белоусов – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 88 с. – 100 экз. – IS/N 978-5-8265-1063-6.
2. Техническая документация: микросхема, корпус SDIP20 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.interself.ru/info/packages.php> (дата обращения: 04.06.2025).
3. Характеристики микросхемы SDIP20 URL: https://chipprof.ru/useful/typy_korpusov_mikroskhem_zarubezhnogo_proizvodstva/?ysclid=m9mhdajd89193764123 (дата обращения: 04.06.25)