

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

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Методические указания
по выполнению курсового проекта
для студентов специальности 1-36 07 02
«Производство изделий на основе трёхмерных технологий»

Витебск
2022

УДК 004.9 (004.925; 004.92; 004.94)

Составители:

Ю. Е. Махаринский, Р. В. Окунев, А. В. Котович

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 6 от 02.03.2022.

Проектирование технологического оборудования для трехмерных технологий : методические указания по выполнению курсового проекта / сост. Ю. Е. Махаринский, Р. В. Окунев, А.В. Котович. – Витебск : УО «ВГТУ», 2022. – 31 с.

В методических указаниях изложены содержание, методика выполнения, правила оформления и защиты курсового проекта.

УДК 004.9 (004.925; 004.92; 004.94)

© УО «ВГТУ», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1 ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ	4
2 ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА	4
3 СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	5
4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВОДА ПОДАЧИ.....	5
4.1 Последовательность выбора.....	5
4.2 Расчет и выбор передачи винт-гайка.....	6
4.2.1 Передача винт-гайка скольжения	6
4.2.2 Передача винт-гайка качения.....	7
5 ВЫБОР МУФТ.....	8
6 ВЫБОР НАПРАВЛЯЮЩИХ.....	12
7 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	14
7.1 Особенности двигателей для приводов подачи	14
7.2 Последовательность выбора двигателя.....	14
7.3 Определение кинематических соотношений в приводе.....	15
7.4 Приведение инерционных масс к валу двигателя.....	18
7.5 Приведение нагрузок к винту шариковинтовой передачи.....	19
7.6 Вычисление вращающих моментов на валу двигателя.....	20
7.7 Скоростная и нагрузочная диаграммы привода.....	21
7.8 Выбор двигателя.....	21
8 РАСЧЕТ ЗУБЧАТО-РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ	22
9 ВЫБОР ПЕЧАТАЮЩЕЙ ГОЛОВКИ.....	23
10 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	28
11 ФОРМИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ.....	28
ЛИТЕРАТУРА	29
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Пример выполнения графической части курсового проекта.....	30

ВВЕДЕНИЕ

Изобретение и развитие трехмерных технологий открыло новые перспективы в производстве, медицине, дизайне.

В соответствии с образовательным стандартом ОСВО 1-36 07 02-2016 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» предусмотрено выполнение курсового проекта.

Целью курсового проекта является развитие и закрепление студентами специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» практических навыков, необходимых при расчете и конструировании механизмов, узлов и технологического оборудования в целом.

Задачи курсового проекта:

– развитие умения самостоятельно производить выбор конкурентоспособных инженерных решений при заданных технико-экономических требованиях;

– самостоятельно разрабатывать узлы принтера для 3D-печати, станков с числовым программным управлением, выполнять необходимые при проектировании расчеты, проверки и анализ полученных результатов.

Результатом выполнения курсового проекта должно стать владение методами расчета и проектирования, позволяющими создавать с применением компьютерных программ оборудование, способное реализовывать передовые технологические процессы.

1 ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Темами курсового проекта могут быть расчет и проектирование узлов, 3D-принтера, а также проекты с элементами научного и инженерного творчества и исследования. При этом для студентов очной формы образования обязательно выполнение графической части и выполнение статического анализа напряжений основной детали узла с использованием 3D-модели в Autodesk Inventor.

2 ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

Графическая часть проекта выполняется на листах А1 ГОСТ 2.301-68 с использованием средств автоматизированного проектирования. Она должна содержать необходимое число проекций, разрезов, сечений, дающих полное представление о конструкции спроектированного оборудования, а также должны быть нанесены все необходимые размеры и обозначения.

Курсовой проект предпочтительно содержит 1–2 листа формата А1 в графической части. Конструкция в целом должна удовлетворять требованиям

техники безопасности и технической эстетики. Мотивы выбора тех или иных решений должны быть освещены в пояснительной записке.

Пример выполнения графической части курсового проекта представлен в приложении А.

3 СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка оформляется согласно ГОСТ 7.32. Каждый раздел записки должен иметь заголовок и начинаться с новой страницы. Разделы нумеруются арабскими цифрами. Номера подразделов состоят из номеров разделов и подразделов, разделенных точкой. При использовании формул, коэффициентов, рекомендаций и других данных необходимо ссылаться на источник, указывая номер формулы (страницы, таблицу и т. п.). В тексте не допускается сокращение слов, обозначений, единиц измерений, если они указываются без цифр. Объем записки не менее 20–25 страниц формата А4.

Рекомендуется следующий план записки:

- Титульный лист.
- Задание.
- Содержание.
- Введение.
- Заголовки основных частей, согласно последовательности расчетов при выполнении задания.
- Заключение.
- Список использованных источников.
- Приложения.

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВОДА ПОДАЧИ

4.1 Последовательность выбора

Выбор передачи винт-гайка состоит в определении ее основных размеров, обеспечивающих работоспособность по совокупности критериев. Исходными данными для выбора являются:

- тип станка;
- срок службы, сменность работы, коэффициент технического использования станка;
- масса узла, перемещаемого приводом;
- перечень технологических переходов, в выполнении которых участвует проектируемый привод;
- схема и структура проектируемого привода;
- скорость быстрых движений рабочего органа;

- перечень изготовителей комплектующих элементов привода: электродвигателей, муфт, опор и др.

Схема последовательности выбора передачи представлена на рисунке 4.1.

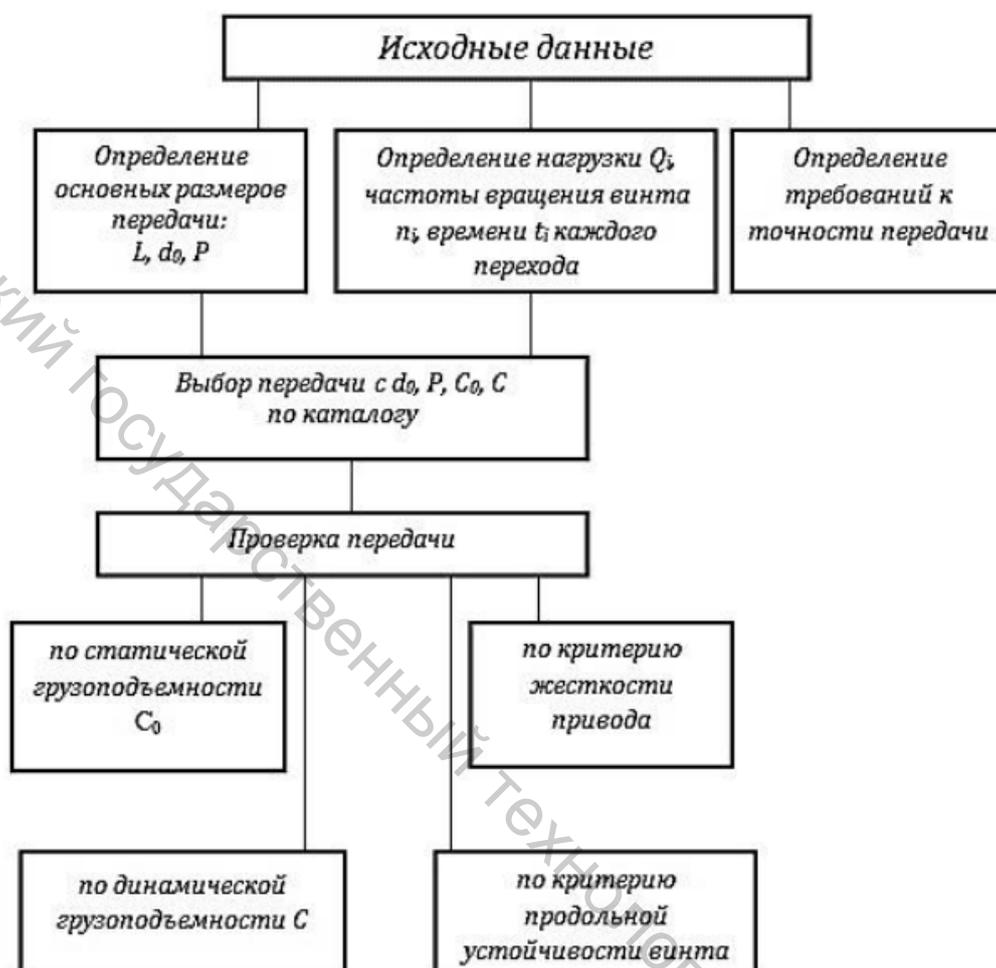


Рисунок 4.1 – Схема последовательности выбора привода подачи

4.2 Расчет и выбор передачи винт-гайка

4.2.1 Передача винт-гайка скольжения

Винтовая передача скольжения состоит из ходового винта с резьбой трапецеидального профиля и соответствующей гайки. Пара винт-гайка преобразует вращательное движение в поступательное.

Концы винта устанавливаются на подшипниковых опорах, гайка соединяется с подвижными каретками линейных направляющих. Когда винт вращается электрическим или ручным приводом, гайка линейно перемещается по нему и передача ходовой винт-гайка приходит в движение.

Основные параметры данной передачи показаны на рисунке 4.2.

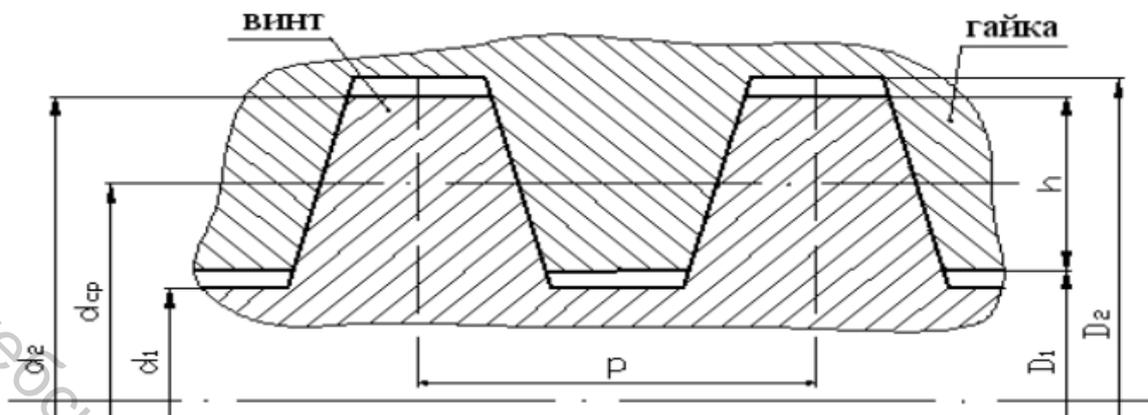


Рисунок 4.2 – Основные размеры резьбы передачи винт-гайка скольжения

Расчёт передачи винт-гайка скольжения ведется в соответствии с общей методикой, изложенной в [4].

В результате расчета определяются параметры винта, винт проверяется на прочность, износостойкость, жесткость, устойчивость. После этого идет выбор соответствующей передачи по каталогам фирм-производителей, например [3].

4.2.2 Передача винт-гайка качения

Передача винт-гайка качения (рис. 4.3) состоит из винта 1, гаек 2 и 5, шариков 3. Канал 4 возврата шариков может быть выполнен в виде трубки, соединяющей первый и последний витки гайки, или в виде вкладышей. Вкладыши вставляют в окна гайки под углом 120° друг к другу, каналы в них соединяют два соседних витка резьбы. Шарiki перекатываются по пазам во вкладышах из одной впадины резьбы в соседнюю через выступ резьбы винта.

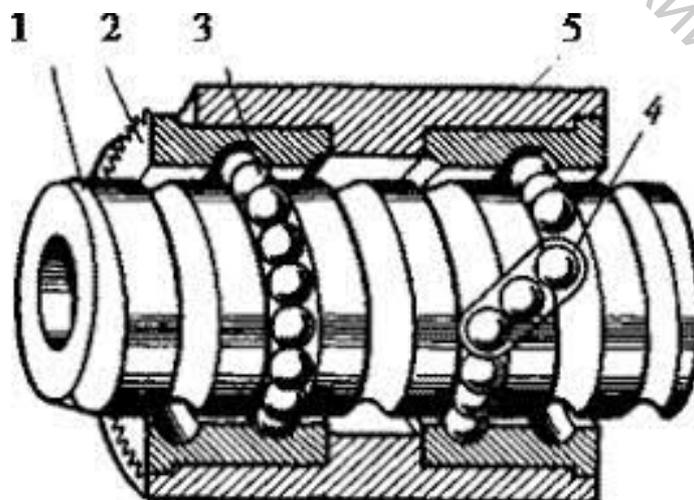


Рисунок 4.3 – Передача винт-гайка качения

Концы винта так же, как и в передаче винт-гайка скольжения, устанавливаются на подшипниковых опорах.

Расчёт передачи винт-гайка качения ведется в соответствии с общей методикой, изложенной в [4].

В результате расчета определяются параметры винта, винт проверяется на статическую и динамическую грузоподъемность, устойчивость, жесткость. После этого идет выбор соответствующей передачи по каталогам фирм-производителей, например [3].

Проверочный расчет передач винт-гайки необходимо выполнить в калькуляторе ходового винта Autodesk Inventor (рис. 4.4).

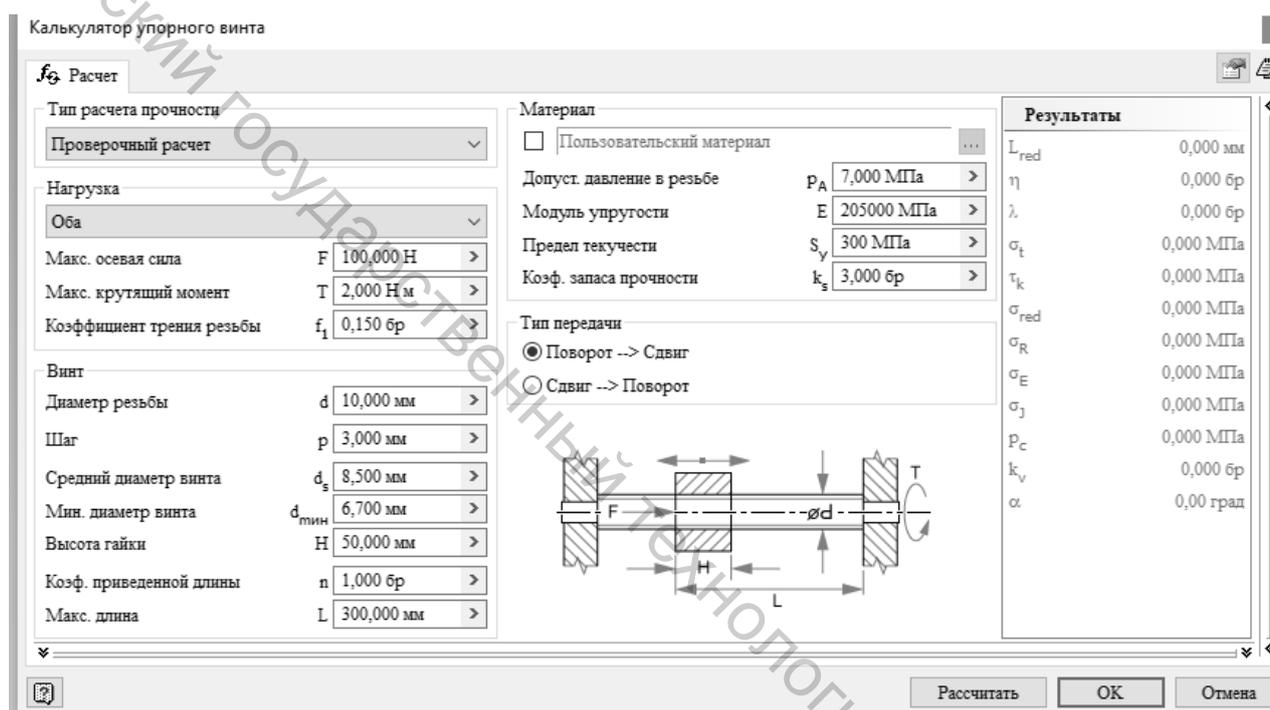


Рисунок 4.4 – Калькулятор ходового винта Autodesk Inventor

5 ВЫБОР МУФТ

Муфта выбирается по максимальному моменту M_{Mmax} , передаваемому ею, который должен удовлетворять двум условиям:

$$M_{Mmax} \geq 1,5 \cdot M_{Dmax}, \quad (5.1)$$

$$M_{Mmax} \geq \frac{k \cdot I_{\Sigma пр}}{I_{\Sigma пр} + I_d} \cdot M_{Dmax}. \quad (5.2)$$

где M_{Dmax} – пиковый момент двигателя, развиваемый при разгоне или торможении, Нм; k – коэффициент безопасности при ударных нагрузках: $k=2-3$;

$I_{\Sigma пр}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции мезонической части периода, $кг \cdot м^2$; I_d – момент инерции ротора двигателя, $кг \cdot м^2$.

Жесткое соединение валов. Жесткие муфты характеризуются определенными качествами: недорогие и простые муфты, но требуют изначальной соосности сопрягаемых валов шагового двигателя и вала передачи; хорошо передаёт момент между валами; не имеет люфта. Основной недостаток – отсутствие компенсации неточности взаимного расположения валов, что приводит к быстрому повреждению валов или опор.



Рисунок 5.1 – Жесткая соединительная муфта

К этому типу муфт также относятся втулочные и фланцевые муфты.

Полужесткое соединение валов. Определенными особенностями характеризуется полужесткий тип соединения. Такой тип соединения позволяет компенсировать небольшие неточности относительного расположения валов.

Муфта кулачково-дисковая. Состоит из 3 частей: двух алюминиевых втулок и пластикового диска. Пластиковый диск позволяет компенсировать неточности установки валов, снижает шум работы механизма и поглощает ударные нагрузки.



Рисунок 5.2 – Кулачково-дисковая муфта

Кулачковая муфта. Состоит из 3 частей: двух алюминиевых втулок и пластичного элемента, выполненного из полиуретана. Такой тип вставки демпфирует ударные нагрузки, защищая серводвигатели и другие чувствительные элементы машин от кратковременных перегрузок. Компенсирует неточности установки валов. За счёт пластичного элемента позволяет осуществить электрическую изоляцию компонентов оборудования. Со временем может появиться люфт вследствие износа эластичной части.



Рисунок 5.3 – Кулачковая муфта

К этому типу муфт также относятся зубчатые муфты.

Эластичное соединение валов. На момент эксплуатации устройства есть вероятность смещения двух элементов относительно друг друга. Решить подобную проблему можно за счет применения специальных элементов. Эластичные устройства могут устанавливаться в самых различных случаях. Установка возможна в случае бокового или углового смещения валов в месте сопряжения. Довольно большое распространение получили втулочно-пальцевые детали.

Спиральная муфта. Представляет собой полый цилиндр с прорезями. По сравнению с жёсткой муфтой, позволяет компенсировать неточности установки валов. Это достигается работой спирального элемента муфты, работающего в зоне упругой деформации. При значительной несоосности валов – быстро выходит из строя, так как металл испытывает знакопеременные нагрузки большой величины и быстро разрушается.



Рисунок 5.4 – Спиральная муфта

Мембранная муфта. Представляют собой разборные муфты с гибким корпусом. Каждая из них состоит из двух стальных полумуфт, которые соединены с помощью нескольких пружинных колец. Подобный вид муфт применяется в том случае, если требуется соединить два вала под незначительным углом, поскольку гибкая конструкция муфты позволяет ей соединить валы под углом до 2.5 градусов и межосевым расстоянием до 0.2 мм. При использовании в качестве карданного соединения, мембранная муфта способна обеспечить безлюфтовую передачу. Мембранные муфты, в отличие от спиральных, могут переносить высокие нагрузки при передаче крутящего момента. Однако данное устройство проигрывает спиральным аналогам в скорости вращения, которая достигает 14 000 об/мин.



Рисунок 5.5 – Мембранная муфта

Сильфонная муфта. Сильфонная часть соединяет две алюминиевые втулки. Такой тип муфт хорошо компенсирует неточности установки валов, не имеет люфта. Является лучшим представителем группы гибких муфт, однако и самым дорогостоящим, что ограничивает применение муфт этого типа.



Рисунок 5.6 – Сильфонная муфта

Проанализировав основные параметры выбора муфт, была составлена оценочная таблица.

К этому типу муфт также относятся: муфта упругая втулочно-пальцевая, муфта со змеевидными пружинами.

Таблица 5.1 – Оценка муфт по критериям

Тип муфты	Популярность	Стоимость	Передача больших нагрузок	Передача больших скоростей	Компенсация неточности установки валов
Жесткая	☆☆☆☆☆	★★★★★	★★★★★	★★★★★	☆☆☆☆☆
Кулачково-дисковая	☆☆☆☆☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★★	★★★★☆
Кулачковая	★★★★★	★★★★☆	★★★★☆	★★★★★	★★★★☆
Спиральная	★★★★☆	★★★★☆	★★★☆☆	★★★★☆	★★★★☆
Мембранная	★★★★☆	★★★☆☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆
Сильфонная	★★★★☆	★★★☆☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★★

6 ВЫБОР НАПРАВЛЯЮЩИХ

Выбор направляющих с каретками качения. Направляющие станков – узлы, предназначенные для перемещения инструмента, заготовки и связанных с ними узлов по заданной траектории с требуемой точностью. Линейные направляющие – это опорные элементы для поступательного перемещения. Как и в подшипниках вращения, различают линейные направляющие качения и скольжения.

Направляющие скольжения. Непосредственный контакт сопряженных поверхностей в направляющих скольжения определяет непостоянство и большие силы сопротивления. В зависимости от нагрузки, скорости, вида смазочного материала и его количества, направляющие могут работать в режимах трения без смазочного материала и с ним. Существенную разницу для этих направляющих составляют силы трения покоя по сравнению с силами трения движения; последние, в свою очередь, сильно зависят от скорости скольжения. Эта разница приводит к скачкообразному движению узлов при малых скоростях, что крайне нежелательно, особенно для современных станков с ЧПУ. Значительное трение вызывает изнашивание и, следовательно, снижает долговечность направляющих.

Направляющие качения. Имеют хорошие характеристики трения, равномерность и плавность движения, точность установочных перемещений и длительно сохраняют точность; допускают высокие скорости и ускорения перемещений; в них малое тепловыделение, их просто смазывать. Направляющие качения более просты и экономичны в использовании, обладают более высокой динамикой, жесткостью восприятия нагрузок, менее энергозатратны, лучше воспринимают нагрузки (и статические и динамические), обеспечивают плавность хода, уступая гидростатическим направляющим лишь по демпфирующим свойствам. Недостатком является повышенная чувствительность к загрязнению.

Обоснованный выбор типа и размера направляющих с каретками качения обеспечивает их работоспособность в конкретных условиях эксплуатации.

Исходными данными для выбора являются те же, что используются при выборе шариковинтовой передачи. Схема последовательности выбора направляющих представлена на рисунке 6.1.

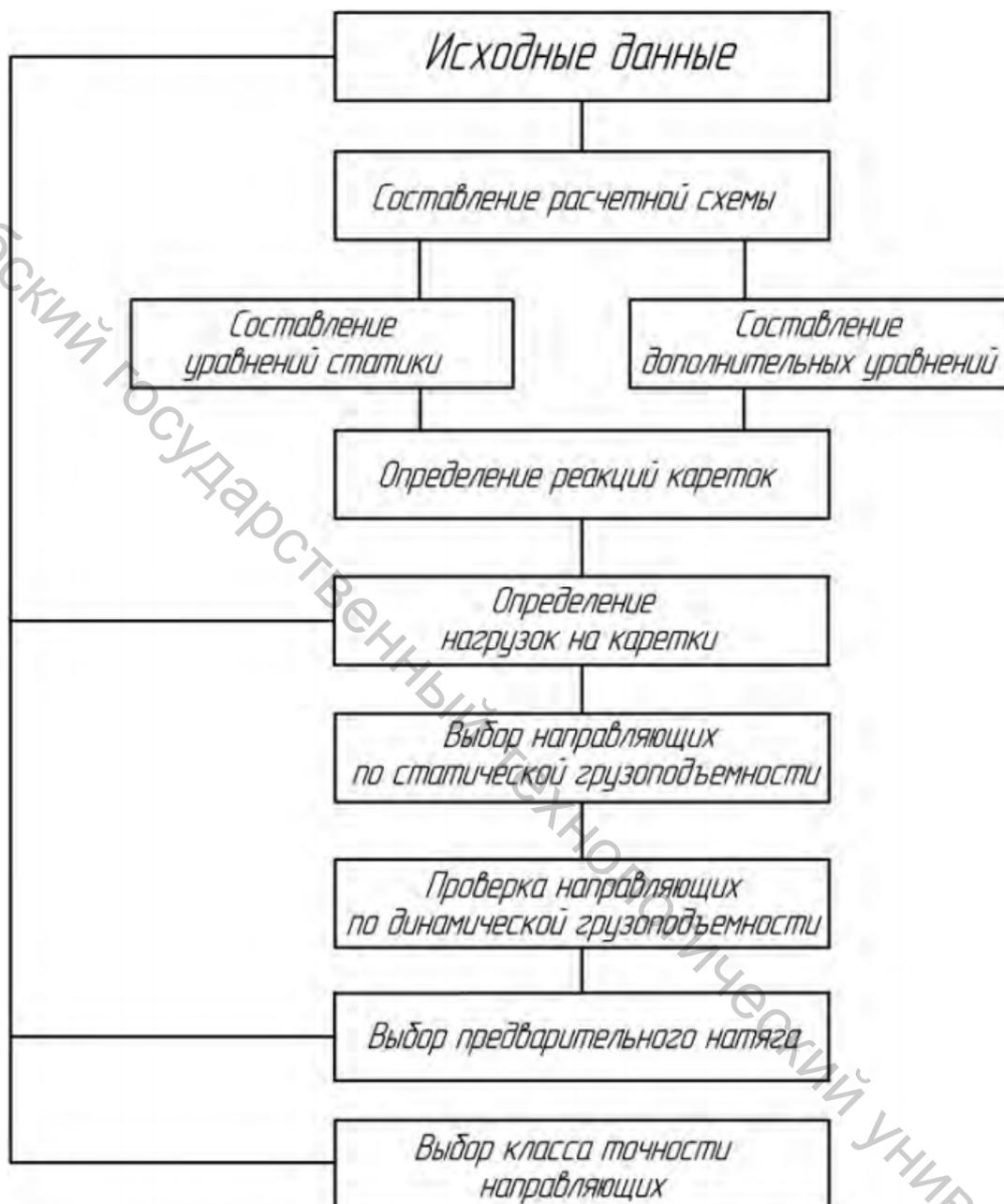


Рисунок 6.1 – Схема последовательности выбора направляющих

В результате расчета строится расчетная схема, определяются реакции опор, нагрузки на каретки, направляющие проверяются на статическую и динамическую грузоподъемность, рассчитывается предварительный натяг в направляющих (если это направляющие качения). После этого идет выбор соответствующих направляющих по каталогам фирм-производителей, например [3].

7 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

7.1 Особенности двигателей для приводов подачи

В приводах подачи проектируемых в настоящее время станков с ЧПУ применяются синхронные (вентильные) электродвигатели, например, типов 1FT6 и 1FK7 фирмы Siemens. В этих двигателях роль индуктора выполняет ротор, оснащенный постоянными магнитами, роль якоря – статор. При взаимодействии магнитного поля ротора с током, протекающим по обмоткам статора, ротор приводится во вращение. По сигналам обратной связи, вырабатываемым датчиком, установленным на роторе, электронный коммутатор подключает фазы обмотки статора к источнику питания.

В двигателях 1FT6 и 1FK7 в качестве датчика положения ротора применяется инкрементальный синусно-косинусный преобразователь, вырабатывающий 2048 импульсов за один оборот, абсолютный преобразователь EnDat (2048 имп/об) или резольвер. К двигателю может быть пристыкован круговой измерительный преобразователь пути, который выдает информацию о пути, пройденном исполнительным органом. Двигатель может быть оснащен тормозом.

Некоторые двигатели подачи работают без принудительной вентиляции. Тепло, возникающее в их обмотке и в сердечнике статора, отводится через поверхность двигателя и другие элементы конструкции. От других двигателей тепло отводится благодаря принудительной вентиляции или жидкостному охлаждению.

Характеристиками двигателей 1FT6 и 1FK7 являются номинальные частота вращения, вращающий момент, мощность, максимальные частота вращения и момент, момент инерции и др.

7.2 Последовательность выбора двигателя

Двигатель привода подачи должен обеспечивать выполнение станком технологического процесса с обоснованным расходом электроэнергии. Мощность двигателя должна быть такой, чтобы температура его обмоток не превышала критической, приводящей к преждевременному старению изоляции.

Исходными данными при выборе электродвигателя являются:

- чертеж механической системы привода;
- время рабочего цикла станка;
- масса рабочего органа;
- перечень технологических переходов, в выполнении которых участвует привод;

- скоростные параметры переходов: скорость быстрого хода исполнительного органа, минутные подачи при выполнении процессов резания;
- составляющие сил резания при выполнении всех переходов.

Схема последовательности выбора электродвигателя представлена на рисунке 7.1.



Рисунок 7.1 – Схема последовательности выбора электродвигателя для привода подачи

7.3 Определение кинематических соотношений в приводе

Совокупность и чередование движений, реализуемых приводом подачи станка с ЧПУ, рассматриваются на примере обработки фрезой контура детали (рис. 7.2). Быстрый подвод инструмента к заготовке происходит из точки 1. Привод подачи обеспечивает движение следующих типов:

- разгон и торможение при переходе от одной скорости к другой (участки 1–2, 3–4, 7–8, 9–10 на траектории оси фрезы);
- движение со скоростью быстрого хода (участки 2–3, 8–9);
- движение с постоянной скоростью подачи при выполнении резания на участках контура, параллельных координатным осям (участки 5–6, 11–12);
- движение со скоростью, связанной со скоростью движения по другой координате при выполнении резания на криволинейных или наклонных участках контура (участок 13–14);
- движение со скоростью рабочей подачи при отсутствии резания (участок 4–5, 6–7, 10–11 подвода и перебега инструмента).

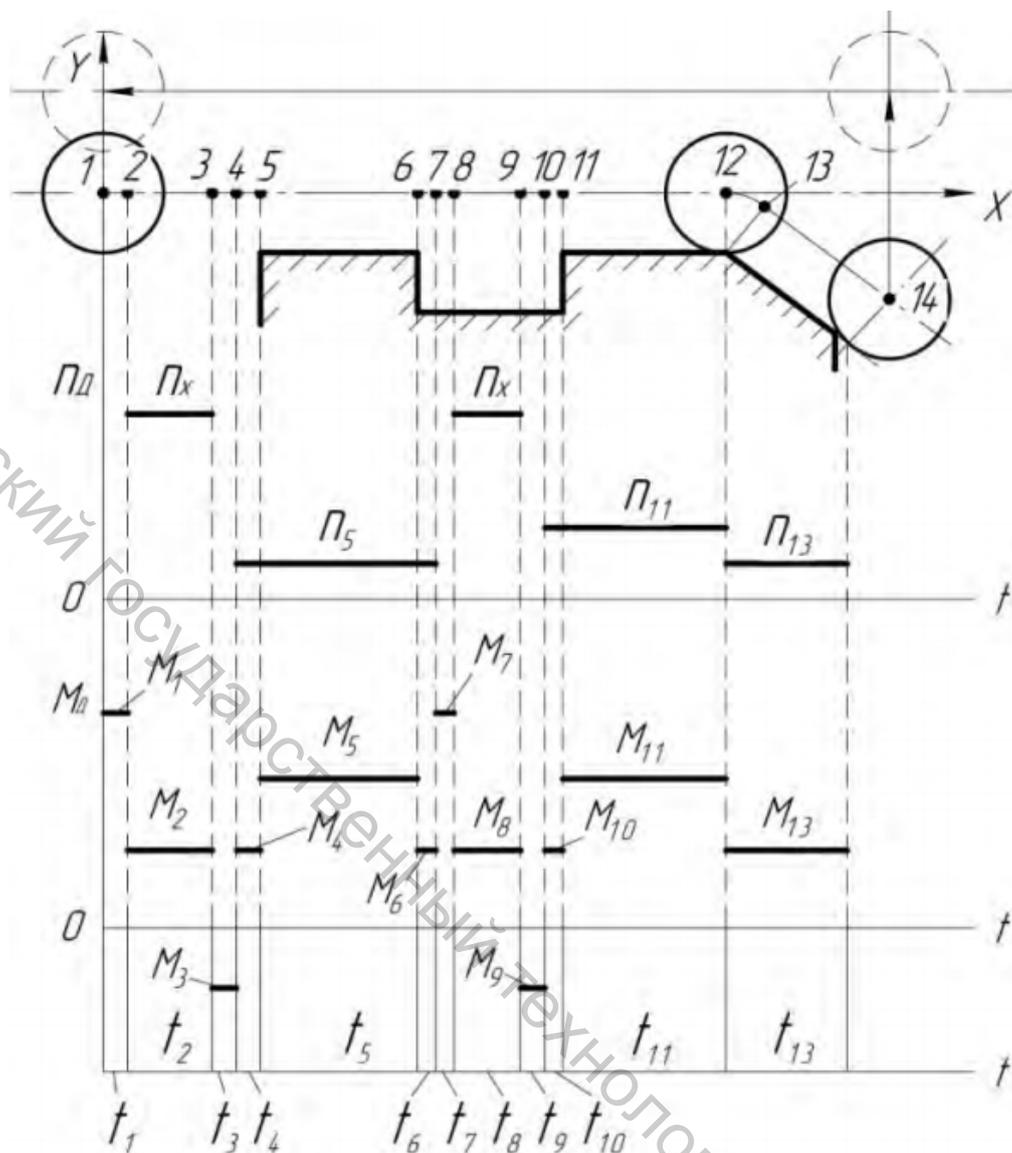


Рисунок 7.2 – Скоростная и нагрузочная диаграммы привода

В цикле органа, перемещающегося по оси X, могут быть простои, когда работают приводы подачи по другим осям или происходят съем обработанной детали, установка и зажим заготовки. Время прохождения участка контура длиной L_k с постоянной минутной подачей S_k .

$$t_k = \frac{L_k}{S_k}. \quad (7.1)$$

При этом частота вращения винта, об/мин,

$$n_k = \frac{S_k}{p}, \quad (7.2)$$

– угловая скорость винта, s^{-1} ,

$$\omega = \frac{\pi \cdot S_K}{30 \cdot p}, \quad (7.3)$$

где S_K – в мм/мин, p – в миллиметрах;
– частота вращения вала двигателя

$$n_{д.к} = \frac{S_K}{p \cdot i}, \quad (7.4)$$

где i – передаточное отношение редуктора, равное отношению чисел зубьев колес z_1/z_2 или диаметров шкивов D_1/D_2 .

При разгоне рабочего органа из состояния покоя до скорости быстрого хода S_x частота вращения вала двигателя возрастает от нуля до

$$n_x = \frac{S_x}{p \cdot i}. \quad (7.5)$$

Переход с одной частоты вращения вала двигателя к другой при их разности Δn , называемый переходным процессом, характеризуется временем первого согласования t_1 (до совпадения текущей частоты с заданной n) (рис. 7.3), перерегулированием σ_M и временем переходного процесса $t_{п.п.}$. Аналогично происходит торможение рабочего органа.

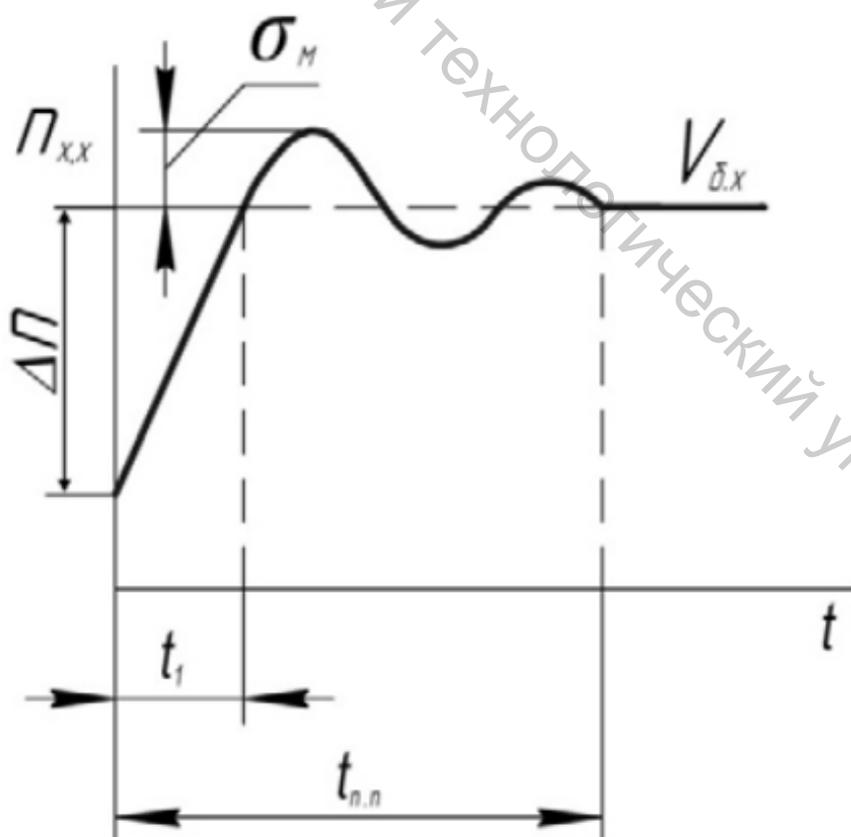


Рисунок 7.3 – Типовая характеристика переходного процесса

Максимальное угловое ускорение, с^{-2} , развиваемое валом двигателя:

$$\varepsilon_{max} = \frac{M_{max}}{I_d + I_{пр}}, \quad (7.6)$$

где M_{max} – максимальный момент на валу двигателя в кратковременном режиме работы, Н·м; I_d – момент инерции вала двигателя, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $I_{пр}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции рабочего органа и элементов привода подачи, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Среднее угловое ускорение вала двигателя, с^{-2} , при разгоне из состояния покоя до скорости рабочего хода

$$\varepsilon_{cp} = \frac{0,63n_x}{\tau}, \quad (7.7)$$

где τ – время, прошедшее с момента подачи сигнала управления до момента достижения частоты вращения $0,5n_x$, с.

Теоретическое минимальное достижимое время перехода с одной частоты вращения вала двигателя на другую, с, при их разности Δn

$$t_n = \frac{\Delta n}{\varepsilon_{max}}. \quad (7.8)$$

7.4 Приведение инерционных масс к валу двигателя

При разгоне или торможении рабочего органа на холостом ходу двигатель должен не только преодолевать силы трения в механизмах привода, но и сообщить инерционным массам заданное ускорение. Для определения соответствующего вращающего момента двигателя к его валу следует привести моменты инерции всех элементов механической части привода: суппорта с находящимися на нем массами, винта, редуктора (муфты), датчика.

Приведенная к валу двигателя масса поступательно перемещающихся частей привода, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$,

$$I_m = \frac{m \cdot p^2 i^2}{4 \cdot \pi^2}, \quad (7.9)$$

где m – масса исполнительного органа станка (вместе с приспособлением и заготовкой), кг; P – шаг винта, м; i – передаточное отношение.

При определении моментов инерции зубчатых колес, ходового винта и других деталей, имеющих переменное поперечное сечение вдоль оси, они условно разделяются на части с постоянным поперечным сечением. Находят моменты инерции каждой части относительно оси ее вращения. Затем, сложив

их, определяют момент инерции всей детали. В частности, приведенный к валу двигателя момент инерции резьбовой части ходового винта

$$I'_B = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot L \cdot \rho \cdot i^2}{32}, \quad (7.10)$$

где d – средний диаметр резьбовой части винта, мм; L – длина нарезанной части винта, м; ρ – плотность материала винта, кг/м³, для стали $\rho = 7800$ кг/м³. Величину I'_B можно определить также по данным производителя ШВП. Момент инерции диска или втулки с наружным диаметром D , внутренним диаметром d и длиной b , приведенный к валу двигателя:

$$I''_B = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4) \cdot b \cdot \rho \cdot i^2}{32}. \quad (7.11)$$

Если I_B – суммарный приведенный к двигателю момент инерции всех элементов, находящихся на оси винта, I_d – момент инерции вала двигателя, I_1 – момент инерции элемента редуктора, находящегося на этом валу, то приведенный к валу двигателя момент инерции всех элементов механической части привода

$$I = I_d + I_1 + I_B + I_T. \quad (7.12)$$

7.5. Приведение нагрузок к винту шариковинтовой передачи

Момент на винте, необходимый для преодоления сил трения. Привод (рис. 7.4) нагружен силой трения T в направляющих, моментом трения $M_{ШВП}$ в шариковинтовом механизме и моментом трения M_0 в опорах винта.

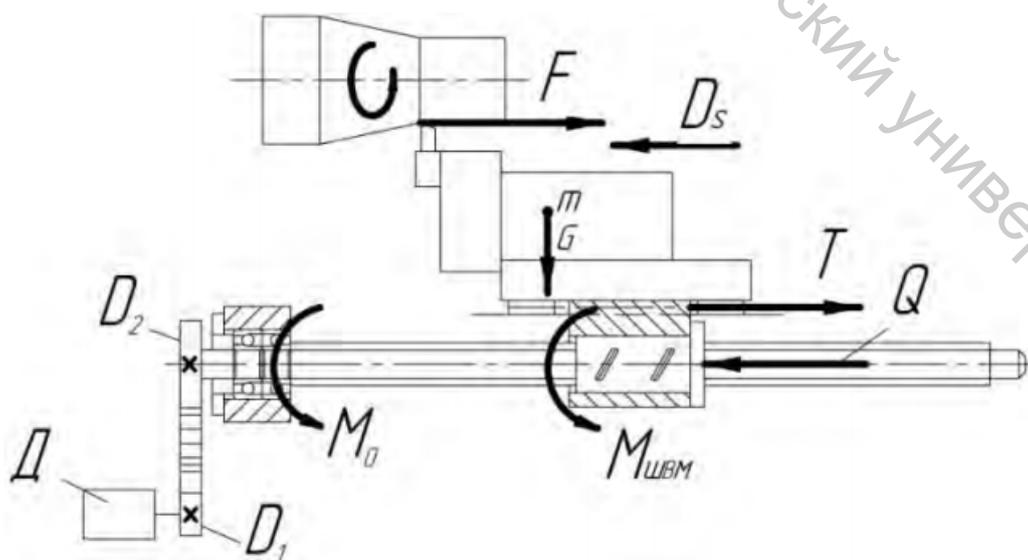


Рисунок 7.4 – Схема нагружения привода

$$T = \mu \cdot G + 4 \cdot T', \quad (7.13)$$

где μ – коэффициент трения в направляющих: $\mu = 0,03-0,04$ при отношении нормальной силы G , действующей на направляющие, к основной нормальной динамической нагрузке, превышающей 0,1; T' – сила трения в уплотнениях одной каретки качения: $T' \approx 5$ Н.

Момент M_T на ходовом винте, необходимый для преодоления силы T , определяется по уравнению работы

$$M_T \cdot 2 \cdot \pi = T \cdot p, \quad (7.14)$$

из которого следует

$$M_T = \frac{T \cdot p}{2 \cdot \pi}. \quad (7.15)$$

Следовательно, момент на ходовом винте, необходимый для преодоления сил трения в направляющих, шариковинтовом механизме и опорах винта, определяется по зависимости

$$M_{B.T} = \frac{T \cdot p}{2 \cdot \pi} + M_{ШВМ} + M_0. \quad (7.16)$$

При этом $M_{ШВМ}$ и M_0 определяются по данным производителя ШВП и подшипников.

Момент на винте, необходимый для преодоления силы резания. Если через F обозначена проекция силы резания на направление подачи, то из уравнения работы следует, что момент $M_{B.F}$ на винте, необходимый для преодоления силы резания, определяется по зависимости

$$M_{B.F} = \frac{F \cdot p}{2 \cdot \pi}. \quad (7.17)$$

7.6. Вычисление вращающих моментов на валу двигателя

Момент при разгоне рабочего органа должен быть достаточным для преодоления сил трения и обеспечения требуемого ускорения:

$$M_{д.рз} = I \cdot \varepsilon_{max} + M_{B.T} \frac{i}{\eta} = I \cdot \varepsilon_{max} + \left(\frac{T \cdot p}{2 \cdot \pi} + M_{ШВМ} + M_0 \right) \frac{i}{\eta}. \quad (7.18)$$

Момент при быстром холостом ходе рабочего органа с постоянной скоростью должен быть достаточным для преодоления силы трения:

$$M_{д.х} = M_{В.Т} \frac{i}{\eta} = \left(\frac{T \cdot p}{2 \cdot \pi} + M_{швм} + M_0 \right) \frac{i}{\eta}. \quad (7.19)$$

Момент при рабочем ходе рабочего органа должен быть достаточным для преодоления силы резания F и силы трения

$$M_{д} = (M_{В.Ф} + M_{В.Т}) \frac{i}{\eta} = \left(\frac{F \cdot p}{2 \cdot \pi} + \frac{T \cdot p}{2 \cdot \pi} + M_{швм} + M_0 \right) \frac{i}{\eta}. \quad (7.20)$$

7.7 Скоростная и нагрузочная диаграммы привода

Электродвигатель выбирается с использованием нагрузочной и скоростной диаграмм привода. Нагрузочная диаграмма представляет собой зависимость момента на валу двигателя $M_{д}$ от времени t (см. рис. 7.2). Нагрузочные диаграммы бывают детерминированными и статистическими. Детерминированную диаграмму можно построить достаточно точно только для приводов подачи специальных станков, когда известны циклограмма их работы, выполняемые технологические переходы с их нагрузочными и скоростными параметрами. Однако в большинстве случаев (для универсальных станков с ЧПУ) нагрузки на привод подачи, скорости исполнительных органов, продолжительность нагружения, циклограммы являются случайными. Поэтому обоснованный выбор электродвигателя для приводов подачи универсальных станков с ЧПУ возможен только на основе статистических диаграмм.

В связи с тем, что статистические исследования нагрузочных характеристик приводов подачи станков с ЧПУ не проводились, пользуются прогнозируемыми нагрузочными диаграммами. Их строят для наиболее вероятного или наиболее тяжелого цикла работы приводов. Скоростная диаграмма привода является зависимостью между временем работы двигателя t и частотой вращения его вала $n_{д}$ (см. рис. 7.2).

7.8 Выбор двигателя

Синхронный двигатель для привода подачи выбирается по его механической характеристике (рис. 7.5). На характеристику наносятся точки с координатами n и M , установленными по нагрузочной и скоростной диаграммам для всех элементов цикла работы привода. Кроме того, на механическую характеристику наносится точка с координатами \bar{n} и M_E , при этом \bar{n} – средняя частота вращения вала двигателя, M_E – эффективный (среднеквадратический) момент на нем

$$\bar{n} = \frac{1}{T}(n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots + n_k t_k); \quad (7.21)$$

$$M_E = \sqrt{\frac{1}{T}(M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_k^2 \cdot t_k)}, \quad (7.22)$$

где T – время цикла, включая время паузы.

Двигатель пригоден для привода подачи, когда одновременно выполняются следующие условия:

1) все точки (n, M) попадают в область, находящуюся левее кривой безопасности;

2) максимальный расчетный момент меньше значения M_{\max} электродвигателя;

3) точка с координатами \bar{n} и M_E находится ниже линии S_1 (100 К), если допустимое повышение температуры двигателя в работе может достигать 100 К, или ниже линии S_1 (60 К) при допустимом повышении температуры на 60 К.

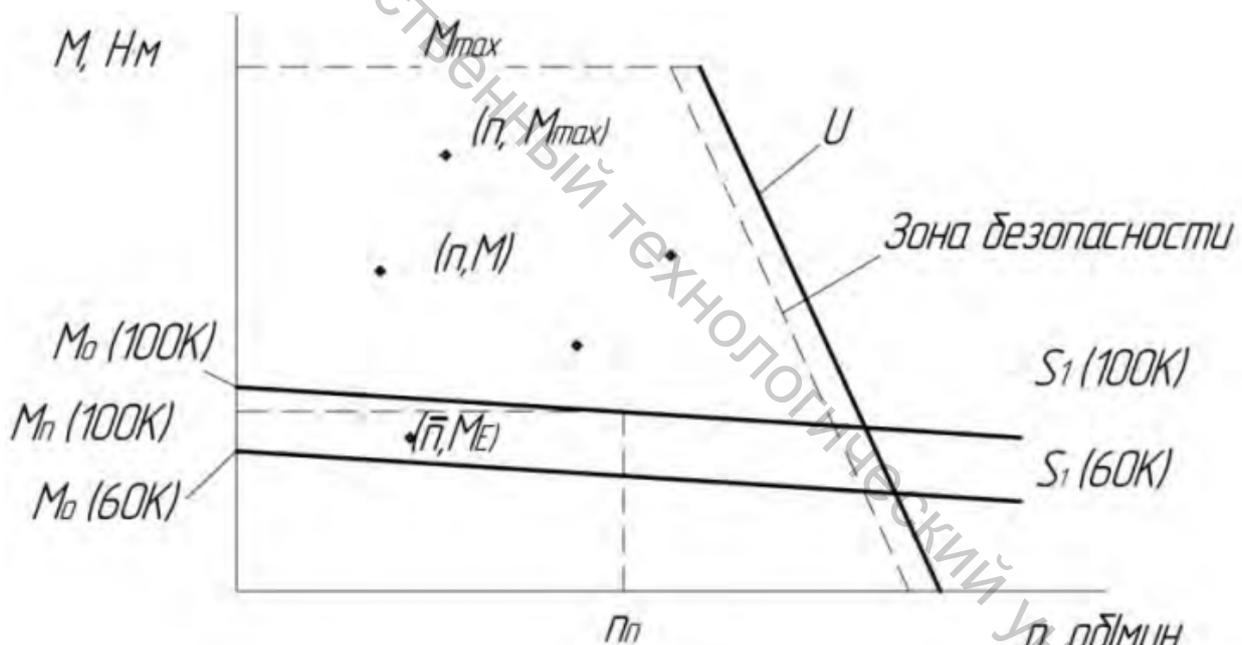


Рисунок 7.5 – Схема выбора двигателя по механической характеристике

8 РАСЧЕТ ЗУБЧАТО-РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Исходными данными для расчета являются: мощность на малом шкиве, частота вращения малого шкива, передаточное отношение, режим работы передачи.

Простейшая передача зубчатым ремнем (рис. 8.1 а) состоит из двух зубчатых шкивов с делительными диаметрами d_1 и d_2 , установленных на ведущем и ведомом валах, зубчатого ремня (рис. 8.1 б), а также натяжного

устройства. Эта передача имеет постоянное передаточное отношение и меньшие габариты по сравнению с другими типами ременных передач. Несущий слой зубчатого ремня выполнен из навитого по винтовой линии стального троса, или троса из стекловолокна.

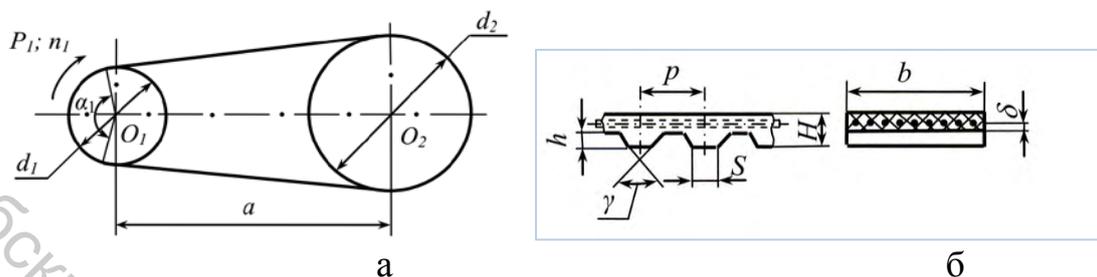


Рисунок 8.1 – Размеры зубчато-ременной передачи:
а – зубчато-ременная передача; б – зубчатый ремень

Расчёт передачи ведется в соответствии с общей методикой, изложенной в [5].

В результате расчета определяются параметры зубчато-ременной передачи: модуль; шаг ремня; число зубьев; делительные диаметры малого и большого шкивов; минимальное межосевое расстояние; длина ремня; угол обхвата на малом шкиве; скорость ремня; расчетная сила, передаваемая ремнем; ширина ремня; удельная сила, передаваемая ремнем шириной 1 м, сравнивается с допускаемой; сила предварительного натяжения ремня; сила, действующая на вал; основные параметры шкивов.

9 ВЫБОР ПЕЧАТАЮЩЕЙ ГОЛОВКИ

В большинстве 3D-принтеров используется система прямой подачи, где шаговый двигатель экструдера находится в одном корпусе с печатающей головкой, он проталкивает пластиковую нить напрямую в «горячий конец» – хотенду (hotend). Bowden экструдер позволяет перенести тяжелый шаговый двигатель вместе с корпусом на раму 3D-принтера, тем самым облегчая вес каретки с печатающей головкой. Облегченная каретка позволяет перемещаться системе с более высокой скоростью, однако, чтобы протолкнуть нить по длинной трубке, двигателю требуется больше усилий.

Итак, экструдеры подразделяют на два типа:

Direct экструдеры (подающий механизм находится непосредственно на подвижной каретке).

Bowden экструдеры (подающий механизм расположен на раме принтера, пластик подается в хотенд удаленно по трубке).

Плюсы *Direct* экструдеров:

- + Возможность печатать гибкими пластиками даже на больших скоростях.
- + Незначительная погрешность при подаче пластика за счет минимального расстояния подачи.
- + Быстрая и удобная замена материала печати.

Минусы:

- Суммарный вес каретки больше, чем в bowden экструдерах (тем самым увеличивается инертность).
- Более сложная конструкция каретки (необходимо расположить шаговый двигатель с механизмом проталкивания на каретке).



Рисунок 9.1 – Тип экструдера – bowden

Bowden экструдеры

Плюсы:

- + Уменьшается суммарный вес каретки (шаговый двигатель располагаем на раме принтера).
- + Небольшие габариты печатающей головки.

Минусы:

- Сложность (в большинстве случаев невозможность) печати гибкими материалами (FLEX, RUBBER и т.п.).
- Требуется более мощный двигатель для подачи пластика (зачастую даже с редуктором).
- Увеличивается погрешность подачи прутка из-за большой длины трубки.

Хотенд (hotend). Хотенд служит для расплавления пластика, из которого печатается сама модель.

Хотенд состоит из четырех основных компонентов:



Рисунок 9.2 – Хотенд

1. Сопло, диаметр выходного отверстия которого диктует качество деталей и скорость печати.
2. Термобарьер – деталь, через которую поступает нить в горячее сопло.
3. Нагревательный блок – связующее звено для нагревательного элемента, термистора, сопла и термобарьера.
4. Радиатор – обеспечивает отвод тепла от термобарьера.

Сопло. В сопле происходит плавление самого пластика, на выходе из сопла получается расплавленная нить с диаметром, равным диаметру выходного отверстия сопла. Как правило, сопла изготавливают из латуни. Самый распространенный диаметр сопла 0.4 мм, конечно, бывают и другие: от 0.1 мм до 1.2 мм. Чем меньше диаметр сопла, тем распечатанные модели получаются более качественные, но тратится больше времени. В зависимости от задач подбирается оптимальный диаметр.

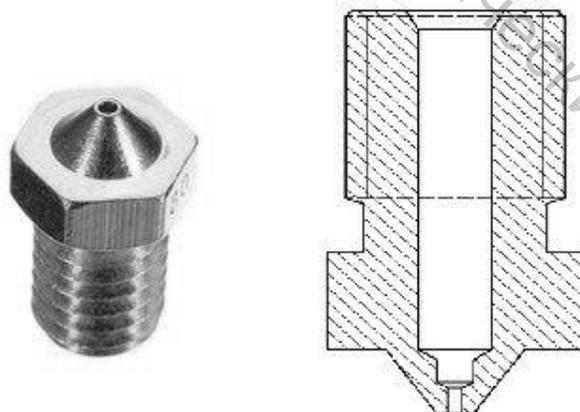


Рисунок 9.3 – Сопло

На какие параметры сопла требуется обратить внимание при выборе экструдера:

- возможность быстрой замены сопла;

– диаметр выходного отверстия должен соответствовать действительности;

– внутренний канал сопла должен быть без заусенцев (финишная постобработка/полировка канала);

– качественная резьба завинчиваемой части (чтобы исключить протекания пластика).

Нагревательный блок в сборе. С нагревательным блоком все намного проще. В этом узле фиксируется нагревательный элемент (который непосредственно и нагревает блок), датчик температуры (термистор или термопара), который контролирует температуру хотенда, сопло и термобарьер.

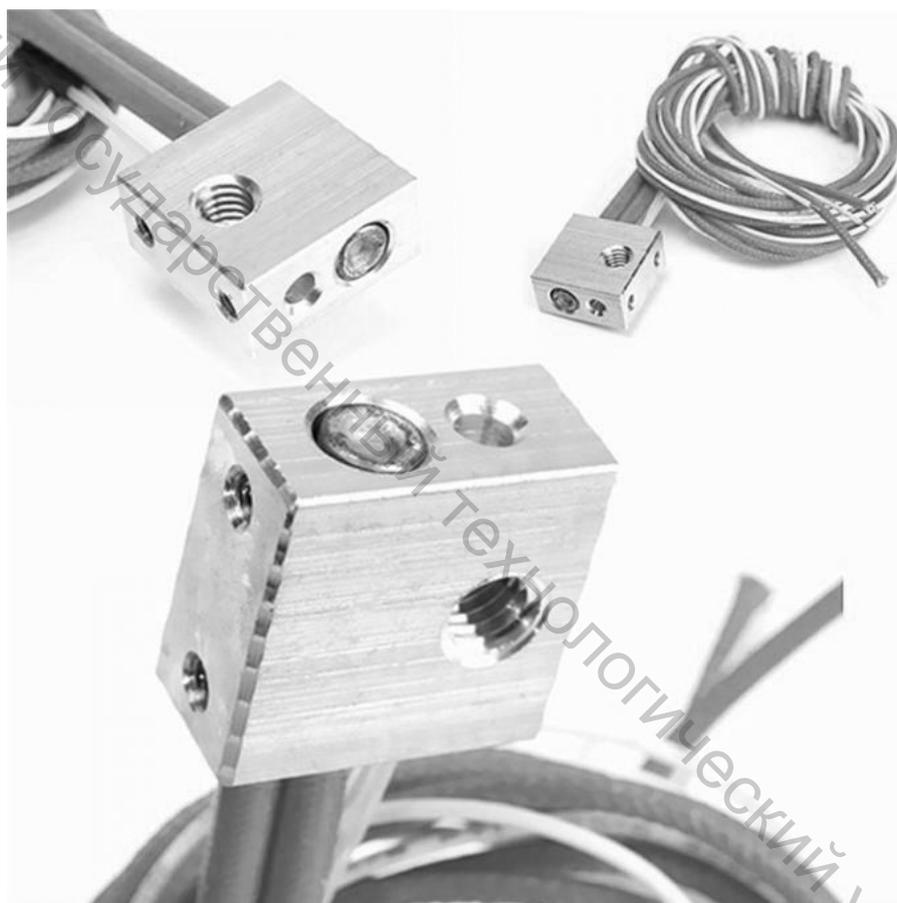


Рисунок 9.4 – Нагревательный блок

На какие параметры нагревательного блока требуется обратить внимание при выборе экструдера:

– возможность легко вставлять и вынимать нагревательный элемент и термистор;

– нагревательный блок должен иметь достаточную высоту относительно сопла, чтобы равномерно его прогреть;

– мощности нагревательного элемента должно хватать, чтобы прогреть сопло до необходимой температуры (обычно хватает 40 Вт);

– максимальная рабочая температура.

Термобарьер



Рисунок 9.5 – Термобарьер

Одна из самых ответственных частей хотенда – термобарьер. По каналу термобарьера происходит подача пластика непосредственно в горячее сопло. На термобарьер накладывается ряд требований.

Для начала обратимся к рисунку:

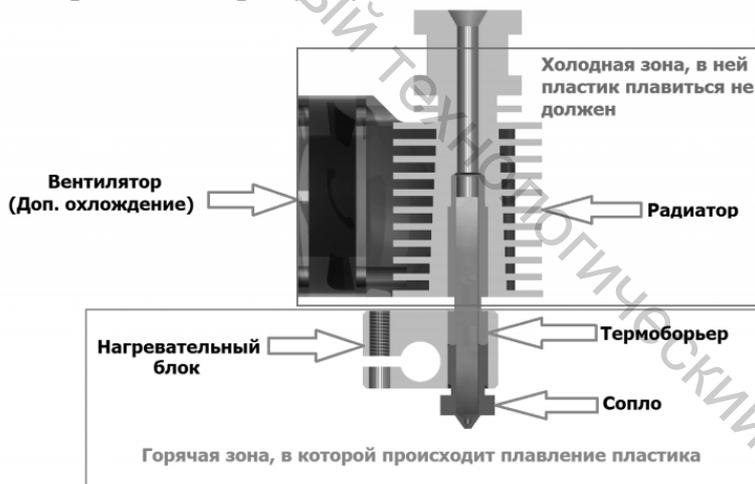


Рисунок 9.6 – Печатающая головка

В идеале пластик должен плавиться только в сопле, а часть пластика, которая находится сверху, должна быть твердая, чтобы с легкостью проталкивать уже расплавленный в сопле пластик. Это значит, что «горячую зону» необходимо резко отсекать, чем меньше будет высота переходной зоны от горячего к холодному, тем лучше. Если пластик будет плавиться не только в сопле, но и в термобарьере, то будет образовываться «пробка» (размягченный участок пластика), который не сможет протолкнуть пластик в сопле ввиду своего агрегатного состояния. Для того чтобы получить холодную зону с резкой отсечкой от горячей, разработчики экструдеров часто используют

вставки из тефлона, алюминиевый радиатор, активное охлаждение, а также материалы с низкой теплопроводностью, например, нержавеющей сталь. Все эти меры могут применяться как все вместе, так и по отдельности.

Если в хотенде отсечки нет, а градиент температуры сильно растянутый, то при печати будут возникать проблемы, в том числе и при печати экзотическими материалами (FLEX, резина и другие гибкие материалы).

Параметры печатающих головок можно подобрать на сайте [1].

10 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении кратко формулируются результаты проектирования и приводятся рекомендации относительно возможного использования материалов проекта.

11 ФОРМИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ

Во всех вариантах необходимо разработать компоновку 3D-принтера с картезианской системой координат.

Вариантом устанавливаются габариты рабочего пространства из диапазона: от 150x150x150 мм до 400x400x400 мм.

В расчетно-пояснительной записке предлагается выполнить расчеты привода подачи для одной из координат: X, Y или Z.

Исходные данные выбираются руководителем КР из следующего списка:

- 1) вид передачи: винт-гайка скольжения, винт-гайка качения, передача зубчатым ремнем;
- 2) максимальная скорость перемещения каретки 50–500 мм/мин;
- 3) дискретность перемещения 0,05–0,2 мм;
- 4) время разгона – торможения 0,5–5 с;
- 5) вид направляющих: полированные цилиндры, цилиндрические рельсы, профильные направляющие;
- 6) тип печатающей головки: директ, боуден;
- 7) привод: шаговый, сервопривод.

Детали каркаса 3D-принтера, корпусные детали, линейные подшипники и другие стандартные изделия выбираются из каталогов [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. 3d-diy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3d-diy.ru/>. – Дата доступа: 24.02.2022.
2. cnc-tehnologi.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cnc-tehnologi.ru/>. – Дата доступа: 24.02.2022.
3. ТНК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thk.com/?q=ru>. – Дата доступа: 24.02.2022.
4. Кочергин, А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование : учеб. пособие для вузов машиностроит. спец. / А. И. Корчегин. – Минск : Высшая школа, 1991. – 381 с.
5. Решетов, Д. Н. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.: ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Пример выполнения графической части курсового проекта

Витебский государственный университет

9211174416.FLJB

Технические характеристики 3D принтера

1. Тип оборудования: портальный принтер
2. Тип привода: электро-механический
3. Привод: шарико-винтовая передача, винт-гайка скольжения
4. Область печати: 420x420x470 мм

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.
1		Крепление для двигателя	2
2		Z-80M02430	12
3		Подложка для опор и держателей цилиндрических валов	1
4		Держатель печатающей головки	2
5		Переходное крепление для двигателя 57HS76-3004	2
6		Крепление для двигателя 57HS76-3004	2
7		Сменный рабочий стол	1
8		Держатель стола	2
9		Стандартные изделия	2
10		ШВП-3210	2
11		Винт	2
12		ШВП SFC-3210	2
13		Гайка	2
14		Модуль крепления гайки	2
15		DSG-32H	2
16		Фиксированная опора	2
17		FK-25	2
18		CR-36-45-10	4
19		1	4
20		Мембранная муфта	4
21		1	2
22		Z-80M02430	2
23		Двигатель	2
1		Плавающая опора	2
2		BF-20	2
3		Полноразмерные цилиндрические валы (направляющие)	8
4		SFC-20	8
5		Держатель цилиндрических валов	8
6		SK-20	8
7		Модуль с линейным подшипником	8
8		CSG-20	8
9		Фланцевая каретка	12
10		НМ15CC	12
11		TR-25x5	2
12		Грампейзажная гайка	2
13		BR-25x5	2
14		FK-20	2
15		Фиксированная опора	2
16		57HS76-3004	2
17		Двигатель	2
18		GHR-15	2
19		Профильные рельсы	4
20		ВГУ 17744 ПЛСБ	1
21		Портальный принтер	1
22		489	1
23		50-ВГУЧ 4 ПР-1	1

Витязь И.

Учебное издание

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Методические указания
по выполнению курсового проекта

Составители:

Махаринский Юрий Ефимович
Окунев Роман Владимирович
Котович Антон Викторович

Редактор *Т.А. Осипова*
Корректор *Т.А. Осипова*
Компьютерная верстка *Р.В. Окунев*

Подписано к печати 09.03.2022. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 1,9.
Уч.-изд. листов 2,5. Тираж 35 экз. Заказ № 80.

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.