



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Методические указания
по выполнению домашних заданий по единому
комплексному заданию по блоку дисциплины

«Основы конструирования приборов»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Методические указания
по выполнению домашних заданий по единому
комплексному заданию по блоку дисциплины

«Основы конструирования приборов»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Методические указания по выполнению домашних заданий по единому комплексному заданию по блоку дисциплины «Основы конструирования приборов»
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 33 с.: ил.

В методических указаниях рассмотрены основные этапы, их последовательность и содержание по выполнению домашних заданий по единому комплексному заданию по блоку дисциплины «Основы конструирования приборов».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

АННОТАЦИЯ

В работе проводится изучение параметров посадок валов и отверстий, изучение трех основных посадок: с зазором, переходной и с натягом. Во второй части описываются точностные расчеты полной конструкции при изменении длины составных деталей конструкции. В последней части комплекса домашних заданий ведется расчет вала с зубчатыми колесами на возможные воздействия, построение эпюр и выполнение расчетов позволяют определить материал из которого необходимо изготовить вал и его толщину.

ANNOTATION

In this paper we study the parameters of planting trees and holes, the study of the three major crops: a gap in transition and tension. The second part describes the design of precision calculations for the total change in the length of the constituent parts of construction. In the last part of the complex homework is calculated shaft with gears on the possible impacts, construction diagrams and performance calculations allow us to determine the material from which to make the shaft and its thickness.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ СТУПЕНЕЙ РЕДУКТОРОВ.....	6
1.1 Домашнее задание 1.....	7
1.2 Домашнее задание 2.....	11
1.3 Домашнее задание 3.....	18
ВЫВОДЫ.....	32
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	33

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – изучение трех видов посадок: с натягом, переходных и с зазором. Изучение компоновок деталей конструкции с целью снижения междетальных напряжений. Изучение всех возможных сил, действующих на ведущий вал, с целью его моделирования: определения его толщины и материала для изготовления. Комплекс работ проводится на основе теоретических знаний, полученных студентами в предыдущем семестре. Задание и начальные параметры указываются в соответствующих разделах каждого из домашних заданий.

1 ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ СТУПЕНЕ РЕДУКТОРОВ

1.1 Домашнее задание 1

Задача №1. а) $\phi 18 \frac{D\delta}{h\delta}$

The drawing shows a shaft with two gears. The top gear has diameter $D\delta$ and the bottom gear has diameter $h\delta$. The shaft diameter is $\phi 18$. The drawing shows the shaft with gears, a coordinate system with origin 0, and a bending moment diagram. The bending moment diagram shows a parabolic shape with a maximum value of 88.7 and a minimum value of 56.3. The shaft diameter is $\phi 18$.

1) $S_{\min} = EI - eS = 50 - 0 = 50 \text{ мм}$

2) $S_{\max} = ES - ei = 77 - (-18) = 95 \text{ мм}$

3) $S_M = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2} = 72,5 \text{ мм}$

4) $T_S = S_{\max} - S_{\min} = 95 - 50 = 45 \text{ мм}$

5) $S_{\min} > 0$; $S_{\max} > 0$, посадка с зазором

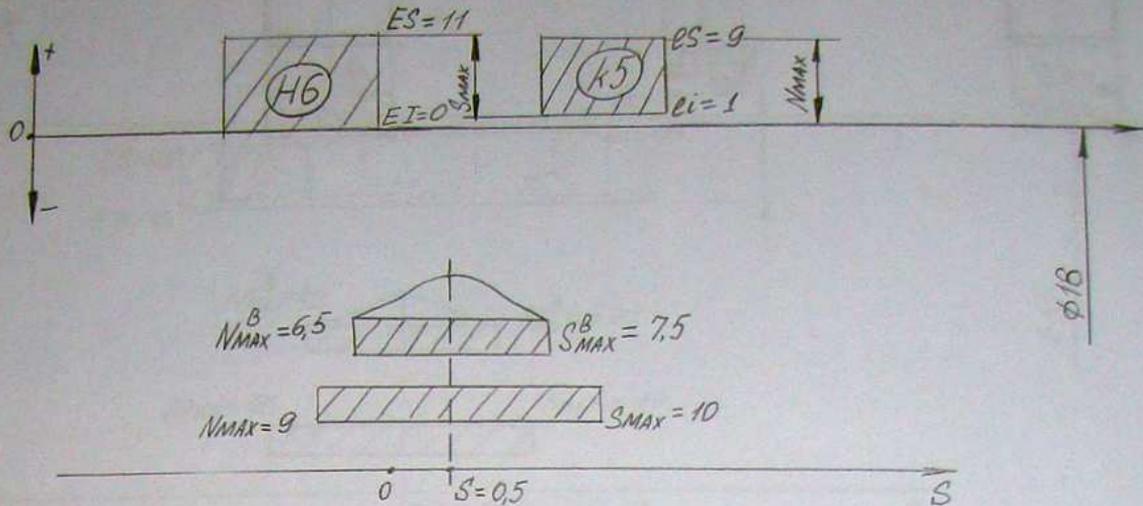
6) $T_\phi = 27 \text{ мм}$ $T_d = 18 \text{ мм}$

7) $S_{S(N)}^B = \sqrt{T_\phi^2 + T_d^2} = \sqrt{27^2 + 18^2} \approx 32,4 \text{ мм}$

8) $S_{\max}^B = S_M + \frac{S_{S(N)}^B}{2} = 72,5 + \frac{32,4}{2} = 88,7 \text{ мм}$

9) $S_{\min}^B = S_M - \frac{S_{S(N)}^B}{2} = 72,5 - \frac{32,4}{2} = 56,3 \text{ мм}$

8) $\boxed{\varnothing 18 \frac{H6}{k5}}$



$$1) S_{\max} = ES - ei = 11 - 1 = 10 \text{ мм}$$

$$2) S_{\min} = EI - es = 0 - 9 = -9 \text{ мм}$$

$$N_{\max} = -S_{\min} = 9 \text{ мм}$$

$$3) S_m = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2} = \frac{10 - 9}{2} = 0,5 \text{ мм}$$

$$4) T_S = S_{\max} - S_{\min} = 10 + 9 = 19 \text{ мм}$$

5) $S_{\min} < 0$; $S_{\max} > 0$, значит посадка переходная.

$$6) T_{\varphi} = 11 \text{ мм}; \quad T_d = 8 \text{ мм}$$

$$7) S_{S(N)}^B = \sqrt{T_{\varphi}^2 + T_d^2} = \sqrt{11^2 + 8^2} \approx 14 \text{ мм}$$

$$8) S_{\max}^B = S_m + \frac{S_{S(N)}}{2} = 0,5 + \frac{14}{2} = 7,5 \text{ мм}$$

$$S_{\min}^B = S_m - \frac{S_{S(N)}}{2} = 0,5 - \frac{14}{2} = -6,5 \text{ мм}$$

$$S_{\min}^B = -N_{\max}^B; \quad N_{\max}^B = 6,5 \text{ мм}$$

Задача №2

$\phi 10 \frac{H7}{S6}$

Бронза $\alpha = 21 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (отверстие)

Сталь $\alpha = 11,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (вал)

температура эксплуатации

$$t_d = +60$$

$$t_d = -60$$

$t_0 = 20^\circ\text{C}$ - комнатная температура.

Обоснована ли данная посадка

Решение

H7:

$$EI = 0 \text{ мкм}$$

S6

$$eS = 32 \text{ мкм}$$

$$ES = 15 \text{ мкм}$$

$$ei = 23 \text{ мкм}$$

$$1) \phi 10H7 \rightarrow \phi 10^{+0,015}$$

$$2) \phi 10S6 \rightarrow \phi 10^{+0,032}_{+0,023}$$

$$S_{\min} = EI - eS = 0 - 32 = -32 \text{ мкм}$$

$$S_{\max} = ES - ei = 15 - 23 = -8 \text{ мкм}$$

$S_{\min} < 0$; $S_{\max} < 0$ посадка с натягом

3) Будем вести расчеты по минимальному натягу N_{\min}

$t = +60^\circ\text{C}$, при увеличении температуры увеличивается натяг

$$N_{\min} = -S_{\max} = 8 \text{ мкм}$$

$$4) N_{\min}^t = N_{\min} + \Delta N_t = 8 + 3680 = 3688 \text{ мкм}$$

$$\Delta N_t = D(d) [\alpha_d (t_d - t_0) - \alpha_d (t_d - t_0)] = 10 [21 \cdot 10^{-6} (60 - 20) - 11,8 \cdot 10^{-6} (60 - 20)]$$

$= 3680 \cdot 10^{-6} \text{ мкм}$; $3688 \text{ мкм} > 0$ т.е. $N_{\min}^t > 0$ - посадка. обоснована. 4

Задача 1/3

1) $D_{max}^P = 119,94 \text{ мм}$

$D_{min}^P = 119,85 \text{ мм}$

2) $D = 120 \text{ мм}$

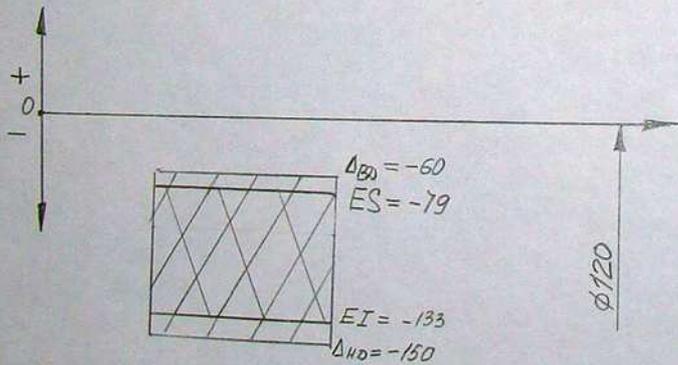
3) $\Delta_{B\Phi} = D_{max}^P - D = 119,94 - 120 = -0,06 \text{ мм} = -60 \text{ мкм}$

$\Delta_{H\Phi} = D_{min}^P - D = 119,85 - 120 = -0,15 \text{ мм} = -150 \text{ мкм}$

4) $S_{\Phi} = \Delta_{B\Phi} - \Delta_{H\Phi} = -60 + 150 = 90 \text{ мкм}$

5) Условия посадки стандартного отверстия

$$\begin{cases} \sqrt{\Phi} \leq S_{\Phi} \\ ES \leq \Delta_{B\Phi} \\ EI \geq \Delta_{H\Phi} \end{cases} \begin{cases} 54 \leq 90 \\ -79 \leq -60 \\ -133 \geq -150 \end{cases}$$



Ответ: $\Phi 120 S 8$;
 $\Phi 120 -0,079$
 $-0,0133$

1.2 Домашнее задание 1

Домашнее задание №2
по курсу "Основы конструирования приборов".
Выполнил: студент группы ИУ 4-42
Морозов Кирилл
Вариант 13 (рис. 1 бар. 4)

Рис. 1	Звенья размерной цепи								
Вариант	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Aд
4	7 _{-0,12}	55	7 _{-0,12}	4	6,5	55	15,5	4	0,25...0,4

Рисунок 1.

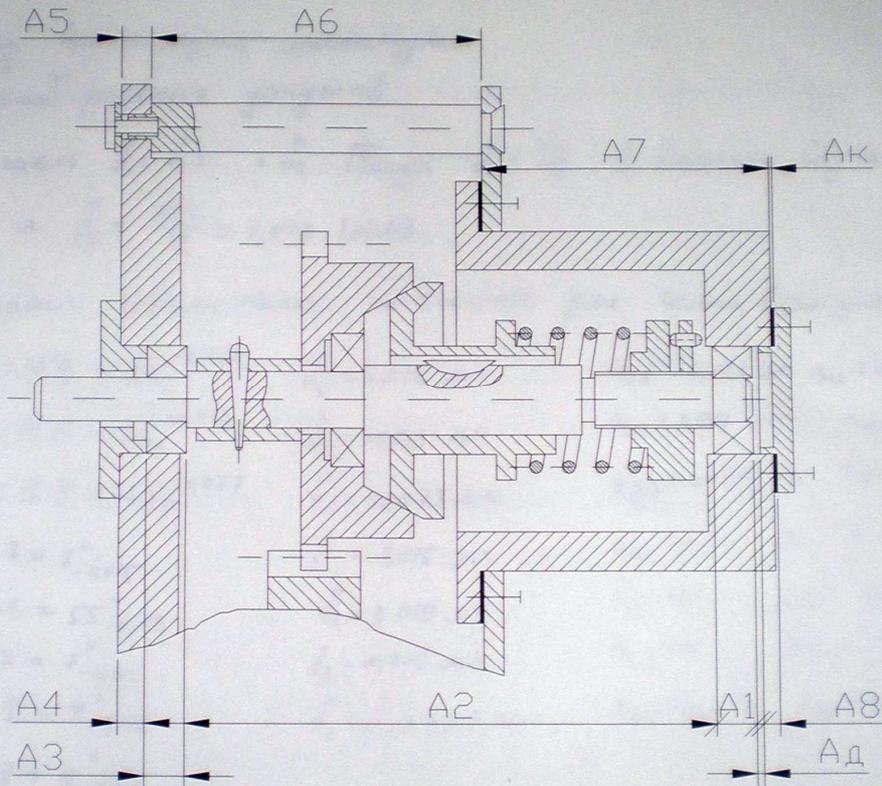
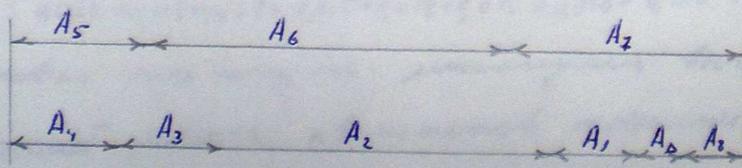


Схема размерной цепи:



A_5, A_6, A_7 - увеличивающие размеры звенья

A_1, A_2, A_3, A_4, A_8 - уменьшающие размеры звенья.

Брешиа заграда

Намиштална величина замикавајућег зупца

$$A_0 = \sum \vec{A}_5 - \sum \vec{A}_n = A_5 + A_6 + A_7 - (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_8) = 6,5 + 55 + 15,5 - (7 + 55 + 7 + 4 + 4) = 0$$

Из услова, горњег и доњег отклонити замикавајућег зупца мора бити

$$(\Delta_{\Delta})_6 = 0,4 \text{ мм} ; (\Delta_{\Delta})_n = 0,25 \text{ мм}$$

Величина допуса $\sigma_{\Delta} = (\Delta_{\Delta})_6 - (\Delta_{\Delta})_n = 0,15 \text{ мм}$.

1) Метод максимума-минимума

а) способ равних допусова

Положимо $\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_k$. Тада $\sigma_k = \frac{\sigma_{\Delta}}{k}$. У нашем случају,
 $k=8$ и $\sigma_k = \frac{0,15}{8} = 0,019 \text{ (мм)}$

Определимо квантитет тачности за сваки веоључих зупца:

$$A_5 = 6,5 \text{ H } 8 = 6,5_0^{+0,022}$$

$$\sigma_5 = 0,022 \text{ мм}$$

$$\Delta_{B5} = 0,022 \text{ мм} \quad \Delta_{H5} = 0$$

$$A_6 = 55 \text{ H } 6 = 55_0^{+0,019}$$

$$\sigma_6 = 0,019 \text{ мм}$$

$$\Delta_{B6} = 0,019 \text{ мм} \quad \Delta_{H6} = 0$$

$$A_7 = 15,5 \text{ H } 8 = 15,5_0^{+0,027}$$

$$\sigma_7 = 0,027 \text{ мм}$$

$$\Delta_{B7} = 0,027 \text{ мм} \quad \Delta_{H7} = 0$$

$$A_1 = 7 \text{ h } 7 = 7_{-0,015}^0$$

$$\sigma_1 = 0,015 \text{ мм}$$

$$\Delta_{B1} = 0 \quad \Delta_{H1} = -0,015 \text{ мм}$$

$$A_2 = 55 \text{ h } 6 = 55_{-0,019}^0$$

$$\sigma_2 = 0,019 \text{ мм}$$

$$\Delta_{B2} = 0 \quad \Delta_{H2} = -0,019 \text{ мм}$$

$$A_3 = 7 \text{ h } 7 = 7_{-0,015}^0$$

$$\sigma_3 = 0,015 \text{ мм}$$

$$\Delta_{B3} = 0 \quad \Delta_{H3} = -0,015 \text{ мм}$$

$$A_4 = 4 \text{ h } 8 = 4_{-0,018}^0$$

$$\sigma_4 = \sigma_8 = 0,018 \text{ мм}$$

$$\Delta_{B4} = \Delta_{B8} = 0 \quad \Delta_{H4} = \Delta_{H8} = -0,018 \text{ мм}$$

$$A_8 = 4 \text{ h } 8 = 4_{-0,018}^0$$

Проверка:

$$\sigma_{\Delta} = \sum_{i=1}^8 \sigma_i = 0,022 + 0,019 + 0,027 + 0,015 + 0,019 + 0,015 + 0,018 + 0,018 = 0,153 \approx 0,15 \text{ (мм)}$$

Јаковска максимума-минимума веоључа

б) способ равних квантитет тачности.

Средње значење квантитета тачности

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{\Delta}}{0,45 \sum \sqrt{A_i}} = \frac{0,15}{0,45 (\sqrt[3]{8,5} + 2\sqrt[3]{55} + \sqrt[3]{15,5} + 2\sqrt[3]{7} + 2\sqrt[3]{4})} = 0,018 \text{ (мм)} = 18 \text{ (мкм)}$$

По заданному среднему допуску, найдем ли 7 к ба литей гоним.

$A_5 = 6,5 H 7 = 6,5_{-0,015}^{+0,015}$	$\delta_5 = 0,015 \text{ мм}$	$\Delta_{H5} = 0$	$\Delta_{B5} = 0,015 \text{ мм}$
$A_6 = 55 H 7 = 55_{-0,030}^{+0,030}$	$\delta_6 = 0,030 \text{ мм}$	$\Delta_{H6} = 0$	$\Delta_{B6} = 0,030 \text{ мм}$
$A_7 = 15,5 H 7 = 15,5_{-0,018}^{+0,018}$	$\delta_7 = 0,018 \text{ мм}$	$\Delta_{H7} = 0$	$\Delta_{B7} = 0,018 \text{ мм}$
$A_1 = 7 h 7 = 7_{-0,015}^0$	$\delta_1 = 0,015 \text{ мм}$	$\Delta_{H1} = -0,015 \text{ мм}$	$\Delta_{B1} = 0$
$A_2 = 55 h 7 = 55_{-0,030}^0$	$\delta_2 = 0,030 \text{ мм}$	$\Delta_{H2} = -0,030 \text{ мм}$	$\Delta_{B2} = 0$
$A_3 = 7 h 7 = 7_{-0,015}^0$	$\delta_3 = 0,015 \text{ мм}$	$\Delta_{H3} = -0,015 \text{ мм}$	$\Delta_{B3} = 0$
$A_4 = 4 h 7 = 4_{-0,012}^0$	$\delta_4 = 0,012 \text{ мм}$	$\Delta_{H4} = -0,012 \text{ мм}$	$\Delta_{B4} = 0$
$A_8 = 4 h 7 = 4_{-0,012}^0$	$\delta_8 = 0,012 \text{ мм}$	$\Delta_{H8} = -0,012 \text{ мм}$	$\Delta_{B8} = 0$

Проверка:

$$\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^8 \delta_i = 0,015 + 0,030 + 0,018 + 0,015 + 0,030 + 0,015 + 0,012 + 0,012 = 0,147 \approx 0,15 \text{ (мм)}$$

Условие максимума-минимума выполняется.

2) Теоретико-вероятностный метод.

а) Показ равных допусков

Пусть $\delta_1 = \dots = \delta_k$. Тогда $\delta_k = \frac{\delta_{\Delta}}{\sqrt{k}}$. В нашем случае, $k = 8$ и

$$\delta_k = \frac{0,15}{\sqrt{8}} = 0,053 \text{ (мм)}$$

Определим квалитеты точности для соответствующих звеньев.

$A_5 = 6,5 H 10 = 6,5_{-0,058}^{+0,058}$	$\delta_5 = 0,058 \text{ мм}$	$\Delta_{H5} = 0$	$\Delta_{B5} = 0,058 \text{ мм}$
$A_6 = 55 H 9 = 55_{-0,074}^{+0,074}$	$\delta_6 = 0,074 \text{ мм}$	$\Delta_{H6} = 0$	$\Delta_{B6} = 0,074 \text{ мм}$
$A_7 = 15,5 H 10 = 15,5_{-0,070}^{+0,070}$	$\delta_7 = 0,070 \text{ мм}$	$\Delta_{H7} = 0$	$\Delta_{B7} = 0,070 \text{ мм}$
$A_1 = 7 h 9 = 7_{-0,036}^0$	$\delta_1 = 0,036 \text{ мм}$	$\Delta_{H1} = -0,036 \text{ мм}$	$\Delta_{B1} = 0$
$A_2 = 55 h 8 = 55_{-0,046}^0$	$\delta_2 = 0,046 \text{ мм}$	$\Delta_{H2} = -0,046 \text{ мм}$	$\Delta_{B2} = 0$
$A_3 = 7 h 9 = 7_{-0,036}^0$	$\delta_3 = 0,036 \text{ мм}$	$\Delta_{H3} = -0,036 \text{ мм}$	$\Delta_{B3} = 0$
$A_4 = 4 h 10 = 4_{-0,048}^0$	$\delta_4 = 0,048 \text{ мм}$	$\Delta_{H4} = -0,048 \text{ мм}$	$\Delta_{B4} = 0$
$A_8 = 4 h 10 = 4_{-0,048}^0$	$\delta_8 = 0,048 \text{ мм}$	$\Delta_{H8} = -0,048 \text{ мм}$	$\Delta_{B8} = 0$

Проверка:

$$\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^8 \delta_i = 0,058 + 0,074 + 0,070 + 0,036 + 0,046 + 0,036 + 0,048 + 0,048 = 0,416 > 0,15 \text{ (мм)}$$

Найдем точность для соответствующих номинальных размеров

$$\delta_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^8 \delta_i^2} = \sqrt{0,058^2 + 0,074^2 + 0,070^2 + 0,036^2 + 0,046^2 + 0,036^2 + 0,048^2 + 0,048^2} = 0,152 \text{ (мм)} \approx 0,15 \text{ (мм)}$$

Условие выполняется

полюс равных кубитетов точности:
 другое значение кубитетов точности:

$$\bar{\sigma} = \frac{\delta_{\Delta}}{0,45 \sqrt{\sum_n A_n^{2/3}}} = \frac{0,15}{0,45 \cdot \sqrt{6,5^{2/3} + 2 \cdot (55)^{2/3} + 15,5^{2/3} + 2 \cdot (7)^{2/3} + 2 \cdot (4)^{2/3}}} = 47 (\mu\text{м})$$

По значению полученной формулы, найдем σ кубитет точности.

$A_5 = 6,5 \text{ Нг} = 6,5 \cdot 10^{0,36}$	$\delta_5 = 0,036 \text{ мк}$	$\Delta_{H5} = 0$	$\Delta_{B5} = 0,036 \text{ мк}$
$A_6 = 55 \text{ Нг} = 55 \cdot 10^{0,74}$	$\delta_6 = 0,074 \text{ мк}$	$\Delta_{H6} = 0$	$\Delta_{B6} = 0,074 \text{ мк}$
$A_7 = 15,5 \text{ Нг} = 15,5 \cdot 10^{0,43}$	$\delta_7 = 0,043 \text{ мк}$	$\Delta_{H7} = 0$	$\Delta_{B7} = 0,043 \text{ мк}$
$A_1 = 7 \text{ Нг} = 7 \cdot 10^{-0,036}$	$\delta_1 = 0,036 \text{ мк}$	$\Delta_{H1} = -0,036 \text{ мк}$	$\Delta_{B1} = 0$
$A_2 = 55 \text{ Нг} = 55 \cdot 10^{-0,074}$	$\delta_2 = 0,074 \text{ мк}$	$\Delta_{H2} = -0,074 \text{ мк}$	$\Delta_{B2} = 0$
$A_3 = 7 \text{ Нг} = 7 \cdot 10^{-0,036}$	$\delta_3 = 0,036 \text{ мк}$	$\Delta_{H3} = -0,036 \text{ мк}$	$\Delta_{B3} = 0$
$A_4 = 4 \text{ Нг} = 4 \cdot 10^{-0,030}$	$\delta_4 = 0,030 \text{ мк}$	$\Delta_{H4} = -0,030 \text{ мк}$	$\Delta_{B4} = 0$
$A_8 = 4 \text{ Нг} = 4 \cdot 10^{-0,030}$	$\delta_8 = 0,030 \text{ мк}$	$\Delta_{H8} = -0,030 \text{ мк}$	$\Delta_{B8} = 0$

Проверка

$$\delta_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^8 \delta_i^2} = \sqrt{2 \cdot 0,036^2 + 0,074^2 + 0,043^2 + 0,036^2 + 0,074^2 + 0,036^2 + 0,030^2 + 0,030^2} = 0,136 < 0,15 (\mu\text{м})$$

Условие выполняется.

II. Обратная задача

1) Метод максимумов - минимумов
 а) способ равных допусков.

Верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена:

$$(\Delta_{\Delta})_B = \sum_j \vec{\Delta}_{Bj} - \sum_n \overleftarrow{\Delta}_{Hn} = 0,022 + 0,019 + 0,027 - (-0,015 - 0,019 - 0,015 - 0,018 - 0,018) = 0,153 (\mu\text{м})$$

$$(\Delta_{\Delta})_H = \sum_j \vec{\Delta}_{Hj} - \sum_n \overleftarrow{\Delta}_{Bn} = 0.$$

Замыкающий размер $A_{\Delta} = 0,153$, допуск $\delta_{\Delta} = 0,153 (\mu\text{м})$

Проверка $\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^8 \delta_i = 0,153 (\mu\text{м})$ - допуск на замыкающее звено
 равен сумме допусков всех звеньев размерной цепи

б) способ равных квадратов мощности:

Верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена:

$$(\Delta_A)_6 = \sum_j \vec{\Delta}_{6j} - \sum_k \overleftarrow{\Delta}_{6k} = 0,015 + 0,030 + 0,018 - (-0,015 - 0,030 - 0,015 - 0,012 - 0,012) = 0,147 \text{ (мм)}$$

$$(\Delta_A)_H = \sum_j \vec{\Delta}_{Hj} - \sum_k \overleftarrow{\Delta}_{Hk} = 0$$

Замыкающий размер $A_\Delta = 0^{+0,147}$, допуск $\delta_\Delta = 0,147 \text{ (мм)}$

Проверка: $\delta_\Delta = \sum_{k=1}^3 \delta_k = 0,147$ - допуск на замыкающее звено равен сумме допусков всех звеньев размерной цепи.

2) Теоретико-вероятностный метод.

а) способ равных допусков

координата середины поля допуска замыкающего звена:

$$\bar{\Delta}_\Delta = \sum_j \bar{\Delta}_{6j} + \sum_k \bar{\Delta}_{6k} = 0,029 + 0,037 + 0,035 + 0,018 + 0,023 + 0,018 + 0,024 + 0,024 = 0,208 \text{ (мм)}$$

Допуск на замыкающее звено $\delta_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^6 \delta_i^2} = 0,152 \text{ (мм)}$

Верхнее и нижнее отклонения замыкающего размера:

$$(\Delta_\Delta)_6 = \bar{\Delta}_\Delta + \frac{\delta_\Delta}{2} = 0,284 \text{ (мм)}$$

$$(\Delta_\Delta)_H = \bar{\Delta}_\Delta - \frac{\delta_\Delta}{2} = 0,132 \text{ (мм)}$$

Замыкающий размер равен $A_\Delta = 0^{+0,284}_{+0,132}$

б) способ равных квадратов мощности:

координата середины поля допуска замыкающего звена:

$$\bar{\Delta}_\Delta = \sum_j \bar{\Delta}_{6j} + \sum_k \bar{\Delta}_{6k} = 0,018 + 0,037 + 0,0215 + 0,018 + 0,037 + 0,018 + 0,015 + 0,015 = 0,1795 \text{ (мм)}$$

Допуск на замыкающее звено $\delta_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^6 \delta_i^2} = 0,147 \text{ (мм)}$

Верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена:

$$(\Delta_\Delta)_6 = \bar{\Delta}_\Delta + \frac{\delta_\Delta}{2} = 0,253 \text{ (мм)}$$

$$(\Delta_\Delta)_H = \bar{\Delta}_\Delta - \frac{\delta_\Delta}{2} = 0,106 \text{ (мм)}$$

Замыкающий размер $A_\Delta = 0^{+0,253}$

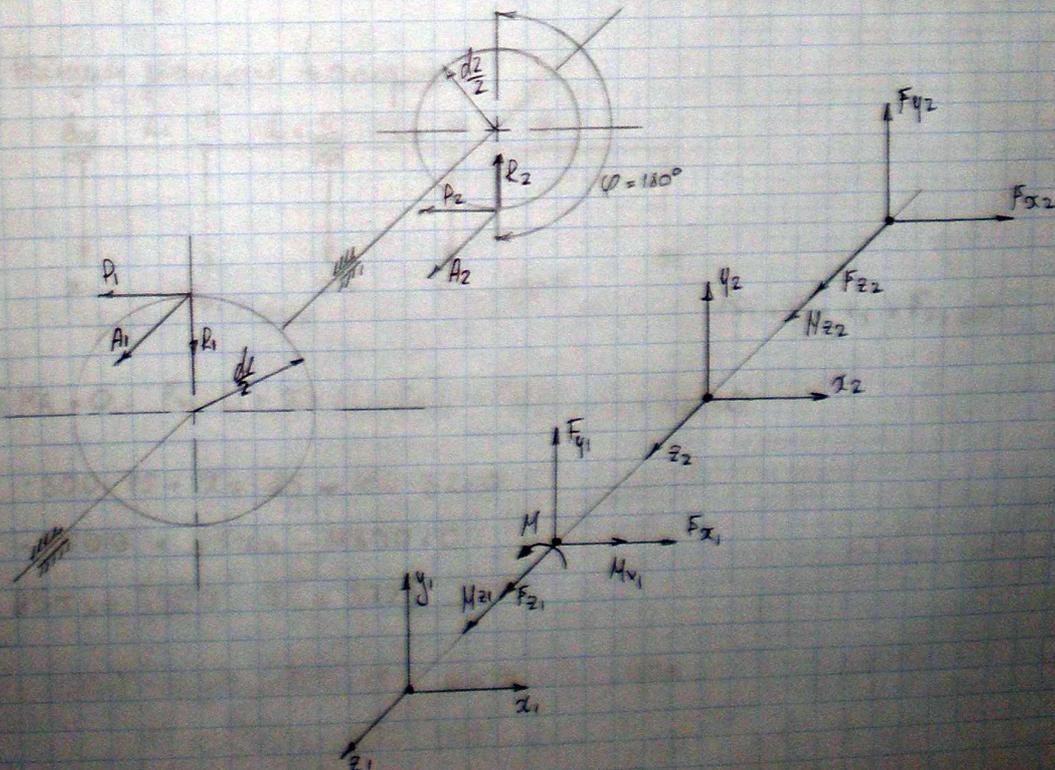
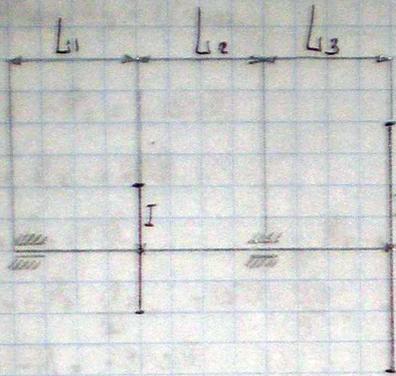
№	Метод max/min		Терпимо - берпункти.	
	интервал гон.	интервал клан	интервал гон.	интервал клан
A ₁	7h7 = 7 ⁰ _{-0,15}	7h7 = 7 ⁰ _{-0,015}	7hg = 7 ⁰ _{-0,036}	7hg = 7 ⁰ _{-0,036}
A ₂	55h6 = 55 ⁰ _{-0,019}	55h7 = 55 ⁰ _{-0,030}	55h8 = 55 ⁰ _{-0,040}	55hg = 55 ⁰ _{-0,074}
A ₃	7h7 = 7 ⁰ _{-0,15}	7h7 = 7 ⁰ _{-0,015}	7hg = 7 ⁰ _{-0,036}	7hg = 7 ⁰ _{-0,036}
A ₄	4h8 = 4 ⁰ _{-0,018}	4h7 = 4 ⁰ _{-0,012}	4h10 = 4 ⁰ _{-0,048}	4hg = 4 ⁰ _{-0,030}
A ₅	6,5H8 = 6,5 ^{+0,22} ₀	6,5H7 = 6,5 ^{+0,05} ₀	6,5H10 = 6,5 ^{+0,052} ₀	6,5H9 = 6,5 ^{+0,036} ₀
A ₆	55H6 = 55 ^{+0,099} ₀	55H7 = 55 ^{+0,030} ₀	55H9 = 55 ^{+0,074} ₀	55H9 = 55 ^{+0,074} ₀
A ₇	15,5H8 = 15,5 ^{+0,027} ₀	15,5H7 = 15,5 ^{+0,017} ₀	15,5H10 = 15,5 ^{+0,07} ₀	15,5H9 = 15,5 ^{+0,043} ₀
A ₈	4h8 = 4 ⁰ _{-0,018}	4h7 = 4 ⁰ _{-0,012}	4h10 = 4 ⁰ _{-0,048}	4hg = 4 ⁰ _{-0,030}

1.3 Домашнее задание 3

Вариант №13.

D3 №3

№ опор	№ секции	H, мм	Q, кг	m, кг	ср. ось, мм	P ₁ , Н	A ₁ , Н	R ₁ , Н	P ₂ , Н	A ₂ , Н	R ₂ , Н	L ₁ , мм	L ₂ , мм	L ₃ , мм
19	2	1500	180	400	500	300	15	60	150	0	80	15	10	7



1. Hänger d_1 und d_2

$$M = \frac{d_1}{2} \cdot P_1 \Rightarrow \frac{d_1}{2} = \frac{M}{P_1} = \frac{1500}{300} = 5 \text{ mm.}$$

$$M = \frac{d_2}{2} \cdot P_2 \Rightarrow \frac{d_2}{2} = \frac{M}{P_2} = \frac{1500}{150} = 10 \text{ mm.}$$

$$d_1 = 10 \text{ mm. } d_2 = 20 \text{ mm.}$$

2. $F_{x2} = -P_2 = -150 \text{ H.}$

$$F_{y2} = R_2 = 80 \text{ H.}$$

$$F_{z2} = A_2 = 0 \text{ H.}$$

$$M_{x1} = A_1 \cdot \frac{d_1}{2} = 15 \cdot 5 = 75$$

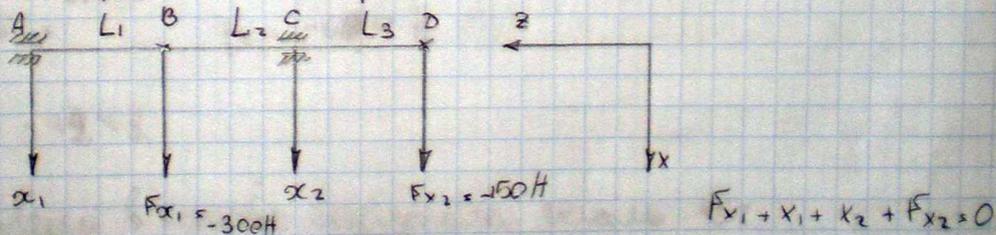
$$M_{z2} = -P_2 \cdot \frac{d_2}{2} = -150 \cdot \frac{20}{2} = -1500 \text{ H. mm.}$$

$$F_{x1} = -P_1 = -300 \text{ H.}$$

$$F_{y1} = -R_1 = -60 \text{ H. } F_{z1} = A_1 = 15 \text{ H.}$$

$$M_{z1} = P_1 \cdot \frac{d_1}{2} = 300 \cdot 5 = 1500$$

3. Hänger pausur bonofax.



$$\sum M_A = 0: F_{x1} \cdot L_1 + \alpha_2 \cdot (L_1 + L_2) + F_{x2} \cdot (L_1 + L_2 + L_3) = 0$$

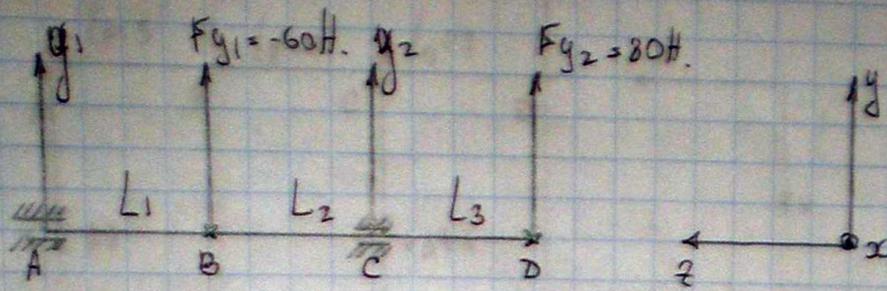
$$-300 \cdot 15 + \alpha_2 \cdot 25 + 150 \cdot 32 = 0$$

$$-4500 + 25\alpha_2 - 4800 = 0$$

$$25\alpha_2 = 9300 \quad \alpha_2 = 372 \text{ H.}$$

$$-300 + \alpha_1 + \alpha_2 - 150 = 0 \Rightarrow \alpha_1 + \alpha_2 = 450$$

$$\alpha_1 = 450 - 372 \text{ H. } \alpha_1 = 78 \text{ H.}$$



$$F_{y1} + y_1 + y_2 + F_{y2} = 0$$

$$y_1 + y_2 = 60 - 80 \quad y_1 + y_2 = -20$$

$$\sum M_A = 0: F_{y1} \cdot L_1 + y_2(L_1 + L_2) + F_{y2}(L_1 + L_2 + L_3) + M_{K1} = 0$$

$$-60 \cdot 15 + y_2 \cdot 25 + 80 \cdot 32 + 75 = 0$$

$$y_2 \cdot 25 = 900 - 2560 - 75$$

$$y_2 \cdot 25 = -1735 \quad y_2 = -69,4 \text{ H.}$$

$$y_1 = -49,4 \text{ H.}$$

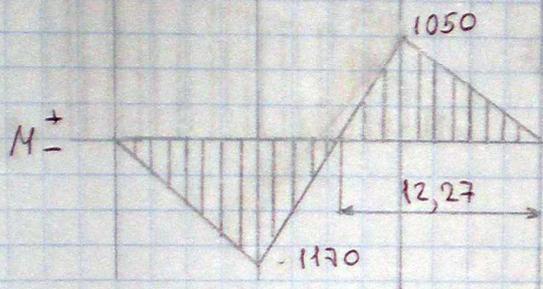
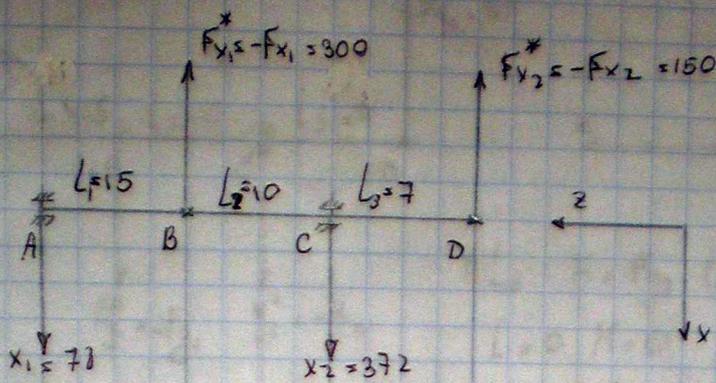
1. Выберем в качестве материала сталь 45x.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_p}{2} = \frac{850}{2} = 425 \text{ МПа} = 425 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$$

$$E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$G = \frac{E}{2(1-\mu)} = 1,47 \cdot 10^5$$

$$\mu = 0,3$$



$$1) L_3: M = F_{x_2}^* \cdot L$$

$$L=0 \quad M=0$$

$$L=L_3 \quad M = F_{x_2}^* \cdot L_3 = 150 \cdot 7 = 1050 \text{ (H. units)}$$

$$2) L_2: M = F_{x_2}^* (L + L_3) - X_2 \cdot L$$

$$L=0 \quad M = F_{x_2}^* \cdot L_3 = 1050 \text{ (H. units)}$$

$$L=L_2 \quad M = F_{x_2}^* (L_3 + L_2) - X_2 \cdot L_2 =$$

$$= 150 \cdot 17 - 372 \cdot 10 = -1170 \text{ (H. units)}$$

$$3.) L_1: M = F_{x_2}^* (L_3 + L_2 + L) - X_2 (L_2 + L) + F_{x_1}^* \cdot L$$

$$L=0 \quad M = F_{x_2}^* (L_3 + L_2) - X_2 \cdot L_2 = -1170 \text{ (H. units)}$$

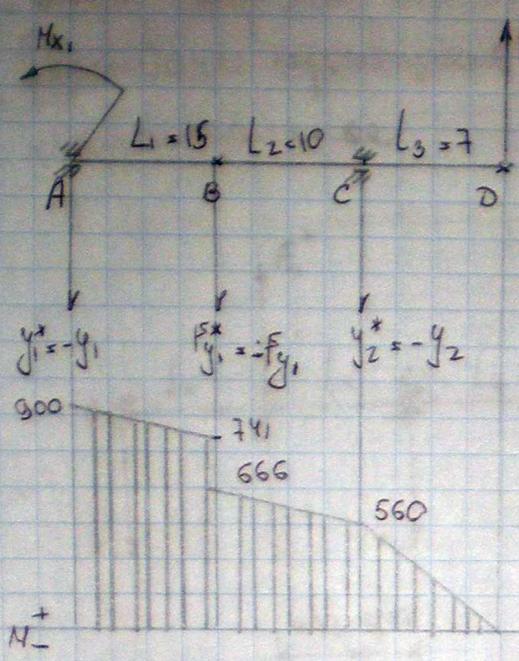
$$L=L_1 \quad M = F_{x_2}^* (L_1 + L_2 + L_3) - X_2 (L_1 + L_2) + F_{x_1}^* \cdot L_1 =$$

$$= 150 \cdot 32 - 372 \cdot 25 + 300 \cdot 15 = 0$$

$$372(20-l) - 150(7 + (10-l)) = 0$$

$$3720 - 372l - 2550 + 150l = 0$$

$$-222l + 1170 = 0 \quad l \approx 5,27$$



$$1) L_3: M = F_{y_2} \cdot L$$

$$L = 0 \quad M = 0$$

$$L = L_3 \quad M = 80 \cdot 7 \quad M = 560$$

$$2) L_2: M = F_{y_2} (L_3 + L) - y_2 \cdot L$$

$$L = 0 \quad M = F_{y_2} \cdot L_3 = 560$$

$$L = L_2 \quad M = F_{y_2} (L_2 + L_3) - y_2 \cdot L_3 =$$

$$= 80 \cdot 17 - 69,4 \cdot 10 = 666$$

$$3) L_1: M = F_{y_2} (L_2 + L_3 + L) - y_2 (L_2 + L) + M_{x_1}$$

$$L = 0 \quad M = F_{y_2} (L_2 + L_3) - y_2 \cdot L_2 + M_{x_1} =$$

$$L = L_1 \quad M = F_{y_2} (L_1 + L_2 + L_3) - y_2 (L_2 + L_1) + M_{x_1} =$$

$$= 80 \cdot 32 - 69,4 \cdot 25 + 75 = 900$$

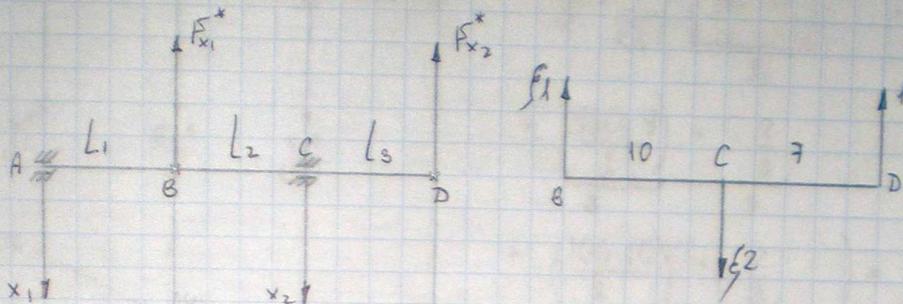
Максимальный момент будет в точке В, поэтому расчет на прочность будет производиться в ней

$$M_{кр} = \sqrt{M_x^2 + 0,75 M_y^2} = \sqrt{M_y^2 + M_x^2 + 0,75 M_x^2}$$

$$= \sqrt{(741)^2 + (-1170)^2 + 0,75 \cdot (1500)^2} \approx 1898,8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0,1 [63]}} = \sqrt[3]{\frac{1898,8}{0,1 \cdot 975}} = \sqrt[3]{41,67} \approx 3,5 \Rightarrow d = 4 \text{ см.}$$

6. Расчет вала на жесткость и на прогиб
 Рассчитаем перемещение в точке D т.к. перемещение в ней
 максимальное



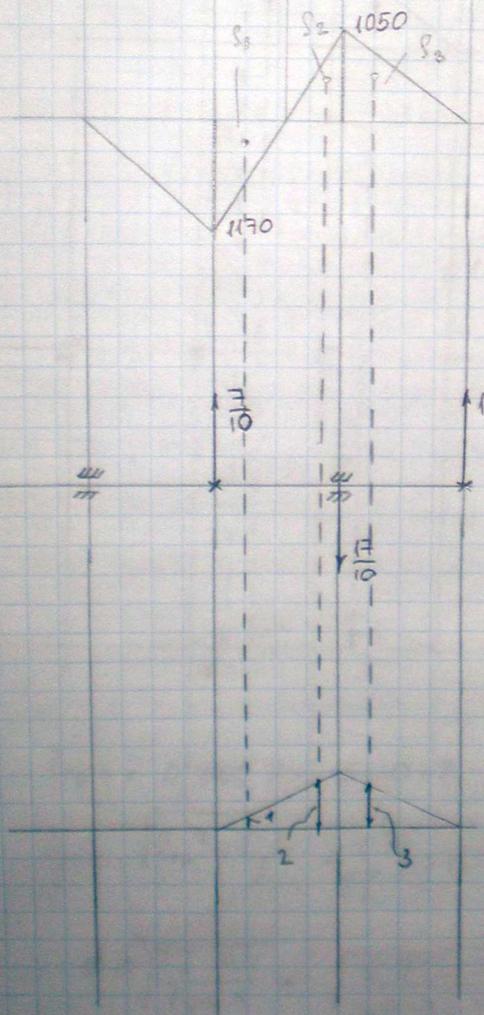
$$M_B = 1(L_2 + L_3) - x_2 \cdot L_2$$

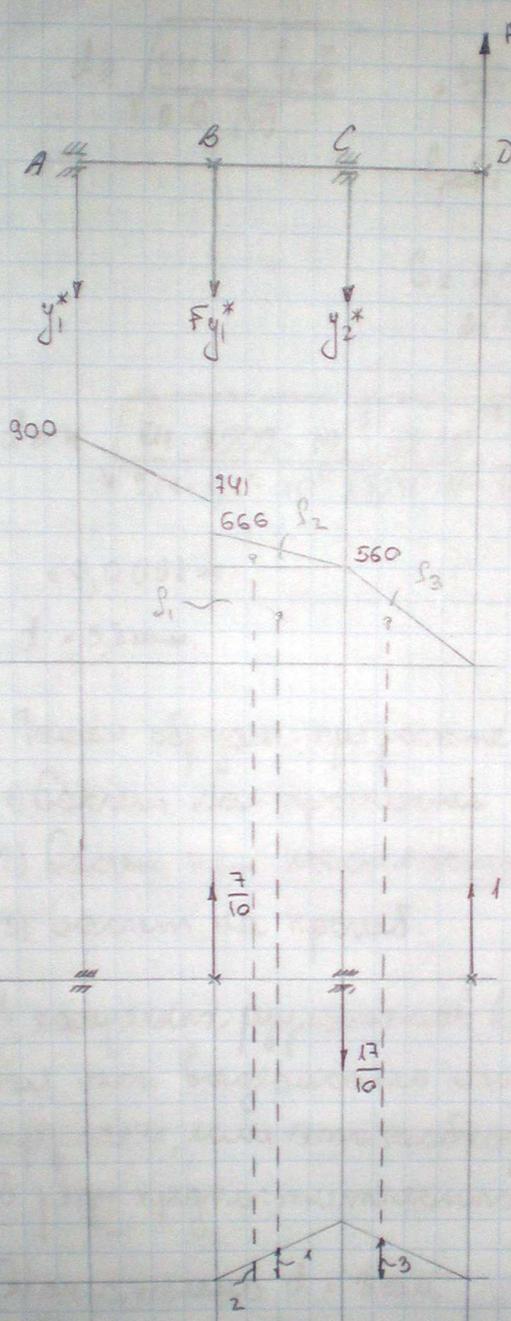
$$x_2 \leq \frac{17}{10} = 1,7$$

$$f_{x_0} = \frac{1}{EI} \left[\underbrace{\left(\frac{-1170 \cdot 4,73}{2} \right)}_{S_1} \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{3} \cdot \frac{7}{10} \cdot \frac{5,27}{10} \right)}_1 + \right. \\ \left. + \underbrace{\left(\frac{1050 \cdot 5,27}{2} \right)}_{S_2} \cdot \underbrace{\left(\frac{2 \cdot 4,73 + 5,27}{3 \cdot 10} \right)}_2 + \underbrace{\left(\frac{1050 \cdot 7}{2} \right)}_{S_3} \cdot \underbrace{\frac{2}{3}}_3 \right] \\ = \frac{-340,25 + 459,78 + 2450}{EI}$$

$$= \frac{2570}{EI}$$

эта, полученная от единичных сил





$$f_{yD} = \frac{1}{EI} \left(\underbrace{\left(\frac{560 \cdot 10}{3} \right)}_{\rho_1} \cdot \underbrace{\frac{1}{2}}_1 + \right.$$

$$+ \underbrace{\left(\frac{560 \cdot 7}{3} \right)}_{\rho_2} \cdot \underbrace{\frac{2}{3}}_3 +$$

$$\left. + \underbrace{\left(\frac{106 \cdot 10}{2} \right)}_{\rho_3} \cdot \underbrace{\frac{2}{3}}_2 \right) =$$

$$= \frac{2800 + 1306,6 + 353,3}{EI} = \frac{4460}{EI}$$

7. $f_{yD} = 0,0003 \cdot (15+10+7) = 9,6 \cdot 10^{-3} = 0,0096$

$$f_{proz} = \sqrt{f_{xD}^2 + f_{yD}^2} = \frac{1}{EI} \sqrt{(2570)^2 + (4460)^2} = \frac{5147,5}{EI} = \frac{5147,5}{2,06 \cdot 10^5 I} = \frac{0,025}{I}$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{fI \cdot 64}{f_{proz} \cdot \pi}} = \sqrt[4]{\frac{0,025 \cdot 64}{0,0096 \cdot 3,14}} \approx 7,3$$

8. Расчет на жесткость

$$d \geq \sqrt{\frac{64 M_{\text{кр}} l_{\text{кр}}}{\pi G [\varphi]}}, \text{ где } [\varphi] = 20' = \frac{20 \pi}{180 \cdot 60} = \frac{\pi}{180 \cdot 3}$$

$$l_{\text{кр}} = 15 + 10 + 7 = 32 \text{ мм (рабочая длина вала)}$$

$$G = \frac{2,06 \cdot 10^5}{2(1-0,3)} = 1,47 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 1,47 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 3500 \cdot 10^{-3} \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 1,47 \cdot 10^{11} (3,14 / 180 \cdot 3)}} = \sqrt[4]{114,45 \cdot 10^{-11}} \approx \sqrt[4]{3,38 \cdot 10^{-5}} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} =$$

$$= 0,0058 \text{ м}$$

$$d = 5,8 \text{ мм.}$$

9. Технические условия, при расчете получено

1) Расчет на прочность $d \geq 3,5 \text{ мм}$

2) Расчет на жесткость $d \geq 5,8 \text{ мм}$

3) Расчет на прогиб $d \geq 7,3$

Из полученных результатов выбираем наибольший (чтобы вал мог выдерживать нагрузки у приведенных нагрузок) и округляем, если это необходимо до ближайшего соседнего в ряду предпочтительных размеров

Итак окончательно $d = 8 \text{ мм}$.

10. Расчет и подбор шарикоподшипников.

По условию принимается, что температура в подшипниках не превышает 60°C и возможно перегрузки до 200% расчетной нагрузки, подбор проводится только по динамической грузоподъемности.

$$F_{1x} = 78 \text{ Н} \quad F_{2x} = 372 \text{ Н}$$

$$F_{1y} = 49,4 \quad F_{2y} = 69,4$$

$$F_{a1} = 15 \quad F_{a2} = 0$$

$$F_{r1} = \sqrt{(F_{1x})^2 + (F_{1y})^2} = \sqrt{(78)^2 + (49,4)^2} = 92,3 \text{ Н}$$

$$F_{r2} = \sqrt{(F_{2x})^2 + (F_{2y})^2} = 378,4$$

$$\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = \frac{15}{92,3}$$

$$\frac{F_{a2}}{F_{r2}} = \frac{0}{378,4}$$

Так как радиальные подшипники могут быть потеря работоспособности воспринимать до 70% от их расчетной нагрузки, то будем использовать радиальные подшипники.

Расчет динамической грузоподъемности

$$(C_p) = 0,01 p \sqrt[3]{60 \cdot n \cdot L_h} \quad n - \text{частота вращения (об/мин)}$$

L_h - долговечность в часах

$$n = 400$$

$$L_h = 500$$

II. Эквивалентная динамическая нагрузка P для II опоры

$$P_2 = (XV \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_b \cdot K_T \quad \alpha = 1; \gamma = 0$$

$V = 1$ (вращается наружное кольцо)

$K_b = 2$ (условно, при котором вал выдерживает кратковременные перегрузки до 200%)

$K_T = 1$ (т.к. по условию температура $60^\circ < 100^\circ$)

$$F_{a2} = 0 \Rightarrow P_2 = XV F_{r2} K_b K_T = 1 \cdot 1 \cdot 378,4 \cdot 2 \cdot 1 = 756,4$$

$$(C_p)_0 = 7,564 \sqrt[3]{400 \cdot 500 \cdot 60} = 1731,7 \text{ Н}$$

По таблице выбираем подшипник сверхлегкой серии диаметров $\Phi \Rightarrow 10000 \Phi 8$

$$\frac{F_0}{C_0} = \frac{0}{900}$$

$(C)_p < C \Rightarrow$ подшипник подходит

$$d = 8$$

$$D = 19$$

$$B = 6$$

$$r = 0,5$$

$$D_w = 3,000$$

$$Z = 8$$

$$C = 1750$$

$$C_0 = 900$$

$$d_0 = \frac{d+D}{2} = 13,5 \text{ мм.}$$

12. Аналогично для опоры I

$$P_1 = (XV F_r + YF_a) K_\lambda K_t$$

$$X = 1 \quad Y = 0$$

$$F_{r2} = 92,3 \text{ Н.}$$

$K_\lambda = 2$ (условие, при котором вал вдерживает крайковременные нагрузки до 200%)

$K_t = 1$ (т.к. по условию температура $60^\circ < 100^\circ$)

$V = 1$ (брауется наружное кольцо)

$$P_1 = XV F_r \cdot K_\lambda K_t = 1 \cdot 1 \cdot 92,3 \cdot 2 \cdot 1 = 184,6$$

$$(C)_p = 1,846 \sqrt[3]{400 \cdot 500 \cdot 60} = 422,6 \text{ (Н)}$$

По таблице выбираем подшипник верхней серии
диаметров $\varnothing \Rightarrow 1000093$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{15}{200} = 0,075$$

$(C)_p < C \Rightarrow$ подшипник подходит

$$d = 3$$

$$D = 8$$

$$B = 3$$

$$r = 0,2$$

$$D_w = 1,588$$

$$z = 6$$

$$C = 440$$

$$C_0 = 200$$

$$d_0 = \frac{D+d}{2} = \frac{8+3}{2} = 5,5 \text{ мм.}$$

13. Момент трения в подшипнике

$$M_{тр} = M_0 + (1,25 F_r + 1,5 F_a) \cdot f_k \frac{d_0}{d_w}$$

$$\text{где } d = 3 \text{ мм}$$

$$d_0 = 5,5 \text{ (мм)}$$

$$d_w = 3 \text{ мм}$$

$$f_k = 0,01 \text{ мм}$$

$$M_0 = 0,04 d_0 = 0,22 \text{ (Н.мм)}$$

момент трения

$$I \text{ Опра } F_r = 92,3 \text{ Н } F_a = 15$$

$$M_{тр} = 0,22 + (1,25 \cdot 92,3 + 15 \cdot 15) \cdot \frac{0,01 \cdot 5,5}{3} = 2,7 \text{ (Н.мм)}$$

II Опора

$$d = 8 \text{ мм}$$

$$d_0 = 13,5 \text{ мм}$$

$$d_{ш} = 3 \text{ мм}$$

$$f_{ш} = 0,01 \text{ мм}$$

$$M_0 = 0,04 d_0 = 0,54 \text{ мм}$$

$$F_{r2} = 378,4 \quad F_{a2} = 0$$

$$M_{r2} = 0,54 + (1,25 \cdot 378,4 + 1,8 \cdot 0) \cdot 0,01 \cdot \frac{13,5}{3} = 21,8 \text{ (Н.мм)}$$

Угловой момент трения $M_{\Sigma} = M_{r1} + M_{r2} = 24,5 \text{ (Н.мм)}$

14. КПД подшипников $\eta = \frac{M - M_{\Sigma}}{M} = \frac{1500 - 24,5}{1500} \cdot 100\% =$

$$\approx 98\%$$

15. Расчет опор с трением скольжения

$$F_a = 15 \text{ Н}$$

$$F_{r1} = 92,3 \text{ Н}$$

$$F_{r2} = 378,4 \text{ Н}$$

Выбираем материал шара и опор:

шар — сталь 45Х

опоры — БРОФ10-1

По таблице: $\delta_{-1} = 35 \text{ МПа}$

Трение между опорой/шаром $f = 0,05$ (смазкой)

$$[p] = 10 \text{ МПа}$$

$$[p_v] = 20 \text{ МПа} \Rightarrow [p_v] = \frac{\delta_{-1}}{2} = 17,5 \text{ МПа}$$

$$\lambda \leq \frac{1}{4} \sqrt{\frac{[p_v] \cdot \pi}{\rho}} \leq 0,59$$

Диаметры и длины валов

$$d = \frac{4 \sqrt{F_T \cdot l}}{\sqrt{\pi [3\sigma]}}$$

$$d_1 = \frac{4 \sqrt{92,3 \cdot 0,59}}{\sqrt{3,14 \cdot 17,5}} \approx 3,98 \text{ мм}$$

$$L_1 = 1,1 d_1 = 2,3$$

$$d_2 = \frac{4 \sqrt{378,4 \cdot 0,59}}{\sqrt{3,14 \cdot 17,5}} \approx 8 \text{ мм}$$

$$L_2 = 1,1 d_2 = 4,72$$

Диаметры d_1 и d_2 соответствуют условиям прочности $d \geq 3,5$ мм и жесткости $d \geq 5,8$ мм.

16. Проверка длины валов. $L \geq \frac{F_T \cdot \omega}{2[PV]}$, где

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 400}{60} = 41,86 \text{ рад/с}$$

$$\Rightarrow L_1 \geq \frac{F_{T1} \cdot \omega}{2[PV]} \Rightarrow L_1 \geq \frac{92,3 \cdot 41,86}{2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,09 \text{ мм}$$

$$L_2 \geq \frac{F_{T2} \cdot \omega}{2[PV]} \Rightarrow L_2 \geq \frac{378,4 \cdot 41,86}{2 \cdot 20 \cdot 10^6} \approx 0,39$$

Определим моменты трения в опорах

$$M_{тр1} = 0,635 \cdot F_{T1} \cdot R \cdot d_1$$

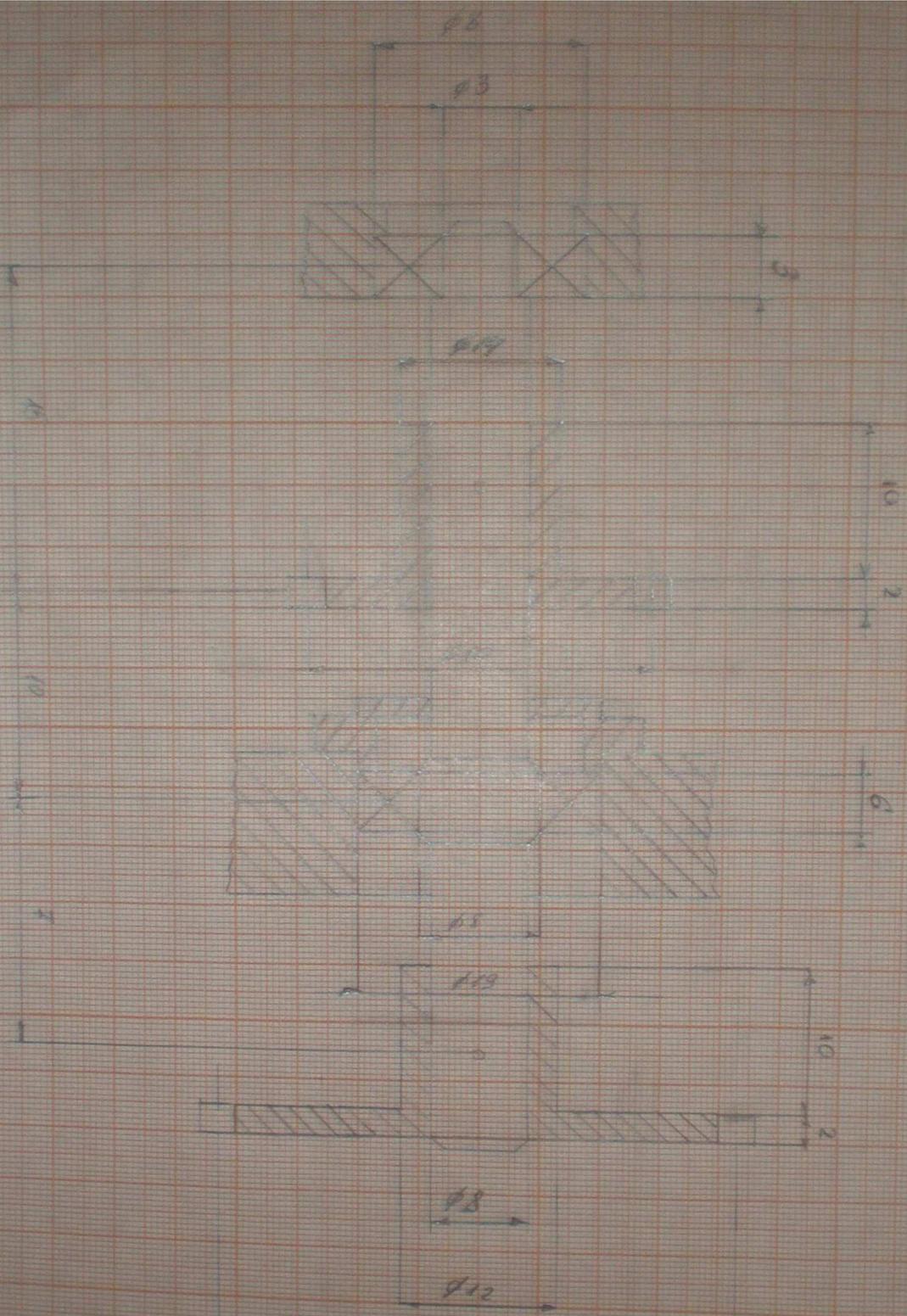
$$M_{тр1} = 0,635 \cdot 92,3 \cdot 2,3 = 134,8 \text{ (Н.мм)}$$

$$M_{тр2} = 0,635 \cdot F_{T2} \cdot R \cdot d_2$$

$$M_{тр2} = 0,635 \cdot 378,4 \cdot 4,72 = 1134,1 \text{ (Н.мм)}$$

$$M_{тр} = M_{тр1} + M_{тр2} = 1268,9$$

$$\text{КПД опор } \eta = \frac{M_{тр} - M_{трс}}{M_{тр}} = \frac{1500 - 1268,9}{1500} \cdot 100\% = 15,4\%$$



φ10

ВЫВОДЫ

В работе проводилось изучение параметров посадок валов и отверстий, изучение трех основных посадок: с зазором, переходной и с натягом. Во второй части описываются точностные расчеты полной конструкции при изменении длины составных деталей конструкции. В последней части комплекса домашних заданий ведется расчет вала с зубчатыми колесами на возможные воздействия, построение эпюр и выполнение расчетов позволяют определить материал из которого необходимо изготовить вал и его толщину.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ю.А. Кокорев, В.А. Жаров, А.М. Торгов, Расчет электромеханического привода. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1995, 132 с.
2. Элементы приборных устройств. Курсовое проектирование. Под ред. Тищенко О.Ф. Высш. Школа. 1982, ч.1, ч.2.
3. Е.В. Веселова, Н.И. Нарыкова, Расчет и конструирование валов и осей приборов. Учебное пособие по курсовому проектированию по курсу «Элементы приборных устройств». Под ред. Тищенко О.Ф. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1980, 46 с.
4. Буцев А.А., Еремеев А.И., Кокорев Ю.А. и др. Атлас конструкций ЭМП. Под ред. Тищенко О.Ф. Машиностроение, 1982.