

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

# ТЕОРИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование  
машиностроительного производства»  
дневной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 531.8  
ББК 22.21  
Т33

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»  
«11» апреля 2023 г., протокол № 12

Составитель канд. техн. наук, доц. С. Н. Хатетовский

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Учебное издание

## ТЕОРИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| Ответственный за выпуск | С. Н. Хатетовский |
| Корректор               | Т. А. Рыжикова    |
| Компьютерная верстка    | Н. П. Полевничая  |

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 44 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Меры безопасности при проведении лабораторных работ.....   | 4  |
| 1 Лабораторная работа № 1. Расчет геометрии режущего инструмента в кинематической системе координат.....               | 5  |
| 2 Лабораторная работа № 2. Расчет переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля червячной фрезой.....   | 7  |
| 3 Лабораторная работа № 3. Расчет переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля долбяком .....          | 9  |
| 4 Лабораторная работа № 4. Определение погрешности профиля зуба червячной фрезы для обработки прямобочных шлицев ..... | 11 |
| 5 Лабораторная работа № 5. Проектирование червячной фрезы для обработки прямобочных шлицев.....                        | 12 |
| 6 Лабораторная работа № 6. Проектирование долбяка для обработки прямобочных шлицев.....                                | 13 |
| 7 Лабораторная работа № 7. Проектирование фасонной фрезы для обработки цилиндрической поверхности .....                | 14 |
| 8 Лабораторная работа № 8. Проектирование затыловочного резца.....   | 17 |
| Список литературы .....  | 20 |

## **Меры безопасности при проведении лабораторных работ**

Не работайте за компьютером при наличии внешних повреждений корпуса или изоляции силовых кабелей.

Не кладите на корпус системного блока и не храните на нем разные предметы, особенно тяжелые, т. к. в этом случае может возникнуть вибрация, которая может вызвать нарушения работы компьютера.

Не рекомендуется включать компьютер в розетки без заземления. Розетки и вилки должны быть цельными, без повреждений.

Не включайте компьютер в помещении с высокой влажностью.

Не оставляйте работающий ПК без присмотра длительное время.

Провода и силовые кабеля компьютера должны быть расположены так, чтобы исключить возможность наступить на них или поставить что-то тяжелое.

Нельзя работать с компьютером при открытом корпусе системного блока.

# 1 Лабораторная работа № 1. Расчет геометрии режущего инструмента в кинематической системе координат

## *Цель работы*

Изучить зависимость кинематических переднего и заднего углов реза от подачи.

## *Краткие теоретические сведения*

Кинематические передний и задний углы режущего инструмента отличаются от соответствующих так называемых статических значений. Это связано с тем, что кинематические значения указанных углов определяются с учетом скорости подачи.

В этом случае результирующая скорость точки режущей кромки раскладывается на проекции  $v_x$ ,  $v_y$  и  $v_z$  (рисунок 1).

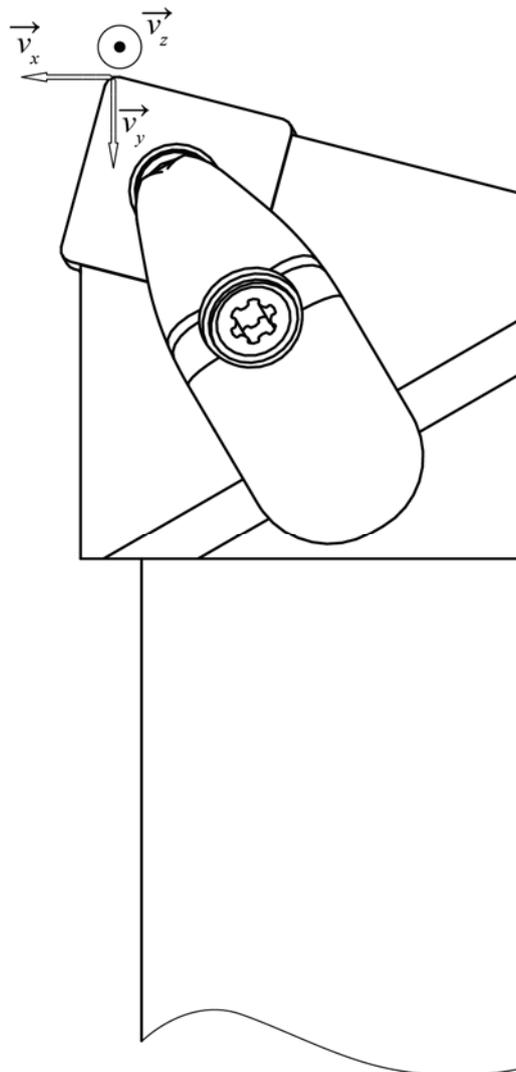


Рисунок 1 – Проекция скорости точки режущей кромки реза

Разница  $\tau$  между статическими и кинематическими углами режущего инструмента определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{v_x \cdot \sin \varphi - v_y \cdot \cos \varphi}{v_z \cdot \cos \lambda - \sin \lambda \cdot (v_y \cdot \sin \varphi + v_x \cdot \cos \varphi)}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – главный угол в плане;  
 $\lambda$  – угол наклона главной режущей кромки.

### ***Перечень используемого программного обеспечения***

Система автоматизированного проектирования NX. Табличный процессор.

### ***Порядок выполнения работы***

В среде САПР NX загрузить модель режущего инструмента.

Создать основную плоскость, плоскость резания и главную секущую плоскость.

Измерить статические передний и задний углы, главный угол в плане, угол наклона главной режущей кромки.

Варьируя скорость продольной подачи от 0,25 до 0,5 мм/об при скорости резания 210 м/мин, определить ряды кинематических переднего и заднего углов.

Построить графики функций в среде табличного процессора.

### ***Содержание отчета***

График зависимости кинематического переднего угла от скорости продольной подачи.

График зависимости кинематического заднего угла от скорости продольной подачи.

### ***Контрольные вопросы***

1 Какие проекции результирующей скорости точки режущей кромки инструмента соответствуют продольной подаче и скорости резания?

2 Какому материалу детали может соответствовать геометрия режущей части инструмента?

3 Как измерить значения углов режущей части инструмента в среде САПР NX?

## 2 Лабораторная работа № 2. Расчет переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля червячной фрезой

### *Цель работы*

Освоить методику расчета переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля червячной фрезой.

### *Краткие теоретические сведения*

В системе координат рейки задаются координаты центра закругления вершины (рисунок 2), которые удобно представить в виде вектор-столбца

$$M_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

тогда в системе координат детали эта точка будет иметь следующие координаты, также представляемые в виде вектор-столбца

$$M = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = T_2 \cdot T_1 \cdot M_0, \quad (3)$$

где  $T_1, T_2$  – матрицы преобразования.

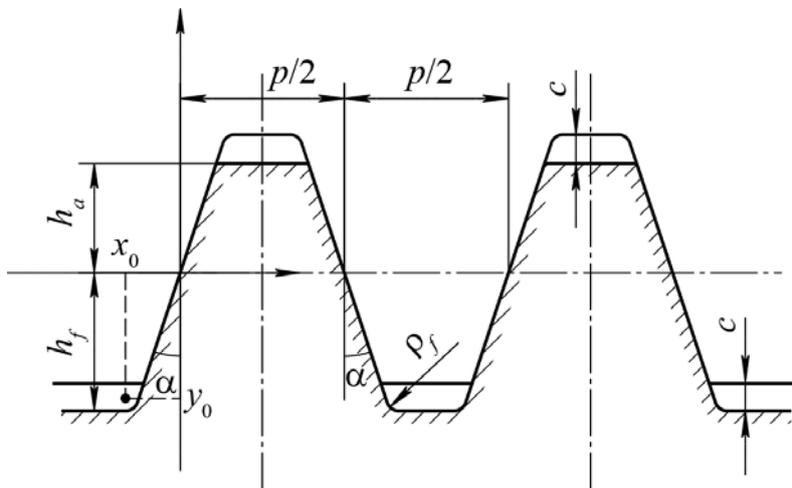


Рисунок 2 – Схема рейки

Матрицы преобразования определяются следующим образом:

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -s \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где  $s$  – смещение рейки вдоль начальной прямой;

$\varphi$  – соответствующий угол поворота детали.

Указанный угол определяем по формуле

$$\varphi = -\frac{s}{r}, \quad (6)$$

где  $r$  – делительный радиус детали.

### ***Перечень используемого программного обеспечения***

Система автоматизированного проектирования NX. Математический программный пакет.

### ***Порядок выполнения работы***

В среде математического программного пакета в системе координат детали определить уравнения траектории точки рейки с параметром  $s$ .

Задать стандартные параметры рейки (рисунок 2).

В среде САПР NX построить по найденным уравнениям траекторию.

Средствами САПР NX найти эквидистанту к траектории на расстоянии  $\rho_f$  (рисунок 2).

### ***Содержание отчета***

Модель переходной кривой в файле САПР NX.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что такое переходная кривая зуба эвольвентного колеса?
- 2 В каком случае возникает подрезание зуба?
- 3 В каком случае возникает срезание зуба?

## **3 Лабораторная работа № 3. Расчет переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля долбяком**

### ***Цель работы***

Освоить методику расчета переходной кривой при формообразовании эвольвентного профиля долбяком.

### ***Краткие теоретические сведения***

В системе координат долбяка задаются координаты вершины (рисунок 3), которые удобно представить в виде вектор-столбца (2), тогда в системе координат детали эта точка будет иметь следующие координаты, также представляемые в виде вектор-столбца

$$M = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = T_3 \cdot T_2 \cdot T_1 \cdot M_0, \quad (7)$$

где  $T_1, T_2, T_3$  – матрицы преобразования.

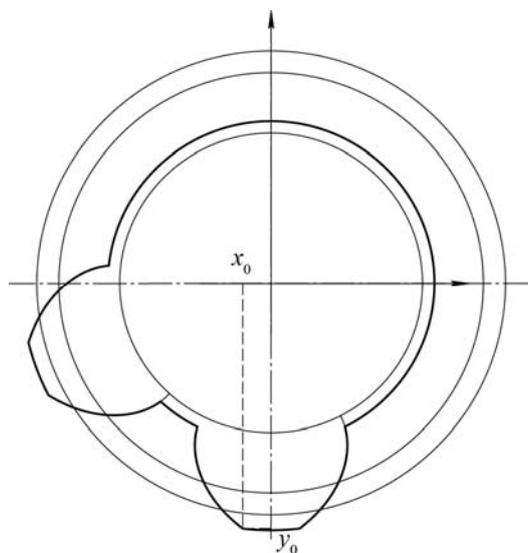


Рисунок 3 – Схема долбяка

Матрицы преобразования определяются следующим образом:

$$T_1 = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -a \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$$T_3 = \begin{bmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где  $\varphi_1$  – угол поворота долбяка;  
 $a$  – межосевое расстояние;  
 $\varphi_2$  – соответствующий угол поворота детали.  
 Указанный угол определяется по формуле

$$\varphi_2 = -\frac{z_1}{z_2} \cdot \varphi_1, \quad (11)$$

где  $z_1$  – количество зубьев долбяка;  
 $z_2$  – количество зубьев детали.

### ***Перечень используемого программного обеспечения***

Система автоматизированного проектирования NX. Математический программный пакет.

### ***Порядок выполнения работы***

В среде математического программного пакета в системе координат детали определить уравнения траектории вершины зуба долбяка с параметром  $\varphi_1$ .

Найти координаты вершины зуба долбяка в его системе согласно стандарту.

В среде САПР NX построить по найденным уравнениям траекторию.

## *Содержание отчета*

Модель переходной кривой в файле САПР NX.

## *Контрольные вопросы*

- 1 Как определяется межосевое расстояние в станочном зацеплении?
- 2 Как определить радиус выступов долбяка?
- 3 Как определить толщину зуба долбяка на окружности выступов?

## **4 Лабораторная работа № 4. Определение погрешности профиля зуба червячной фрезы для обработки прямобочных шлицев**

### *Цель работы*

Изучить методику проектирования приближенного профиля зуба рейки для обработки прямобочных шлицев.

### *Краткие теоретические сведения*

Уравнения профиля зуба рейки имеют следующий вид:

$$x(y) = R \cdot (\alpha - \gamma - (\sin \alpha - \sin \gamma) \cdot \cos \alpha); \quad (12)$$

$$\sin \alpha = \frac{\sin \gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 + \frac{y}{R}}; \quad (13)$$

$$\sin \gamma = \frac{b}{2 \cdot R}; \quad (14)$$

$$R = \sqrt{(R_a - c)^2 - \frac{3}{16} \cdot b^2}, \quad (15)$$

где  $b$  – ширина шлица;  
 $c$  – размер фаски на шлице;  
 $R_a$  – радиус выступов шлицев.

### *Перечень используемого программного обеспечения*

Система автоматизированного проектирования NX.

### ***Порядок выполнения работы***

В соответствии с размерами шлицевого вала в среде САПР NX построить профиль зуба рейки. Координату  $y$  (формулы (12)–(15)) варьировать в пределах  $R-R_f$ .

Подобрать окружность (радиус и положение центра), максимально приближающую реальный профиль зуба рейки.

Средствами САПР NX измерить погрешность профиля.

### ***Содержание отчета***

Файл NX с кривыми профиля зуба рейки.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какие параметры имеет шлицевый вал?
- 2 Как определяется высота ножки зуба рейки для обработки прямобоочных шлицев?

## **5 Лабораторная работа № 5. Проектирование червячной фрезы для обработки прямобоочных шлицев**

### ***Цель работы***

Изучить методику моделирования червячной фрезы для обработки прямобоочных шлицев.

### ***Краткие теоретические сведения***

Твердотельная модель червячной фрезы для обработки прямобоочных шлицев создается на основе стандартной методики проектирования червячных фрез [2].

### ***Перечень используемого программного обеспечения***

Система автоматизированного проектирования NX.

### ***Порядок выполнения работы***

В среде САПР NX открыть пример модели червячной фрезы.

Отредактировать модель в соответствии с данными лабораторной работы № 5.

## *Содержание отчета*

Файл NX с отредактированной моделью червячной фрезы.

## *Контрольные вопросы*

- 1 Каков порядок расчета параметров червячной фрезы?
- 2 Чем отличаются червячные фрезы для обработки шлицев при центрировании по наружному диаметру вала и при центрировании по диаметру впадин?

## **6 Лабораторная работа № 6. Проектирование долбяка для обработки прямобочных шлицев**

### *Цель работы*

Изучить методику моделирования долбяка для обработки прямобочных шлицев.

### *Краткие теоретические сведения*

Уравнения профиля зуба долбяка имеют следующий вид:

$$x = R_2 \cdot \sin \varphi_2 - R_1 \cdot (\sin(\gamma + \varphi_1) - \sin \gamma) \cdot \cos(\gamma + \varphi_1 + \varphi_2); \quad (16)$$

$$y = R_2 \cdot \cos \varphi_2 + R_1 \cdot (\sin(\gamma + \varphi_1) - \sin \gamma) \cdot \sin(\gamma + \varphi_1 + \varphi_2); \quad (17)$$

$$R_1 = \sqrt{(R_a - c)^2 - b^2 \cdot \frac{u_{12} \cdot (3 \cdot u_{12} + 2)}{4 \cdot (1 + 2 \cdot u_{12})^2}}; \quad (18)$$

$$u_{12} = \frac{z_2}{z_1}; \quad (19)$$

$$R_2 = u_{12} \cdot R_1; \quad (20)$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 \cdot \frac{R_1}{R_2}, \quad (21)$$

где  $z_1$  – количество шлицев;  
 $z_2$  – количество зубьев долбяка;  
 $\gamma, c, R_a, b$  – величины, определяемые в лабораторной работе № 5.  
 В качестве параметра выступает угол  $\varphi_1$ , который изменяется от значения

$$\varphi_{1\min} = \alpha_{\min} - \gamma, \quad (22)$$

где

$$\sin \alpha_{\min} = \frac{(R_2 + R_1) \cdot b}{2 \cdot R_1 \cdot (2 \cdot R_2 + R_1)}. \quad (23)$$

### ***Перечень используемого программного обеспечения***

Система автоматизированного проектирования NX.

### ***Порядок выполнения работы***

- 1 В среде САПР NX загрузить пример модели долбяка.
- 2 Скорректировать модель согласно исходным данным.

### ***Содержание отчета***

Файл NX со скорректированной моделью долбяка.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какова методика проектирования прямозубого долбяка?
- 2 Какие стандарты используются при проектировании долбяков?

## **7 Лабораторная работа № 7. Проектирование фасонной фрезы для обработки цилиндрической поверхности**

### ***Цель работы***

Изучить методику моделирования фасонной фрезы для обработки цилиндрической поверхности.

### ***Краткие теоретические сведения***

Твердотельная модель фасонной фрезы для обработки цилиндрической поверхности создается на основе стандартной методики проектирования фасонных фрез [2].

### ***Перечень используемого программного обеспечения***

Система автоматизированного проектирования NX. Математический программный пакет.

### ***Порядок выполнения работы***

В среде математического программного пакета рассчитать параметры фасонной фрезы в соответствии с исходными данными.

В среде САПР NX создать файл для модели поверхности детали (рисунок 4).

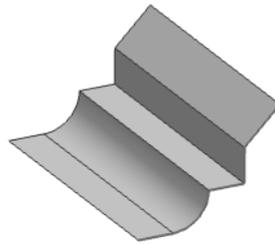
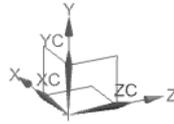


Рисунок 4 – Модель поверхности детали

Создать файл для модели фасонной фрезы, в который вставить в качестве компонента модель поверхности детали. Создать в файле фасонной фрезы копию образующей поверхности детали (рисунок 5).

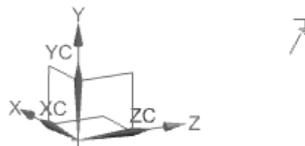


Рисунок 5 – Образующая поверхности детали

Продлить образующую в обе стороны и создать исходную инструментальную поверхность фасонной фрезы (рисунок 6).

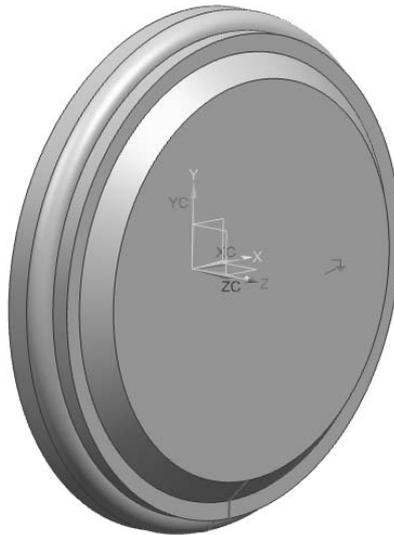


Рисунок 6 – Исходная инструментальная поверхность фасонной фрезы

Создать эскиз стружечных канавок и сами стружечные канавки (рисунок 7).

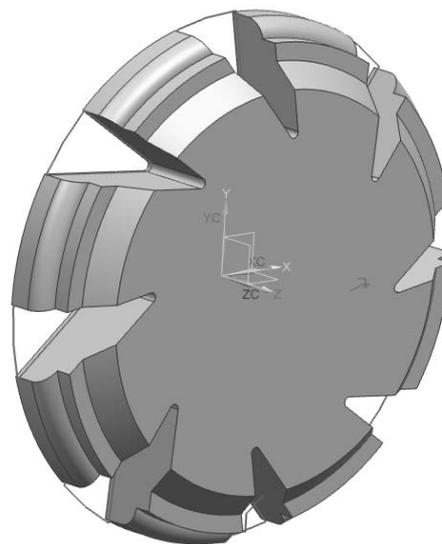


Рисунок 7 – Стружечные канавки фасонной фрезы

### ***Содержание отчета***

Результаты расчетов параметров фасонной фрезы в файле математического программного пакета.

Файл NX с моделью фасонной фрезы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какова последовательность проектирования фасонной фрезы?
- 2 Что представляет собой стружечная канавка фасонной фрезы?
- 3 Каковы рекомендации по назначению геометрии режущей части фасонной фрезы?

## 8 Лабораторная работа № 8. Проектирование затыловочного резца

### *Цель работы*

Изучить методику моделирования затыловочного резца.

### *Краткие теоретические сведения*

Модель затыловочного резца для затылования зубьев фасонной фрезы создается на основе стандартной методики проектирования [2].

### *Перечень используемого программного обеспечения*

Система автоматизированного проектирования NX. Математический программный пакет.

### *Порядок выполнения работы*

Используем данные лабораторной работы № 8.

Удлиняем режущую кромку фасонной фрезы в обе стороны (рисунок 8).

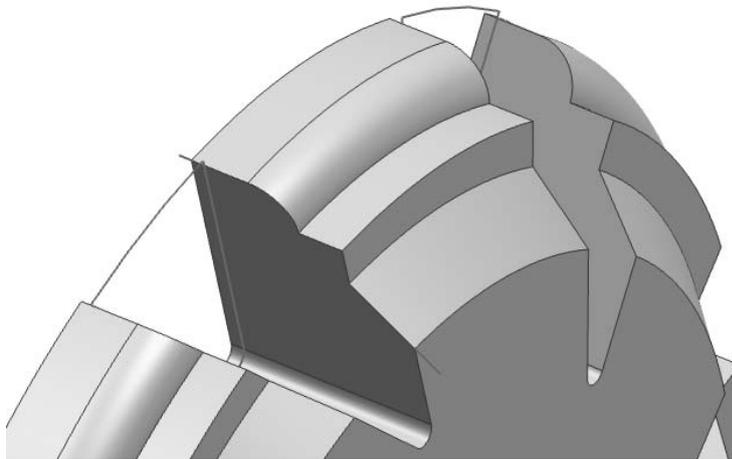


Рисунок 8 – Схема удлинения режущей кромки фасонной фрезы

По формулам [3] строим три кривых затылования, проходящих через точки режущей кромки фасонной фрезы (рисунок 9).

Строим поверхность затылования (рисунок 10), перемещая удлиненную режущую кромку по трем направляющим – кривым затылования.

Находим профиль затыловочного резца (рисунок 11) как кривую пересечения поверхности затылования и плоскости, в которой лежит вершина зуба фасонной фрезы.

Достраиваем профиль затыловочного резца до замкнутой кривой и

заметанием по трем направляющим (кривым затылования) создаем тело затылования (рисунок 12).

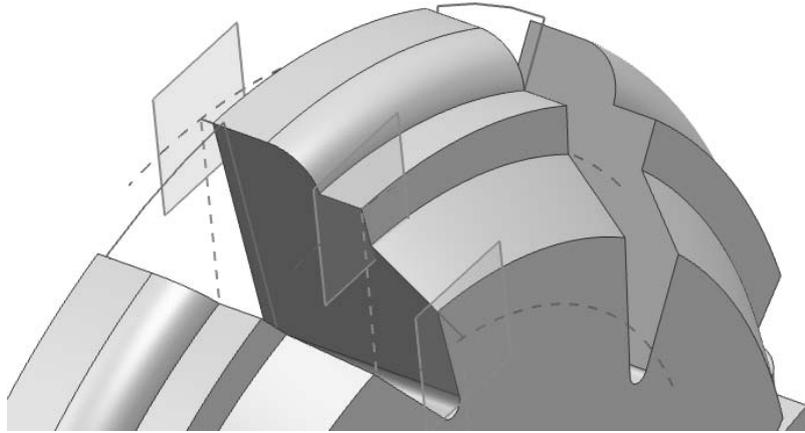


Рисунок 9 – Кривые затылования

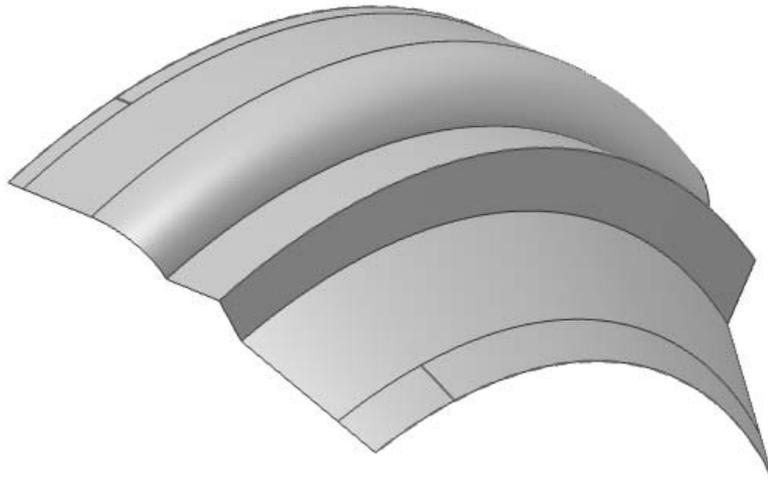


Рисунок 10 – Поверхность затылования

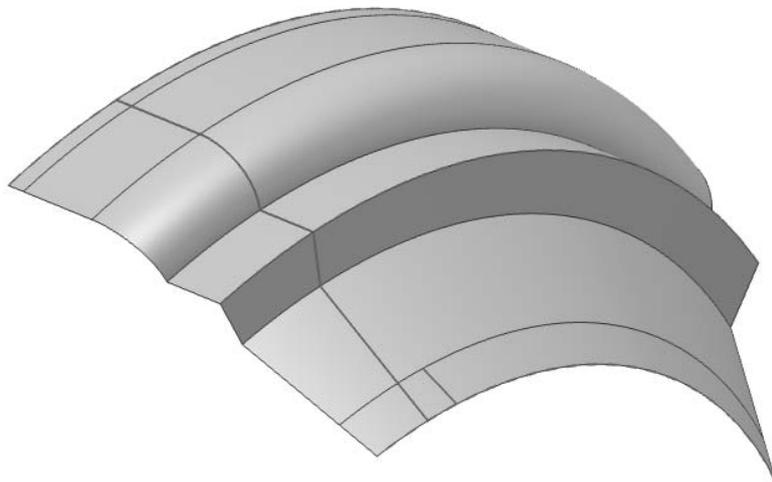


Рисунок 11 – Профиль затыловочного реза

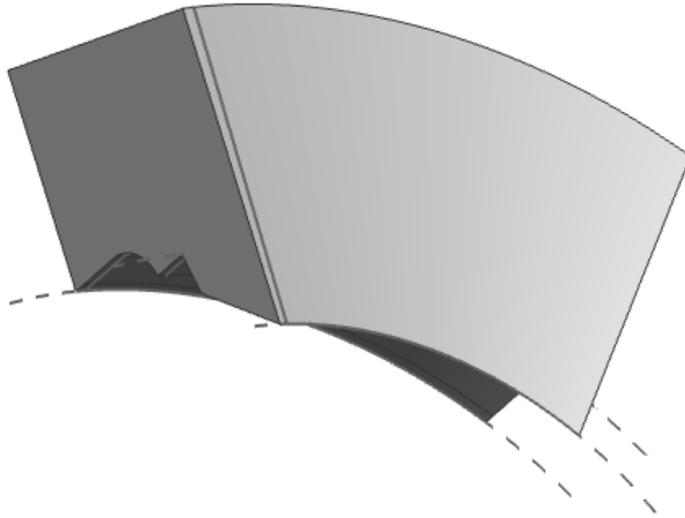


Рисунок 12 – Тело затылования

Вычитаем тело затылования из тела фасонной фрезы (рисунок 13).

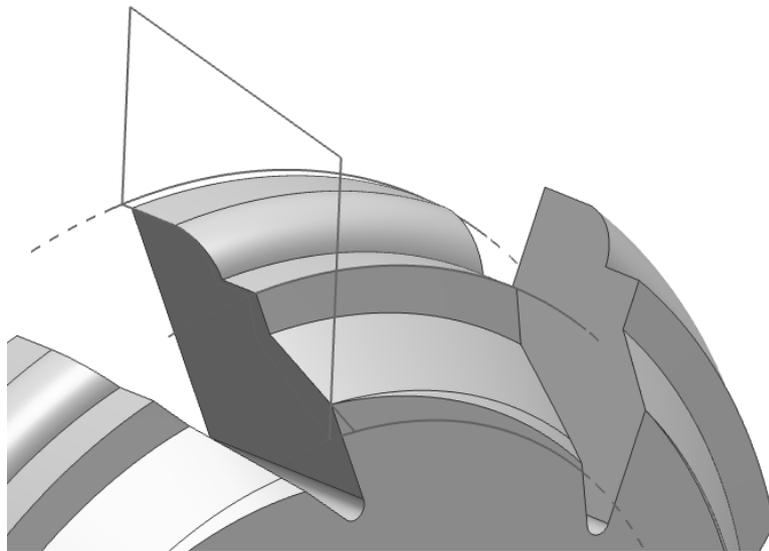


Рисунок 13 – Модель фасонной фрезы

### ***Содержание отчета***

Результаты расчета параметров затыловочного резца в файле математического программного пакета.

Файл NX с профилем затыловочного резца.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что такое затылование?
- 2 Как рассчитывается величина затылования?

## Список литературы

1 **Лашнев, С. И.** Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ / С. И. Лашнев. – Москва : Машиностроение, 1980. – 208 с.

2 **Клименков, С. С.** Обработка инструмента в машиностроении: учебник / С. С. Клименков. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2013. – 459 с.

3 Теория режущих инструментов: методические рекомендации к практическим занятиям для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной и заочной форм обучения / сост. С. Н. Хатетовский. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – 23 с.

4 **Солоненко, В. Г.** Резание металлов и режущие инструменты: учебное пособие / В. Г. Солоненко, А. А. Рыжкин. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 415 с.