

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**КАФЕДРА МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ**

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к практической работе**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБОФРЕЗЕРНОЙ ОПЕРАЦИИ**

**по дисциплине «Технология машиностроения»**

*для студентов специальности*

*1-36 01 01 «Технология машиностроения»*

УДК 621.91.002

Методические указания предназначены оказать помощь студентам при выполнении практической работы. Также они могут быть полезны инженерам-технологам, занимающимся проектированием технологических процессов изготовления зубчатых колес.

Составитель: О. А. Медведев, доцент, к. т. н.

Рецензент: Г. В. Юдциц, начальник конструкторско-технологического  
отдела ОАО «Брестмаш»

## 1 Цель работы

Целью работы является приобретение студентами практических навыков разработки зубофрезерных операций.

## 2 Теоретические сведения

### 2.1 Сущность и особенности нарезки зубьев червячной фрезой

Зубофрезерование цилиндрических колес с внешними зубьями методом обкатки с помощью червячных фрез выполняется с высокой производительностью без потерь времени на возвраты инструмента и делительные движения заготовки и широко применяется в серийном и массовом производстве для черновой и чистовой нарезки зубьев. На зубофрезерную операцию для предварительной обработки зубьев заготовка (полуфабрикат) зубчатого колеса должна поступать с начисто обточенным наружным цилиндром, на котором нужно нарезать зубья, с начисто обточенными торцами этого цилиндра и торцами ступицы, а также с начисто обработанным растачиванием или протягиванием посадочным отверстием.

Червячная зуборезная фреза представляет собой эвольвентный червяк с прямобочным профилем витков в их нормальном сечении. Витки прерываются 9...14 прямыми или винтовыми стружечными канавками. На пересечении витков и канавок образуются режущие кромки зубьев фрезы. Для преобразования участков витков в режущие зубья их затылуют по вершинам, бокам и впадинам.

В процессе нарезки зубьев червячная фреза и заготовка колеса совершают обкаточные вращательные движения вокруг своих осей, аналогичные движениям элементов червячной передачи (рисунок 1а).

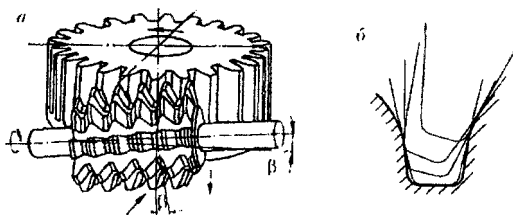


Рисунок 1 – Схема зубофрезерования прямых зубьев колеса червячной фрезой

В процессе обкаточных вращений режущие кромки зубьев фрезы, расположенных на нескольких витках, одновременно врезаются в заготовку на разную глубину, удаляя материал из будущих впадин постепенно по окружности наружного цилиндра колеса. Вращение фрезы является главным движением резания, так как зубья фрезы в процессе ее быстрого вращения перемещаются относительно заготовки с наибольшей линейной скоростью. Более медленное вращение заготовки является движением подачи.

Частоты обкаточных вращений червячной фрезы и заготовки колеса должны быть точно взаимосвязаны. По аналогии с работой червячной передачи за один оборот однозаходной червячной фрезы заготовка колеса должна повернуться на один окружной шаг нарезаемых зубьев.

Чтобы зубья фрезы, обращенные в сторону нарезаемого колеса, размещались во впадинах между нарезаемых зубьев и при вращении фрезы двигались вдоль этих впадин, фреза должна иметь в сечении, нормальном к направлению витков, шаг витков и угол профиля витков, соответственно равные окружному шагу и углу профиля нарезаемых зубьев. Кроме этого, касательная к участку витка фрезы, обращенному к заготовке колеса, должна быть направлена вдоль нарезаемых зубьев, обращенных к фрезе. Для этого оси фрезы и заготовки должны скрещиваться под углом, зависящим от угла подъема витков фрезы и угла наклона зубьев колеса.

При вращении фрезы зубья на витках описывают кольцевые траектории, которые смещены относительно друг друга вдоль оси фрезы. За счет этого смещения и за счет вращения колеса имитируется качение колеса в направлении нормали к виткам фрезы (как по зубьям производящей рейки). Профили зубьев колеса образуются последовательно зубьями фрезы в пределах длины активной части фрезы, контактирующей с колесом. Эвольвентный профиль стенки зуба будет формироваться как линия, огибающая ряд последовательных положений кромок зубьев фрезы относительно заготовки колеса во время обкаточных вращений (рисунок 16).

Профилирование впадин производится режущими кромками зубьев фрезы в момент их наибольшего приближения к оси колеса в процессе вращения фрезы. При дальнейшем повороте фрезы точки кромок отходят от требуемого профиля впадины колеса и осуществляют предварительное удаление новых слоев материала на удалении от требуемого профиля впадины.

При непрерывном вращении фрезы каждая впадина колеса формируется зубьями витков, расположенными в пределах проекции на ось фрезы активной части линии профилирования (профилирующая длина фрезы). Максимальное значение профилирующей длины примерно равно двум окружным шагам колеса (при стандартном угле зацепления  $\alpha = 20^\circ$  и бесконечно большом числе зубьев колеса). Следовательно, максимально возможное число резцов, профилирующих одну впадину, равно числу зубьев фрезы, расположенных на двух витках фрезы  $2Z_{фр}$ . Для реальных зубчатых колес число витков фрезы, участвующих в профилировании зубьев колеса, меньше двух. Оно определяется делением длины профилирования на окружной шаг зубьев колеса, а число резцов, профилирующих каждую впадину колеса, равно произведению числа профилирующих витков на число зубьев фрезы на одном витке  $Z_{фр}$ .

При малом числе резцов профиль зубьев колеса получается гранёным. С увеличением числа профилирующих резцов уменьшаются погрешности эвольвентного профиля зубьев колеса. Для этого следует использовать червячные фрезы с большим числом зубьев на одном витке, что достигается увеличением диаметра фрезы и (или) уменьшения окружного шага ее зубьев. Обычно при использовании стандартных червячных фрез погрешность профиля не превышает 3...4 мкм.

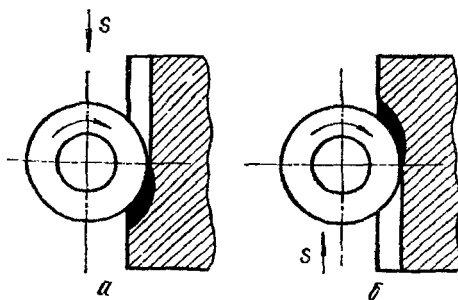
Зубья фрезы, расположенные за пределами длины профилирования, не формируют профиль впадин колеса, а лишь производят частичное вырезание материала из впадин на удалении от требуемого профиля.

Для распространения процесса зубофрезерования по всей длине цилиндра заготовки требуется поступательное движение (подача) фрезы вдоль оси заготовки колеса (или заготовки вдоль своей оси).

Для получения требуемой глубины впадин нарезаемых зубьев требуется радиальное поступательное перемещение заготовки колеса к фрезе (или фрезы к колесу), вы-

полняемое до начала зубофрезерования как установочное движение (при нарезке с осевой поступательной подачей), или в процессе зубофрезерования (при радиальной подаче на первой стадии и осевой подаче на второй стадии зубофрезерования). Радиально-осевая подача позволяет снизить длину врезания фрезы. Но на первой стадии возникают большие силы резания, что приводит к необходимости уменьшения величины радиальной подачи для колес средних и крупных модулей, и существенного снижения времени зубофрезерования не достигается. Поэтому чаще используется зубофрезерование с осевой подачей.

Фрезерование с осевой подачей червячной фрезы может быть встречным (рис. 2а) или попутным (рис. 2б).



**Рисунок 2 – Схемы встречного (а) и попутного (б) зубофрезерования**

При осевой подаче суппорта с вращающейся фрезой в направлении скорости резания для зубьев, контактирующих с заготовкой (что кинематически соответствует подаче заготовки встречно указанной скорости резания), происходит встречное зубофрезерование. При этом толщина слоя, снимаемого одним зубом фрезы, постепенно увеличивается от нуля до величины подачи на один зуб. В начальной стадии реза зуб некоторое время скользит, не захватывая тонкий слой металла, и деформируя, наклепывает его. Это приводит к увеличению силы, требуемой на врезание следующего зуба в наклепанный металл, к повышенному износу зубьев фрезы, к снижению точности получаемых зубьев колеса. При осевой подаче суппорта с вращающейся фрезой против скорости резания для зубьев, контактирующих с заготовкой (что кинематически соответствует подаче заготовки в направлении указанной скорости резания), происходит попутное зубофрезерование. При этом каждый зуб фрезы снимает постепенно уменьшающийся слой металла почти без проскальзывания, что снижает силы резания, способствует увеличению стойкости фрезы и точности обработки. Попутное червячное зубофрезерование можно выполнять со скоростью резания и подачей в 1,2...1,3 раза большими, чем при встречном зубофрезеровании [1, 6].

Зубья червячных фрез, находящиеся на разных витках, изнашиваются неравномерно. Наибольшему износу подвержены зубья витков, находящихся в пределах длины профилирования. Эти зубья выполняют основную работу по срезанию металла впадин. Зубья других витков нагружены и изнашиваются гораздо меньше.

Для повышения стойкости червячной фрезы, точности обработки, уменьшения параметров шероховатости зубьев колеса фрезой рекомендуется перемещать вдоль её оси, чтобы в пределы длины профилирования попадали зубья других витков фрезы. Величину осевого перемещения рекомендуется определять из соотношения: 0,1–0,2 мкм на каждый оборот фрезы [2]. Такое смещение может осуществляться в следующих вариантах: периодически, после нарезки определенного числа колёс; после каждого нарезанного колеса; непрерывно в процессе работы фрезы. Последний способ более сложный, так как требует корректировки круговой подачи колеса.

Одновременное участие в процессе резания нескольких зубьев червячной фрезы исключает большие колебания сил резания и большие местные деформации нарезаемых зубьев.

Отсутствие делительных поворотов заготовки способствует снижению накопленной погрешности окружного шага нарезаемых зубьев, даже при наличии погрешности шага витков червячной фрезы, которая равномерно распределяется по всем шагам зубьев.

Аналогичные по формируемому участку профиля зуба колеса резы повторяются для одной и той же впадины колеса периодически после одного оборота колеса. За это время фреза проходит вдоль впадины путь, равный осевой подаче фрезы за один оборот колеса  $s_0$ . Это вызывает отклонения от прямолинейности стенок и дна впадины относительно прилегающих прямых, направленных вдоль впадин. Шаг указанных отклонений формы равен подаче фрезы за один оборот колеса. Высота таких отклонений формы для впадины определяется по формуле

$$\varepsilon_6 = [D - (D^2 - S^2)] / 2, \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $D$  – наружный диаметр фрезы;  $S$  – осевая подача фрезы, мм/об. колеса.

Высота подобных отклонений формы для боковых поверхностей зубьев определяется по формуле

$$\varepsilon_6 = \varepsilon_6 \cdot \sin \alpha, \text{ мм}, \quad (2)$$

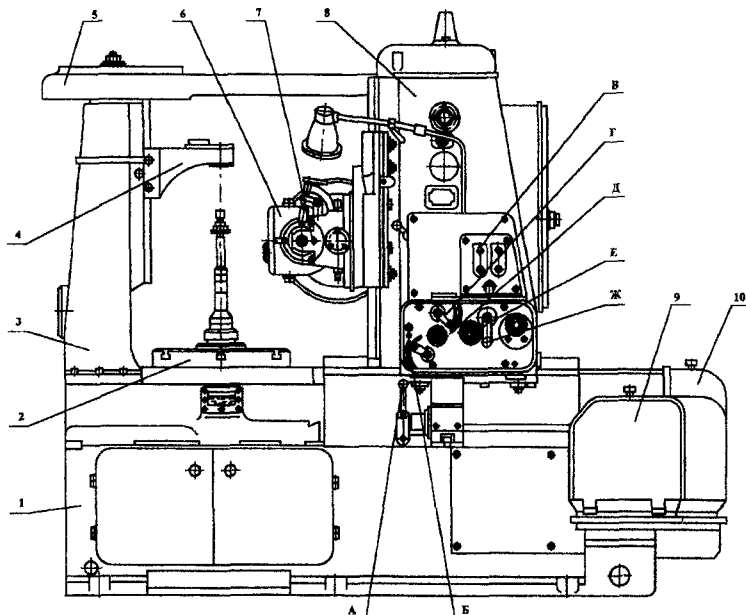
где  $\alpha = 20^\circ$  – угол профиля зубьев колеса.

## 2.2 Оборудование для зубофрезерных операций

Для реализации требуемых при нарезке зубьев червячной фрезой формообразующих движений применяются специализированные зубофрезерные станки. Наибольшее распространение имеют станки с вертикальной осью вращения заготовки и с вертикальной подачей фрезерного суппорта вдоль оси заготовки (рисунок 3). Они используются для нарезки зубьев насадных и венцовых колес небольшой ширины с относительно большим числом зубьев и зубьев валов-шестерней. Зубофрезерный станок в полуавтоматическом режиме выполняет цикл последовательных поступательных формообразующих и вспомогательных движений: рабочий ход червячной фрезы с заданной величиной осевой подачи; ускоренный радиальный отвод фрезы от заготовки (или заготовки от фрезы); ускоренный вертикальный ход в направлении обратном рабочему ходу; ускоренный или рабочий радиальный подвод фрезы к заготовке (или наоборот).

Червячная фреза устанавливается на фрезерной оправке, которая базируется в коническом отверстии шпинделя фрезерной головки 6 и поддерживается кронштейном фрезерного суппорта. Фрезерная головка и поддерживающий кронштейн находятся на поворотных салазках фрезерного суппорта 7. По градусной шкале салазок с помощью

нониуса отсчитывается угол наклона оси фрезы относительно плоскости стола (или угол скрещивания осей фрезы и нарезаемого колеса). Поворотные салазки установлены на поперечных салазках, которые можно перемещать горизонтально, и выводить червячную фрезу в положение, при котором ось симметрии впадины между двумя витками на середине фрезы находится против оси заготовки колеса. Весь фрезерный суппорт совершает рабочую подачу по вертикальным направляющим стойки 8 станка.



1 – станина; 2 – круговой стол; 3 – стойка кронштейна; 4 – кронштейн для поддержки оправки с заготовкой; 6 – траверса для увеличения жесткости стойки кронштейна; 6 – фрезерная головка; 7 – фрезерный суппорт; 8 – стойка фрезерного суппорта; 9 – полость для сменных колес гитары подачи; 10 – полость для сменных колес гитары деления;

А, Б, В, Г, Д, Е, Ж – рукоятки управления станком

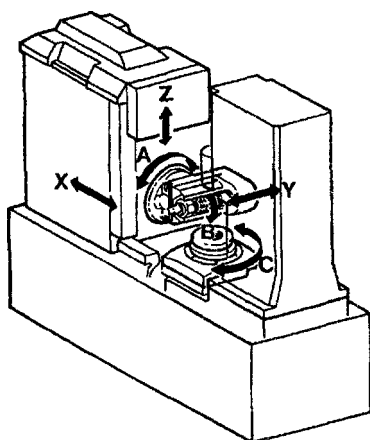
**Рисунок 3 – Типовая компоновка зубофрезерного полуавтомата**

Заготовка насадного колеса обычно базируется и закрепляется на оправке, которая установлена вертикально в отверстие кругового стола 2 (или в отверстия промежуточной подставки, в трехкулачковом самоцентрирующем патроне) или в специальном приспособлении, установленном на круговом столе. Верхний край оправки с заготовкой поддерживается кронштейном 4. Заготовка получает обкаточное вращение от кругового стола через оправку за счет трения между базой заготовки и соответствующим элементом оправки.

Взаимосвязь скоростей формообразующих и вспомогательных движений рабочих органов зубофрезерных станков может обеспечиваться за счет связей механизмов, входящих в кинематические цепи, или за счет числового программного управления (ЧПУ) отдельными приводами рабочих органов станков.

На станках с механическими кинематическими связями частота вращения фрезы изменяется ступенчато с помощью коробки скоростей в составе привода главного движения резания. Взаимосвязанная с частотой фрезы частота вращения кругового стола с заготовкой колеса настраивается подбором сменных зубчатых колес гитары деления делительной кинематической цепи станка. Скорость осевой подачи фрезерного суппорта настраивается с помощью коробки подач или гитары сменных зубчатых колес, входящих в цепь привода ходового винта осевой подачи. Дополнительный доворот стола с заготовкой при обработке косозубых колес настраивается гитарой кинематической цепи дифференциала.

На зубофрезерных станках с ЧПУ все движения рабочих органов осуществляются отдельными приводами, источниками движений в которых являются регулируемые высокомоментные электродвигатели, что обеспечивает бесступенчатое регулирование скоростей этих движений. Виды программируемых движений показаны на рисунке 4.



*A – поворот фрезерного суппорта в вертикальной плоскости; B – вращение шпинделя фрезерной головки с фрезой; C – круговая обкаточная подача стола с заготовкой в горизонтальной плоскости; X – радиальная поступательная подача стойки фрезерного суппорта; Y – поступательное перемещение каретки фрезерного суппорта вдоль оси шпинделя с фрезой; Z – поступательная вертикальная подача салазок фрезерного суппорта вдоль оси кругового стола с заготовкой*

**Рисунок 4 – Схема программируемых движений зубофрезерного станка с ЧПУ**

Все приводы снабжены датчиками обратной связи, передающими в систему ЧПУ данные о действительном положении рабочих органов и скоростях их движений для их взаимного согласования. Это согласование выполняется на основе программ типовых автоматических циклов движений с постоянным набором кадров. Числовая информация



в кадрах изменяется в зависимости от значений введенных в систему ЧПУ параметров нарезаемого колеса, длин рабочих и вспомогательных ходов и режимов резания. На зубофрезерных станках с ЧПУ обычно можно реализовать автоматические циклы нарезки прямых и косых зубьев встречным или попутным фрезерованием с осевой подачей или с радиально-осевой подачей, однопроходные или много проходные циклы нарезки, циклы нарезки колес с конусными или бочкообразными зубьями, циклы нарезки зубчатых блоков с венцами с разным числом зубьев. При установке на одной оправке фрезерного суппорта станка с ЧПУ сразу нескольких червячных фрез с разными модулями возможно нарезать венцы с разными модулями на зубчатых блоках без переналадки станка. Таким образом, система ЧПУ позволяет быстро переналаживать станок на обработку партии колес другого наименования, что требуется в мелко- и среднесерийном производстве.

Выбор модели станка для выполнения зубофрезерной операции осуществляется с учетом следующих факторов:

- тип управления станком (ручное, ЧПУ, с жесткими программносителями) должен соответствовать предполагаемому типу производства. Для мелкосерийного производства принимают универсальные зубофрезерные станки с ручным управлением. Для среднесерийного производства следует принимать зубофрезерные станки с ЧПУ. Для крупносерийного и массового производства следует принимать зубофрезерные полуавтоматы с жесткими программносителями;

- диаметр и модуль нарезаемого колеса должны входить в диапазон возможных диаметров и модулей колес, указанных в паспорте станка;

- класс точности зубофрезерного станка должен соответствовать требуемой степени точности зубьев колеса после зубофрезерования: класс В для колес 5 степени точности, класс П для колес 6 степени точности, класс Н для колес 7 степени точности и грубее [5];

- требуемые частоты обкаточных вращений и требуемые скорости поступательных подач должны входить в диапазоны возможных частот и скоростей, указанных в паспорте станка;

- мощность резания должна быть меньше мощности развиваемой приводом главного движения станка;

- из нескольких моделей станков с достаточными технологическими возможностями следует выбрать станок с меньшей стоимостью.

По ходу проектирования зубофрезерной операции модель станка может уточняться.

Необходимые для выбора зубофрезерных станков технические паспортные данные приведены в приложении А [1, 2, 5].

### **2.3 Выбор червячной фрезы**

Выбор червячных модульных фрез осуществляется на основе следующих данных и рекомендаций.

Червячные фрезы в большинстве случаев изготавливают из быстрорежущих сталей Р18, Р6М5К5, Р9К10, Р9М4К8 [3, 5]. Возможно применение и сборных червячных фрез, у которых корпус изготовлен из конструкционной стали, а рейки, образующие зубцы, – из твердого сплава Т15К6, Т15К10, Т14К8 или из быстрорежущей стали. Рейки устанавливаются в пазы корпуса с осевым смещением относительно друг друга, соответствующим углу подъема витков. Такие сборные фрезы более дешевы и экономичны в эксплуатации. Червячные фрезы могут быть однозаходными и многозаходными (имеют несколько винтовых канавок на исходном цилиндре по аналогии с многозаходными резьбами).

Для чистовой нарезки следует применять однозаходные цельные стандартные фрезы с модулем от 0,5 до 40 мм, семи классов точности по ГОСТ 9324-2015 [2]. Модуль фрезы должен быть равен модулю нарезаемых зубьев. Класс точности фрезы выбирается в зависимости от требуемой степени точности нарезаемых зубьев по нормам плавности работы. Прецизионные фрезы класса 4А применяются для получения колес 5 степени точности, фрезы класса 3А применяются для получения колес 6 степени точности, фрезы класса 2А применяются для получения колес 7 степени, чистовые фрезы класса А применяются для получения колес 8 степени, фрезы класса В для получения колес 9 степени, класса С для получения колес 10 степени, фрезы класса D для получения колес 11 степени [7].

Размеры и другие параметры червячных цельных чистовых фрез для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем, регламентируемые ГОСТ 9324-2015, приведены в приложении Б.

Многозаходные фрезы чаще применяются при черновой нарезке зубьев. Они обеспечивают большую производительность по сравнению с однозаходными фрезами, но меньшую точность профиля нарезаемых зубьев, так как профиль каждого зуба будет формироваться меньшим числом резов фрезы при большей частоте вращения заготовки. Для уменьшения погрешности окружного шага зубьев нарезаемого колеса число этих зубьев не должно быть кратно числу заходов фрезы [5].

#### **2.4 Выбор вспомогательного инструмента**

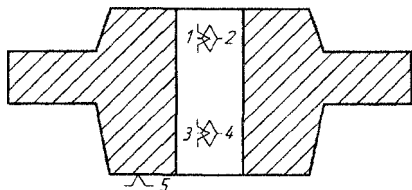
Характеристики вспомогательного инструмента (фрезерных оправок) для установки червячных фрез на фрезерном суппорте зубофрезерного станка и передаче им крутящего момента от шпинделя приведены в приложении В [4]. Посадочный конус выбираемой оправки должен соответствовать конусу отверстия шпинделя фрезерного суппорта, диаметр цилиндра под фрезу должен соответствовать диаметру посадочного отверстия фрезы, расположение шпонок оправки должно соответствовать расположению шпоночных пазов на фрезе (в отверстии или на торце).

#### **2.5 Выбор технологических баз и вида станочного приспособления**

Наиболее важным критерием выбора технологических баз заготовок зубчатых колес при зубофрезеровании является необходимость соблюдения принципа совмещения баз для достижения малых отклонений радиального биения (соосности) начального цилиндра получаемого зубчатого венца и гладкого посадочного отверстия (или центрирующего элемента шлицевого посадочного отверстия). Поэтому при обработке зубьев в качестве технологической базы для базирования заготовки колеса в координатных направлениях, перпендикулярных оси венца, следует принимать ось посадочного отверстия. Если, кроме этого, требуется обеспечить перпендикулярность оси зубчатого венца относительно его торца или торца ступицы колеса, то такой торец следует использовать для базирования по поворотам вокруг двух координатных осей, перпендикулярных оси венца. Так как при зубофрезеровании не формируются размеры, определяющие положение зубьев в направлении оси венца, то выбор торца для базирования по этому направлению определяется удобством базирования заготовки, обеспечением доступа фрезы к заготовке и обеспечением выхода фрезы из полученных впадин зубьев и простотой станочного приспособления. Обычно для такого базирования используется торец, принятый 10

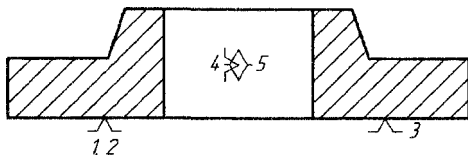
ранее для базирования по поворотам вокруг двух координатных осей, перпендикулярных оси венца. Обычно при зубофрезеровании не выдерживается определенного углового положения стенок нарезаемых зубьев по повороту вокруг оси венца. Поэтому не требуется базирование заготовки колеса в этом координатном направлении, то есть используется неполное базирование.

При составлении теоретической схемы базирования распределение теоретических опорных точек по выбранным технологическим базам выполняется в зависимости от соотношения диаметра и длины посадочного отверстия, от величины диаметра базового торца. Длинные и широкие базы обеспечивают лучшую точность базирования по угловым координатным направлениям, чем короткие базы при одинаковой точности их формы и шероховатости. Поэтому ось посадочного отверстия заготовки, длина которого более чем в 1,5 раза превышает диаметр, следует использовать как двойную направляющую базу для базирования заготовки вдоль двух координатных осей, перпендикулярных оси венца и по поворотам вокруг этих двух осей, а торец ступицы малого диаметра следует использовать как опорную базу для базирования вдоль оси будущего зубчатого венца. Схема такого базирования представлена на рисунке 5. К оси посадочного отверстия приложены 4 опорные точки, а к торцу ступицы приложена 1 опорная точка, в соответствии с количеством координат по которым ось и торец ориентируют заготовку.



**Рисунок 5 – Схема базирования заготовки колеса для зубофрезерования на разжимную оправку при длинном отверстии и торце малого диаметра**

У заготовок колес типа дисков ось короткого посадочного отверстия следует использовать в качестве двойной опорной базы, а торец большого диаметра – в качестве установочной базы (рисунок 6).

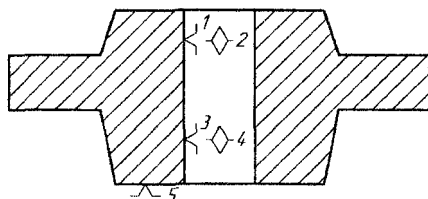


**Рисунок 6 – Схема базирования заготовки колеса для зубофрезерования на разжимную оправку при коротком отверстии и торце большого диаметра**

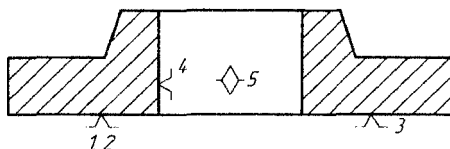
Для реализации описанных схем базирования и для закрепления заготовки колеса обычно используются специальные центрирующие разжимные оправки (кулачковые,

цанговые, пружинные, с гидропластом) с жестким буртиком малого или большого диаметра соответственно. Выбор типа разжимного элемента оправки зависит от требуемой точности базирования, точности диаметра и формы посадочного отверстия, стадии обработки зубьев (кулачковые для черновой, остальные – для чистовой нарезки).

Часто для упрощения конструкции приспособления и снижения его стоимости вместо разжимной оправки используется жесткая цилиндрическая оправка. При этом из-за гарантированного зазора между оправкой и посадочным отверстием его ось не занимает стабильного положения для всех заготовок в партии и, следовательно, не является технологической базой. В таком случае двойной направляющей или двойной опорной базой следует считать стенки отверстия, контактирующие с жесткой цилиндрической оправкой, и схемы базирования, представленные на рисунках 5 и 6, преобразуются в схемы, представленные на рисунках 7 и 8 соответственно.



**Рисунок 7 – Схема базирования заготовки колеса для зубофрезерования на жесткую оправку при коротком отверстии и торце большого диаметра**



**Рисунок 8 – Схема базирования заготовки колеса для зубофрезерования на жесткую оправку при коротком отверстии и торце большого диаметра**

Точность диаметра посадочного отверстия должна соответствовать 7...8 квалитетам, биение базового торца – не более 0,1 мм на радиусе 100 мм [5].

Оправки небольших диаметров устанавливаются коническим концом в центрирующую втулку (или подставку), которая с минимальным зазором центрируется в цилиндрическом отверстии кругового стола станка и закрепляется на столе болтами, входящими в его T-образные пазы. Другой конец оправки поддерживается верхним центром (или втулкой), расположенным на кронштейне, который может перемещаться по направляющим вертикальной стойки зубофрезерного станка.

Перед установкой заготовки проверяется радиальное и торцовое биение оправки. Для жесткой оправки они не должны превышать четверти допуска радиального биения нарезаемых зубьев [5]. Для разжимной оправки они не должны превышать половины допуска радиального биения нарезаемых зубьев.

Заготовка колеса закрепляется на жесткой оправке осевой силой, передаваемой гайкой, через шайбу, торцу заготовки, противоположному базовому. Крупные колеса, имеющие отверстия между ступицей и венцом, дополнительно закрепляют гайками на болтах, установленных в т-образных пазах стола или подставки и пропущенных через эти отверстия заготовки.

Радиальное биение наружного цилиндра заготовки, на котором будут фрезероваться зубья, относительно оси оправки не должно превышать допуска на диаметр этого цилиндра.

Характеристики разжимных кулачковых оправок по ГОСТ 31.1066.04-97 и разжимных цанговых оправок по ГОСТ 31.1066.02-85 приведены в приложении Г. Диаметр оправки выбирается по диаметру посадочного отверстия заготовки. Конус отверстия во втулке или подставке должен соответствовать посадочному конусу оправки. Длина разжимной части оправки должна быть больше длины посадочного отверстия заготовки или суммарной длины отверстий нескольких заготовок (пакета), устанавливаемых на одну оправку для совместной обработки. В случае многоступенчатой обработки нескольких заготовок при смыкании торцов будущих зубчатых венцов уменьшается доля времени на врезание и перебег фрезы, приходящаяся на одну заготовку в пакете.

## 2.6 Настройка положения червячной фрезы

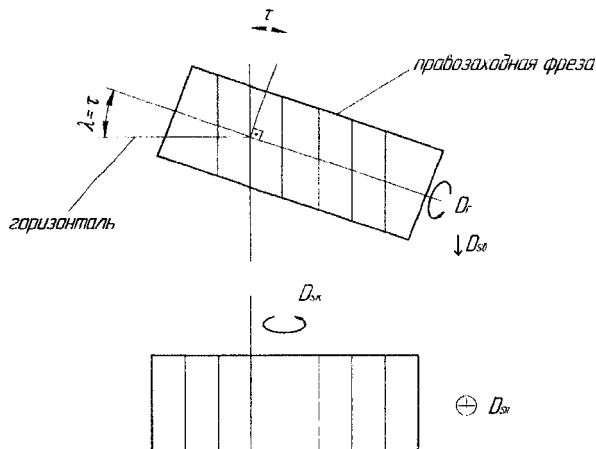
После установки и закрепления фрезы с оправкой на фрезерном суппорте проверяется радиальное и торцовое биение буртиков фрезы. Они не должны превышать 0,03 мм, и 0,02 мм соответственно [5].

После проверки биений настраивается осевое положение фрезы так, чтобы ось симметрии противоположных боковых кромок двух зубьев на соседних витках, обращенных к заготовке и расположенных на середине фрезы, находилась напротив оси заготовки.

Далее настраивается угол наклона оси фрезы  $\lambda$  относительно горизонтальной плоскости стола станка (от исходного горизонтального положения), который зависит от направления и угла наклона  $\beta$  зубьев нарезаемого колеса, а также направления и угла  $\tau$  подъема витков фрезы. На рисунке 9 показана схема определения угла  $\lambda$  для правозаходной фрезы при нарезке прямозубого колеса. Схема соответствует виду на рабочую зону вертикального зубофрезерного станка со стороны стойки с кронштейном для поддержки оправки с заготовкой. При этом фреза будет вертикально перемещаться за заготовкой и касательные к видимым виткам фрезы (изображены наклонными линиями внутри контура фрезы) должны занять вертикальное положение соответствующее будущим прямым зубьям. При этом требуемый угол наклона оси фрезы  $\lambda$  по часовой стрелке будет равен углу  $\tau$  подъема витков фрезы (между касательной к витку фрезы и перпендикуляром к оси фрезы), так это углы со взаимно перпендикулярными сторонами. То есть при нарезке прямозубых колес

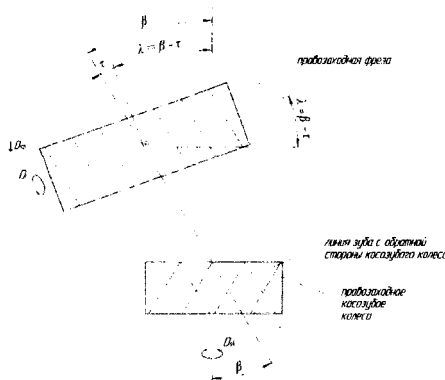
$$\lambda = \tau. \quad (3)$$

На рисунке 10 показана схема определения угла  $\lambda$  для правозаходной фрезы при нарезке правозаходного косозубого колеса. Схема соответствует виду на рабочую зону вертикального зубофрезерного станка со стороны стойки с кронштейном для поддержки оправки с заготовкой.



**Рисунок 9 – Схема определения угла наклона оси червячной фрезы  $\lambda$  относительно горизонтального стола зубофрезерного станка при нарезке прямозубого колеса**

При этом фреза будет вертикально перемещаться за заготовкой и касательные к видимым виткам фрезы (изображены наклонными линиями внутри контура фрезы) должны занять положение соответствующее положению будущих косых зубьев колеса, расположенных на обратной (невидимой) стороне колеса (изображены пунктиром в пределах контура колеса). При этом требуемый угол наклона оси фрезы  $\lambda$  против часовой стрелки будет равен разности углов  $\beta$  (наклона зубьев колеса относительно оси колеса) и  $\tau$  (подъема витков фрезы), так как эта разность и требуемый угол  $\lambda$  имеют взаимно перпендикулярные сторон.



**Рисунок 10 – Схема определения угла наклона оси правозаходной червячной фрезы  $\lambda$  относительно горизонтального стола зубофрезерного станка при нарезке правозаходного косозубого колеса с углом наклона зубьев  $\beta$**

Если построить аналогичную схему для случая правозаходной фрезы и левозаходного колеса (рисунок 11), то получится, что  $\lambda = \beta + \tau$ .

В общем случае при нарезке косозубых колес

$$\lambda = \beta \pm \tau. \quad (4)$$

Знак (-) применяется при одинаковых направлениях зубьев колеса и витков фрезы (оба правозаходные или оба левозаходные), а знак (+) – при разных направлениях. Для повышения точности обработки рекомендуется принимать одинаковые направления зубьев колеса и витков фрезы. При этом угол  $\lambda$  имеет меньшее значение и меньше погрешность его отсчета по круговой шкале поворотных салазок.

Допустимые отклонения при настройке угла  $\lambda$  в угловых минутах определяются в зависимости от требуемой степени точности колеса после зубофрезерования:  $\pm 3'$  для 7 степени точности;  $\pm 5'$  для 8 степени точности;  $\pm 8'$  для 9 степени точности;  $\pm 20'$  для 10...11 степеней точности [5].

Для настройки на высоту нарезаемых зубьев подводят заготовку в радиальном направлении до легкого соприкосновения ее наружного цилиндра с вращающейся фрезой, отводят фрезу вверх за торец заготовки и перемещают заготовку к фрезе в радиальном направлении, отсчитывая высоту зуба по лимбу.

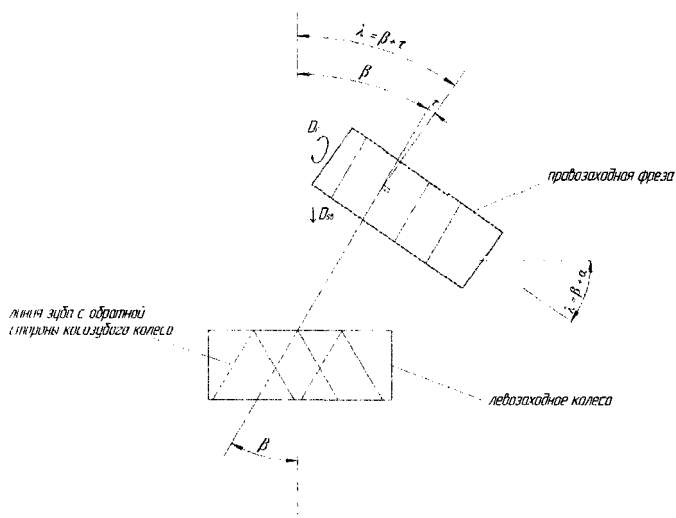


Рисунок 11 – Схема определения угла наклона оси правозаходной червячной фрезы  $\lambda$  относительно горизонтального стола зубофрезерного станка при нарезке левозаходного косозубого колеса с углом наклона зубьев  $\beta$

## 2.7 Определение режимов зубофрезерования червячной фрезой

Глубина резания (высота получаемых зубьев) определяется по формуле

$$t = h - (a_s / \operatorname{tg} \alpha_3) + a_e, \quad (5)$$

где  $h$  – высота зуба готового колеса, мм;  $a_s$  – припуск на одну сторону зуба на последующую ее обработку, мм;  $a_e$  – припуск на последующую обработку вершины зуба, мм;  $\alpha_s = 20^\circ$  – угол профиля зубьев фрезы.

Припуски на чистовую обработку зубьев можно определить по приложению Д [2].

На глубину резания  $f$  перемещается в радиальном направлении фреза или стол с заготовкой после касания кромок фрезы с наружным цилиндром заготовки.

Величина осевой подачи при черновом зубофрезеровании зависит от обрабатываемости (твердости) материала колеса, модуля зубьев колеса, мощности зубофрезерного станка, числа заходов червячной фрезы.

Для повышения производительности принимают возможно большее значение осевой подачи фрезы, которое ограничено при черновом зубофрезеровании мощностью привода главного движения станка. Для упрощения таблицы нормативов для определения осевой подачи произведено разделение зубофрезерных станков на 5 групп [2] по уровню мощности электродвигателя привода главного движения (таблица Е1 приложения Е).

При чистовом зубофрезеровании подача ограничена требуемой шероховатостью боковой поверхности получаемых зубьев.

Осевая подача определяется по нормативам [2] в миллиметрах на один оборот колеса (таблицы Е2, Е3 приложения Е).

Принятую по таблицам Е2, Е3 подачу следует умножить на поправочный коэффициент  $K_s$ , определяемый по формуле

$$K_s = K_{s1} \cdot K_{s2} \cdot K_{s3} \cdot K_{s4} \cdot K_{s5} \cdot K_{s6} \cdot K_{s7}, \quad (6)$$

где  $K_{s1}$ ,  $K_{s2}$ ,  $K_{s3}$ ,  $K_{s4}$ ,  $K_{s5}$ ,  $K_{s6}$  – поправочные коэффициенты соответственно: на твердость по Бринеллю материала заготовки, на угол наклона зубьев колеса, на число рабочих ходов фрезы вдоль оси колеса, на встречное или попутное фрезерование, на класс точности фрезы, на материал фрезы, принимаемые по таблице Е4 [2];  $K_{s7}$  – поправочный коэффициент на число заходов червячной фрезы (для однозаходных фрез  $K_{s7} = 1$ ; для двухзаходных  $K_{s7} = 0,7$ ; для трехзаходных фрез  $K_{s7} = 0,5$ ) [2, 5].

Скорость резания при зубофрезеровании червячной фрезой определяется по эмпирическим формулам [2].

При твердости материала колеса HB 160...240 кгс/мм<sup>2</sup> используется формула

$$V = C_1 \cdot K_V / (T^{0.3} \cdot S^{0.5} \cdot HB^{1.25} \cdot m^{0.1}), \text{ м/мин} \quad (7)$$

При твердости материала колеса HB 160...240 кгс/мм<sup>2</sup> используется формула

$$V = C_2 \cdot K_V / (T^{0.4} \cdot S^{0.5} \cdot HB^{2.5} \cdot m^{0.4}), \text{ м/мин} \quad (8)$$

где  $C_1 = 160 \cdot 10^3$  и  $C_2 = 650 \cdot 10^6$  – коэффициенты, учитывающие влияние постоянных факторов на скорость резания;  $K_V$  – поправочный коэффициент на скорость резания;  $T$  – стойкость фрезы, мин;  $S$  – осевая подача, мм/об. колеса;  $HB$  – твердость по Бринеллю материала колеса, кгс/мм<sup>2</sup>;  $m$  – модуль фрезы, мм.

Поправочный коэффициент  $K_V$  определяется по формуле

$$K_V = K_{V1} \cdot K_{V2} \cdot K_{V3} \cdot K_{V4} \cdot K_{V5} \cdot K_{V6}, \quad (9)$$

где  $K_{V1}$ ,  $K_{V2}$ ,  $K_{V3}$ ,  $K_{V4}$ ,  $K_{V5}$ ,  $K_{V6}$  – поправочные коэффициенты соответственно: на твердость по Бринеллю материала заготовки, на угол наклона зубьев колеса, на число рабочих ходов фрезы вдоль оси колеса, на встречное или попутное фрезерование, на класс точности фрезы, на материал фрезы, принимаемые по таблице Е4 [2].



Обработку твердосплавными червячными фрезами выполняют при  $V = 100...180$  м/мин. [5].

Число оборотов червячной фрезы в минуту определяется по формуле [2]

$$n_{\phi} = 1000 \cdot V / \pi \cdot D, \text{ об/мин}, \quad (10)$$

где  $V$  – скорость резания, м/мин;  $D$  – наружный диаметр фрезы, мм.

Для кинематической настройки зубофрезерного станка необходимо определить взаимосвязанные частоты вращения фрезы и заготовки колеса.

Число оборотов прямозубого колеса определяется по зависимости, характерной для червячного зацепления: за один оборот однозаходной червячной фрезы колесо, на котором нарезается  $Z_k$  зубьев, должно повернуться на  $1/Z_k$  полного оборота. Если фреза имеет  $q$  заходов, то за один оборот фрезы колесо должно повернуться на  $q/Z_k$  полного оборота. Тогда за одну минуту (за  $n_{\phi}$  оборотов фрезы) число оборотов колеса определяется по формуле

$$n_k = n_{\phi} \cdot q / Z_k, \text{ об/мин}, \quad (11)$$

где  $q$  – число заходов червячной фрезы;  $z_k$  – число зубьев нарезаемого колеса.

Нарезаемое косозубое колесо должно вращаться либо быстрее, либо медленнее (в зависимости от направления зубьев колеса), чем аналогичное по модулю и числу зубьев прямозубое колесо, чтобы при вертикальной подаче фрезы ее зубья двигались вдоль наклонного зуба колеса. Таким образом, требуется положительный или отрицательный доворот заготовки косозубого колеса за каждый его оборот, по сравнению с прямозубым колесом. Доворот, равный полному обороту колеса, потребуется, если фреза пройдет вдоль оси колеса расстояние, равное осевому шагу косых зубьев колеса  $T$ . Так как за время одного оборота колеса фреза перемещается вдоль его оси на  $S$  мм, то за это время доворот составит  $S/T$  часть полного оборота колеса. Доворот колеса за время одного оборота червячной фрезы будет в  $q/Z_k$  раз меньше, то есть  $q/Z_k \cdot S/T$ .

Доворот складывается с основным вращением колеса при одинаковых направлениях зуба колеса и витков фрезы и вычитается из основного вращения при разных направлениях. Поэтому суммарное число оборотов косозубого колеса (с учетом доворота за  $n_k$  оборотов аналогичного прямозубого колеса) определяется по формуле

$$n_k = [(q/z_k) \pm (q \cdot s/z_k \cdot T)] \cdot n_{\phi}, \text{ об/мин}, \quad (12)$$

где  $S$  – осевая подача, мм/об. колеса;  $T$  – осевой шаг зубьев колеса, мм.

Знак «+» принимается при одноименных, а знак «-» при разноименных направлениях витков фрезы и зубьев колеса.

Осевой шаг зубьев колеса определяется по формуле

$$T = \pi \cdot m \cdot z_k / \sin \beta, \text{ мм}, \quad (13)$$

где  $m$  – модуль зубьев колеса, мм;  $\beta$  – угол наклона зубьев колеса.

Рассчитанное число оборотов заготовки колеса должно быть больше минимального числа оборотов стола по паспорту зубофрезерного станка. В противном случае по минимально возможному числу оборотов колеса следует пересчитать число оборотов фрезы, используя формулы взаимосвязи этих параметров.

Главная (тангенциальная) составляющая силы резания в ньютонх определяется по формуле [2]

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot m^{1.4} \cdot S^{0.95} \cdot t^{1.4} \cdot V^{0.28} \cdot K_p, \text{ Н}, \quad (14)$$

где  $C_p = 15$  – коэффициент, учитывающий влияние постоянных факторов на силу резания;  $m$  – модуль зубьев колеса, мм;  $S$  – осевая подача, мм/об колеса;  $t$  – глубина резания, мм;  $V$  – скорость резания, м/мин;  $K_p$  – поправочный коэффициент на силу резания.

Поправочный коэффициент  $K_p$  определяется по формуле

$$K_p = K_{p1} \cdot K_{p2}, \quad (15)$$

где  $K_{p1}$  – поправочный коэффициент на число заходов червячной фрезы (для однозаходных фрез  $K_{p1} = 1$ ; для двухзаходных  $K_{p1} = 1,6$ ; для трехзаходных фрез  $K_{p1} = 2$ ) [2];  $K_{p2}$  – поправочный коэффициент на механические свойства материала колеса, определяемый по таблице Е5 приложения [7].

Мощность, требуемая на процесс зубофрезерования, определяется по формуле

$$N = P_z \cdot V / 60000, \text{ кВт}, \quad (16)$$

где  $P_z$  – главная (тангенциальная) составляющая силы резания, н;  $V$  – скорость резания, м/мин.

Для оценки возможности осуществления зубофрезерования с рассчитанными режимами на принятом зубофрезерном станке необходимо сравнить найденную мощность резания  $N$  с мощностью привода главного движения станка  $N_n$  по условию

$$N \leq N_n \cdot \eta \quad (17)$$

где  $\eta = 0,75 \dots 0,85$  – коэффициент полезного действия привода станка.

Если это условие не выполняется, необходимо уменьшить скорость резания и (или) подачу.

Основное время на нарезку одной заготовки колеса за один проход червячной фрезой с осевой подачей при нескольких заготовках, установленных соосно в одном приспособлении (на одной оправке) для совместной обработки, при сомкнутых торцах венцов, определяется по формуле

$$T_0 = (L_{ep} + L_k \cdot p + L_n) / s \cdot n_k \cdot p, \text{ мин}, \quad (18)$$

где  $L_{ep}$  – длина врезания фрезы, мм;  $L_n$  – длина перебега фрезы, мм;  $L_k$  – длина зубчатого венца колеса, мм;  $p$  – число заготовок в одном приспособлении.

При замене в формуле (18) частоты вращения колеса  $n_k$  его выражением по формуле (11) для прямозубого колеса получим

$$T_0 = (L_{ep} + L_k \cdot p + L_n) \cdot z_k / s \cdot n_{\phi} \cdot q \cdot p, \text{ мин}. \quad (19)$$

Таким образом, основное время при использовании многозаходных фрез может уменьшиться пропорционально числу заходов фрезы, при прочих равных условиях.

Длина осевого врезания фрезы определяется по формуле [2]

$$L_{ep} = \{ [t \cdot (D-t)]^{1/2} \} / \cos \lambda, \text{ мм}, \quad (20)$$

где  $t$  – глубина резания, мм;  $D$  – наружный диаметр фрезы, мм;  $\lambda$  – угол наклона оси фрезы относительно горизонтальной плоскости стола станка.

Длина осевого врезания может составлять до 75 % общего пути резания при обработке одного колеса с крупным модулем [5]. Уменьшить долю длины врезания, приходящуюся на одну заготовку колеса, можно, выполняя совместную обработку нескольких сомкнутых торцами венцов заготовок и применяя радиальное врезание фрезы вместо осевого. В последнем случае длина врезания будет равна высоте получаемых зубьев  $t$  с добавлением 1...2 мм.

Длина перебега оси фрезы за торец венца заготовки определяется по формуле [2]

$$L_n = 3 \cdot m \cdot \operatorname{tg} \lambda + (3 \dots 5), \text{ мм}, \quad (21)$$

где  $m$  – модуль зубьев колеса;  $\lambda$  – угол наклона оси фрезы относительно горизонтальной плоскости стола станка.

В качестве смазочно-охлаждающей жидкости при зубофрезеровании применяют: масло индустриальное 20 ГОСТ 20799-75, 5...10%-ный раствор эмульсола ЭГТ ТУ0258-043 00148843 2003 в масле индустриальном 12; 2, 5...10%-ный раствор концентрата МР-7-1М ТУВУ190017558.136-2012 в масле индустриальном 12.

### 3 Порядок выполнения работы

3.1 Получить у преподавателя задания на выполнение практической работы, включающих чертеж зубчатого колеса, стадию обработки зубьев и тип предполагаемого производства

3.2 Выбрать структуру зубофрезерной операции с учетом конструкции зубчатого колеса и типа производства (одноинструментная одноместная, многоинструментная одноместная, одноинструментная многоместная последовательная, многоинструментная многоместная последовательная).

3.3 Выбрать модель зубофрезерного станка на основе рекомендаций п. 2.2 и сведений, приведенных в приложении А. Выписать основные характеристики станка и размеры присоединительных элементов под приспособление и инструмент.

3.4 Выбрать и обосновать технологические базы и изобразить схему базирования заготовки зубчатого колеса на основе рекомендаций п. 2.5.

3.5 Выбрать вид приспособления для базирования и закрепления заготовки и указать его установочные элементы на основе рекомендаций п. 2.5.

3.6 Выбрать червячную фрезу по ГОСТ 9324-2015 на основе рекомендаций п. 2.3 и выписать ее характеристики (тип, исполнение, модуль, размеры, число стружечных канавок, класс точности, число заходов, направление витков, угол подъема витка) из таблиц приложения Б. Выбрать марку материала фрезы, с учетом производительности обработки, соответствующей заданному типу производства.

3.7 Выбрать вспомогательный инструмент для установки червячной фрезы по рекомендациям п. 2.4 и данным приложения В.

3.8 Определить угол наклона оси фрезы  $\lambda$  относительно горизонтальной плоскости стола станка в соответствии с формулами п. 2.6.

3.9 Определить режимы зубофрезерования в соответствии с методикой, изложенной в п. 2.7.

3.10 Составить отчет о практической работе, содержащий описание пунктов 3.1...3.9.

### 4 Контрольные вопросы

4.1 Область применения зубофрезерования червячными фрезами.

4.2 Конструкция червячной зуборезной фрезы.

4.3 Принципы формообразования эвольвентной поверхности зубьев червячной фрезой и требуемые формообразующие движения.

4.4 Геометрические факторы, влияющие на погрешности формы эвольвентного профиля и шага зубьев колеса.

- 4.5 Встречное и попутное зубофрезерование, области их применения.
- 4.6 Основные элементы конструкции вертикального зубофрезерного станка.
- 4.7 Типы систем управления зубофрезерных станков. Их преимущества, недостатки, области применения.
- 4.8 Правила выбора модели зубофрезерного станка.
- 4.9 Выбор материала червячной фрезы.
- 4.10 Выбор класса точности червячной фрезы.
- 4.11 Особенности многозаходных червячных фрез. Их преимущества и недостатки.
- 4.12 Вспомогательные инструменты для зубофрезерных станков.
- 4.13 Выбор технологических баз для зубофрезерования заготовок колес.
- 4.14 Виды приспособлений для установки заготовок колес на зубофрезерных станках.
- 4.15 Определение угла наклона оси червячной фрезы при зубофрезеровании прямозубых и косозубых колес.
- 4.16 Определение глубины резания при зубофрезеровании.
- 4.17 Определение величины осевой подачи и скорости резания при зубофрезеровании червячной фрезой.
- 4.18 Определение частоты вращения заготовки прямозубого колеса при зубофрезеровании червячной фрезой.
- 4.19 Определение частоты вращения заготовки косозубого колеса при зубофрезеровании червячной фрезой.
- 4.20 Критерии проверки режимов зубофрезерования.
- 4.21 Определение длины врезания червячной фрезы. Определение основного времени зубофрезерования.
- 4.22 Определение длины врезания червячной фрезы.
- 4.23 Определение основного времени зубофрезерования червячной фрезой.
- 4.24 Преимущества множественного зубофрезерования колес.
- 4.25 Виды смазочно-охлаждающих жидкостей для зубофрезерования.

### **Список используемых источников**

1. Антонюк В. Е. Справочное пособие зуборезчика / В. Е. Антонюк. – Минск : Беларусь, 1989. – 303 с.
2. Фрезы червячные цельные чистовые для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Технические условия. ГОСТ9324-2015 – Москва : Стандартинформ, 2016.
3. Калашников А. С. Технология изготовления зубчатых колес / А. С. Калашников. – М. : Машиностроение, 2004. – 480 с.
4. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. Под ред. Г.А. Монахова.– 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1974. – 600 с.
5. Производство зубчатых колес. Справочник / С. Н. Калашников [и др.]; под общ. ред. Б. А. Тайца. – 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1990. – 464 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 2003. – Т.1 – 911 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т./ под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 2003. – Т.2 – 941 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение А

### Технические характеристики зубофрезерных станков

Характеристика	ОАО Егорьевский станкозавод «Комсомолец»									
	53Е20	53Д50Ф4	53А50	53А80	53А11	ЕЗ-106	ЕЗ-186	ЕЗ-100Д	ЕЗ-59	ЕЗ-60
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	200	50	500	800	1250	400	500	320	320	800
Наибольший модуль, мм	5	10	10	10	16	10	14	8	12	12
Наибольшая длина перемещения фрезерного суппорта, мм	200	530	400	400	650	-	-	-	-	-
Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	80...500	45...450	40...405	40...405	28...270	80...300	50...250	62...236	367	367
Характеристика	Витебский станкозавод «Вистан – Коминтерн» (Белоруссия)									
	53В30П	ВС-Е30Ф4	53Д30ВФ2	ВС-Е30П	ВС-Е30Ф2	ВС-Е35П				
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	320	320	320	400	400	500				
Наибольший модуль, мм	6	6	6	8	8	10				

Наибольшая длина перемещения фрезерного суппорта, мм	220	220	220	220	250	220		
Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	50...500	120...400	50...400	80...600	80...600	80...630		
Характеристика	Фирма «Либхер» (Германия)							
	LC80	LC120	LC150	LC180	LC220	LC182	LC282	LC382
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	80	125	150	180	220	180	280	380
Наибольший модуль, мм	3	3	3	3	3	7	7	7
Наибольшая длина перемещения фрезерного суппорта, мм	250/400	250/400	250/400	250/400	250/400	350/600	350/600	350/600
Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	250...800	250...800	250...800	250...800	250...800	500...1200	500...1200	500...1200

Характеристика	Фирма «Либхер» (Германия)									
	LC480	LC580	LC680	LC800	LC1000	LC1200	LCC150	LCC220		
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	480	580	680	800	1000	1200	150	220		
Наибольший модуль, мм	12/14	12/14	12/14	16	16	16	3	3		
Наибольшая длина перемещения фрезерного суппорта, мм	600/1000	600/1000	600/1000	600/1000	600/1000	600/1000	350/400	350/600		
Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	375... 1000	375... 1000	375... 1000	275... 600	275... 600	275... 600	-	-		
Характеристика	Фирма «Глисон – Пфаутер – Хурт» (США)									
	125GH	200GH	400GH	P120	P200	P300	P350	P500	P800	P1200
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	125	205	450	90/120	200	300	350	500	800/1200	1200/1600

Наибольший модуль, мм	3,2	6,35	12	3	3/5	3/5	8	12	16	16
Наибольшая длина перемещения фрезерного суппорта, мм	300	300	525	250/400	250/400	250/400	400/600	400/600	700/1000	700/1000
Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	60... 450	27... 340	27... 340
Характеристика	Фирма «Глисон – Пфаутер – Хурт» (США)									
	P1600	P2000	P3000	«Шоббер»				P100	P210	P100L
				120	200	300	350			
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	1600/ 2000	2000/ 2400	3000/ 4000	120	200	300	350	90	210/260	90
Наибольший модуль, мм	20/30	20/30	30/45	5	5	5	5	3	3	3
Наибольшая длина перемещения фрезерного суппорта, мм	700/ 1000	700/ 1000	1200/ 1800	250	250	250	400	100	100	300
Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	-	12... 120	10... 100	-	125... 280	-	-	-	-	-

Характеристика	Фирма «Кепфер» (Германия)		
	MZ120	180	200
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	45	156	180
Наибольший модуль, мм	1	2,5	3,0
Наибольшая длина перемещения фрезерного суппорта, мм	200	140/2500	140/2500
Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	8000	-	-

\* В числителе – для стандартного исполнения станка, в знаменателе – для специального.

Примечания: 1. Станок мод. 53Д50Ф4 – с ЧПУ, остальные станки ОАО Егорьевского станкозавода «Комсомолец» – с механическими связями.

2. Станки мод. ЕЗ-106, ЕЗ-186 и их модификации производят с автоматической загрузкой.

3. Станки мод. ЕЗ-100Д, ЕЗ-59, ЕЗ-60 работают дисковыми фрезами.

4. Станки мод. 53Д30ВФ2 и ВС-Е30Ф2 – с ЧПУ, остальные станки Витебского станкозавода «Вистан-Коминтерн» – с механическими связями.

5. Все станки фирм «Либхер», «Глисон – Пфаутер – Хурт» и «Кепфер» – с ЧПУ.

6. Станки мод. LCC150, LCC220 и «Шоббер» работают методом совмещенного зубофрезерования и зубодобления.

7. Фирма «Либхер» выпускает также зубофрезерные станки для зубчатых колес с  $m = 20...30$  мм и наибольшим диаметром 1200...4500 мм.

8. Станки мод. P100, P210, P100L, MZ120, 180, 200 – с горизонтальным расположением оси заготовки.

Модель станка	Наибольшие размеры обрабатываемых колес, мм			Наибольший диаметр фрезы, мм	Частота вращения фрезы, мин <sup>-1</sup>	Мощность главного привода, кВт	Масса, т
	Диаметр	Модуль	Ширина венца				
53A08П*	80	2,5	100	71	100–2200	1,5/2**	1,9
5Б310П	125	1,5	100	100	100–500	2,2	1,7
53A10	125	2,5	140	100	40–900	3,4	1,8
53A20В	200	4	180	125	80–500	7	4,3
53A20Ф4	200	6	180	125	80–500	7	6,0
53A30П	320	6	220	160	50–400	11/13**	6,8
53A33Ф4	320	6	250	160	80–360	13	9
53A33П**	320	5	220	160	71–450	15	9
5Д312**	320	6	140	160	80–475	6/6, 2**	5,7
53A50	500	8	350	180	40–405	12,5	9,7
53A80	800	10	350	200	40–405	12,5	10,8
53A11	1250	14	560	225	28–270	17	17
5A342П	2000	20	760	300	8–100	13	31,8
5В343П	3200	32	1350	360	10–60	42	81
5В345П	5000	40	2200	420	8,5–85	42	138
5В348	8000	40	2200	420	5,5–56	45	158
5В348/12,5	12500	40	2200	420	5,5–56	45	227
5В370*1	500	20	2500	250	10–100	19	27
5В373П*1	800	30	3500	360	7,4–74	32	43,8
5В375*1	1250	40	3475	400	6–60	42	58,4

### Размеры посадочных мест зубофрезерных станков

Модель станка	Конус фрезерного шпинделя	Диаметр стола, мм	Конус или диаметр отверстия стола, мм
53A08П	Морзе № 2-АТ7	90	Морзе № 3-АТ7
5Б310П	Морзе № 3-АТ7	150	65Н6
53А10	Морзе № 3-АТ7	150	65Н6
53А20В	Морзе № 4-АТ7	200	65Н6
53А20Ф4	Морзе № 3-АТ7	230	110Н6
53А30П	Морзе № 5-АТ7	250	110Н6
53А33Ф4	Морзе № 4-АТ7	450	110Н6
53А50	Морзе № 5-АТ7	560	110Н6
5В343П	Морзе № 6-АТ7	1800	300Н6



## Приложение Б

Параметры червячных цельных модульных фрез по ГОСТ 9324-2015

### 3 Технические требования

#### 3.1 Типы и основные размеры

3.1.1 Фрезы следует изготавливать двух типов:

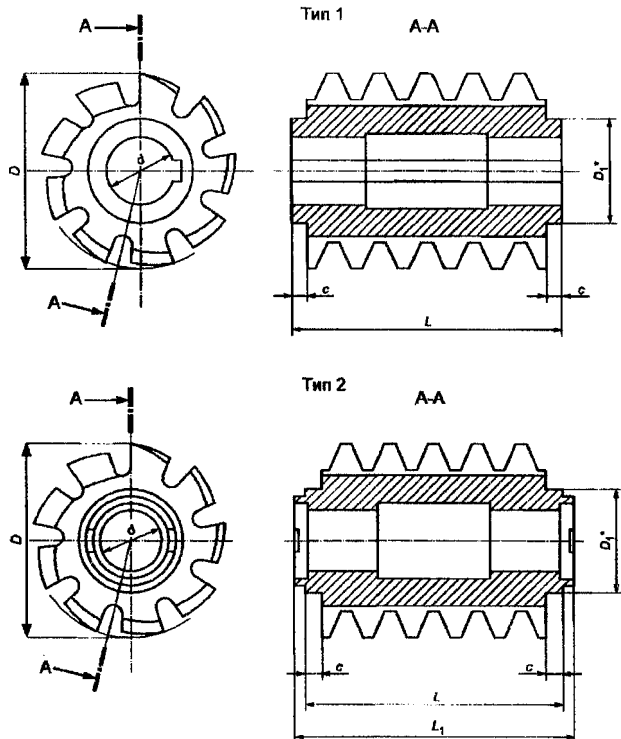
- 1 — с осевым шпоночным пазом;
- 2 — с торцовым шпоночным пазом.

3.1.2 Фрезы следует изготавливать двух исполнений:

- 1 — уменьшенных габаритов (для модулей от 0,5 до 2 мм включительно);
- 2 — нормальных габаритов (для модулей от 1 до 40 мм включительно).

3.1.3 Фрезы изготавливаются классов точности: 4A, 3A, 2A, A, B, C и D.

3.1.4 Основные параметры фрез должны соответствовать указанным на рисунке 1



\* Диаметр буртика  $D_1$  — по согласованию с изготовителем.

Таблица 1 — Основные параметры фрез исполнения 1

Размеры в миллиметрах

Модуль для ряда		D	d	L	L <sub>1</sub>	с, не менее	Число стружечных канавок
1	2						
0,5	—	24	8	10	—	1	12
—	0,55	24	8	10	—	1	12
0,6	—	24	8	10	—	1	12
—	0,7	24	8	10	—	1	12
—	0,75	24	8	12	—	1	12
0,8	—	24	8	12	—	1	12
—	0,9	24	8	12	—	1	12
1	—	24	8	12	—	1	12
0,5	—	32	10	20	30	2	12
—	0,55	32	10	20	30	2	12
0,6	—	32	10	20	30	2	12
—	0,7	32	10	20	30	2	12
—	0,75	32	10	20	30	2	12
0,8	—	32	10	20	30	2	12
—	0,9	32	10	20	30	2	12
1	—	32	10	20	30	2	12
—	1,125	32	10	20	30	2	12
1,25	—	40	10	25	35	2	10
—	1,375	40	10	25	35	2	10
1,50	—	40	10	25	35	2	10
—	1,75	40	10	30	40	2	10
2	—	40	10	30	40	2	10
0,5	—	32	13	20	30	2	12
—	0,55	32	13	20	30	2	12
0,6	—	32	13	20	30	2	12
—	0,7	32	13	20	30	2	12
—	0,75	32	13	20	30	2	12
0,8	—	32	13	20	30	2	12
—	0,9	32	13	20	30	2	12
1	—	32	13	20	30	2	12
—	1,125	32	13	20	30	2	12
1,25	—	40	13	25	35	2	10
—	1,375	40	13	25	35	2	10

Модуль для ряда		D	d	L	L <sub>1</sub>	с, не менее	Число стружечных канавок
1	2						
1,5	—	40	13	25	35	2	10
—	1,75	40	13	30	40	2	10
2	—	40	13	30	40	2	10

Таблица 2 — Основные параметры фрез исполнения 2

Размеры в миллиметрах

Модуль для ряда		D	d	L	L <sub>1</sub>	с, не менее	Число стружечных канавок
1	2						
1	—	50	22	50	65	4	14
—	1,125	50	22	50	65	4	14
1,25	—	50	22	50	65	4	14
—	1,375	50	22	50	65	4	14
1,5	—	55	22	55	70	4	14
—	1,75	55	22	55	70	4	14
2	—	65	27	60	75	4	14
—	2,25	65	27	60	75	4	14
2,5	—	70	27	65	80	4	14
—	2,75	70	27	65	80	4	14
3	—	75	32	70	85	4	14
—	3,5	80	32	75	90	4	14
4	—	85	32	80	95	4	14
—	4,5	90	32	85	100	4	14
5	—	95	32	90	105	4	14
—	5,5	100	32	95	110	5	12
6	—	105	32	100	115	5	12
—	6,5	110	32	110	125	5	12
—	7	115	32	115	130	5	12
8	—	120	32	140	160	5	10
—	9	125	32	140	160	5	10
10	—	130	32	170	190	5	10
—	11	150	40	170	190	6	9
12	—	160	40	200	220	6	9
—	14	180	40	200	220	6	9

Модуль для ряда		D	d	L	L <sub>1</sub>	с, не менее	Число стружечных канавок
1	2						
16	—	200	50	250	275	6	9
—	18	220	50	250	275	6	9
20	—	240	60	300	325	6	9
—	22	250	60	300	325	6	9
25	—	280	60	360	385	6	9
—	28	320	80	400	430	6	9
32	—	350	80	450	480	6	9
—	36	380	80	450	480	6	9
40	—	400	80	480	510	6	9

На торце фрезы должны быть нанесены следующие данные: товарный знак изготовителя; модуль; угол профиля зубьев; обозначение класса точности; угол подъема витка; ход винтовой стружечной канавки; буква «л» для левозаходных фрез; марка быстрорежущей стали.

3.2.6 Поля допусков диаметров посадочных отверстий должны соответствовать указанным в таблице 4.

Таблица 4

Класс точности фрезы	Поле допуска для посадочного отверстия диаметром, мм									
	8	10	13	22	27	32	40	50	60	80
4A	H3									
3A	H3			H4						
2A	H3			H4						
A	H4			H5						
B	H5									
C	H6									
D	H6									

3.2.7 Средний  $\bar{T}$  и установленный  $T_y$  периоды стойкости червячных фрез при условиях испытаний, приведенных в разделе 6, должны соответствовать указанным в таблице 5.

Таблица 5

Модуль, мм	$\bar{T}$ , мин.	$T_y$ , мин.
От 0,5 до 1 включ.	180	90
Св. 1 до 10 включ.	240	120
Св. 10 до 14 включ.	360	180
Св. 14	540	270

А.1 Основные размеры червячных многозаходных фрез исполнения 1 приведены в таблице А.1

Размеры в миллиметрах

Модуль $m$ для ряда		Число заходов $Z_0$											
		1				2				3			
1	2	$D$	$d$	$P_{d0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{\text{вп}}$	$D$	$d$	$P_{d0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{\text{вп}}$	$D$	$d$	$P_{d0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{\text{вп}}$
0,5	—	24	8	1035	1°16'	32	10	945	1°52'	32	10	630	2°48'
—	0,55	24	8	930	1°24'	32	10	852	2°04'	32	10	568	3°05'
0,6	—	24	8	843	1°32'	32	10	775	2°15'	32	10	516	3°23'
—	0,65	24	8	770	1°40'	32	10	709	2°27'	32	10	472	3°41'
—	0,7	24	8	707	1°48'	32	10	653	2°39'	32	10	435	3°59'
—	0,75	24	8	652	1°57'	32	10	604	2°51'	32	10	402	4°17'
0,8	—	24	8	605	2°05'	32	10	562	3°03'	32	10	374	4°35'
—	0,9	24	8	525	2°22'	32	10	481	3°28'	32	10	326	5°12'
1	—	24	8	462	2°40'	32	10	434	3°53'	32	10	289	5°50'
0,5	—	32	10	1891	0°56'	32	10	945	1°52'	32	10	630	2°48'
—	0,55	32	10	1705	1°02'	32	10	852	2°04'	32	10	568	3°05'
0,6	—	32	10	1550	1°08'	32	10	775	2°15'	32	10	516	3°23'
—	0,65	32	10	1419	1°14'	32	10	709	2°27'	32	10	472	3°41'
—	0,7	32	10	1307	1°20'	32	10	653	2°39'	32	10	435	3°59'
—	0,75	32	10	1210	1°26'	32	10	604	2°51'	32	10	402	4°17'
0,8	—	32	10	1125	1°32'	32	10	562	3°03'	32	10	375	4°35'
—	0,9	32	10	983	1°44'	32	10	481	3°28'	32	10	326	5°12'
1	—	32	10	870	1°57'	32	10	434	3°53'	32	10	289	5°50'
—	1,125	32	10	757	2°13'	32	10	378	4°25'	32	10	251	6°38'

Таблица А.1

Оконные таблицы А.1

Размеры в миллиметрах

Модуль $m$ для ряда		Число заходов $Z_0$											
		1				2				3			
1	2	$D$	$d$	$P_{d0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{\text{вп}}$	$D$	$d$	$P_{d0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{\text{вп}}$	$D$	$d$	$P_{d0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{\text{вп}}$
1,25	—	40	10	1087	1°57'	40	10	543	3°53'	40	10	361	6°50'
—	1,375	40	10	972	2°09'	40	10	485	4°19'	40	10	322	6°26'
1,5	—	40	10	875	2°22'	40	10	437	4°45'	40	10	290	7°08'
—	1,75	40	10	724	2°49'	40	10	361	5°38'	40	10	239	8°28'
2	—	40	10	611	3°17'	40	10	304	6°34'	40	10	201	9°52'

\*  $P_{d0}^*$  — ход винтовой сгуженной канавки

Таблица А.2

Размеры в миллиметрах

Модуль $m$ для ряда		Число заходов $Z_0$														
		1					2					3				
1	2	$D$	$d$	$P_{x0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{m0}$	Число канавок, не более	$D$	$d$	$P_{x0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{m0}$	Число канавок, не более	$D$	$d$	$P_{x0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{m0}$	Число канавок, не более
1	—	50	22	2256	1°12'	16	55	22	1377	2°11'	17	60	22	1101	2°59'	18
—	1,125	50	22	1979	1°22'	16	55	22	1209	2°28'	17	60	22	967	3°23'	18
1,25	—	50	22	1757	1°32'	16	55	22	1075	2°46'	17	60	22	861	3°47'	18
—	1,375	50	22	1576	1°42'	16	55	22	965	3°03'	17	65	27	917	3°51'	19
1,5	—	55	22	1750	1°41'	16	60	22	1053	3°03'	17	70	27	973	3°54'	19
—	1,75	55	22	1464	1°59'	16	60	22	882	3°36'	17	80	32	1087	3°59'	20
2	—	65	27	1799	1°55'	16	70	27	1054	3°32'	17	90	32	1201	4°03'	20
—	2,25	65	27	1566	2°10'	15	80	32	1227	3°28'	17	100	32	1316	4°06'	22
2,5	—	70	27	1624	2°15'	15	85	32	1238	3°38'	18	110	32	1431	4°09'	22
—	2,75	70	27	1448	2°30'	15	85	32	1107	4°02'	18	110	32	1285	4°35'	22
3	—	75	32	1517	2°33'	15	90	32	1131	4°10'	18	115	32	1280	4°48'	22
—	3,5	80	32	1449	2°49'	14	100	32	1186	4°24'	18	125	32	1282	5°11'	22
4	—	85	32	1404	3°03'	14	115	32	1374	4°22'	19	140	32	1402	5°18'	22
—	4,5	90	32	1376	3°17'	14	120	32	1310	4°45'	19	150	40	1419	5°35'	22
5	—	95	32	1359	3°28'	14	125	32	1261	5°06'	19	160	40	1443	5°50'	22
—	5,5	100	32	1350	3°39'	13	135	32	1331	5°12'	19	170	40	1471	6°04'	22
6	—	105	32	1347	3°49'	13	140	32	1296	5°31'	18	175	40	1413	6°28'	22
—	6,5	110	32	1349	3°59'	13	150	40	1370	5°35'	18					

А.2 Основные размеры червячных многозаходных фрез исполнения 2 приведены в таблице А.2

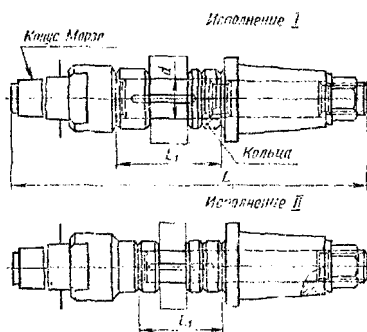
Продолжение таблицы А.2

Модуль $m$ для ряда		Число заходов $Z_0$									
		1					2				
1	2	$D$	$d$	$P_{x0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{m0}$	Число канавок, не более	$D$	$d$	$P_{x0}^*$	Угол подъема витка $\gamma_{m0}$	Число канавок, не более
—	7	115	32	1355	4°07'	13	155	40	1343	5°51'	18
8	—	120	32	1246	4°35'	12	160	40	1217	6°34'	17
—	9	125	32	1163	5°02'	12	170	40	1200	7°01'	16
10	—	130	32	1097	5°28'	12	180	40	1191	7°25'	16
—	11	150	40	1359	5°09'	11	200	50	1342	7°20'	16
12	—	160	40	1402	5°18'	11	210	50	1338	7°40'	15
—	14	180	40	1495	5°32'	10	240	60	1487	7°51'	15
16	—	200	50	1592	5°44'	10	270	60	1637	7°60'	15
—	18	220	50	1692	5°54'	10	—				
20	—	240	60	1795	6°03'	10					
—	22	250	60	1717	6°29'	10					
25	—	280	60	1880	6°36'	10					
—	28	320	80	2218	6°26'	10					
32	—	350	80	2262	6°48'	9					
—	36	380	80	2318	7°08'	9					
40	—	400	80	2330	7°40'	9					

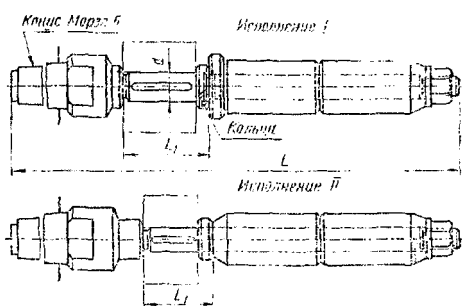
## Приложение В

### Вспомогательные инструменты для зубофрезерных станков

2) Оправки для фрез 6224\*\*



Обозначение	Исполнение	Конус Морзе	d	L	L <sub>1</sub>	Примечание к исполн.
а) по МН 3501—12						
0101	I	3	16	200	65	5А301
0102			22			
0103			27			
0104			30			
0105	II	3	22	190		
0106			27			
0107	I	4	32	390	110	5А301; 5А302; 5А303
0108			40			
0109	II	5	22	440	125	
0110			27			
0111			30			
0112	I	5	40	550	190	5А306; 5А307
0113			32			
0114	II	5	40	550	190	5А306; 5А307
0115			30			
0116	I	5	50	550	210	5А308; 5А309

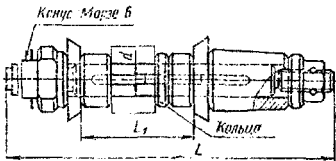
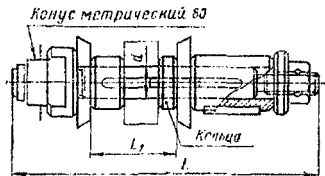
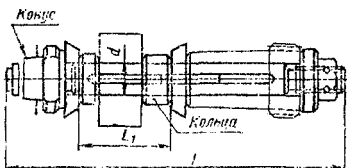


Обозначение	Исполнение	d	L	L <sub>1</sub>
б) по МН 3302—2 к станкам 5Л32 и 5Л32П				
0131	II	22	490	70
0132	I	27	500	50
0133	II	32	525	115
0134	I	40	540	135

\*\* Общее обозначение оправок. Пример обозначения оправки 6224-0101.



Обозначение	Исполнение	d	l	L <sub>1</sub>
в) по МН 3562-62 к станкам 5К32 и 5К32А				
0141	II	27	540	90
0142	I	32	550	125
0143	II	40	620	150
0144	I	50		160
0145		60	640	175
г) по МН 3564-62 к станку 5К328				
0151	II	27	780	300
0152	I	32		315
0153	II	40	800	360
0154	I	50		245
0155	III	60	820	240
д) по МН 3565-62 к станку 5312				
0161	II	27	165	—
0162		32		
0163	40			
0164	I	50	115	—
0165		40		
0166	III	60		

Обозначение	Исполнение	d	L	L <sub>1</sub>			
							
в) по МН 3506-62 к станку 5342							
0171		32					
0172		40	820	355			
0173		50					
0174		60					
0175		40 <sup>h2</sup>					
0176		50 <sup>h2</sup>	1600	530			
0177		60 <sup>h2</sup>					
							
ж) по МН 3507-62 к станку 5343							
0181		50					
0182		60	1130	870			
0183		80					
0184		50 <sup>h2</sup>					
0185		60 <sup>h2</sup>	1780	1275			
0186		80 <sup>h2</sup>					
	Обозначение	Конус	d	L	L <sub>1</sub>	Примечание к станку	
	з) по МН 3508-62						
	0191	Морзе B	40				5330
	0192		50	830	305		
	0193		60				
	0194		40 <sup>h2</sup>				
	0195		50 <sup>h2</sup>	1050	520		
	0196		60 <sup>h2</sup>				
	0197	Метрический 60	60	1060	450		5355
	0198		80				
	0199		60 <sup>h2</sup>	1550	945		
	0200		80 <sup>h2</sup>				
	0201	Метрический 100	60	1190	430		5355М; 5355В; 5355С
	0202		80	1240	525		
0203	100		1295	560			
0204	60 <sup>h2</sup>		1150				
0205	80 <sup>h2</sup>		1880	1140			
0206	100 <sup>h2</sup>		1140				

<sup>h2</sup> Оправки могут применяться на тангенциальном суппорте. Колца промежуточные — см. ГОСТ 15971-69\* и МН 3495-62.

Обозначение	Исполнение	$a$	$L$	$L_1$
н) по М11 3509—62 к станку 5370				
0211	II	40		265
0212		50	665	260
0213	I	60		
0214		70	690	300
к) по МН 3510—62 к станку 5А370				
0221	II	40		
0222		50		
0223	I	60		
л) по М11 3511—62 к станку 5373				
0231		60	810	310
0232	I	80	950	405
0233	II	100	920	

## Приложение Г

Оправки кулачковые и цанговые для установки заготовок по отверстиям.  
Оправки кулачковые по ГОСТ 31.1066.04-97

### Конструкция и размеры

#### А.1 Оправки типа I

А.1.1 Конструкция и размеры оправок должны соответствовать указанным на рисунке А.1 и в таблице А.1.

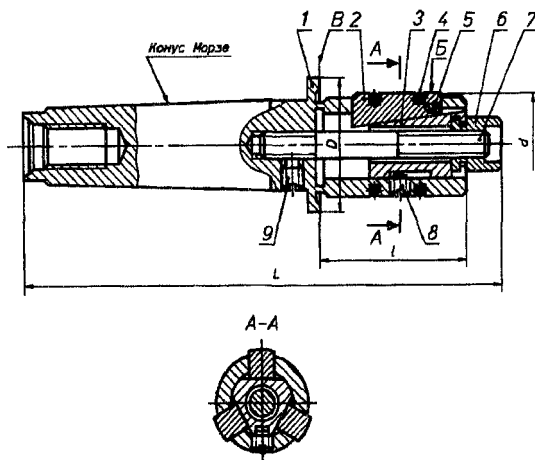


Рисунок А.1

Таблица А.1

Обозначение оправок	Конус Морзе	$d$	$L$	$l$	$D$ H7	Масса кг, не более	Поз. 1 Кулачок (Кол. 1)	Поз. 2 Кулачок (Кол. 2)
							Обозначение	
7112-0851	4	От 36 до 40	200	60	50	1,05	7112-0851/001	7112-0851/002
7112-0852		Св. 40 до 45	205		56	1,27	7112-0852/001	7112-0852/002
7112-0853	4	Св. 36 до 40	230	60	50	2,27	7112-0853/001	7112-0851/002
7112-0854		Св. 40 до 45	235		56	2,45	7112-0854/001	7112-0852/002
7112-0855	5	Св. 45 до 50	245	67	60	2,52	7112-0855/001	7112-0855/002
7112-0856		Св. 50 до 56	260	75	67	2,73	7112-0856/001	7112-0856/002
7112-0857	5	Св. 56 до 63	270	80	75	3,34	7112-0857/001	7112-0857/002
7112-0858			320		6,09	7112-0858/001		
7112-0859	6	Св. 63 до 71	338	90	80	6,75	7112-0859/001	7112-0859/002
7112-0860		Св. 71 до 80	350	105	90	7,21	7112-0860/001	7112-0860/002
7112-0861	6	Св. 80 до 90	372	120	100	8,48	7112-0861/001	7112-0861/002



Таблица А.19

Размеры в миллиметрах

Обозначение оправок	Испол- нение	d	D		D <sub>Н7</sub>	L	l	D <sub>1</sub>	D <sub>Н7</sub>	D <sub>1</sub> ±0,2	d <sub>1</sub>				
			Номи- н.	Пред. откл.											
7113-0201	1	От 80 до 90	82,563	+0,004	100	350	100	130	100	104,8	11				
7113-0202	2		—	-0,006						112,0					
7113-0203	3		—	—						133,4					
7113-0204	1		106,375	+0,004						—		142,0			
7113-0205	2		—	-0,006						—		—			
7113-0206	3	—	—	130	160	142,0	110	133,4	14						
7113-0207	1	Св. 90 до 100	106,375	+0,004	130	360	125	165	110	133,4	14				
7113-0208	2		—	-0,006						142,0					
7113-0209	3		—	—						133,4					
7113-0210	1		106,375	+0,004						—		142,0			
7113-0211	2		—	-0,006						—		—			
7113-0212	3	Св. 100 до 110	—	—	130	380	160	120	142,0	14					
7113-0213	1		106,375	+0,004					—		133,4				
7113-0214	2		—	-0,006					—		142,0				
7113-0215	3		—	—					130		160	142,0	130	171,4	18
7113-0216	1		139,719	+0,004					—		180,0				
7113-0217	2	—	-0,008	—	—										
7113-0218	3	—	—	165	200	171,4	140	180,0	18						
7113-0219	1	Св. 120 до 130	139,719	+0,004	165	390	140	210	140	171,4	18				
7113-0220	2		—	-0,008						180,0					
7113-0221	3		—	—						—		—			
7113-0222	1		139,719	+0,004						—		171,4			
7113-0223	2		—	-0,008						—		—			
7113-0224	3	Св. 130 до 140	—	—	165	390	140	150	180,0	18					
7113-0224	3		—	—					—		—				

Продолжение таблицы А.19

Размеры в миллиметрах

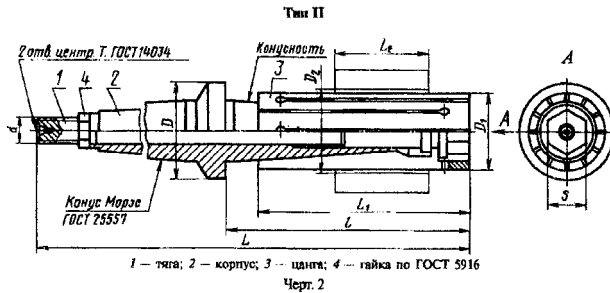
Обозначение оправок	Исполнение	d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> +0,1	l <sub>1</sub>	Масса, кг, не более
7113-0201	1	—	M16	16,30	155	6,61
7113-0202	2	M10				
7113-0203	3	M8				
7113-0204	1	—				
7113-0205	2	M12				
7113-0206	3	M8	M20	19,45	160	8,07
7113-0207	1	—				
7113-0208	2	M12				
7113-0209	3	M8				
7113-0210	1	—				
7113-0211	2	M12				
7113-0212	3	M8				
7113-0213	1	—				
7113-0214	2	M12				
7113-0215	3	M8				
					180	11,38
						12,30
						14,38

17

131

31

# Оправки разжимные цанговые по ГОСТ 31.1066.02-85



Примечание. Чертеж не определяет конструкцию оправок.

Таблица 2

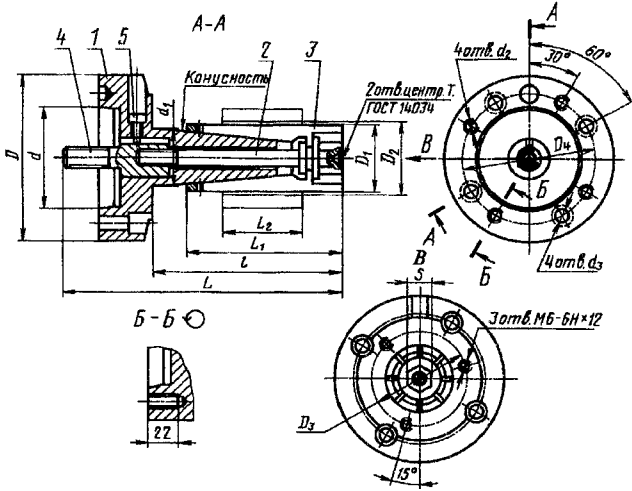
Размеры, мм

Обозначение оправки	D (поле допуска M7)	d (поле допуска B6)	L	D <sub>1</sub> (поле допуска G7)	L <sub>1</sub>	l	Конус Морзе	Конусность (пред. откл. ±3%)	S	Разжим цанги без заготовки, не более	Основная масса цанги, не более	Размеры устанавливаемых заготовок				Масса, кг, не более
												D <sub>2</sub>		L <sub>2</sub>		
												нам.	наиб.	нам.	наиб.	
7112-1483	44		268	31,72	100	117,0	4	1:7	17	2,3	16	32	34,02	20	80	1,149
7112-1484	46	M12	269	33,70		117,7						34	36,00			1,221
7112-1485	52		294	35,70		118,0	5	1:6	17	2,5	15	36	38,20	22	85	1,995
7112-1486	54			37,70		129,8						38	40,50			2,314
7112-1487	56		307	39,70		110	5	1:6	19	2,8	17	40	42,50	24	95	2,372
7112-1488	58		314	41,70		131,0						42	45,00			2,495
7112-1489	60	M14	316	44,70			6	1:5	19	3,4	17	45	48,06	24	95	2,742
7112-1491	62		332	47,60	120	145,0						48	51,60			3,011
7112-1492	64			49,60			6	1:5	22	4,0	20	50	53,60	26	105	3,133
7112-1493	70	M16	387	52,60								53	56,60			5,246
7112-1494	71		390	55,55	125	150,0	6	1:5	22	4,6	23	56	60,15	25	100	5,951
7112-1495	74			59,55								60	64,55			6,551
7112-1496	75	M20	413	62,50	130	160,0	6	1:5	24	5,0	25	63	67,55	28	110	6,801
7112-1497	77		424	66,50	140	170,0						67	71,50			7,324
7112-1498	83		450	70,50	150	182,0	6	1:4	27	6,0	24	71	76,50	30	120	7,967
7112-1499	85			74,50								75	80,50			8,548
7112-1501	90	M24	462	79,45	160	192,0	6	1:4	30	7,0	28	80	85,45	32	130	9,386
7112-1502	95		463	84,45								85	90,45			10,324
7112-1503	100		479	89,40	170	206,0	6	1:4	36	8,0	32	90	96,40	34	135	11,454
7112-1504	105	M30	495	94,40								95	101,40			12,458
7112-1505	110		510	99,35	180	220,0						100	107,35	36	145	13,784

Пример условного обозначения оправки типа II, диаметром D = 44 мм:

Оправка 7112-1483-II ГОСТ 31.1066.02-85

Тип III



1 — корпус; 2 — тяга; 3 — гайка; 4 — вал; 5 — винт по ГОСТ 17773

Черт. 3

Таблица 3

Размеры, мм

Обозначение по оправке	Условный размер колеса диаметром	D	d (предел откл. ±0,004 -0,006)	L	D <sub>1</sub> (поле допуска Г)	D <sub>2</sub>		D <sub>3</sub> (поле допуска В7)	D <sub>4</sub> (поле допуска Н9)	L <sub>1</sub>	l	s	Конусность	Размер шпильки по ГОСТ 14034, не более	Среднее геометрическое значение шага, не более	Размеры установочных элементов				Масса, кг, не более		
						град. откл. +0,2										D <sub>2</sub>		D <sub>5</sub>	l <sub>2</sub>		D <sub>6</sub>	l <sub>3</sub>
						внутр.	внеш.									внутр.	внеш.					
7112-1506	5	133	82,563	218	49,60	78	104,8	M10	10,5	120	148	19	1:5	4,0	20	50	53,60	24	95	4,955		
7112-1507				223	52,60											45,4	56,60				24	5,141
7112-1508				223	55,55											48,0	60,15				25	5,373
7112-1509				233	59,55											50,8	64,55				26	5,844
7112-1511				243	62,55											57,6	67,55				28	6,168
7112-1512				243	66,50											61,0	71,50				28	6,698
7112-1513				252	70,50											65,4	76,50				30	7,102
7112-1514				252	74,50											68,8	80,50				30	7,958
7112-1515				272	79,45											73,2	85,45				32	10,275
7112-1516				286	84,45											77,5	90,45				32	11,018
7112-1517	6	165	106,375	286	89,40	110	133,4	M12	13	170	206	30	1:4	7,0	28	90	96,40	34	135	12,140		
7112-1518				300	94,40											87,0	101,40				36	13,046
7112-1519				300	99,35											92,1	107,35				36	14,385



## Приложение Д

### Припуски на чистовую обработку зубьев цилиндрических колес

Зубообработка	Модуль, мм	Зубоизрезание									
		чертовое					чистовое				
		Диаметр колеса, мм									
		До 100	100—200	200—500	500—1000	Св. 1000	До 100	100—200	200—500	500—1000	Св. 1000
<i>Припуски на толщину зубьев, мм (по нормам), оставляемые при зубоизрезании<sup>*1</sup></i>											
Чистовое нарезание	До 5	0,5—0,7	0,6—0,8	0,8—1,0	0,8—1,0	1,0—2,2	—	—	—	—	—
	5—10	0,6—0,8	0,7—1,0	0,9—1,4	1,0—1,6	1,2—1,9	—	—	—	—	—
	10—15	1,0—1,5	1,2—1,6	1,2—1,8	1,4—2,0	1,5—2,2	—	—	—	—	—
	Св. 15	1,2—1,8	1,4—2,0	1,5—2,2	1,8—2,2	2,0—3,0	—	—	—	—	—
Шевингование <sup>*2</sup>	До 3	—	—	—	—	—	0,06—0,10	0,08—0,12	0,08—0,12	—	—
	3—5	0,6—0,9	0,8—1,0	1,0—1,2	1,0—1,3	1,2—1,5	0,08—0,12	0,10—0,15	0,10—0,15	0,12—0,18	0,15—0,20
	5—7	0,8—1,0	1,0—1,2	1,1—1,5	1,2—1,8	1,2—2,0	0,10—0,14	0,12—0,16	0,12—0,16	0,15—0,18	0,16—0,20
	7—10	0,8—1,0	1,0—1,2	1,1—1,6	1,4—2,2	1,4—2,2	0,12—0,16	0,15—0,18	0,15—0,18	0,18—0,22	0,18—0,22
Шлифование лезвийная обработка твердосплавным инструментом	До 3	—	—	—	—	—	0,15—0,20	0,15—0,25	0,18—0,30	—	—
	3—5	—	—	—	—	—	0,18—0,25	0,18—0,30	0,20—0,35	0,25—0,45	0,30—0,50
	5—10	0,85—1,2	1,1—1,5	1,2—1,8	1,4—2,2	1,6—2,5	0,25—0,40	0,30—0,50	0,35—0,60	0,40—0,70	0,50—0,50
	10—20	1,2—1,8	1,4—2,0	1,5—2,2	1,8—2,5	2,0—3,0	0,35—0,50	0,40—0,60	0,50—0,70	0,50—0,70	0,60—0,50
<i>Допуски на припуск, мкм<sup>*3</sup></i>											
Зубообработка	Диаметр колеса, мм										
	До 50	50—100	100—200	200—500	500—800	800—1250	1250—2000	Св. 2000			
Чистовое нарезание	150	180	220	260	300	350	400	450			
Шевингование <sup>*4</sup> с подладкой	50	60	75	90	100	110	125	150			
Шевингование без подладки	40	50	60	70	80	—	—	—			
Шлифование лезвийная обработка твердосплавным инструментом	65	80	100	120	150	180	230	—			

<sup>\*1</sup> Технологическая толщина зубьев  $s_{н.т}$  на данной операции определяется как сумма верхней предельной толщины зубьев по чертежу  $s_{н.т} = s_n - E_n$  и указанного припуска  $\Delta$ , где  $s_n$  — нормальная толщина зуба;  $E_n$  — верхнее отклонение толщины зуба;  $s_{н.т} = (s_n - E_n) + \Delta$ .

<sup>\*2</sup> При обработке прямозубых колес припуск допускается уменьшать на 10—25%, а для колес с углом наклона зубьев более 15° — увеличивать на 10—15% по сравнению со значениями, указанными в таблице.

<sup>\*3</sup> Допуск  $T$  на толщину зубьев после данной операции устанавливается «в минус» от технологического размера.

<sup>\*4</sup> В среднесерийном производстве рекомендуется работать с подладкой станка на партию колес, обработанных на одной наладке зуборезного станка.

## Приложение Е

### Нормативы режимов зубофрезерования

Таблица Е1 – Разделение зубофрезерных станков на группы по мощности привода главного движения

Группа станков	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм	Модель станка (пример)	Группа станков	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм	Модель станка (пример)
I	1,5	1,5	5304В 53А08П 5К301П	III	7,5	8	53А50 53А80
	2,2	1,25			7,5		
II	3,4	2,5	53А10 5М310П 53А30	IV	11/13*	5	53А23 53А35 53А53 53А80 53А11
	4,0				4,0	15/18*	
	3,2/4,2*	6,0			18,5	8	
					8/10/12*	10	
					13	14	
III	7,5	4	53А13 53А20В 53А30П	V	20	20	5А342П 5В343П 5В345П 5В326
	7,5				4	42	
	7,5	6			45	40	
					45	40	

\* Для нескольких частот вращения.

Таблица Е2 – Осевые подачи  $S_o$  при черновом и получистовом зубофрезеровании червячными однозаходными фрезами, мм/об. колеса

Обрабатываемый материал, твердость	m, мм	$S_o$ , мм/об, для группы станков			
		I	II	III	IV
Сталь 45, НВ 170—207	От 1 до 1,5	0,8—1,3	1,5—1,8	1,8 2,0	—
	Св. 1,5 до 2,5		2,0—2,9	2,5—2,9	2,5—3,0
	» 2,5 » 4	—	1,8—2,3	2,5—3,2	2,8—3,4
	» 4 » 6	—	1,3—2,0	2,3—2,8	2,8—3,2
	» 6 » 8	—	—	2,0—2,5	2,5—3,0
Чугун серый, НВ 170—210	» 8 » 10	—	—	2,0—2,5	2,3—2,8
	От 1 до 1,5	1,1—1,5	1,5—2,3	2,0—2,3	—
	Св. 1,5 до 2,5	1,3—2,3	2,5—3,0	2,7—3,1	2,8—3,3
	» 2,5 » 4	—	1,8—2,5	2,8—3,3	3,3—3,6
	» 4 » 6	—	1,5—2,0	2,3—3,0	2,9—3,3
	» 6 » 8	—	—	2,3—2,5	2,5—3,3
	» 8 » 10	—	—	2,3—2,8	2,5—3,0

Таблица Е2 – Осевые подачи  $S_0$  при чистовом зубофрезеровании червячными однозаходными фрезами, мм/об. колеса

Обработка	Обрабатываемый материал, его твердость	Параметр шероховатости $R_z$ , мкм	Модуль $m$ , мм	$S_0$ , мм/об. для группы станков			
				I	II	III	IV
По сплошному металлу заготовки	Сталь 45, HB 170—207	40—20	От 1 до 1,5 Св. 1,5 до 2,5 2,5—4	1,0—1,2	1,2—1,8	1,4—2,0	
		10	От 1 до 1,5 Св. 1,5 до 2,5 2,5—4	0,5—0,8	0,8—1,0	0,9—1,2	
	Чугун серый, HB 170—210	40—20	1—1,5 1,5—2,5 2,5—4	1,2—1,4	1,4—1,8	1,5—2,0	
		10	1—1,5 1,5—2,5 2,5—4	0,5—0,8	0,8—1,0	0,9—1,2	
По прорезанному зубу колеса	Сталь и чугун, HB 170—210	40—20	До 10	2,0—2,6			
		10		0,7—1,0			

Таблица Е3 – Поправочные коэффициенты на подачу и скорость резания при зубофрезеровании червячными однозаходными фрезами

Параметры, от которых зависит условия работы	$K_p$	$K_D$	Параметры, от которых зависит условия работы	$K_A$	$K_r$	
Материал заготовки: сталь конструкционная углеродистая с HB: 287 229 240 сталь легированная с HB: 285 320	1,0	1,0	Число рабочих ходов: 1 2	1,0	1,0	
	0,9	0,9		1,0	1,4	
	0,8	0,8	Направление движения подачи: встречное попутное	1,0	1,0	
	0,7	0,6		1,25	1,0	
	Угол наклона зубьев колеса $\beta$ , °: 0 15 30 45 60	1,0	1,0	Класс точности фрезы: А В, С, D	—	1,05
		0,75—0,9*	1,0		—	1,0
0,65—0,8*		0,9	Материал фрезы: P18 PVM5 PVM5K5 PVM5K6	—	1,0	
0,60—0,65*		0,8		—	1,2	
0,35—0,45*	0,7	—	—	1,3		

\* Меньшие значения соответствуют разноименным направлениям линии зуба колеса и витка фрезы, большие — одноименным.

Таблица Е4 – Скорость (м/мин) и мощность (квт) резания при черновом и получистовом нарезании зубчатых колес червячными однозаходными фрезами.

S <sub>н</sub> , мм/об	m, мм											
	От 1 до 1,5		Св. 1,5 до 2,5		Св. 2,5 до 4		Св. 4 до 6		Св. 6 до 8		Св. 8 до 10	
	v	N	v	N	v	N	v	N	v	N	v	N
0,8	60	0,5	59	0,6	58	0,7	52	0,9	43	0,9	38	1,4
1,0	50	0,5	49	0,65	48,5	0,8	44	0,9	38	1,0	33	1,5
1,3	45	0,6	45	0,7	44	0,9	39	0,9	36,5	1,1	30	1,7
1,5	43,5	0,7	43	0,8	43	0,9	37	1,0	33	1,2	28	1,8
1,8	39	0,8	39	0,9	38	1,0	35	1,1	30	1,35	26,5	1,9
2,0	38	0,9	37	1,0	37	1,1	29	1,5	29	1,5	25	2,0
2,3	—	—	35,6	1,0	35,6	1,1	32	1,3	26	1,5	22	2,1
2,5	—	—	33,5	1,0	33,5	1,1	30	1,4	24,5	1,6	21	2,2
2,8	—	—	31,5	1,1	31,5	1,2	28	1,5	23	1,6	20	2,3
3,0	—	—	30,5	1,2	30,5	1,25	27	1,6	22	1,7	—	—
3,2	—	—	—	—	29	1,3	26	1,7	—	—	—	—
3,4	—	—	—	—	28	1,4	—	—	—	—	—	—

Таблица Е5 – Скорость резания при чистовом нарезании зубчатых колес однозаходными червячными фрезами

Обработка	S <sub>н</sub> , мм/об	v, м/мин, при m, мм					
		От 1 до 1,5	Св. 1,5 до 2,5	Св. 2,5 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 10
		По сплошному металлу заготовки	0,5	62	53	51	—
	0,8	52	50	49	—	—	
	0,9	49	48	47	—	—	
	1,0	46	45	44	—	—	
	1,2	39	38	37	—	—	
	1,4	—	34	33	—	—	
	1,8	—	27	26	—	—	
	2,0	—	—	24	—	—	
По прорезанному зубу колеса, Rz = 40 ... 20 мкм	2,0— 2,6	—	—	—	24— 26	—	
По прорезанному зубу колеса, Rz = 10 мкм	0,7— 1,0	—	—	—	20— 24	—	

Таблица Е5 – Режимы резания при черновом нарезании крупномодульных колес червячными фрезами

Параметр	m, мм					
	8	12	16	22	25	28
$S_0$ , м /об	3— 4,5	2,5— 4	2— 3,5	2—3 3,5	1,5— 2	1,5
$v$ , м/мин	22— 24	21— 23	20— 25	20— 25	20— 25	18— 20

Примечания: 1. Меньшие значения подачи и скорости резания нужно принимать для колес с малым числом зубьев.

2. При получистовой обработке значения  $S_0$  и  $v$ , указанные в таблице, следует умножать на 1,2, при чистовой — на 1,4.

3. При нарезании двухзаходной фрезой значения  $S_0$  необходимо умножить на 0,70,  $v$  — на 0,76.

4. При твердости материала нарезаемых колес  $HB \leq 287$  значения  $S_0$  и  $v$  соответствуют табличным, при  $HB \leq 187$  значения  $S_0$  следует умножать на коэффициент 1,2.

Таблица Е5 – Поправочные коэффициенты на силовые факторы, учитывающие влияние механических свойств обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени $n$ при определении		
		составляющей $P_z$ силы резания при обработке резцами	крутящего момента $M$ и осевой силы $F_z$ при сверлении, рассверливании и зенкеровании	окружной силы резания $P_z$ при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь $\sigma_k$ , МПа:	$K_{Mn} = \left( \frac{\sigma_k}{750} \right)^n$	0,75/0,35	0,75/0,75	0,3/0,3
		0,75/0,75	0,75/0,75	0,3/0,3
Серый чугун	$K_{Mn} = \left( \frac{HB}{190} \right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Ковкий чугун	$K_{Mn} = \left( \frac{HB}{150} \right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55

Примечание. В числителе приведены значения показателя степени  $n$  для твердого сплава, в знаменателе — для обрабатываемой стали.

Медные сплавы	$K_{\text{эф}}$	Алюминиевые сплавы	$K_{\text{эф}}$
Гетерогенные:		Алюминий и силумин	1,0
120 <i>HВ</i>	1,0	Дюралюминий,	
св. 120 <i>HВ</i>	0,75	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа:	
свинцовистые при основной гетерогенной структуре и свинцовистые с содержанием свинца 10 % при основной гомогенной структуре	0,65 – 0,70	250	1,5
		350	2,0
		> 350	2,75
Гомогенные	1,8 – 2,2		
Медь	1,7 – 2,1		
с содержанием свинца > 15 %	0,25 – 0,45		

Учебное издание

**Составитель:**  
*Медведев Олег Анатольевич*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**к практической работе**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБОФРЕЗЕРНОЙ ОПЕРАЦИИ**  
по дисциплине «Технология машиностроения»  
*для студентов специальности*  
*1-36 01 01 «Технология машиностроения»*

Ответственный за выпуск: Медведев О. А.  
Редактор: Митлошук М. А.  
Компьютерная вёрстка: Рогожина Ю. А.  
Корректор: Дударук С. А.

---

Подписано в печать 30.12.2021 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Performer».  
Гарнитура «Arial Narrow». Усл. печ. л. 2,79. Уч. изд. л. 3. Заказ № 1468. Тираж 18 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.