

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Методические указания
по выполнению расчетно-графической работы
для студентов специальности 1-55 01 03 «Компьютерная мехатроника»

Витебск
2024

УДК 7.01 (075.8)

Составитель:
Ю. В. Новиков

Одобрено кафедрой «Автоматизация производственных процессов»
УО «ВГТУ», протокол № 9 от 21.03.2024.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 9 от 31.05.2024.

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ :
методические указания по выполнению расчетно-графической работы /
сост. : Ю. В. Новиков. – Витебск : УО «ВГТУ», – 2024. – 29 с.

Методические указания являются руководством по выполнению расчетно-графических работ по курсу «РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ», определяют порядок выполнения и расчета студентом задач, общие требования, предъявляемые к выполнению расчетных заданий, представляют последовательность ее анализа, требования к структуре, содержанию и оформлению решения.

Предназначены для студентов дневной формы обучения на базе специальности 1-55 01 03 «Компьютерная мехатроника».

УДК 7.01 (075.8)

© УО «ВГТУ», 2024

Содержание

Введение	4
1 Общие требования к выполнению расчетно-графических работ	5
2. Задание к РГР1. Конструирование, проверочный расчет ходового винта и зубчатого ременного зацепления, расчет мощности электродвигателя	6
2.1 Общие требования к выполнению задания.....	6
2.2 Содержание задания.....	7
3. Конструирование и проверочный расчет ходового винта исполнительного механизма мехатронного модуля.....	9
4. Расчет зубчатого ременного зацепления привода ходового винта исполнительного механизма мехатронного модуля.....	13
5. Конструирование механизма перемещения с использованием ходового винта и зубчатого ременного зацепления.....	19
6. Проектный расчет мощности электродвигателя рабочих органов.....	20
Список литературы.....	28

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ» относится к числу общепрофессиональных дисциплин и базируется на теоретическом и практическом материале, излагаемом в курсах физики и математики.

Основные механизмы, входящие в состав мехатронных модулей: зубчатые зацепления, винтовые, рычажные, ременные передачи. В настоящее время наибольшее распространение имеют винтовые, ременные с зубчатыми поликлиновидными и ручейковыми ремнями, с гидравлическим или электрическим приводами.

Цели преподавания дисциплины: приобретение студентами знаний по классификации и расчетам исполнительных механизмов на точность и прочность, конструированию звеньев, расчету кинематических пар на прочность и долговечность, расчету мощности электродвигателя, поверочным расчетам маховых масс электропривода

Задачи изучения дисциплины:

- сформировать представление о методике расчета исполнительных механизмов, электропривода, корпусных деталей машин;
- сформировать представление о методах конструирования звеньев исполнительных механизмов и корпусных деталей машин.

В результате изучения дисциплины студент должен

иметь представление:

- о структуре модулей, составляющих мехатронные системы технологического оборудования;

знать:

- классификацию исполнительных механизмов машин;
- основные расчеты и методы конструирования рычажных и кулачковых механизмов;
- классификацию и структуру электроприводов;
- основные методы проектных и поверочных расчетов электропривода;
- принципы конструирования и расчета станин;

уметь:

- выполнять расчеты на прочность и долговечность рычажных и кулачковых механизмов;
- конструировать звенья рычажных и кулачковых механизмов;
- выполнять основные расчеты электропривода;
- выполнять расчеты станин.

В результате изучения дисциплины студент должен развить и закрепить следующие компетенции, предусмотренные образовательным стандартом ОСВО 1-55 01 03-2013:

1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
2. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
3. Моделировать динамические и статические процессы мехатронных модулей в машинах.
4. Владеть компьютерным дизайном мехатронных модулей машин, деталей, оборудования.
5. Разрабатывать конструкторские чертежи мехатронных модулей машин, деталей, оборудования.
6. Применять методы аналитического и компьютерного моделирования процессов, протекающих в нагруженных мехатронных модулях машин в научно-исследовательской деятельности.

В результате изучения дисциплины студент должен иметь представление о статических характеристиках устройств и элементов, механической части мехатронных модулей технологического оборудования: исполнительных механизмов, электропривода, корпусных деталей.

1 Общие требования к выполнению расчетно-графических работ

При выполнении расчетно-графических работ студенты закрепляют теоретический материал, изложенный в лекциях, материал лабораторных работ, учатся анализировать процессы, происходящие в цепях постоянного и переменного токов.

Количество расчетно-графических работ и их распределение по семестрам определяется рабочей программой дисциплины.

При выполнении расчетно-графических работ должны быть выполнены следующие требования:

- на титульном листе указывается название университета, кафедры, название и номер расчетно-графической работы, фамилия, имя и отчество студента, номер учебной группы, фамилия, имя и отчество проверяющего, год выполнения работы;
- использовать стандартные листы писчей бумаги;
- при расчетах в основном пользоваться международной системой единиц;
- графический материал вычерчивать карандашом или ручкой с помощью чертежных инструментов, пользуясь стандартными графическими обозначениями элементов схем и стандартными буквенными обозначениями физических величин;
- векторные диаграммы вычерчивать на миллиметровой бумаге;
- полученное решение проверить выбранным самостоятельно методом.

Номер варианта задания указывается преподавателем, ведущим дисциплину.

2 Задание к РГР1. Конструирование, проверочный расчет ходового винта и зубчатого ременного зацепления, расчет мощности электродвигателя

2.1 Общие требования к выполнению задания

Перед выполнением задания необходимо повторить следующие темы по предмету.

Тема 1 Структура машин

Классификация машин. Понятие о технологических машинах. Машина, как элемент структуры мехатронных систем (мехатронный модуль). Технологическая структура мехатронных модулей. Конструктивная структура мехатронных модулей. Кинематическая структура мехатронных модулей.

Тема 2 Классификация и критерии оценки работоспособности исполнительных механизмов машин

Классификация исполнительных механизмов по законам движения рабочих органов. Критерии оценки работоспособности исполнительных механизмов.

Тема 3 Расчет исполнительных механизмов на точность

Основные понятия и определения теории точности механизмов. Зависимость ошибки положения механизма от первичных ошибок. Аналитический метод расчета ошибок положения механизмов. Графоаналитический метод расчета ошибок положения механизмов.

Тема 4 Конструирование и расчеты на прочность рычажных исполнительных механизмов

Материалы, применяемые при изготовлении звеньев. Нормирование точности изготовления звеньев, термообработки и шероховатости поверхностей. Расчеты звеньев на прочность. Конструктивное оформление кинематических пар. Смазка кинематических пар. Расчеты кинематических пар на прочность и долговечность.

Тема 5 Конструирование и расчеты на прочность кулачковых исполнительных механизмов

Материалы, применяемые при изготовлении звеньев. Нормирование точности изготовления звеньев, термообработки и шероховатости поверхностей. Расчет высших кинематических пар на контактную прочность.

Тема 6 Расчет электропривода машин

Классификация электроприводов. Основные задачи расчета электропривода. Структура типового электропривода, определение его приведенных характеристик. Уравнение движения звена приведения электропривода. Проектный расчет мощности электродвигателя при нестационарных приведенных характеристиках электропривода. Поверочный расчет маховых масс электропривода.

При повторении рекомендуется использовать лекционный материал и литературу.

2.1 Содержание задания

1. Конструирование и проверочный расчет ходового винта исполнительного механизма мехатронного модуля.
2. Расчет и конструирование зубчатого ременного зацепления
3. Конструирование механизма перемещения с использованием ходового винта и зубчатого ременного зацепления. По необходимости выбора параметров, воспользоваться справочником.
4. Проектный расчет мощности электродвигателя.
5. Приведение масс электропривода к звену приведения.
6. Поверочный расчет маховых масс электропривода.

Таблица 1 – Исходные данные для выполнения расчетной работы конструирование и проверочный расчет ходового винта

Пары ходового механизма	Сила сопротивления перемещению, Н	Тип резьбы	Номинальный диаметр ходовой резьбы, мм	Высота ходовой гайки, мм	Расстояние между опорами, мм	№ варианта
Закаленная сталь – бронза	300	метрическая	10	12	250	1
Незакаленная сталь – бронза	400	трапецеидальная	10	20	600	2
Незакаленная сталь – чугун	500	упорная	12	20	300	3
Закаленная сталь – бронза	60	метрическая	10	10	400	4

Окончание таблицы 1

Незакаленная сталь – бронза	70	упорная	12	8	500	5
Незакаленная сталь – чугун	80	трапецеидальная	14	10	600	6
Закаленная сталь – бронза	90	метрическая	14	20	800	7
Незакаленная сталь – бронза	100	трапецеидальная	14	20	1000	8
Незакаленная сталь - -чугун	110	упорная	16	16	800	9
Закаленная сталь – бронза	300	упорная	20	20	600	10
Незакаленная сталь – бронза	400	трапецеидальная	16	20	600	11
Незакаленная сталь – чугун	50	метрическая	12	10	500	12
Закаленная сталь – бронза	60	трапецеидальная	12	12	400	13
Незакаленная сталь – бронза	70	упорная	10	20	800	14
Незакаленная сталь – чугун	80	трапецеидальная	8	12	500	15
Закаленная сталь – бронза	90	упорная	10	14	400	16
Незакаленная сталь – бронза	100	метрическая	8	14	600	17
Незакаленная сталь –чугун	110	упорная	8	16	400	18
Закаленная сталь – бронза	120	трапецеидальная	16	20	1000	19
Незакаленная сталь – бронза	200	упорная	18	20	800	20
Незакаленная сталь – бронза	420	трапецеидальная	16	22	600	21
Незакаленная сталь – чугун	52	метрическая	12	12	500	22
Закаленная сталь – бронза	64	трапецеидальная	12	14	400	23
Незакаленная сталь – бронза	72	упорная	10	24	800	24

Для выполнения расчета зубчатого ремня мощность электродвигателя $P = 1,5$ кВт, обороты вала $n = 1000$ об/мин. Параметры ремня выбираются по таблице 2.

Таблица 2– Исходные данные для выполнения расчета зубчатого ремня

Вариант	Диаметр шкива D_1 , мм	Диаметр шкива D_2 , мм	Межосевое расстояние, мм	Ширина ремня, мм
1	121	240	180	40
2	120	220	300	20
3	100	204	280	18
4	100	200	500	24

Окончание таблицы 2

5	20	60	264	26
6	140	220	540	18
7	150	260	480	10
8	145	200	280	12
9	98	160	300	16
10	96	180	320	18
11	120	240	400	20
12	124	250	430	22
13	150	240	420	40
14	64	200	360	32
15	88	160	280	30
16	150	190	400	24
17	190	280	460	28
18	120	220	510	24
19	20	100	440	38
20	110	210	310	22
21	122	244	400	20
22	124	252	430	22
23	152	242	420	40
24	68	202	360	32

3 Конструирование и проверочный расчет ходового винта исполнительного механизма мехатронного модуля

Таблица 3 – Исходные данные для примера выполнения расчетной работы

Пары ходового механизма	Сила сопротивления перемещения, Н	Тип резьбы	Номинальный диаметр ходовой резьбы, мм	Высота ходовой гайки, мм	Расстояние между опорами, мм
Незакаленная сталь – бронза	100	метрическая	8	14	600

Допустимое среднее давление:

$$p = \frac{F}{\pi d_2 h z} \leq [p],$$

где F – расчетная осевая сила, действующая на винт; d_2 – средний диаметр резьбы; h – рабочая высота профиля; z – число витков резьбы на высоте гайки H .

Для исходных данных рабочая высота профиля

$$h = 0,54P = 0,54 \cdot 1 = 0,54 \text{ мм,}$$

Число витков резьбы на высоте гайки H

$$z = \frac{H}{P} = \frac{14}{1} = 14 .$$

Тогда имеем среднее давление в резьбе:

$$p = \frac{100}{\pi \cdot 7,75 \cdot 0,54 \cdot 14} = 0,54 \text{ МПа.}$$

Допустимое давление в резьбе $[p]$ для металлов незакаленной стали – бронзы:

$$[p] = 7 \dots 8 \text{ МПа.}$$

Сравниваем расчетное и допустимое значения давлений в резьбе

$$p = 0,54 \text{ МПа} \leq [p] = 7 \dots 8 \text{ МПа.}$$

Расчетное значение меньше допустимого значения давления в резьбе, следовательно изменять параметры резьбы не требуется.

Длинные винты подверженные сжимающей нагрузке, проверяют на продольный изгиб. За расчетное принимают крайнее положение гайки, когда винт подвергается сжатию на максимальной длине.

Условие устойчивости винта по Эйлеру:

$$F \leq \frac{\pi^2 E j}{S(\mu l)^2},$$

где μl – приведенная длина (μ – коэффициент приведения, l – для двухопорных винтов – расстояние между опорами, если второй опорой служит гайка, то расстояние между опорой и серединой гайки), S – коэффициент безопасности, который принимают в пределах 3–4, j – приведенный осевой момент инерции сечения винта, который определяется по эмпирической формуле:

$$j = \frac{\mu d^4}{64} \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{d}{d_1} \right),$$

где d и d_1 – диаметры резьбы винта соответственно наружный и внутренний.

Формула для допустимой силы F оптимальна при выполнении равенства $\mu l \geq 100i$ или приближенно

$$\mu l \geq 25d,$$

где $i = \sqrt{\frac{j}{A_1}}$ – радиус сечения инерции витка (A_1 – площадь сечения винта).

Приведенный осевой момент инерции сечения винта

$$j = \frac{\pi \cdot 8^4}{64} \cdot \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{8}{7,5}\right) = 209,04.$$

Принимаем $\mu l = 600 \geq 25d$.

Тогда условие устойчивости винта по Эйлеру:

$$F \leq \frac{\pi^2 \cdot 1,54 \cdot 10^{-5} \cdot 209,04}{4 \cdot (1 \cdot 600)^2} = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н.}$$

Винты любой длины можно проверить по объединенному условию прочности и устойчивости, пользуясь формулой:

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq [\sigma]_{\text{сж}} \cdot \varphi,$$

где $[\sigma]_{\text{сж}}$ – допускаемое напряжение на сжатие для стали Ст3; φ – коэффициент понижения допускаемого напряжения в зависимости от гибкости стержня $\frac{\mu l}{i}$.

Объединенное условие прочности и устойчивости:

$$\sigma = \frac{100}{50} = 2 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется:

$$2 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 154 \text{ Мпа.}$$

Расчетное значение меньше допустимого значения, по объединенному условию прочности и устойчивости требование выполняется.

Чертеж ходового винта представлен на рисунке 1.

4 Расчет зубчатого ременного зацепления привода ходового винта исполнительного механизма мехатронного модуля

Исходные данные выбираются из таблицы 2 по варианту.

Дано:

$P = 3$ кВт; $n = 3000$ об/мин; $u = 2,5$; $OA = 32$ мм; $AB = 100$ мм; $q_3 = 17$;
 $\varphi = 90^\circ$.

Решение:

Потребную величину упругого растяжения ΔL ремня при надевании на шкивы (т. е. разницу длин ремня, надетого на шкивы, и ремня в свободном состоянии) легко подсчитать, зная длину ремня L , модуль упругости ремня E и потребное напряжение начального натяжения, выбираемое с учетом последующей вытяжки ремня из традиционных материалов $\sigma_0 = 1,8 \dots 3$ МПа:

$$\Delta L = \frac{\sigma_0}{E} \cdot L .$$

Длина ремня определяется:

$$L = 2 \cdot a \cdot \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} + \frac{\gamma(d_2 - d_1)}{2}.$$

Преобразуем формулу, используя приближенную зависимость

$$\cos \frac{\gamma}{2} \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\gamma}{2} \right)^2 .$$

Подставив значения γ и заменив

$$d_{\text{ср}} = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

Длина ремня определяется

$$L \approx 2a + \pi d_{\text{ср}} + \frac{\Delta^2}{2} .$$

Расстояния между осями шкивов при выбранной длине ремня L :

$$a = \frac{L - \pi d_{\text{ср}}}{4} + \frac{1}{4} \sqrt{(L - \pi d_{\text{ср}}^2 - 8\Delta^2)}.$$

Определяем диаметры шкивов номер 1 и 2

$$d_1 = 0,12 \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n_1}} = 0,12 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^3}{3000}} = 0,12 \text{ м.}$$

$$d_2 = \frac{u d_1}{1 - \varepsilon} = \frac{2,5 \cdot 0,12}{1 - 0,01} = 0,3 \text{ м.}$$

Определяем скорость ремня:

$$V = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \cdot 10^3} = \frac{\pi \cdot 0,12 \cdot 3000}{60 \cdot 10^3} = 0,02 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Длина ремня с учетом числа зубьев ремня и выбранного модуля:

$$L = \pi \cdot m \cdot z_p,$$

где $z_p = 40 \dots 160$ – число зубьев ремня; m – модуль.

Определяем модуль зубчатого зацепления, округляем по значениям в справочнике

$$m = 3,5 \sqrt{\frac{10^3 \cdot P_1}{n_1}} = 3,5 \sqrt{\frac{10^3 \cdot 3}{3000}} = 3,5.$$

С учетом модуля длина ремня

$$L = \pi \cdot 3,5 \cdot 100 = 1099,56 \text{ мм.}$$

Принимаем по ряду длин $L = 1100$ мм.

Уточняем число зубьев, округляем до целого.

$$z_1 = \frac{d_1}{m} = \frac{120}{3,5} = 34,3(34),$$

$$z_2 = \frac{d_2}{m} = \frac{300}{3,5} = 85,7(86).$$

Определяется межосевое расстояние:

$$a = 0,25 \left(L - w + \sqrt{(L - w)^2 + 8 \cdot y} \right),$$

где

$$w = \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} = \pi \cdot \frac{120 + 300}{2} = 659,7,$$

$$y = \frac{(d_2 - d_1)^2}{2} = \frac{(300 - 120)^2}{2} = 16200.$$

Тогда межосевое расстояние:

$$a = 0,25 \left(1100 - 659,7 + \sqrt{(1100 - 659,7)^2 + 8 \cdot 16200} \right) = 252 \text{ мм.}$$

Ширина ремня определяется:

$$b = \frac{F_t}{[q]},$$

где F_t – окружное усилие, передаваемое ремнем; $[q]$ – допускаемое удельное окружное усилие, приходящееся на единицу ширины ремня.

Допускаемое удельное окружное усилие:

$$[q] = q_0 \frac{C_F}{C_p},$$

где $q_0 = 25$ – приведенное удельное окружное усилие, выбираемое в зависимости от модуля, C_F – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по ширине несущего слоя; $C_F \approx 0,85$; C_p – коэффициент динамичности и режима работы (при односменной работе и характере нагрузки: спокойная $C_p = 1,0$, умеренные колебания $C_p = 1,2$, ударная $C_p = 1,3$; при двухсменной работе значения повышаются на 15 %, при трехсменной – на 40 %).

$$[q] = 25 \cdot \frac{0,85}{1} = 21,25,$$

$$F_t = \frac{P_1}{v},$$

где v – окружная скорость.

$$v = \frac{\pi n_1 d_1}{1}.$$

С учетом значений получим

$$v = \frac{\pi \cdot 3000 \cdot 0,12}{60} = 18,8 \text{ м/с},$$

$$F_t = \frac{3000}{18,8} = 159,57 \text{ Н},$$

$$b = \frac{159,57}{21,25} = 7,5 \text{ мм}.$$

По таблице ширину ремня принимаем $b = 20$ мм.

Таблица 4 – Исходные данные ширины ремня b мм в зависимости от модуля

Ширина b	Модуль t							
	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0
3–4	+	+	-	-	-	-	-	-
5 и 8	+	+	+	-	-	-	-	-
10	+	+	+	-	-	-	-	-
12,5	+	+	+	+	-	-	-	-
16	-	+	+	+	-	-	-	-
20	-	+	+	+	+	-	-	-
25 и 32	-	-	-	+	+	+	-	-
40	-	-	-	+	+	+	+	-
50	-	-	-	+	+	+	+	+
63, 80 и 100	-	-	-	-	+	+	+	+
125	-	-	-	-	-	-	+	+
160 и 200	-	-	-	-	-	-	-	+

Ремни приводные зубчатые по ОСТ 38 05114-76 (смотри рис. 2)

1. z_p – число зубьев ремня из ряда: 40, 42, 45, 48, 50, 53, 56, 60, 63, 67, 71, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 112, 115, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 235, 250.

2. Ширина ремня b выбирается из ряда: 3,0; 4,0; 5,0; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,05; 63,0; 80,0; 100,0; 125,0; 160,0; 200,0 мм.

3. Длина ремня $L_p = \pi t z_p$.

Таблица 5 – Параметры ремня в мм в зависимости от модуля

$m = \frac{P}{\pi}$	P	S	h	H	δ	γ°	b	z_p	$S_{ш}$	$h_{ш}$
1,0	3,14	1,0	0,8	1,6	0,4	50	3,0...12,5	40...160	1,0	1,3
1,5	4,71	1,5	1,2	2,2	0,4	50	3,0...20,0	40...160	1,5	1,8
2,0	6,28	1,8	1,5	3,0	0,6	50	5,0...20,0	40...160	1,8	2,2
3,0	9,42	3,0	2,0	4,0	0,6	40	12,5...50,0	40...160	3,2	3,0
4,0	12,57	4,4	2,5	5,0	0,8	40	20,0...100	48...250	4,0	4,0
5,0	15,71	5,0	3,5	6,5	0,8	40	25,0...100	48...200	4,8	5,0
7,0	21,99	8,0	6,0	11,0	0,8	40	40,0...125	56...140	7,5	8,5
10,0	31,42	12,0	9,0	15,0	0,8	40	50,0...200	56...100	11,5	12,5

4. Обозначения S и h относятся к шкивам.

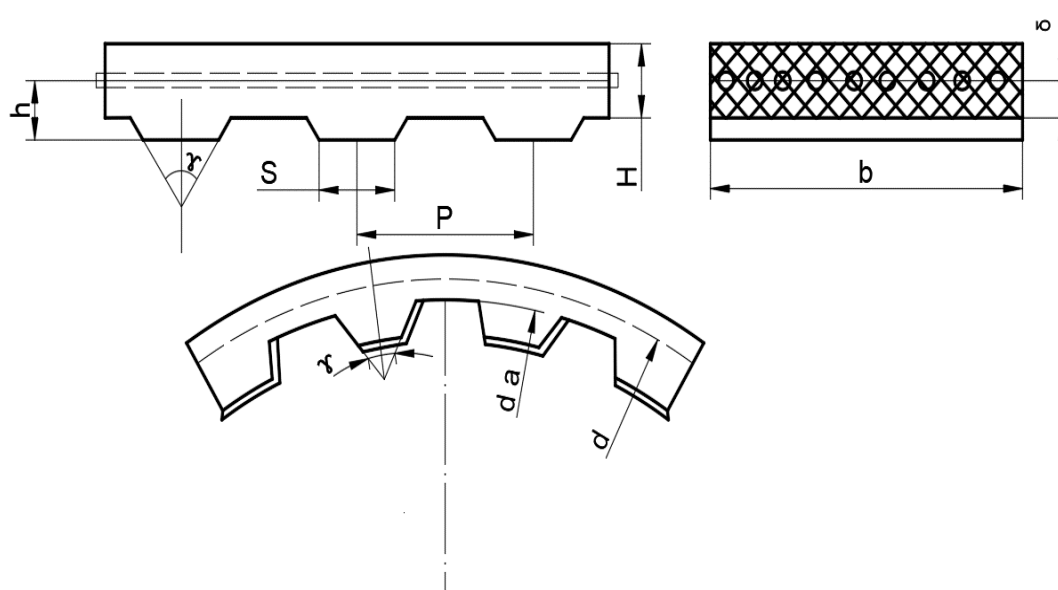


Рисунок 2 – Параметры ременной передачи

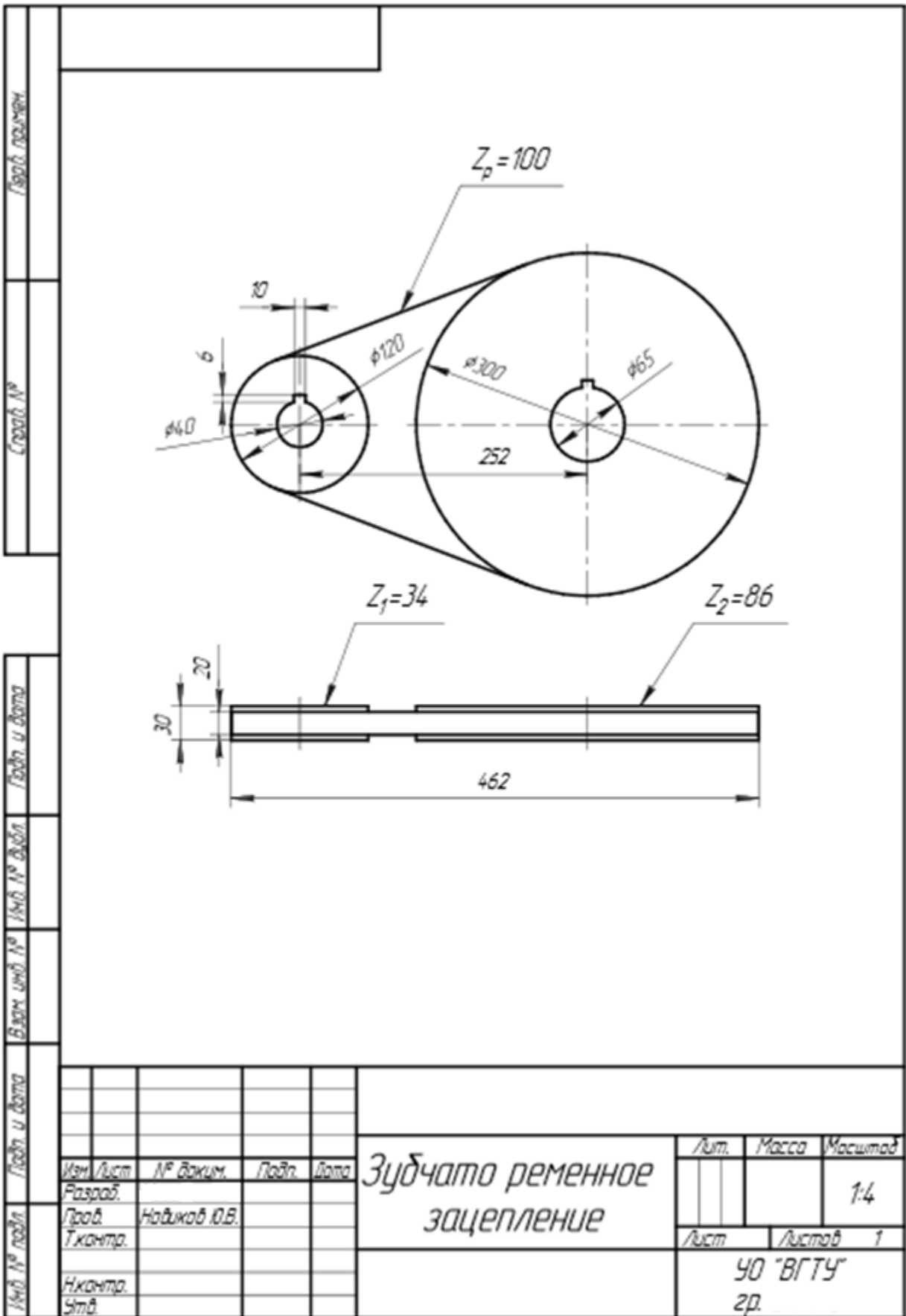


Рисунок 3 – Ременная передача

5 Конструирование механизма перемещения с использованием ходового винта и зубчатого ременного зацепления

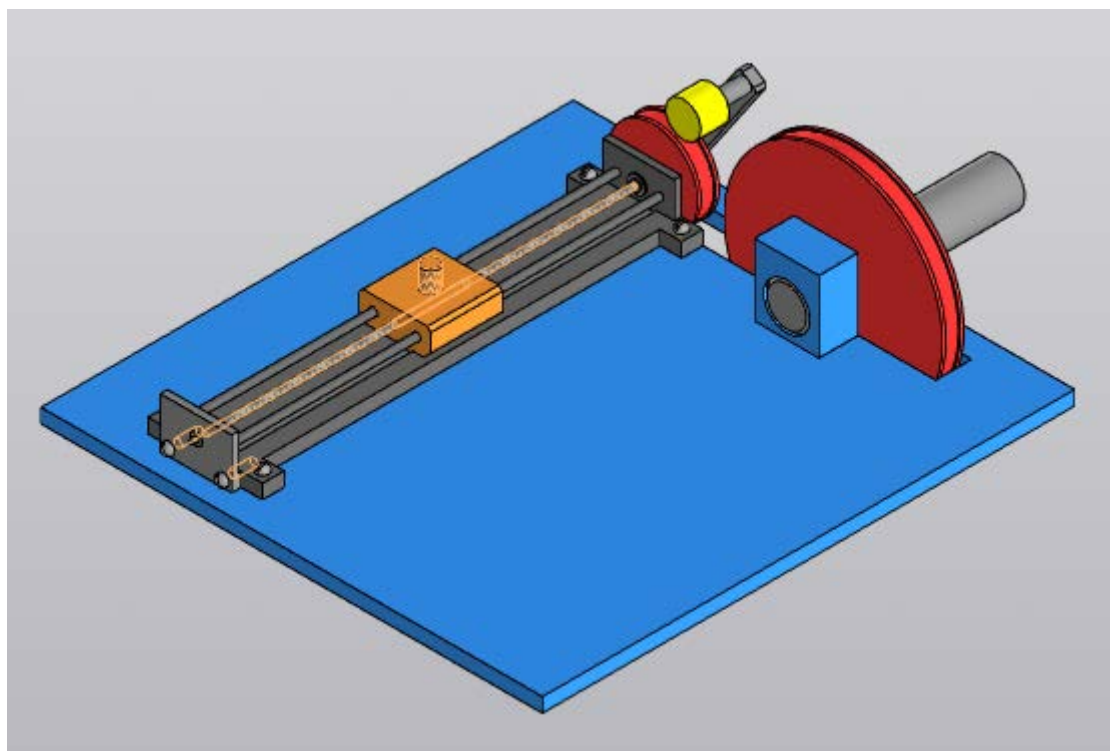


Рисунок 4 – 3Д модель механизма ходового ремня и ременной передачи

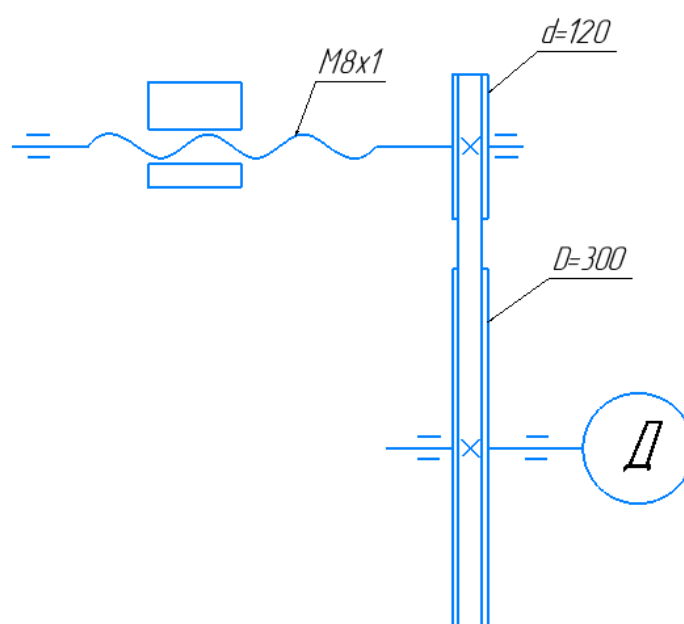


Рисунок 5 – Кинематическая схема механизма ходового винта и ременной передачи

6 Проектный расчет мощности электродвигателя рабочих органов

Кинематическая схема электропривода мехатронного модуля приведена на рисунке 6

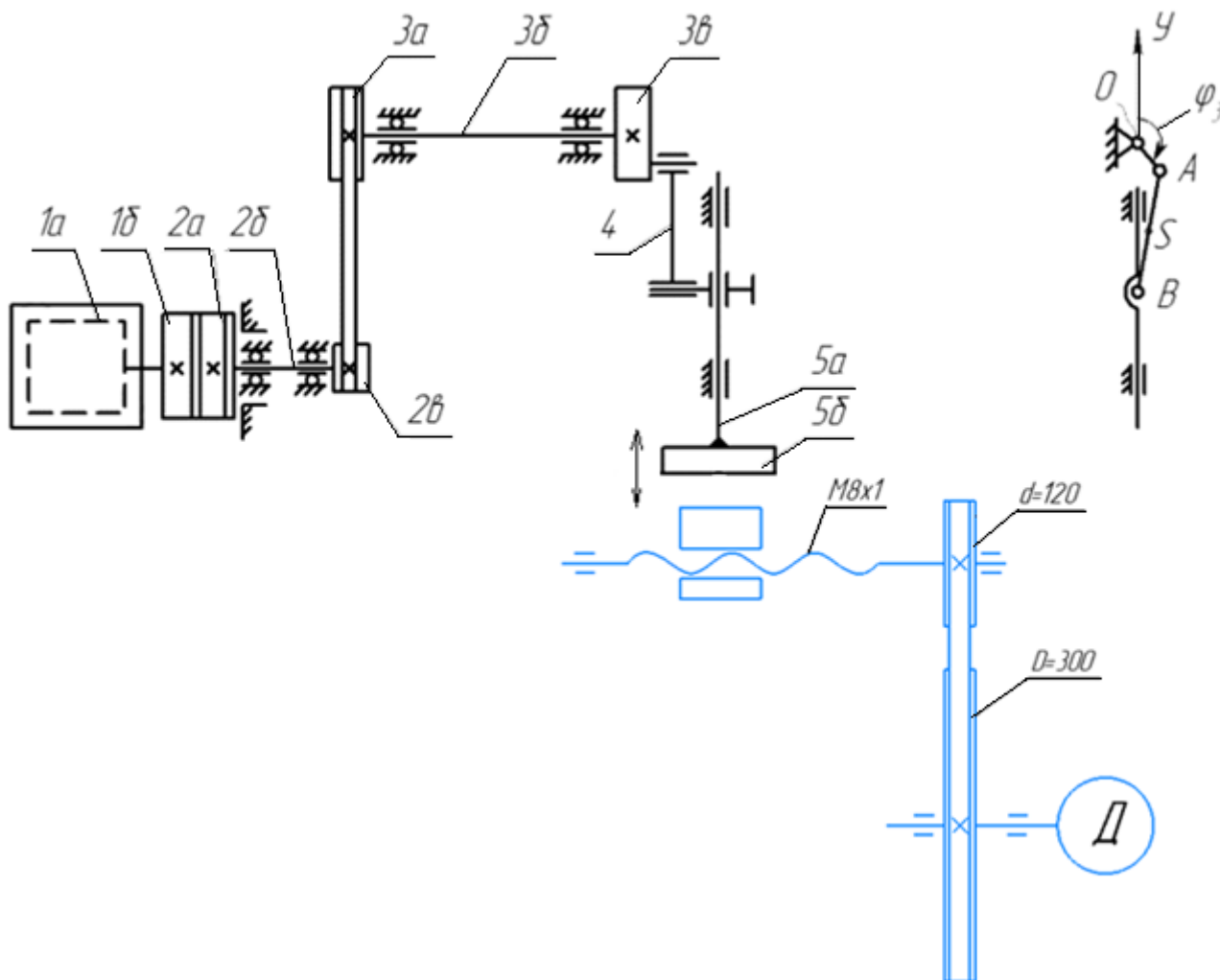


Рисунок 6 – Кинематическая схема электропривода мехатронного модуля

На схеме обозначены: 1 а – ротор электродвигателя, 1 б – маховик, 2 а – фрикционная муфта, 2 б – вал, 2 в, 3 а – шкивы клиноременной передачи, 3 б – вал, 3 в – кривошип, 4 – шатун, 5 а – ползун, 5 б – рабочий орган, P_c – сила полезного сопротивления, OAB – кривошипно-ползунный механизм привода ползуна 5 а. $OA = 24$ мм, $AB = 70$ мм.

Диаметры шкивов клиноременной передачи: $D_{2в} = 100$ мм, $D_{3а} = 250$ мм. На рисунке 7 приведен график изменения силы полезного сопротивления P_c в функции угла поворота φ_3 кривошипа OA.

Решение.

$$M_{\text{спр}} = \frac{P_c}{w_{1-5}}, \quad (6.1)$$

где w_{1-5} – передаточное число от ротора электродвигателя 1 к ползуну 5, определим приведенный к ротору электродвигателя момент $M_{\text{спр}}$ от силы P_c .

$$w_{1-5} = \frac{\omega_1}{V_5} = \frac{\omega_3 \cdot u_{1-3}}{V_5} = \frac{V_A \cdot u_{1-3}}{OA \cdot V_B} = \frac{u_{1-3}}{OA} \cdot \frac{pa}{pb'}$$

где ω_1 – угловая скорость ротора электродвигателя 1 а, V_5 – скорость ползуна 5 а, ω_3 – угловая скорость кривошипа ОА, u_{1-3} – передаточное число от ротора электродвигателя к кривошипу ОА, $OA = 0,024$ м, pa и pb' – отрезки на плане скоростей кривошипно-ползунного механизма ОАВ, представляющие скорости точек А и В механизма.

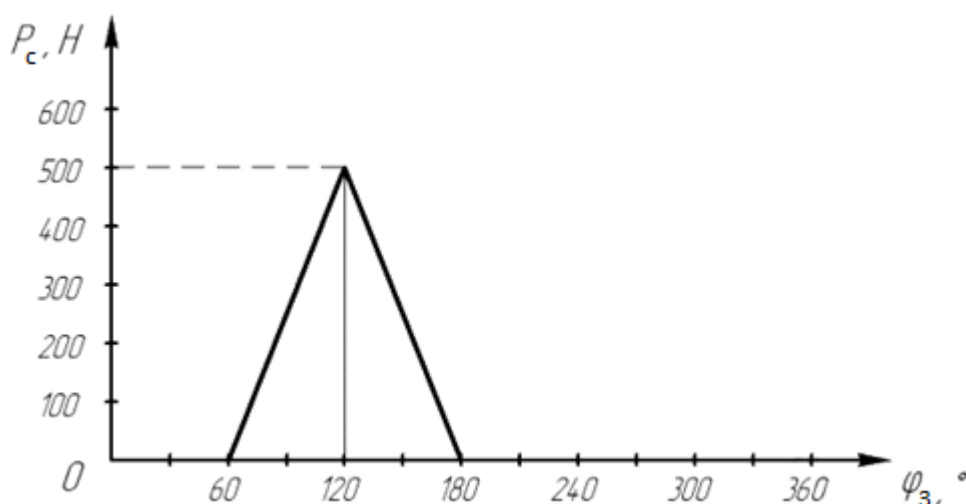


Рисунок 7 – График зависимости $P_c = f(\varphi_3)$

$$u_{1-3} = \frac{D_{3a}}{D_{2b}} = \frac{260}{160} = 1,6.$$

Из графика P_c следует, что при $\varphi_3 = 60^\circ$ и $\varphi_3 = 180^\circ$ сила $P_c = 0$, при этом согласно (1) $M_{\text{спр}} = 0$. При $\varphi_3 = 120^\circ$

$$w_{1-5} = \frac{u_{1-3} \cdot pa}{OA \cdot pb'} = \frac{1,6 \cdot 40}{0,024 \cdot 40} = 66,67.$$

$$M_{\text{спр}} = \frac{500}{66,67} = 7,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Строится график $M_{\text{спр}}$ в функции φ_1 , где $\varphi_1 = \varphi_3 \cdot u_{1-3}$. Значения φ_1 представлены в радианах.

Определим работу совершаемую $M_{\text{спр}}$ за один оборот кривошипа ОА как площадь треугольника, образованного графиком $M_{\text{спр}}$.

$$A_{\text{спр}} = 7,5 \cdot \frac{7,85 - 2,62}{2} = 19,61 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Принимая момент электродвигателя за один оборот кривошипа ОА приближенно постоянным и равным номинальному моменту, определим работу электродвигателя:

$$A_{\text{д}} = M_{\text{н}} \cdot 15,7.$$

Принимая $A_{\text{д}} = A_{\text{спр}}$, определим:

$$M_{\text{н}} = \frac{A_{\text{спр}}}{15,7} = \frac{19,61}{15,7} = 1,25 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальную мощность электродвигателя определим из формулы:

$$N_{\text{н}} = \frac{M_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{н}}}{\eta_{\text{пр}}}, \quad (6.2)$$

где $\omega_{\text{н}}$ – номинальная угловая скорость ротора электродвигателя принимает $\omega_{\text{н}} = 157 \text{ рад/с}$; $\eta_{\text{пр}}$ – суммарный коэффициент полезного действия электропривода.

$$\text{Определим } \eta_{\text{пр}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \cdot \eta_7,$$

где η_1 – КПД подшипников качения ротора электродвигателя $\eta_1 = 0,98$; η_2 – КПД фрикционной муфты 1 б – 2 а, $\eta_2 = 0,96$; η_3 – КПД подшипников качения вала 2 б, $\eta_3 = 0,98$; η_4 – КПД клиноременной передачи 2 б – 3 а, $\eta_4 = 0,96$; η_5 – КПД подшипников качения вала 3 б, $\eta_5 = 0,98$; η_6 – КПД подшипников скольжения шатуна 4, $\eta_6 = 0,96^2 = 0,92$; η_7 – КПД направляющих ползуна 5 а, $\eta_7 = 0,942 = 0,88$.

С учетом значений имеем:

$$\eta_{\text{пр}} = 0,58 \cdot 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,92 \cdot 0,88 = 0,7.$$

Подставив значения $M_{\text{н}}$, ω_1 и $\eta_{\text{пр}}$ в (6.2), получим

$$N_{\text{н}} = \frac{1,25 \cdot 157}{0,7} = 280,36 \text{ Вт}.$$

По справочнику выбирается тип электродвигателя АИР112МА6 3 кВт 1000 об/мин.

Приведение масс электропривода к звену приведения

Кинематическая схема электропривода мехатронного модуля приведена на рисунке 6.

Дано: моменты инерции вращающихся звеньев 1 а, 1 б, 2 а, 2 б, 2 в, 3 а, 3 б, 3 в: $I_{1a} = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{2a} = 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{3a} = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{1б} = 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{2б} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{3б} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{2в} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{3в} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

Момент инерции шатуна 4 относительно центра масс:

$$I_{s4} = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Массы шатуна 4 и ползуна 5:

$$m_4 = 0,1 \text{ кг}; m_5 = 0,25 \text{ кг}.$$

Размеры звеньев кривошипно-коромыслового механизма $OA = 0,024 \text{ м}$, $AB = 0,07 \text{ м}$, $AS = 0,02 \text{ м}$.

График изменения силы полезного сопротивления P_c , приложенной к ползуну 5, приведен на рисунке 7.

Требуется определить: приведенные к валу электродвигателя момент инерции $I_{пр}$ звеньев привода и момент $M_{спр}$ силы полезного сопротивления P_c .

Решение:

Определение $I_{пр}$. $I_{пр}$ определяются из формулы

$$I_{пр} = I_1 + I_2 + \frac{I_3}{u_{1-3}^2} + \frac{I_{s4}}{u_{1-4}^2} + \frac{m_4}{w_{1-4}^2} + \frac{m_5}{w_{1-5}^2}, \quad (6.3)$$

где $I_1 = I_{1a} + I_{1б} = 1,6 \cdot 10^{-4} + 10^{-5} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

$I_2 = I_{2a} + I_{2б} + I_{2в} = 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-6} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

$I_3 = I_{3a} + I_{3б} + I_{3в} = 1,2 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-6} = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

u_{1-3} – передаточное число клиноременной передачи, $u_{1-3} = 2.5$;

u_{1-4} – передаточное число от звена 1 к шатуну 4 во вращательном движении шатуна, $u_{1-4} = \frac{\omega_1}{\omega_4}$; w_{1-4} – передаточное число от звена 1 к шатуну 4 в

поступательном движении шатуна; w_{1-5} – передаточное число от звена 1 к ползуну 5 в поступательном движении ползуна.

Для приведения I_{s4} , m_4 и m_5 к звену 1 необходимо определить передаточные числа u_{1-4} , w_{1-4} , w_{1-5} . Эти величины являются переменными и требуют построения планов скоростей кривошипно-коромыслового механизма ОАВ.

$$u_{1-4} = \frac{u_{1-3} \cdot AB \cdot pa}{OA \cdot pb} = 7,5 \frac{pa}{pb}, \quad (6.4)$$

где pa, pb – отрезки на плане скоростей механизма;

Таблица 6 Параметры привода мехатронного мадуля

φ_3 Град.	pa , мм	pb , мм	pS , мм	ab , мм	w_{1-5} , $\frac{\text{рад}}{\text{м}}$	$I_{\text{пр}5}$, кг · м ² .	u_{1-4}	$I'_{\text{пр}4}$, кг · м ²	w_{1-4} , $\frac{\text{рад}}{\text{м}}$	$I''_{\text{пр}4}$, кг · м ² .	$I_{\text{пр}4}$, кг · м ²
0	40	0	27	40		0	7,5	0,013	185,2	0,03	0,043
60	40	29	36	21	172,4	0,33	14,3	0,004	138,8	0,52	0,524
120	40	40	39	21	125	0,64	14,3	0,003	128,2	0,6	0,603
180	40	0	27	40		0	7,5	0,013	185,2	0,03	0,043
240	40	40	39	20	125	0,64	15	0,003	128,2	0,6	0,603
300	40	29	35	21	172,4	0,33	14,3	0,004	143,8	0,48	0,484

$$w_{1-4} = \frac{u_{2-3} \cdot pa}{OA \cdot pS} = 104,17 \frac{pa}{pS} \frac{\text{рад}}{\text{м}}, \quad (6.5)$$

где pS – отрезок на плане скоростей механизма.

$$w_{1-5} = \frac{u_{1-3} \cdot pa}{OA \cdot pb} = 104,17 \frac{pa}{pb} \frac{\text{рад}}{\text{м}}. \quad (6.6)$$

На рисунке 7 построены планы скоростей кривошипно-ползунного механизма, из которых определяются отрезки, используемые в формулах (6.4)–(6.6), для 6 положений, соответствующих углам φ_3 , заданным через 60° .

В таблицу 6 внесены значения углов φ_3 и соответствующие им длины отрезков pa, pb, pS, ab с планов скоростей, передаточные числа w_{1-4} , w_{1-5} , u_{1-4} , значения моментов инерции

$$I_{\text{пр}4} = I'_{\text{пр}4} + I''_{\text{пр}4}.$$

При $\phi = 60^\circ$:

$$I'_{\text{пр}4} = \frac{I_{s4}}{u_{1-4}^2} = \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{7,5^2} = 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$I''_{\text{пр}4} = \frac{m_4}{w_{1-4}^2} = \frac{0.1}{\left(104,17 \cdot \frac{40}{29}\right)^2} = 4,84 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$I_{\text{пр5}} = \frac{m_5}{w_{1-5}^2} = \frac{0,25}{\left(104,17 \cdot \frac{40}{29}\right)^2} = 1,21 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$I_{\text{пр4}} = I'_{\text{пр4}} + I''_{\text{пр4}} = 2,7 \cdot 10^{-7} + 4,84 \cdot 10^{-6} = 5,11 \cdot 10^{-6}.$$

Подставляя известные значения $I_1, I_2, I_5, I_{\text{пр4}}, I_{\text{пр5}}, u_{1-3}$ в (6.3), получим

$$I_{\text{пр}} = \left(0,17 + 1,8 + \frac{22}{2,5} + \frac{1,5}{7,5 \cdot \frac{40}{29}} + \frac{0,1}{104,17^2} + \frac{0,25}{104,17^2} \right) \cdot 10^{-5}$$

$$= 16,15 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Поверочный расчет маховых масс электропривода

Кинематическая схема электропривода мехатронного модуля изображена на рисунке 6.

Дано: приведенный к звену 1 электропривода момент инерции звеньев электропривода

$$I_{\text{пр}} = 2,046 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

График зависимости приведенного момента $M_{\text{спр}}$ силы полезного сопротивления P_c в функции угла поворота звена приведения приведен на рисунке 7.

Параметры электродвигателя типа АИРЕ63В4: $N_n = 0,25$ кВт, $n_n = 1500$ об/мин.

Требуется выполнить поверочный расчет маховых масс электропривода из условия, что при установившемся режиме работы электропривода угловая скорость звена 1 находится в пределах $\omega_{\text{min}} \leq \omega \leq \omega_{\text{max}}$.

Решение:

Определим номинальную угловую скорость звена приведения 1

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 1500}{30} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Выберем в качестве максимального значения ω_{max} угловую скорость холостого хода

$$\omega_{\text{max}} = \omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1650}{30} = 172,79 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Выберем в качестве ω_{min} значение:

$$\omega_{min} = 2 \cdot \omega_H - \omega_0 = 2 \cdot 157,08 - 172,79 = 142,37 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Определим номинальный момент электродвигателя:

$$M_H = \frac{N_H}{\omega_H} = \frac{250}{157,08} = 1,592 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим коэффициенты a и b уравнения прямой $M_d = a - b\omega$, аппроксимирующей механическую характеристику электродвигателя:

$$a = \frac{M_H \cdot \omega_0}{\omega_0 - \omega_H} = \frac{1,592 \cdot 172,79}{172,79 - 157,08} = 17,51 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$b = \frac{a}{\omega_0} = \frac{17,51}{172,79} = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$$

Определим максимальное и минимальное значение момента электродвигателя:

$$M_{d \max} = a - b\omega_{min} = 17,51 - 0,1 \cdot 141,37 = 3,37 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{d \min} = a - b\omega_{max} = 17,51 - 0,1 \cdot 172,79 = 0,23 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

На графике $M_{cnp} = f(\phi_1)$ (рис. 8) проводим две горизонтальные прямые с ординатами $M_{d \min} = 0,23 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и $M_{d \max} = 3,37 \text{ Н} \cdot \text{м}$, точки пересечения прямых с наклонными прямыми обозначим 1 и 3. Прямая 1–3 обозначает линеаризованный график изменения $M_d = f(\phi_1)$.

Определим избыточную работу момента M_{cnp} по сравнению с работой момента M_H как площадь треугольника с вершинами 1–2–3

$$A_{изб} = S_{1-2-4} - S_{1-2-3},$$

где S_{1-2-4} и S_{1-2-3} – площади треугольников с вершинами 1–2–4 и 1–2–3.

$$A_{изб} = \frac{4,5 \cdot (7,85 - 2,62) - 3,37 \cdot (7,85 - 2,62)}{2} = 2,95.$$

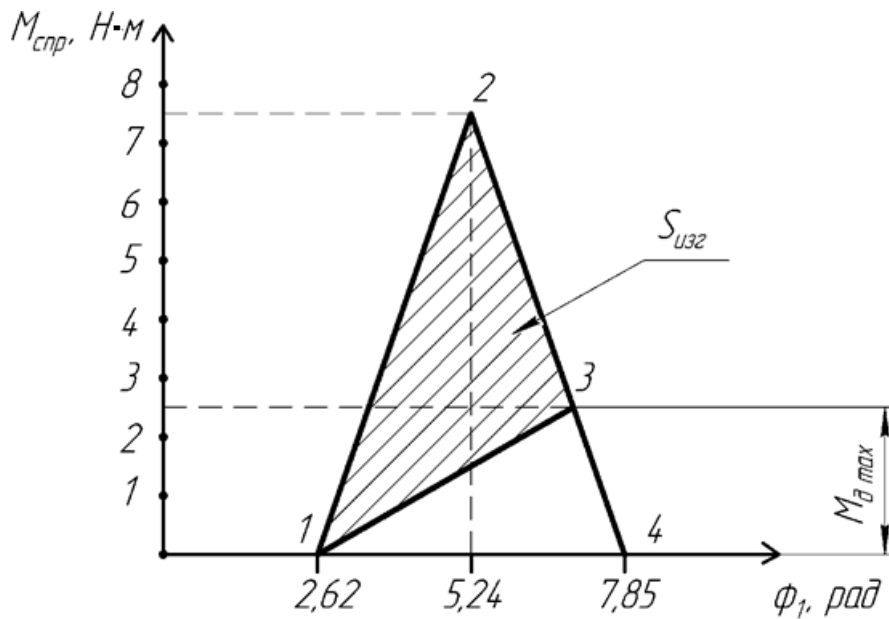


Рисунок 8 – График зависимости $M_{\text{ср}} = f(\phi_1)$

Определим требуемый приведенный момент инерции привода, при котором выполняется условие $\omega_{\min} \leq \omega \leq \omega_{\max}$

$$I'_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot A_{\text{изб}}}{\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2} = \frac{2 \cdot 2,95}{172,79^2 - 141,37^2} = 5,98 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Определим момент инерции маховика, который требуется установить на звене 1 электропривода

$$I_{\text{max}} = I'_{\text{пр}} - I_{\text{пр}} = 5,98 \cdot 10^{-4} - 2,046 \cdot 10^{-3} = -14,48 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Выполнено

Проектный расчет мощности электродвигателя рабочих органов, приведение масс электропривода к звену приведения, проверочный расчет маховых масс электропривода.

Список литературы

1. Рубцов, Б. А. Лабораторный практикум по машинам и аппаратам швейного производства: учебное пособие для вузов / Б. А. Рубцов. – Москва: Легпромбытиздат, 1995. – 256 с.
2. Оборудование для подготовительно-раскройного производства (в т. ч. системы САПР, АПП, СИМ), влажно-тепловой обработки, дублирования, формования и пр. Оборудование для швейного производства (за исключением оборудования для шитья). – Москва: ЦНИИТЭИлегпром, 1993. – 18 с.
3. Новиков, Ю. В. Разработка мехатронного модуля обрезки ниток / Ю. В. Новиков, С. Ю. Краснер; Ю. В. Новиков, С. Ю. Краснер // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 10 (751). – С. 62–73.
4. Краснер, С. Ю. Оценка качества процессов в механизмах вышивальных полуавтоматов : монография / С. Ю. Краснер, Ю. В. Новиков ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2019. – 190 с.
5. Инженерно-техническое оборудование : курс лекций / УО «ВГТУ» ; сост. Ю. В. Новиков. – Витебск, 2015. – 112 с.
6. Оборудование для швейной промышленности : номенклатурный справочник. – Москва, 1992. – 137 с.

Учебное издание

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Методические указания
по выполнению расчетно-графической работы

Составитель:
Новиков Юрий Васильевич

Редактор *Р.А. Никифорова*
Корректор *А.С. Прокопюк*
Компьютерная верстка *Ю.В. Новиков*

Подписано к печати 19.06.2024. Усл. печ. листов 1,8.
Уч.-изд. листов 1,8. Заказ № 155.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.