

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольной работы по дисциплине

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНКОВ. ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ АЛГОРИТМОВ В СИСТЕМЕ MATHCAD

ЧАСТЬ 1

**для студентов специальности
7.090203 «Металлорежущие станки и системы»**

Утверждено
на заседании кафедры
«Металлорежущие станки
и инструменты»
Протокол № от 2010

Краматорск ДГМА 2010г.

УДК 621.9

Методические указания к расчету и твердотельному моделированию дисковых шеверов по дисциплине «Методы оптимального проектирования» (для студентов специальности 7.090203) / Сост. С.А. Гаков, – Краматорск: ДГМА, 2010. – 40 с.

Приведены теоретические сведения о процессе шевингования, конструкциям шеверов, методики расчета элементов конструкций мелко модульного и нормального шевера в пакете MathCAD, рекомендации по твердотельному моделированию шеверов на ЭВМ в пакете SolidWorks.

Составители

Гаков С.А., ассистент

Ответственный за выпуск

Ковалев В.Д., профессор

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ШЕВИНГОВАНИЯ

Шеверы предназначены для чистовой обработки предварительно нарезанных зубьев незакаленных колес внешнего и внутреннего зацепления. Процесс обработки колеса шевером называется шевингованием.

Шеверы – многолезвийные инструменты в виде зубчатого колеса или рейки с лезвиями на боковых сторонах зубьев; применяют шеверы для чистовой обработки боковых поверхностей зубьев колес. Суть этого процесса состоит в удалении с боковых сторон зубьев неровностей путем соскабливания мелкой стружки. Шевингование зубчатых колес повышает их точность и значительно уменьшает шероховатость боковых сторон зубьев.

По конструкции шевер представляет собой зубчатое колесо, рейку или червяк, на боковых сторонах зубьев которых образованы небольшие канавки, образующие режущие кромки (рис. 1). Шеверы в виде зубчатого колеса или (значительно реже) рейки предназначены для обработки цилиндрических колес, а в виде червяков – для червячных колес.

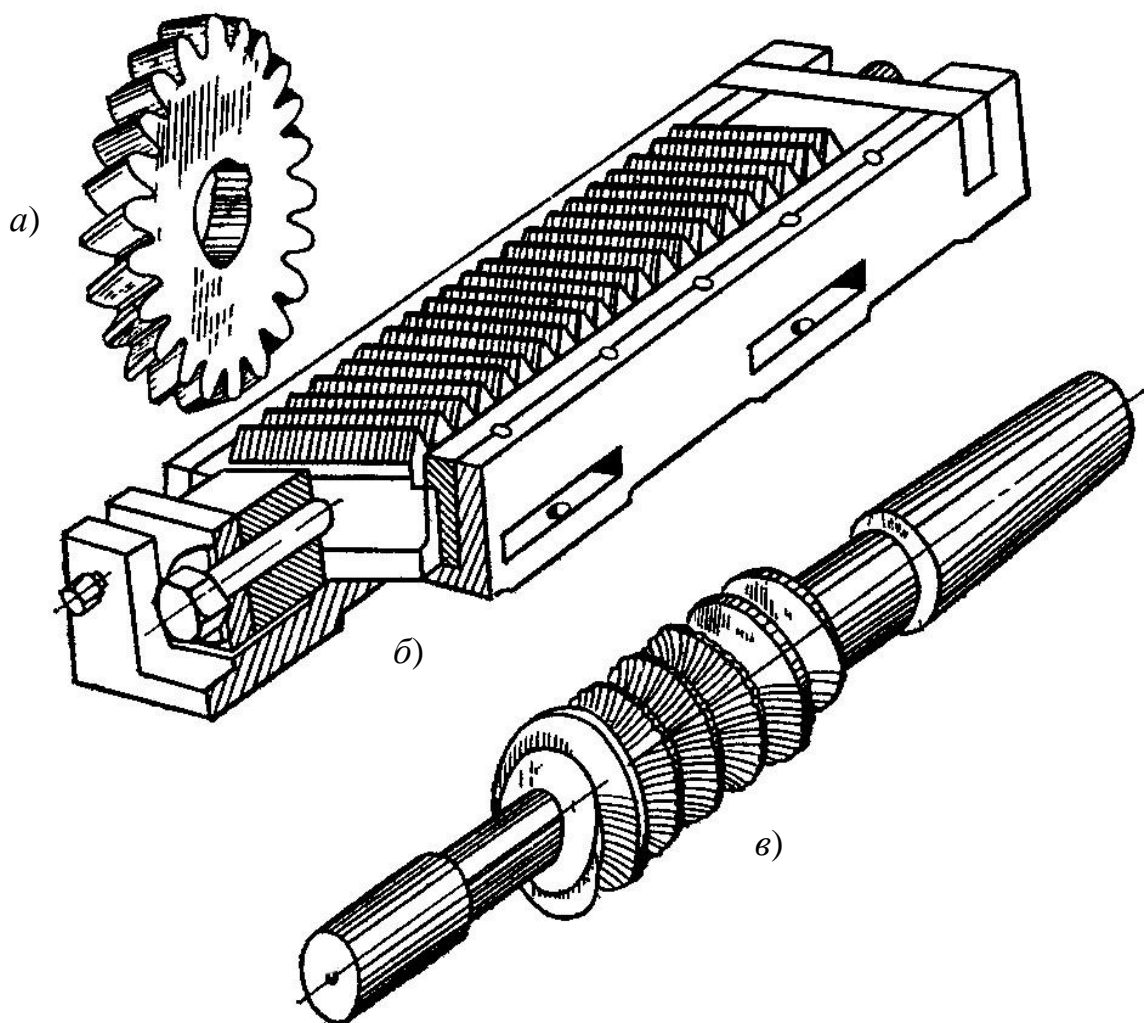


Рисунок 1 – Типы шеверов
а) дисковый, б) шевер рейка, в) червячный

Для чистовой обработки зубьев червячных колес применяют червячные шеверы – червячные фрезы с незатылованными зубьями (рис. 1, а; рис. 2, а) с значительно увеличенным числом режущих кромок. Конструктивно червячный шевер – червяк, на витках которого нанесены канавки для образования режущих кромок: Его размеры должны соответствовать червяку с небольшим превышением, (примерно $0,1 m$) высоты головки витка червяка. Форма зубьев червячного шевера приведена на рис. 2, б. Для возможности образования стружечных канавок вдоль зуба в основании витков делают канавки. Зубья червячных шеверов не затылуются, задние углы на их лезвиях равны нулю, и поэтому ширина задней поверхности должна быть по возможности меньше (в пределах до $0,5 \text{ мм}$).

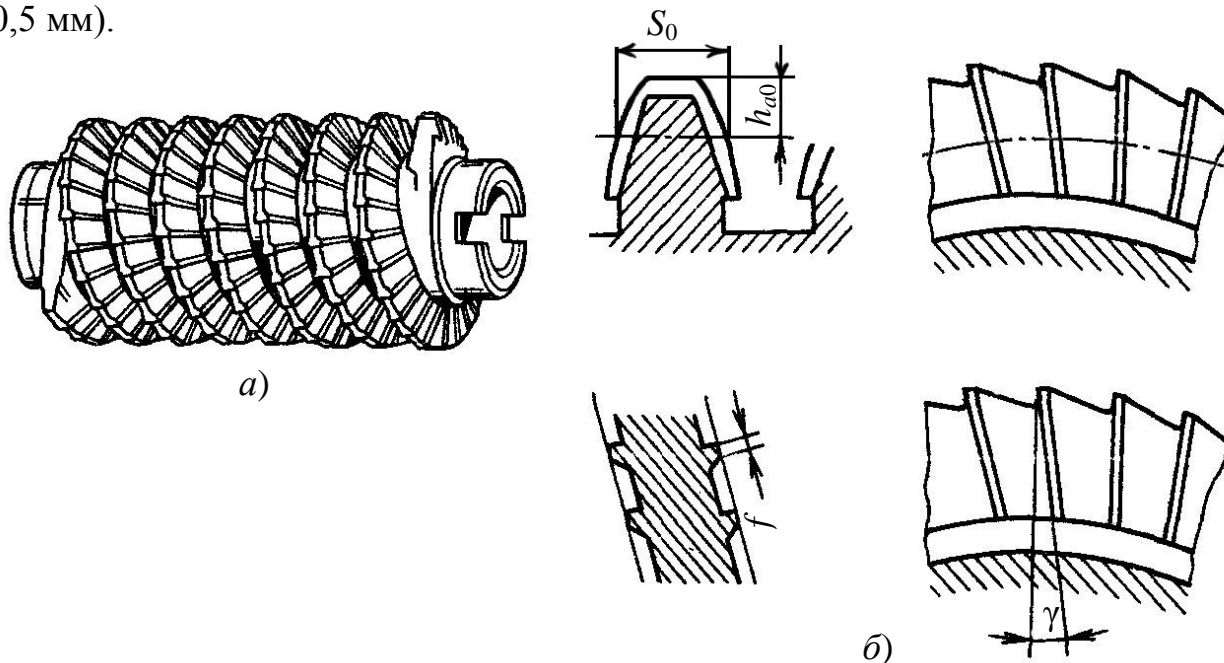


Рисунок 2 – Червячный шевер

Для осуществления резания используют относительное скольжение между зубьями инструмента и заготовки в процессе их зацепления. Зубья обоих элементов пары или одного из них винтовые; оси шевера и заготовки перекрещиваются. Для обработки цилиндрических зубчатых колес применяют в основном цилиндрические шеверы (рис. 3, а).

Преимущества шевингования – увеличение точности зубчатого венца (на одну степень), получение высокого качества поверхностей зубьев, высокая производительность процесса обработки; применение шевингования зубчатых колес обеспечивает уменьшение их шума при работе. В основном шеверы применяют для обработки колес средних модулей преимущественно в массовом и крупносерийном производствах. Припуск на обработку по толщине зубьев колес средних модулей $\delta = 0,035 m$.

Шевингование осуществляется при свободном безззорном зацеплении зубьев шевера и заготовки. Принудительное вращение сообщается шеверу 1. Заготовка колеса 2, находясь с ним в зацеплении, свободно вращается на оправке, установленной в центрах (рис. 3, б).

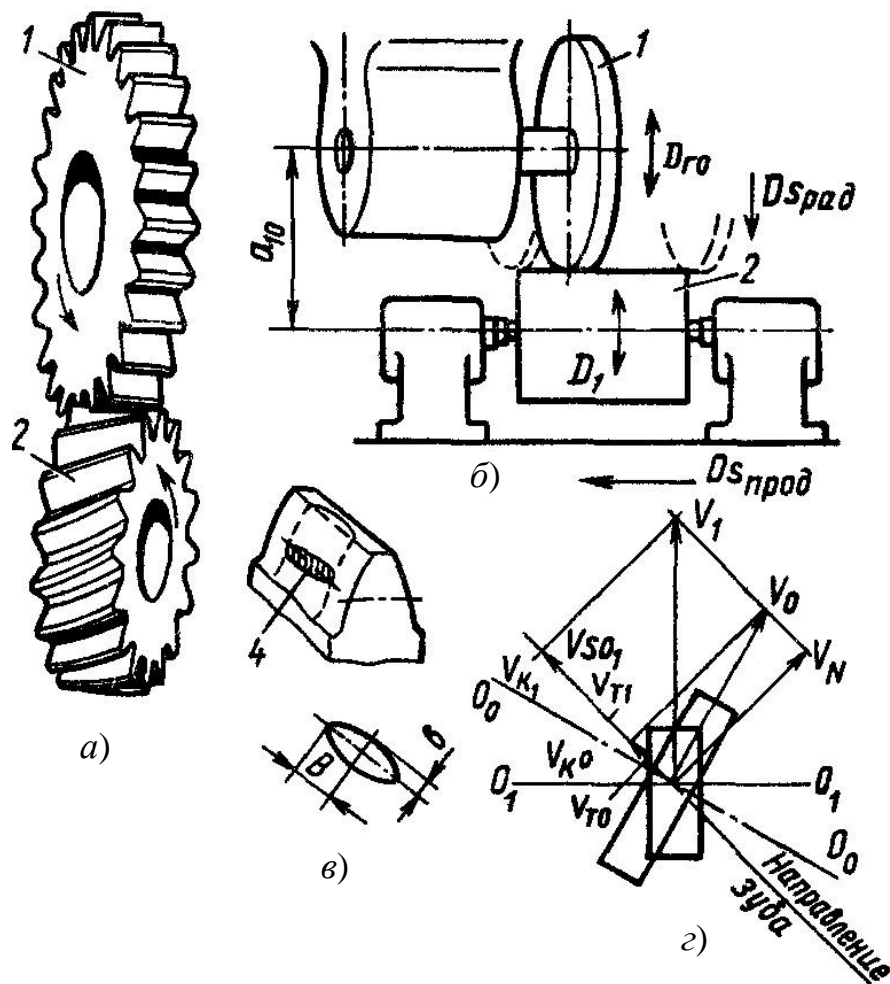


Рисунок 3 – Схема обработки колеса дисковым шевером

Для обработки колеса по всей длине его зубьев один элемент пары (шевер или колесо) перемещается относительно другого, осуществляется продольная подача $S_{\text{прод}}$. На большинстве станков осуществляется продольная подача заготовки относительно шевера. В конце продольного хода сообщается радиальная подача $S_{\text{рад}}$ – сближение осей шевера и заготовки. Радиальная подача обеспечивает врезание режущих кромок шевера в обрабатываемую поверхность зубьев заготовки.

Окружная скорость на начальной окружности шевера из быстрорежущей стали $v_0=100...120 \text{ м/мин}$, скорость продольной подачи $v_{S_{\text{прод}}} = 0,15...0,10 \text{ мм/об}$ заготовки, скорость радиальной подачи $v_{S_{\text{рад}}}=0,02...0,04 \text{ мм/дв.ход}$.

Шевингование обеспечивает в основном повышение нормы плавности работы колес и контакта их зубьев (допуск на погрешность профиля зубьев f_{fr} , отклонение окружного шага f_{ptr} , погрешность направления зубьев $f_{\beta p}$) и повышает качество боковой поверхности зубьев (уменьшается шероховатость). Хуже исправляются накопленная погрешность окружного шага F_{Pr} и радиальное биение зубчатого венца F_{rr} .

Главное движение зубьев шевера – вращательное с окружной скоростью v_0 при его зацеплении с колесом последнему сообщается также вращательное движение со скоростью v_1 (рис. 3, з).

Контакт зубьев шевера и колеса теоретически точечный. Скорости (точки контакта) их зубьев в процессе зацепления в плоскости, перпендикулярной к боковым поверхностям зубьев, равны: $v_{N1}=v_{N0}$, а по поверхности зубьев в направлении скольжения возникают скорости v_{T1} и v_{T0} ; сумма или разность последних определяет скорость скольжения v_{S10} режущих кромок относительно обрабатываемой поверхности зубьев заготовки. $v_{S10} = v_{T1} \pm v_{T0}$, где знак «+» при одноименном направлении зубьев шевера и заготовки, знак «-» – при разноименном их направлении. На начальных цилиндрах $v_{T0} = v_0 \sin \beta_0$ и $v_{T1} = v_1 \sin \beta_1$, где β_1 и β_0 – соответственно углы наклона зубьев шевера и колеса. Учитывая, что угол скрещивания осей шевера и колеса $\Sigma = \beta_1 \pm \beta_0$, получаем

$$v_{S10} = v_0 \cos \beta_0 [tg(\Sigma - \beta_0) \pm tg\beta_0] = v_0 \frac{\cos \Sigma}{\cos \beta_1}.$$

Угол Σ скрещивания осей шевера и заготовки влияет на скорость резания (скольжения) и технологические условия процесса обработки. При увеличении Σ увеличивается скорость скольжения, улучшаются условия резания, но уменьшается площадка контакта зубьев шевера и колеса, ухудшается точность направления получаемых зубьев, сокращаются длина прохода и машинное время обработки. Практически установлено, что наиболее благоприятна $\Sigma=15^\circ$, для обработки блочных колес при ограничении возможности свободного продольного хода шевера принимается $\Sigma=5^\circ$.

Угол наклона зубьев шевера

$$\beta_0 = \Sigma \mp \beta_1. \quad (1)$$

Из возможных значений β_0 принимается меньшее.

При радиальной подаче шевера происходит врезание, углубление его режущей поверхности зубьев в обрабатываемую поверхность зуба заготовки. Площадка этого углубления (площадка контакта) имеет эллиптическую форму (рис. 3, в). Значения большой B и малой b полуосей площадки контакта:

$$B = v_B \sqrt{\frac{2S_{PAD} \sin \alpha_{10}}{\frac{\sin^2 \varepsilon_0}{\rho_0} + \frac{\cos^2(\sigma - \varepsilon_0)}{\rho_1}}};$$

$$b = v_b \sqrt{\frac{2S_{PAD} \sin \alpha_{10}}{\frac{\sin^2 \varepsilon_0}{\rho_0} + \frac{\cos^2(\sigma - \varepsilon_0)}{\rho_1}}}; \quad (2)$$

где v – коэффициент, учитывающий упругие деформации технологической системы соответственно по осям B и b . Для обычных условий работы при обработке заготовок из стали 45, 40Х коэффициент $v_B = 0,73...0,79$ и $v_b = 0,69...0,68$;

ε_0 – угол между прямолинейной образующей поверхности зубьев шевера и большой осью пятна контакта, его определяют по формуле;

$$\operatorname{tg} 2\varepsilon_0 = \frac{\sin 2\sigma}{\cos 2\sigma + \rho_1/\rho_0}; \rho_0 \text{ и } \rho_1 - \text{нормальные радиусы кривизны сопряженных}$$

поверхностей зубьев соответственно шевера и колеса; σ – угол между прямолинейными образующими сопряженных поверхностей зубьев шевера и колеса, $\sigma = \sigma_1 - \sigma_0$; $\operatorname{tg} \sigma_0 = \operatorname{tg} \beta_0 \sin \alpha_n$; $\operatorname{tg} \sigma_1 = \operatorname{tg} \beta_1 \sin \alpha_n$.

Площадка пятна контакта позволяет определить параметры и условия работы зубьев шевера: работающую длину и число режущих кромок, находящихся в контакте, и др.

2 КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИСКОВЫХ ШЕВЕРОВ

По конструкции дисковый шевер есть цилиндрическое зубчатое колесо с винтовыми зубьями, на боковых поверхностях которых имеются канавки для образования режущих кромок (рис. 4).

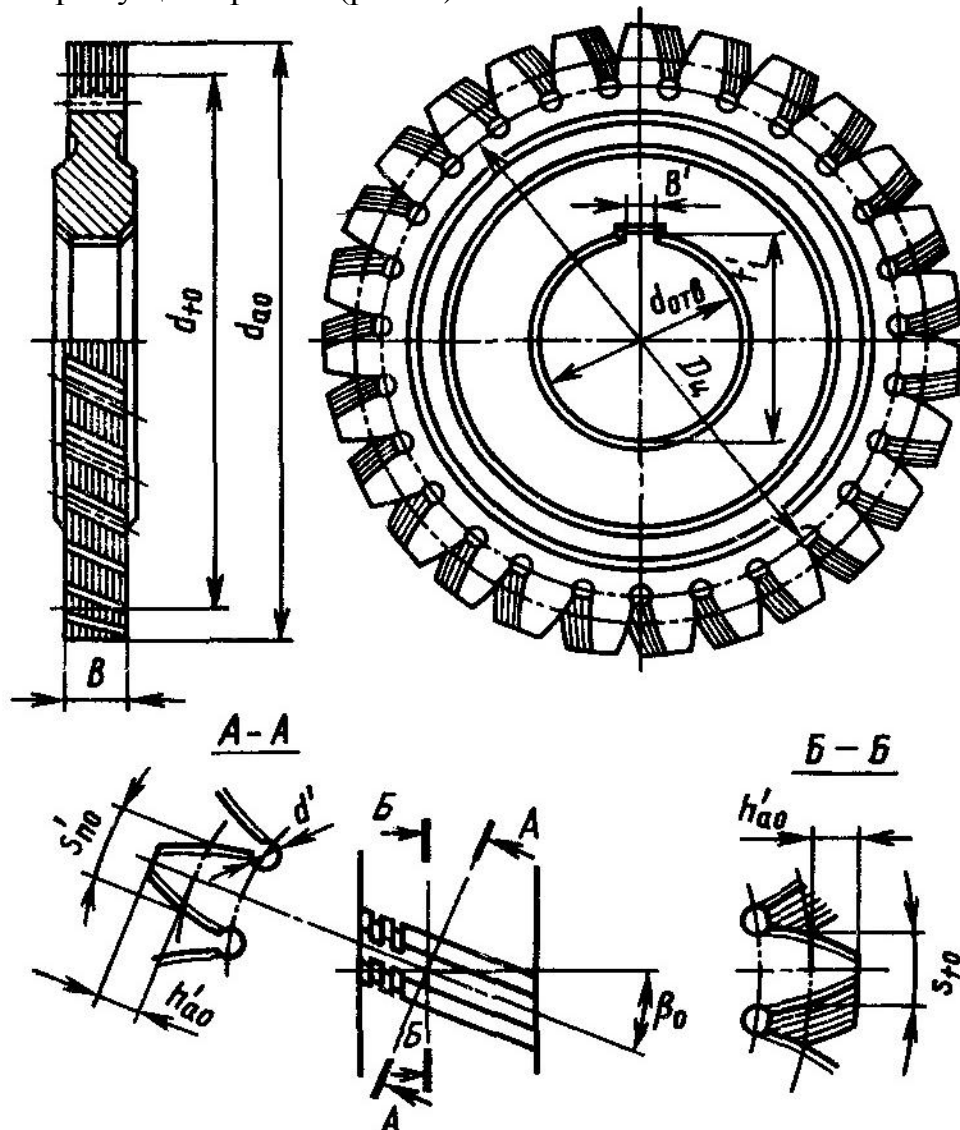


Рисунок 4 – Дисковый шевер

В процессе окончательного образования зубьев колеса его зубья и зубья шевера должны зацепляться с одной и той же косозубой инструментальной рейкой. Поэтому у шевера и колеса в сечении, нормальном к направлению их зубьев, должны быть равны шаги ($p_{n0} = p_{n1}$), углы профиля ($\alpha_{n0} = \alpha_{n1}$), толщины зубьев шевера $S_{n0} = e_{n1} = p_{n1} - S_{n1}$ и высотные размеры зуба $h_{a0} = h_{f1} - c_{10}$ и $h_{f0} = h_{a1} + c_{10}$.

Диаметральные размеры шевера определяют в торцовом сечении, поэтому выше приведенные размеры должны быть пересчитаны в торцовое сечение делением на $\cos\beta_0$:

$$p_{t0} = p_{n0} / \cos\beta_0; m_{t0} = m_{n0} / \cos\beta_0; tg\alpha_{t0} = tg\alpha_{n0} / \cos\beta_0. \quad (3)$$

Диаметр делительной окружности шевера

$$d_{t0} = m_{t0} z_0. \quad (4)$$

По ГОСТ 8570-80 установлены следующие номинальные диаметры d_{t0} делительной окружности шеверов: 85, 180, 250 мм. Принятый d_{t0} должен удовлетворять следующим условиям:

1) возможности использования шевера на данном станке: $d_{t0} = d_{a0oc} - (3..4)m_n$, где d_{a0oc} – наибольший диаметр окружности вершин шевера, который может быть установлен на станке, $(3..4)m$ – удвоенная высота головок зуба шевера с учетом припуска на его переточку;

2) возможности обработки меньшего, предполагаемого к обработке зубчатого колеса, диаметр которого d_{1min} ; исходя из минимально допустимого межосевого расстояния a_{10oct} шевер – заготовка по конструкции станка $d_{t0} = 2a_{10oct} - d_{1min}$.

По принятому d_{t0} определяют число зубьев шевера:

$$z_0 = d_{t0} / m_{t0}. \quad (5)$$

При шевинговании каждая впадина зубьев колеса обрабатывается одним зубом шевера. При кратном числе зубьев шевера и колеса может повторяться совпадение их зубьев в процессе обработки. Для того чтобы избежать совпадения контакта одних и тех же зубьев при следующих оборотах колеса, число зубьев шевера не должно иметь общих множителей (или по возможности меньше) с числом зубьев обрабатываемого колеса. Для соблюдения этого условия число зубьев нормализованных (стандартных) шеверов принимают из ряда первоначальных чисел: 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 61, 67, 73, 83 и только в одном случае 27 (для $m = 8$ мм).

По принятому числу зубьев определяют расчетный диаметр делительной окружности шевера $d_{t0} = z_0 m_{t0}$.

Дисковые шеверы делают насадной конструкции. Диаметр отверстия назначают в соответствии с диаметром посадочной части шпинделя шевинговального станка. Нормализованы диаметры отверстий: $d_{OTB} = 63,5$ мм для шеверов с $d_0 = 180$ и 250 мм и $d_{OTB} = 31,75$ мм для шеверов $d_0 = 85$ мм. Для передачи крутящего момента в отверстия делают продольную шпоночную канавку.

Ширина шевера. Теоретически необходимая ширина шевера – длина его зубьев, определяется размером пятна контакта зубьев шевера и колеса и проекцией длины активного участка пространственной линии зацепления шевера – колесо. Положение участка контакта зубьев симметрично относительно линии кратчайшего межосевого расстояния, в процессе обработки он не перемещается по длине зубьев шевера. Необходимая по этому условию длина зуба невелика. Для обеспечения жесткости инструмента шеверы делают шириной больше, чем это теоретически необходимо. У стандартных шеверов принята ширина обода шевера $B = 15$ мм при $d_0 = 85$ мм, $B = 20$ мм при $d_0 = 180$ мм и $B = 25$ мм при $d_0 = 250$ мм. Ширину по ступице делают на 1 мм больше. Торцы ступицы для обеспечения точности, базирования должны быть перпендикулярны оси отверстия; торцы обода могут быть выполнены с меньшей точностью; они разделены неглубокой канавкой.

Боковые поверхности зубьев шевера, на которых расположены режущие кромки, представляют собой эвольвентные винтовые поверхности. Боковые поверхности обеих сторон зубьев имеют одинаковые углы наклона β_0 и ход. Радиус их основного цилиндра

$$d_{b0} = d_{t0} \cos \alpha_{t0}. \quad (6)$$

Размеры и форма зубьев. Высота головки зуба шевера должна обеспечить полную обработку активной рабочей части профиля зуба колеса, поэтому ее делают несколько больше высоты головки зуба сопряженного колеса, но головка зуба шевера не должна обрабатывать дно впадины зуба колеса (рис. 5,а), т. е. $h^*_{a0\text{фрезы}} > h^*_{a0\text{шевера}} > h^*_{a0\text{колеса}}$.

Обычно для обработки колес с $h^*_{a1} = 1$ коэффициент высоты головки зуба шевера принимают равным 1,1, т. е. на 0,1 больше коэффициента высоты головки зуба сопряженного колеса. Затупившиеся шеверы восстанавливают шлифованием задних поверхностей зубьев. Новые шеверы проектируют с учетом припуска на переточку по толщине зуба и соответственно по головке зуба (рис. 5, б). По мере переточек смещение уменьшается. Коэффициент смещения x_0 нового шевера определяется припуском ΔS на перешлифовку, т. е. увеличением толщины зуба в нормальном сечении на обе стороны.

Наибольшее смещение ограничено толщиной зуба $S_{\text{на0на0}}$ на окружности вершин. Для обеспечения прочности зуба необходимо, чтобы на его вершине оставалась перемычка p' (рис. 5, в) между стружечными канавками глубиной h_K , поэтому

$$S_{\text{на0на0}} > 2h_K \cos \alpha_{a0}.$$

здесь α_{a0} – угол профиля зуба в точке на окружности вершин шевера.

Минимальное смещение ограничивается условием достаточной высоты ножки зуба после всех переточек. Для гарантии и улучшения качества боковой поверхности зубьев колеса минимальный диаметр окружности впадин шевера должен превышать диаметр его основной окружности не менее чем на 1–2 мм, поэтому $d_{f0\text{min}} \geq d_{e0} + 2$.

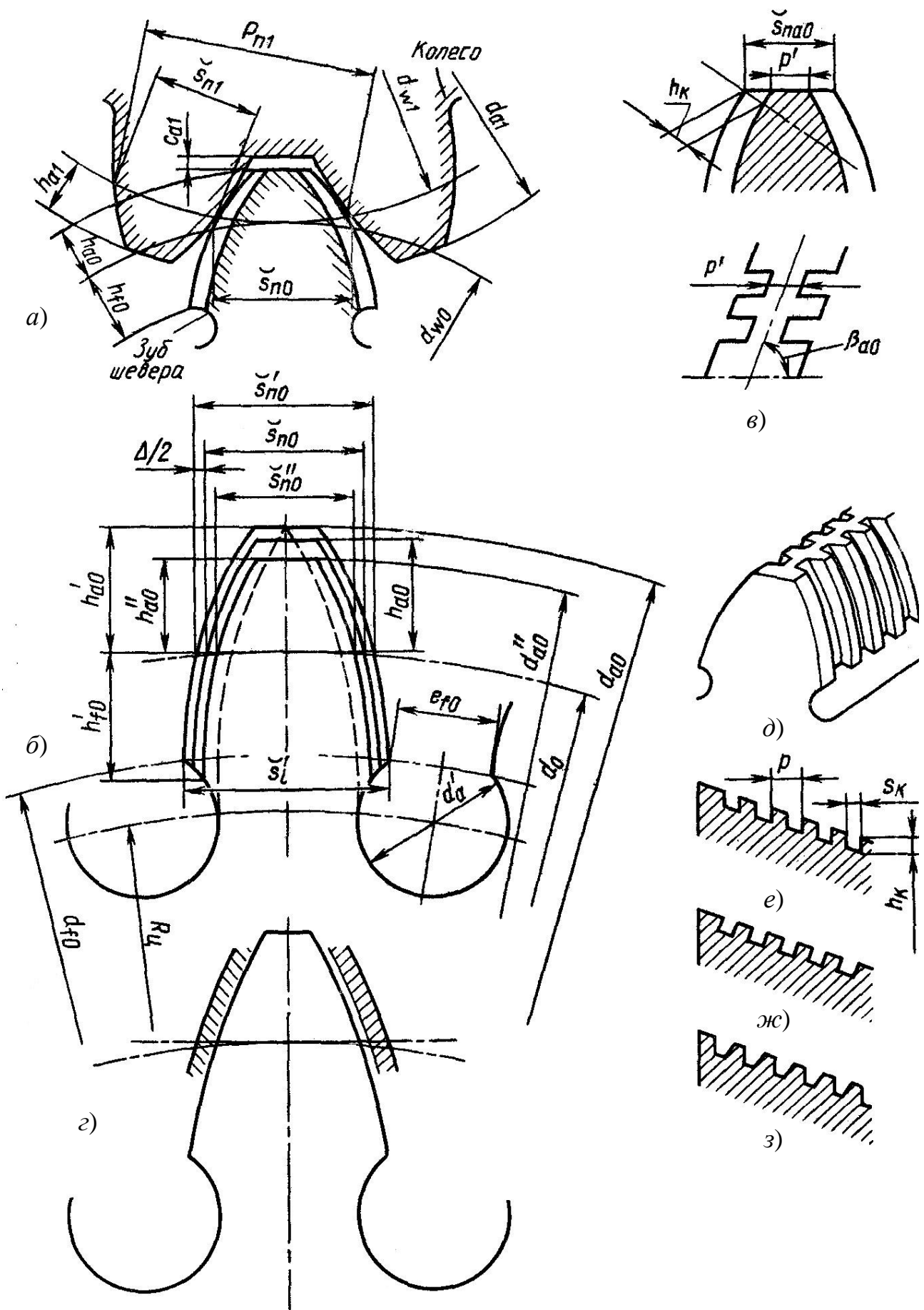


Рисунок 5 – Размеры зуба шевера и стружечных канавок

По этим условиям определяют значение и расположение припуска на переточку зубьев шевера. Обычно шеверы проектируют с расчетом на четыре – шесть переточек. При каждой переточке снимается слой 0,05 – 0,07 мм, значение ΔS на обе стороны зуба рекомендуется назначать: при $m = 2...2,75$ мм $\Delta S = 0,25$ мм, при $m = 3$ мм $\Delta S = 0,3$ мм, при $m = 3,25...6$ мм, $\Delta S = 0,4$ мм.

У шеверов для обработки колес без смещения с $\alpha = 20^\circ$ симметричное расположение припуска на переточку относительно теоретического расчетного размера удовлетворяет указанным выше условиям, и размеры зуба нового шевера в нормальном сечении (по дуге делительного цилиндра) равны

$$S'_{n0} = S_{n0} + \Delta S \text{ и } h'_{a0} = h_{a0} + \frac{\Delta s \operatorname{ctg} \alpha_{t0}}{2 \cos \beta_0}.$$

У шеверов для колес со смещением исходного контура или углом профиля $\alpha \neq 20^\circ$ для удовлетворения поставленных условий приходится принимать несимметричное или даже одностороннее расположение, припуска на переточку (рис. 5, з). После каждой переточки и уменьшения толщины зуба шевера должна быть соответственно изменена и высота головки зуба путем шлифования шевера по окружности вершин.

Режущие элементы и стружечные канавки. Для образования режущих кромок на зубьях шевера делают стружечные канавки, обычно в радиальном направлении (рис. 5, д). Канавки могут быть выполнены трех форм: прямоугольные со сторонами, параллельными торцу (рис. 5, е), и со сторонами, нормальными к направлению зуба (рис. 5, ж), и трапецеидальной формы, одна сторона которых нормальна к направлению зуба, а вторая – параллельная торцу (рис. 5, з). Форма канавок влияет на значение переднего угла.

От шага канавок зависит число режущих кромок, находящихся одновременно в работе. Размеры канавки должны обеспечить помещение срезаемой стружки не только у нового, но и у переточенного шевера. По ГОСТ 8570-80 для шеверов $m = 2...8$ мм установлены следующие размеры канавок: $p_K = 1,8...2,4$ мм, $h_K = 0,6...1,0$ мм, $S_K = 0,5 p_K$.

Для возможности долбления на зубьях канавок в основании зуба необходимо обеспечить свободное пространство для выхода долбежного резца. Для этого делают круглые отверстия в основании впадин зубьев, наклонно расположенные по отношению к оси шевера в соответствии с углом наклона зубьев. Такими делают шевера с $m > 2$ мм. У шеверов меньших модулей канавки на зубьях делают сквозными, перерезающими зубья.

Геометрические параметры. Задние поверхности на зубьях шеверов образуют как эвольвентные винтовые поверхности с одним углом наклона, равным углу наклона зуба шевера. Поэтому инструментальные задние углы лезвий зубьев шеверов равны нулю. Кинематические задние углы образуются в процессе работы (рис. 6, а). На одних лезвиях задние углы имеют положительные значения, на других – отрицательные, последние лезвия уплотняют срезаемый слой материала с зубьев заготовки.

Передние углы имеют различные значения в зависимости от вида стружечных канавок. Если канавки перпендикулярны к направлению зуба (см. рис.

5, ж), передние углы у профилирующих кромок независимо от направления вращения шевера и направления подачи с обеих сторон зуба (рис. 6, б) равны нулю ($\gamma = 0$). Если боковые стороны канавок параллельны торцу шевера (см. рис. 5, е), передние углы могут быть положительными или отрицательными в зависимости от направления вращения и продольной подачи. На практике применяют шеверы с обоими типами канавок.

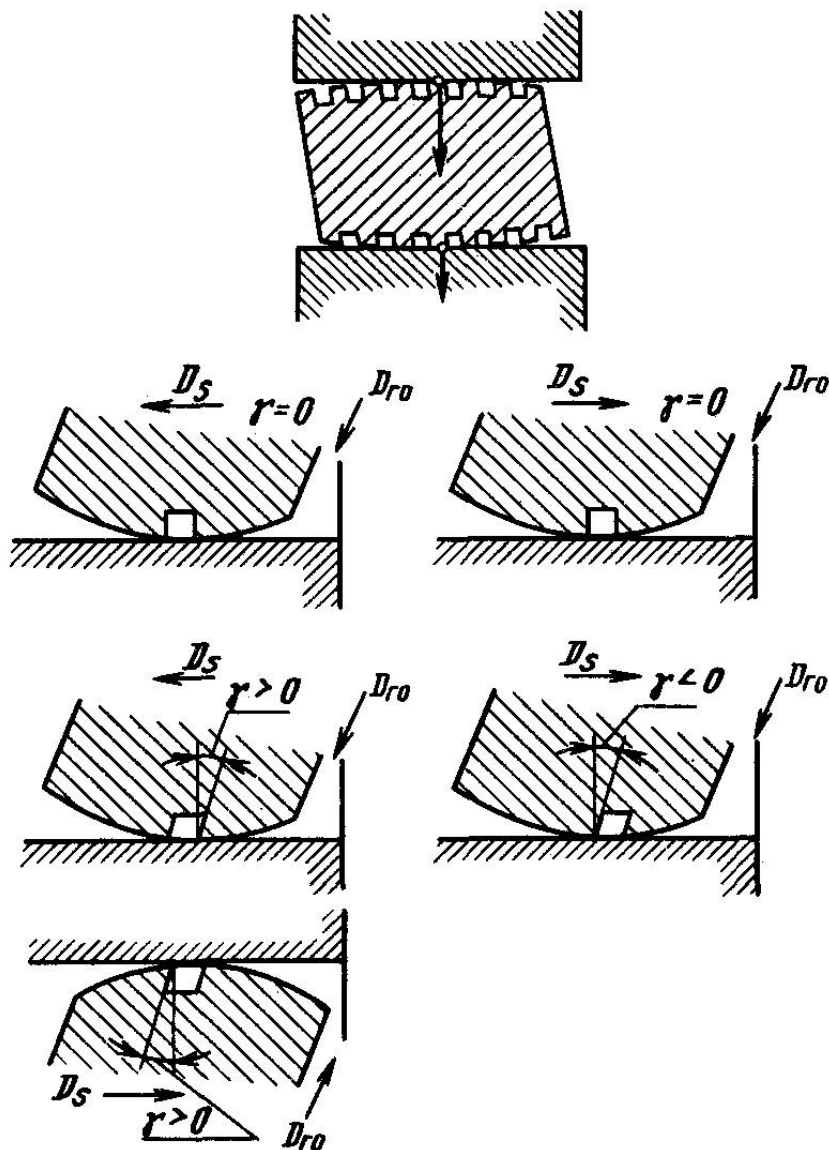


Рисунок 6 – Контакт зубьев шевера и колеса (а) и передние углы шевера (б и в)

Диаметр окружностей вершин и впадин определяют в зависимости от принятого значения припуска ΔS на переточку. Диаметр окружности выступов нового шевера

$$d_{a0} = d_{f0} + 2h_{a0}^* m_n + \Delta S' \operatorname{ctg} \alpha_{n0}. \quad (7)$$

Диаметр окружности впадин для переточенного шевера

$$d_{j0} = d_{i0} + 2h_{j0}^* m_n + \Delta S'' \operatorname{ctg} \alpha_{n0}. \quad (7)$$

Диаметр отверстия для выхода, долбежного резца при образовании стружечных канавок должен быть больше суммы ширины впадины e/o по окружности впадин и удвоенной глубины канавок (см. рис. 5, б):

$$d' \geq e_{f0} + \frac{2h_K}{\cos \beta_0}.$$

Диаметр окружности их центров рассчитывают.

Шеверы изготавливают из быстрорежущей стали Р6М5 или Р18 с твердостью 62 – 65 HRC, трех классов точности (ГОСТ 8570-80Е) АА – для обработки колес степени точности 5, А – для степени точности 6 и класса В – для 7. Допуск на диаметр отверстия 5 мкм.

Шероховатость основных поверхностей шеверов классов АА и А должна быть не более: для боковых поверхностей зубьев $Rz = 1,6$ мкм, посадочного отверстия $Ra = 0,25$ мкм.

Расчет шевера ведут по двум направлениям: определяют его геометрические размеры как зубчатого колеса со смещением исходного контура и пригодность разработанной конструкции шевера для обработки колеса. При этом определяют положения граничной точки участка профиля зуба колеса, правильно образованного шевером, и сравнивают ее положение с положением граничной точки рабочего участка профиля зуба колеса при зацеплении с парным колесом. Необходимо, чтобы $r_{p10} > r_{p12}$ (рис. 7, а).

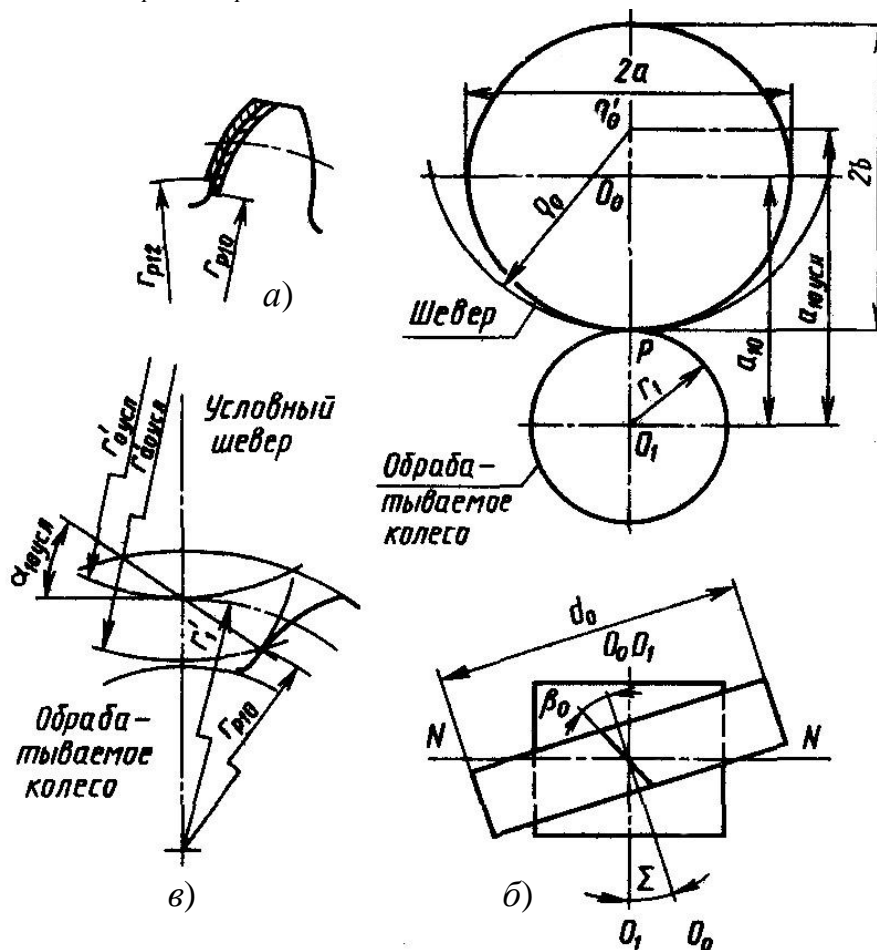


Рисунок 7 – Определение граничной точки зуба колеса при обработке шевером в плоском сечении зуба

Расчет может быть выполнен по одному из следующих вариантов:

- 1) упрощенный способ расчета зацепления шевера и колеса в плоском сечении, перпендикулярном к направлению зубьев с использованием эквивалентных зубчатых колес;
- 2) пространственный расчет зацепления колес с винтовыми зубьями при перекрещивающихся осях.

При первом методе рассмотрим условия зацепления прямозубого колеса и шевера в сечении $N-N$ (см. рис. 7, б), нормальном к направлению зубьев. Центроида колеса – начальная окружность радиусом r_1 , центроида шевера в сечении начального цилиндра наклонной плоскостью $N-N$ – эллипс с осями большой $2a$ и малой $2b$:

$$2a = d_{t0} / \cos \beta_0; \quad 2b = d_{t0} \quad (7)$$

Область зацепления шевера и колеса находится у полюса P в точке пересечения эллипса с малой полуосью. Радиус кривизны эллипса в этой точке $\rho_0 = a^2/b = d_{t0}/2\cos^2 \beta_0$.

Для определения условий зацепления рассмотрим зацепление колеса с условным эквивалентным шевером, радиус делительной окружности которого равен радиусу кривизны эллипса в точке контакта (в полюсе P). Аналогично определяем размеры условных нового и переточенного шеверов. Радиусы последних точек участков профиля зуба колеса, правильно обработанных шевером, определяют с учетом полученных значений условного шевера (рис. 7, в):

$$r_{p10} = \sqrt{r_{b1}^2 + \left(a'_{10усл} \sin \alpha'_{10} - \sqrt{r_{a0усл}^2 - r_{b0усл}^2} \right)^2},$$

где $\alpha'_{10усл}$ – угол зацепления в нормальном сечении с учетом припуска на переточку и условных радиусов шевера и колеса,

$$\operatorname{inv} \alpha'_{10усл} = \frac{\Delta S}{2(r_{0усл} + r_{1усл})} + \operatorname{inv} \alpha_0,$$

здесь $r_{0усл}, r_{1усл}$ – радиусы начальных окружностей условного шевера и колеса соответственно; $a'_{10усл}$ – условное теоретическое межосевое расстояние, $a'_{10усл} = r_{0усл} + r_1$.

Расстояние между осями условного шевера и колеса

$$a'_{10усл} = r'_{0усл} + r' = a_{10усл} \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha'_{10усл}}.$$

Необходимо, чтобы правильно обработанный участок профиля зуба колеса превышал рабочий участок профиля зуба при зацеплении с парным колесом, т. е.

$r_{p10} > r_{p12}$. При нарушении этого условия следует изменить исходные параметры или припуск на переточку.

При втором методе расчета зацепление шевера и колеса в стадии профилирования рассматривают как зацепление колес с перекрещивающимися осями (рис. 8, а). Линия зацепления определяется пересечением плоскостей Π_0 и Π_1 , касательных к основным цилиндрам шевера и колеса. Окончательное образование профиля зуба колеса происходит на длине активной части линии профилирования, касательной к основным цилиндрам шевера и колеса, и ограничивается окружностями вершин их зубьев. На рис. 8, б показаны условно совмещенные в одну плоскость торцовые сечения шевера и колеса и плоскость, проходящая через O_0O_1 и линию профилирования N_0N_1 . Длина активной части линии профилирования

$$g_{\alpha 10} = 0,5 \left(\sqrt{d_{a0}^2 + d_{b0}^2} + \sqrt{d_{a1}^2 + d_{b1}^2} \right) - a_{w10} \sin \alpha_{nw},$$

где a_{w10} – межосевое расстояние шевера и колеса; $a_{w10} = d_{w0} + d_{w1}$; d_{w0} и d_{w1} – диаметры начальных цилиндров шевера и колеса:

$$d_{w0} = \frac{d_{b0}}{\cos \alpha_{tw10}}; \quad d_{w1} = \frac{d_1 \operatorname{tg} \beta_{w1}}{\operatorname{tg} \beta_1},$$

α_{nw} – угол профиля шевера и колеса в нормальном сечении на начальных цилиндрах;

$$\cos \alpha_{nw} = \frac{d_{b1} + d_{b0}}{2a_{w10}},$$

β_{w1} – угол наклона винтовой линии зуба колеса на начальном цилиндре;

$$\sin \beta_{w1} = \frac{\sin \beta_{b1}}{\cos \alpha_{nw}}$$

α_{w10} – угол профиля шевера на начальном цилиндре в торцевой плоскости;

$$\operatorname{inv} \alpha_{tw10} = \frac{K}{1 + M},$$

$$\text{где } K = \left(\frac{S_{n0}}{d_0 \cos \beta_0} + \operatorname{inv} \alpha_{10} \right) + \left(\frac{S_{n1}}{d_1 \cos \beta_1} + \operatorname{inv} \alpha_{11} - \frac{\pi}{z_1} \right) \frac{z_1}{z_0};$$

$$M = \frac{\operatorname{inv} \alpha_{t1} z_1}{\operatorname{inv} \alpha_{t0} z_0}.$$

Здесь S_{n0} и S_{n1} – толщины зубьев шевера и колеса в нормальных сечениях; α_{t0} и α_{t1} – профильные углы в торцевых сечениях; β_0 и β_1 – углы наклона зубьев шевера и колеса на их делительных цилиндрах.

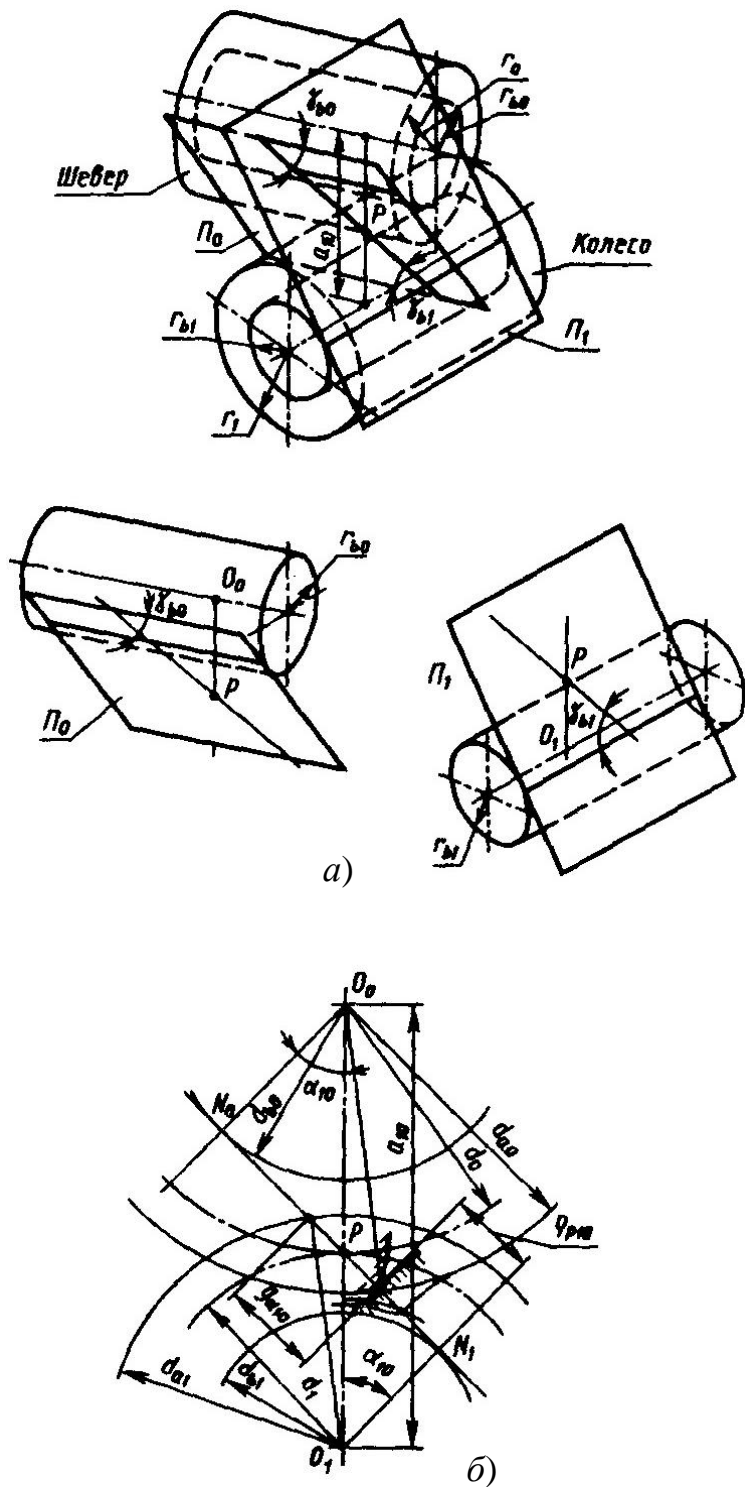


Рисунок 8 – Пространственный метод определения граничной точки при обработке шевером зубьев колеса

Радиус кривизны эвольвентой поверхности зуба колеса в последней точке профиля зуба колеса, правильно образованного шевером, т. е. граничной точке ее контакта с зубом шевера, определяется по формуле

$$\rho_{P10} = 0,5 \left(\frac{\sqrt{d_{w1}^2 - d_{b1}^2}}{\sin \gamma_{b1}} + \frac{\sqrt{d_{w2}^2 - d_{b0}^2} - 2\rho_{a0}}{\sin \gamma_{b0}} \right) \sin \gamma_{b1},$$

где ρ_{a0} – радиус кривизны эвольвентного профиля зуба шевера в точке на окружности его вершин;

$$\rho_{a0} = 0,5\sqrt{d_{a0}^2 - d_{b0}^2},$$

γ_{b0} и γ_{b1} – углы подъема винтовых линий зубьев шевера и колеса на основных цилиндрах и γ_0 и γ_1 – углы подъема их на делительных цилиндрах;

$$\cos\gamma_{b0(1)} = \cos\gamma_{0(1)} \cos\alpha_n.$$

Радиус кривизны ρ_{p12} эвольвентной поверхности зуба колеса в граничной точке рабочего участка при зацеплении его с парным колесом определяют по формуле $\rho_{p12} = a_{12} \sin\alpha_{12} - \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2}$.

Для обеспечения правильного зацепления колеса, обработанного шевером, с парным необходимо, чтобы радиус кривизны ρ_{p12} профиля зуба колеса в граничных точках при зацеплении с парным колесом был больше, чем радиус кривизны при зацеплении с шевером: $\rho_{p12} > \rho_{p10}$ (рис. 8, б).

Для правильной обработки шевером колеса степень перекрытия ε_γ , должна быть не менее 1:

$$\varepsilon_\gamma = \frac{g_{a10}}{\pi m_n \sin\gamma_{b1} \cos\alpha}.$$

При нарушении указанных условий необходимо изменить высоту головки зуба шевера, распределение припуска на его переточку.

Инструмент для обработки зубьев колес при шевинговании должен обеспечить рациональную форму припуска. Скольжение зубьев шевера по обрабатываемой заготовке, обеспечивающее процесс резания, происходит только на боковых сторонах зубьев. На вершине зуба (по окружности вершин) шевера скольжение отсутствует, поэтому ее нужно исключить из работы, уменьшить на нее нагрузку. Для этого припуск под шевингование уменьшают у окружности впадин заготовки колеса (рис. 9). Это обеспечивается соответствующим местным утолщением δ_1 на длине b_1 зубьев инструментов, предназначенных для обработки колес под шевингование. Утолщение равно припуску, оставляемому на шевингование.

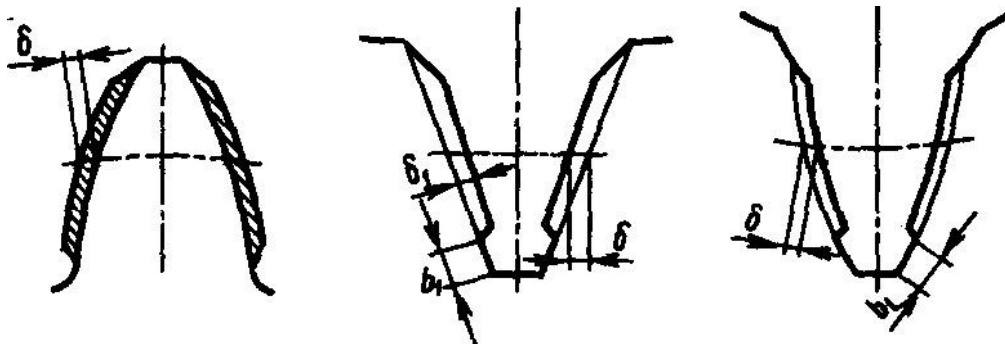


Рисунок 9 – Форма припуска зубьев колес под шевингование и инструмент для их обработки

3 КОНСТРУКЦИИ ШЕВЕРОВ

Мелкомодульные шеверы имеют специфическую форму стружечных канавок. Шеверы с модулем $m < 2$ мм трудно, а при меньших модулях невозможно, сделать с долблеными канавками на боковых сторонах зубьев. Для образования режущих кромок их зубья прорезают сквозными канавками трапецевидальной формы (рис. 10). Канавки делают на шеверах с $m = 1...1,75$ с углом профиля 8° , шагом $p_k = 2,1...3$ мм, глубиной большей высоты профиля зуба $k = 3...5,6$ мм; ширина дна впадины $e_k = 0,8$ мм. Шеверы этой конструкции имеют шлифованную не только заднюю поверхность зубьев, но и переднюю поверхность канавки, более качественные режущие кромки и, следовательно, лучшие режущие свойства. Их перетачивают путем шлифования канавки, что не требует специального оборудования.

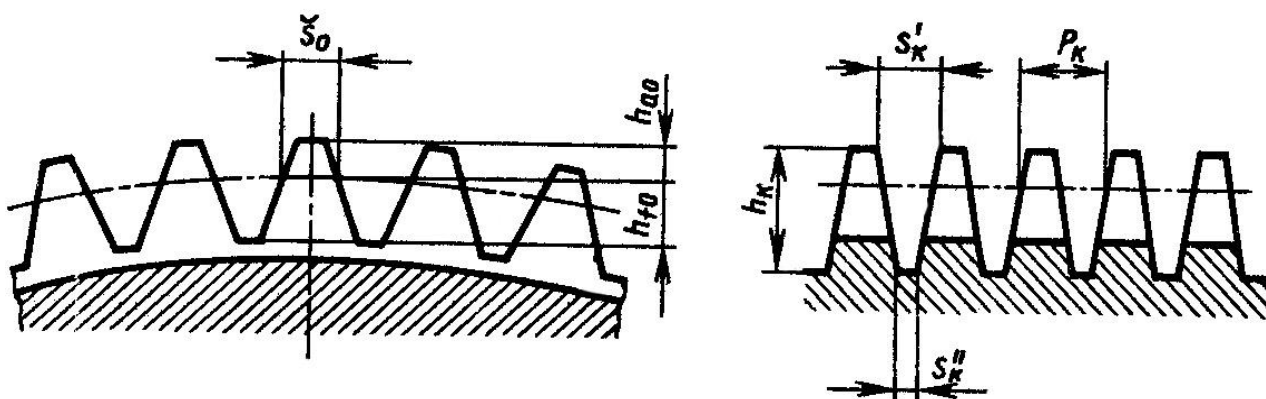


Рисунок 10 – Зубья мелкомодульных шеверов

Усовершенствование конструкций шеверов. Существуют следующие; пути совершенствования конструкций шеверов и методов шевингования: повышение режущих свойств, стойкости и работоспособности инструмента и создание конструкций и методов шевингования, снижающих время и трудоемкость обработки, упрощающих кинематику процесса и конструкцию станка, создание шеверов с особой формой зубьев (бочкообразных).

Для повышения режущих свойств и работоспособности шеверов создаются конструкции с режущими элементами из твердых сплавов, алмазные и из композита. Режущие элементы из твердых сплавов применяют в составных и сборных конструкциях. Составные конструкции с отдельными зубьями, закрепляемыми в корпусе пайкой, и сборные конструкции с отдельными зубьями, закрепляемыми механически клиньями или винтами (рис. 11, а, б), большого применения пока не получили.

Шеверы с режущим слоем из абразивных, алмазных и композиционных материалов делают составной конструкции (рис. 11, в). Обод делают с зубьями из этих материалов (аналогично шлифовальным кругам) или на металлические зубья корпуса наносят слои указанных материалов. Эти шеверы применяют для обработки термически обработанных колес с высокой твердостью, для снятия заусенцев и устранения других пороков зубьев.

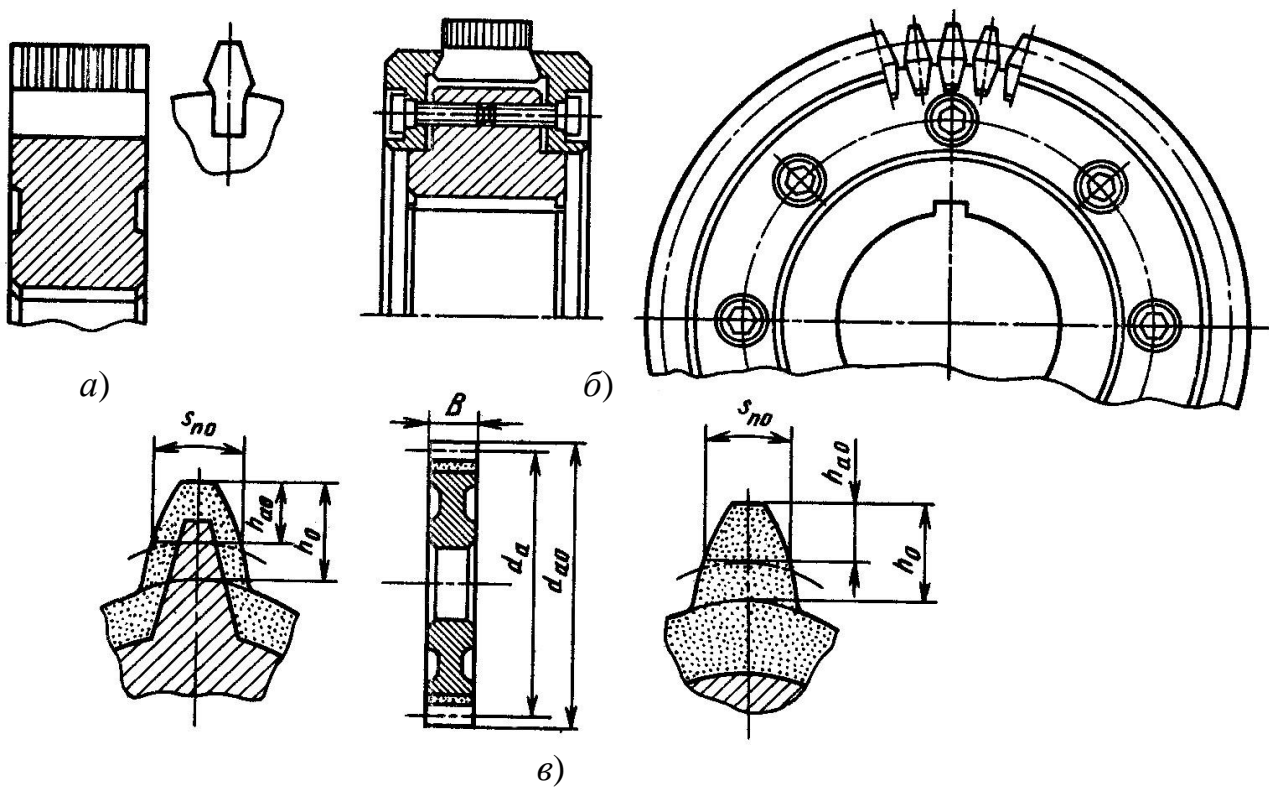


Рисунок 11 – Шеверы твердосплавные (а и б) и алмазные (в)

Для повышения производительности процесса шевингования созданы шеверы однопроходные и шеверы с измененным направлением продольной подачи. Зубья однопроходных шеверов с одной стороны равномерно уменьшаются по толщине на длине около $2/3$ длины зуба шевера (рис. 12, а), образуя заборную часть. На остальной длине зубья имеют нормальный требуемый размер, они являются калибрующими и осуществляют окончательную обработку профиля зубьев колеса. Эти шеверы в процессе обработки не требуют радиального сближения осей шевера и колеса. Обработка производится за один двойной ход: при первом ходе коническая заборная часть зубьев производит предварительное удаление припуска, калибрующая часть при прямом и обратном ходе производит окончательную обработку профиля зубьев колеса. Уменьшение толщины зубьев должно быть немного больше припуска на шевингование. Угол скрещивания осей равен 2 .

Шеверы с изменением направления подачи. При применении этих шеверов радиальная и продольная подачи совмещаются и заменяются подачей под определенным углом ϵ к оси обрабатываемой заготовки (рис. 12, б-е). При этом зубья шевера постепенно углубляются в обрабатываемую поверхность зубьев заготовки и производят их обработку. Линия кратчайшего межосевого расстояния a_{10} , в окрестностях которой происходит окончательное образование профиля зубьев колеса, перемещается по длине зубьев как заготовки, так и шевера из положения I в положение II. Это обеспечивает перемещение режущей части по длине зубьев шевера и вводит в работу все его режущие кромки. В соответствии с этим ширина B_0 режущей части шевера зависит от угла Σ скрещивания

осей и угла подачи ε . В зависимости от угла ε определяют длину l необходимого рабочего хода:

$$B_0 = \frac{B_1 \sin \varepsilon}{\sin(\varepsilon \pm \Sigma)}; l_0 = \frac{B_1 \sin \Sigma}{\sin(\varepsilon \pm \Sigma)}. \quad (8)$$

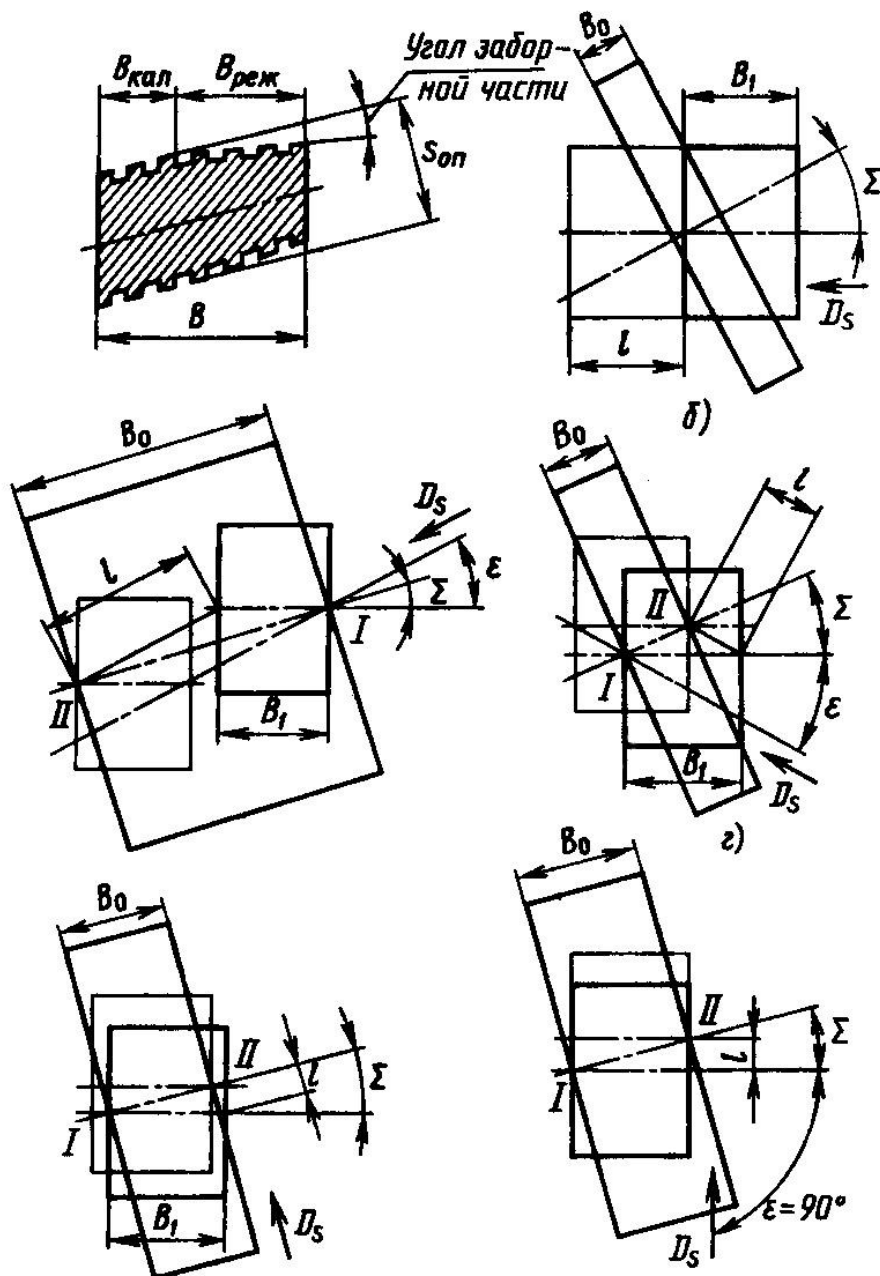


Рисунок 12 – Шеверы однопроходные и с измененным направлением подачи

Шеверы этого типа называют шеверами для шевингования с угловой подачей при $0 < \varepsilon < 90 - \Sigma$ (рис. 12, в и г), при $\varepsilon = 90 - \Sigma$ – шеверами с минимальной подачей (рис. 12, б) и при $\varepsilon = 90^\circ$ – шеверами с касательным направлением подачи (рис. 12, а). В последнем случае (при $\varepsilon = 90^\circ$) не происходит смещения режущих кромок по длине зубьев заготовки. Поэтому режущие кромки (канавки) на зубьях делают смещенными по длине зуба. Последний метод может быть

применен для обработки колес с бочкообразной продольной формой зубьев, для чего зубья шевера должны иметь соответствующую вогнутую форму в продольном направлении.

Дисковые шеверы применяют для обработки цилиндрических колес наружного зацепления, они могут быть также применены и для обработки колес с внутренними зубьями.

4 АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИСКОВЫХ ШЕВЕРОВ

Дисковый шевер представляет собой корригированное цилиндрическое колесо с режущими лезвиями, образованными канавками вдоль эвольвентного профиля зубьев.

По способу выполнения канавок шеверы подразделяются на два типа.

Дисковые шеверы 1-го типа имеют сквозные канавки, которые прорезают их зубья на полную высоту (рис. 13). Как правило, эти канавки имеют трапециевидальную форму. Шеверы 1-го типа перетачиваются путем шлифования боковых сторон канавок и изготавливаются для шевингования мелко модульных колес ($m \leq 1,75$).

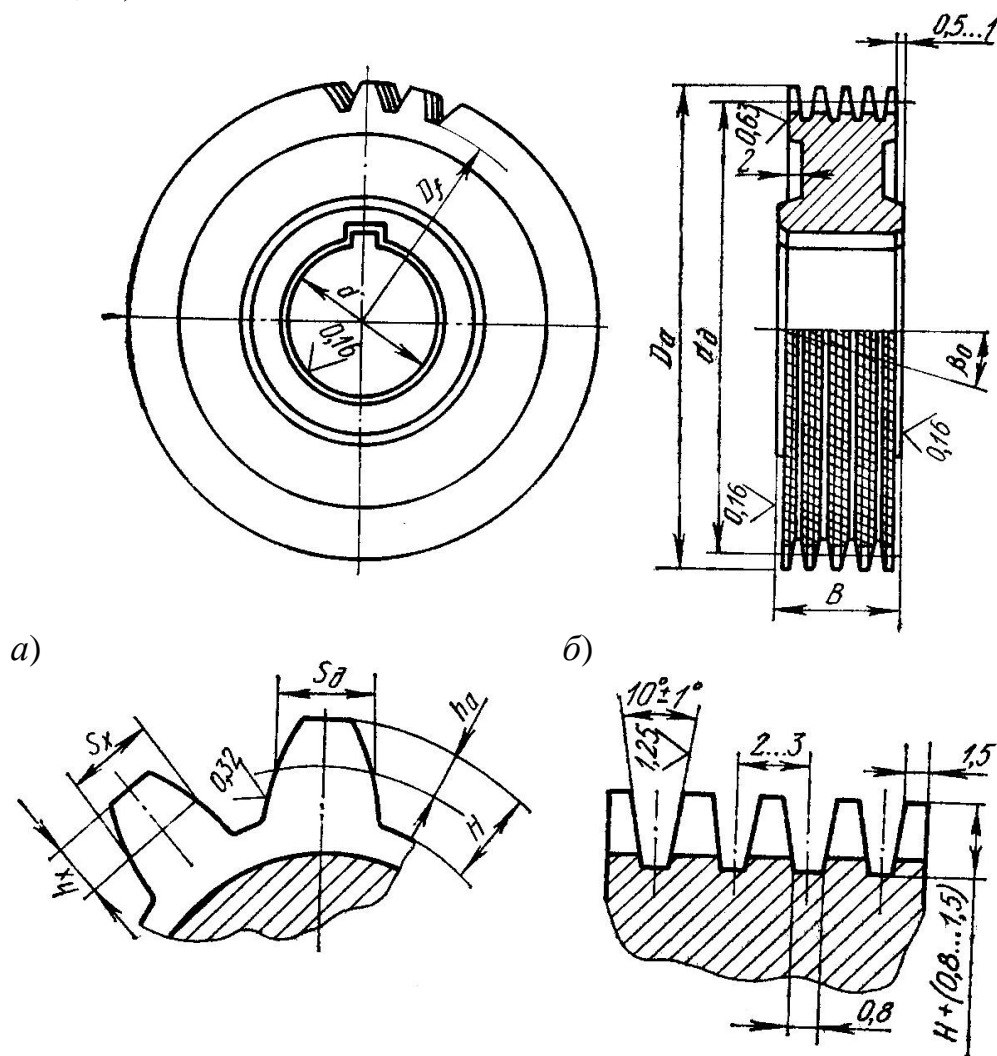


Рисунок 13 – Шевер дисковый мелко модульный:
 а) профиль зуба в нормальном сечении; б) профиль кольцевых канавок

Дисковые шеверы 2-го типа снабжаются канавками прямоугольной формы, прорезанными на каждой стороне зуба на глубину l (рис. 14). Такие шеверы перетачиваются путем перешлифовки зубьев по профилю с соответствующим шлифованием наружного диаметра и предназначены для модуля 1,75 и более.

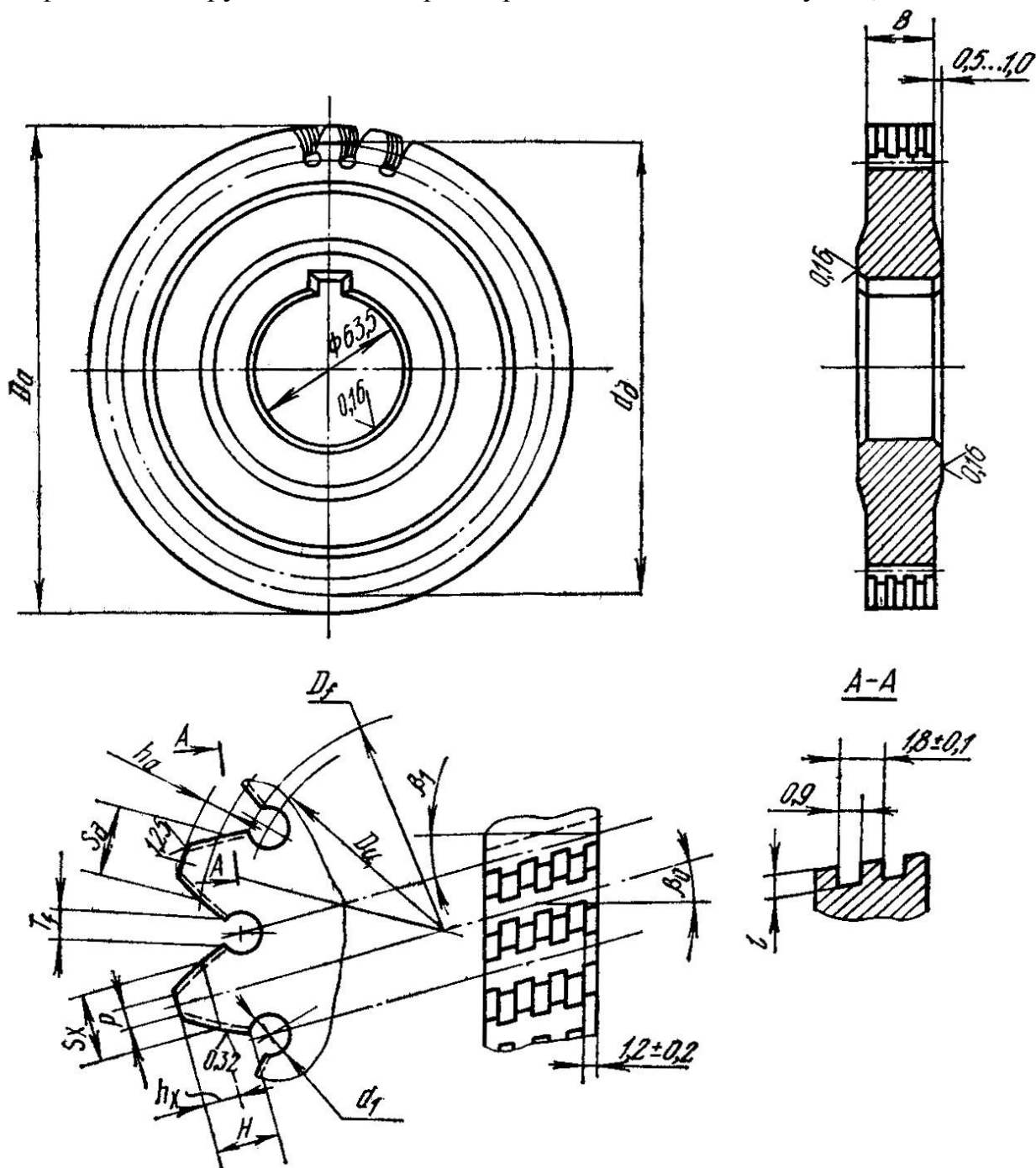


Рисунок 14 – Шевер дисковый

Исходными данными для расчета шеверов являются параметры шевингуевого колеса и сопряженного с ним в зубчатой паре в нормальном сечении к направлению зубьев колеса.

Число зубьев шевера выбирается по возможности большим (для получения высокого коэффициента перекрытия при зацеплении шевера с колесом) и определяется по формуле

$$z_0 = \frac{D_a}{m_t} + 2,$$

где D_a – максимально допустимый по станку наружный диаметр шевера; m_t – модуль торцевой.

В алгоритме (рис. 15) число зубьев шевера определяется исходя из предварительно заданного во входной информации номинального диаметра шевера D_H .

Направление и величина угла наклона β_0 винтовой линии зубьев шевера на его делительном цилиндре определяется по алгоритму из условия обеспечения угла скрещивания $\varphi = 15^\circ$. Если из конструктивных соображений угол скрещивания должен быть меньшим (наличие препятствия при шевинговании), угол наклона необходимо задать во входной информации.

Корригирование шевера производится с учетом оптимального расположения припуска на переточку шевера по профилю зуба, а также обеспечения условий правильного зацепления шевера с колесом и стойкости инструмента. Проверка выполнения условий правильного зацепления выполняется в алгоритме блоком операторов, объединенных подпрограммой под номером 100. Стойкость инструмента проверяется путем анализа заострения вершины зуба шевера (оператор 50).

Размеры канавок, приведенные на рис. 13 и 14 и частично определяемые алгоритмом расчета, в известной степени зависят от твердости и вязкости обрабатываемого материала и поэтому могут рассматриваться как рекомендуемые.

Ширина шевера B , определяемая в алгоритме как функция от модуля и номинального диаметра шевера D_H (блок 66), устанавливается в соответствии с табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость номинального диаметра шевера

m	D_H				
	≤ 85	≤ 180	≤ 240	≤ 280	≤ 500
$\leq 0,7$	12	15	20	25	30
$\leq 1,5$	15	20	20	25	30
$\leq 3,75$	25	20	25	30	40
$\leq 6,5$	20	20	25	40	40
$\leq 12,0$	20	25	25	40	40

Пример образца выполнения дискового мелко модульного шевера приведен в приложении А, не мелко модульного в приложении Б.

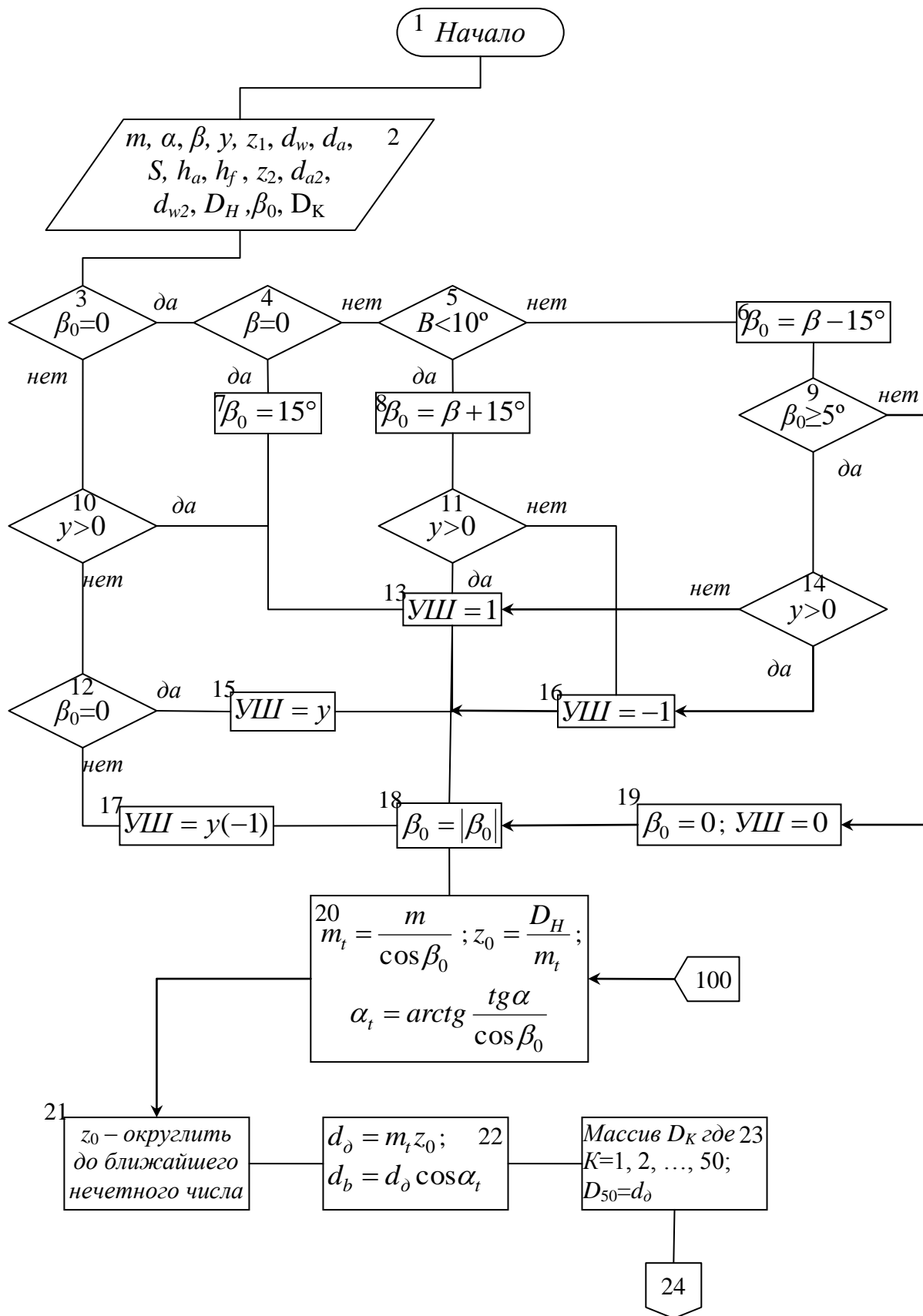
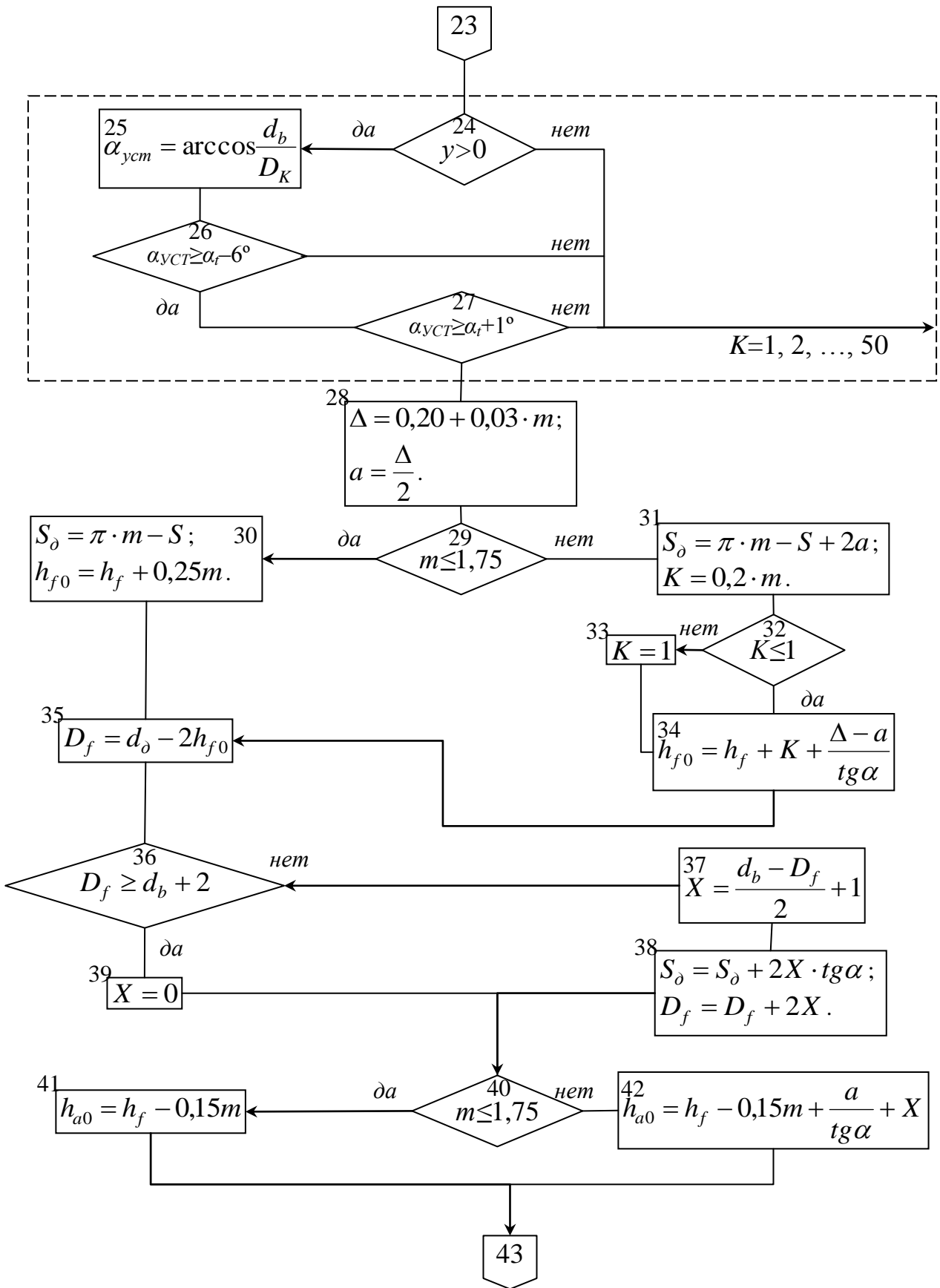
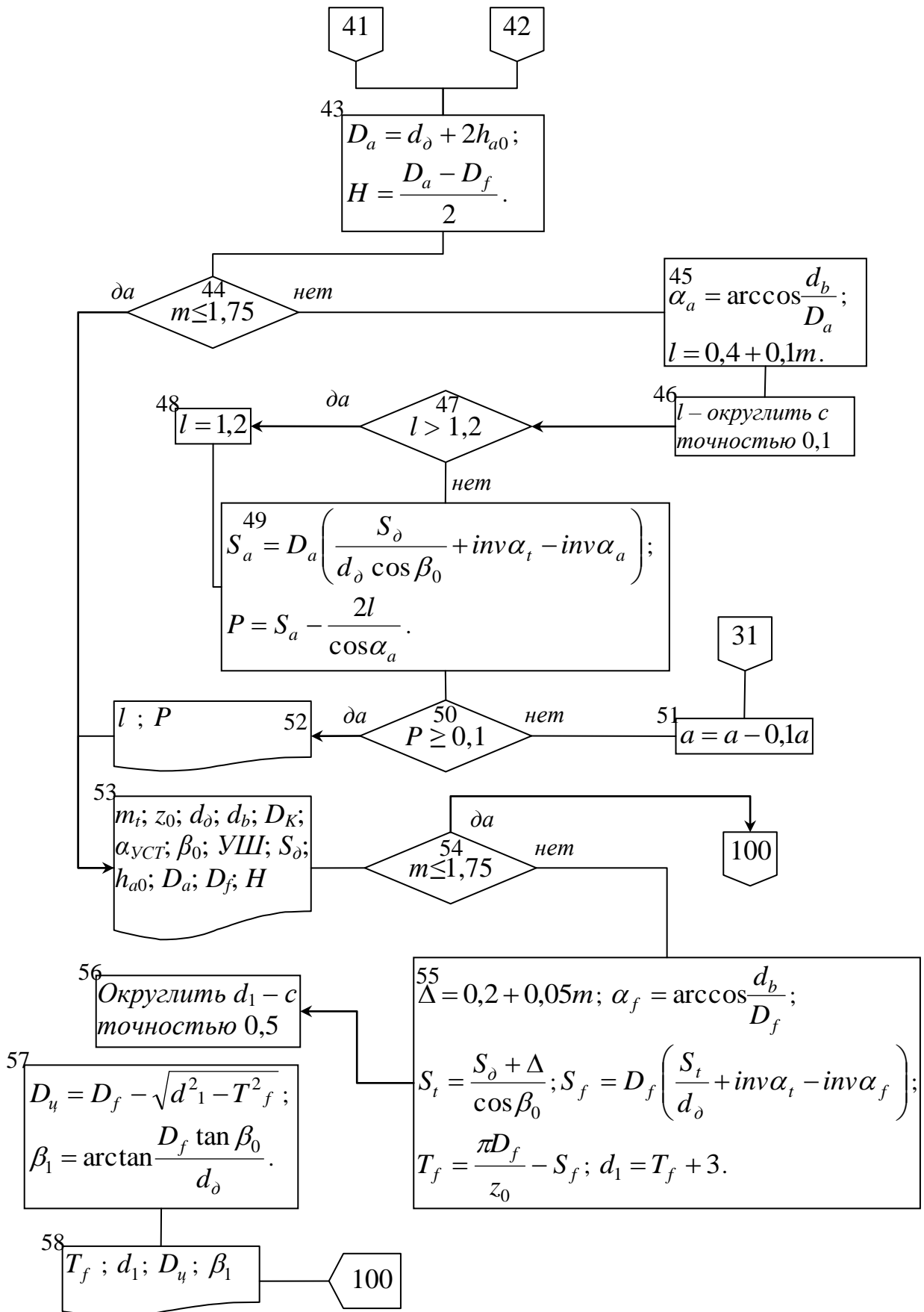


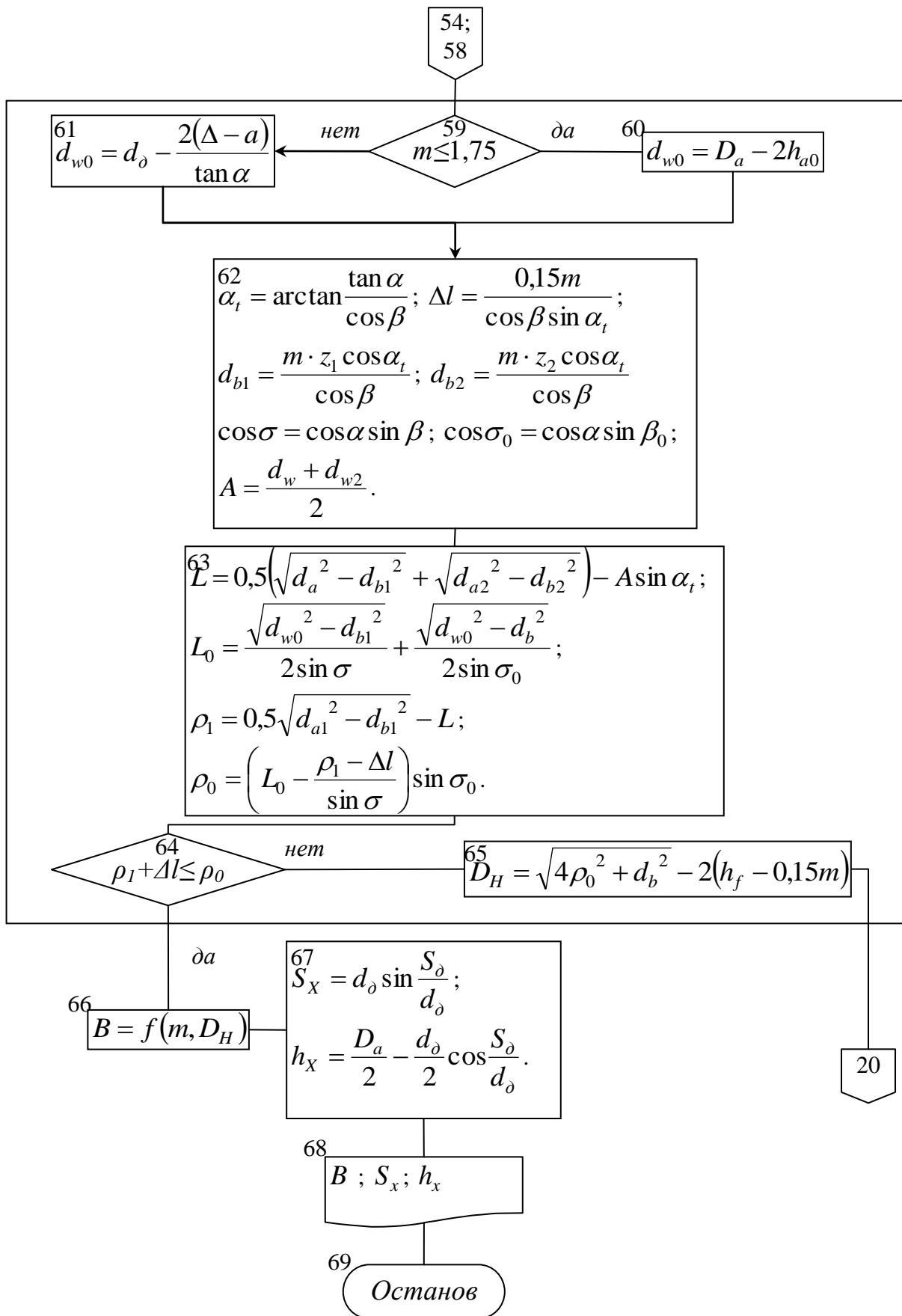
Рисунок 15 – Алгоритм проектирования дисковых шеверов



Продолжение рисунка 15



Продолжение рисунка 15



Продолжение рисунка 15

Входные данные

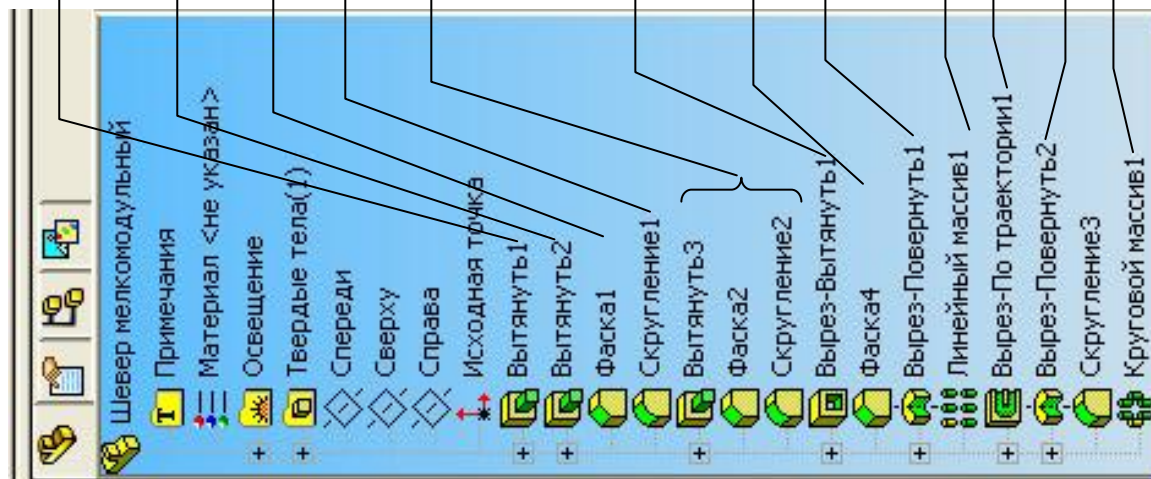
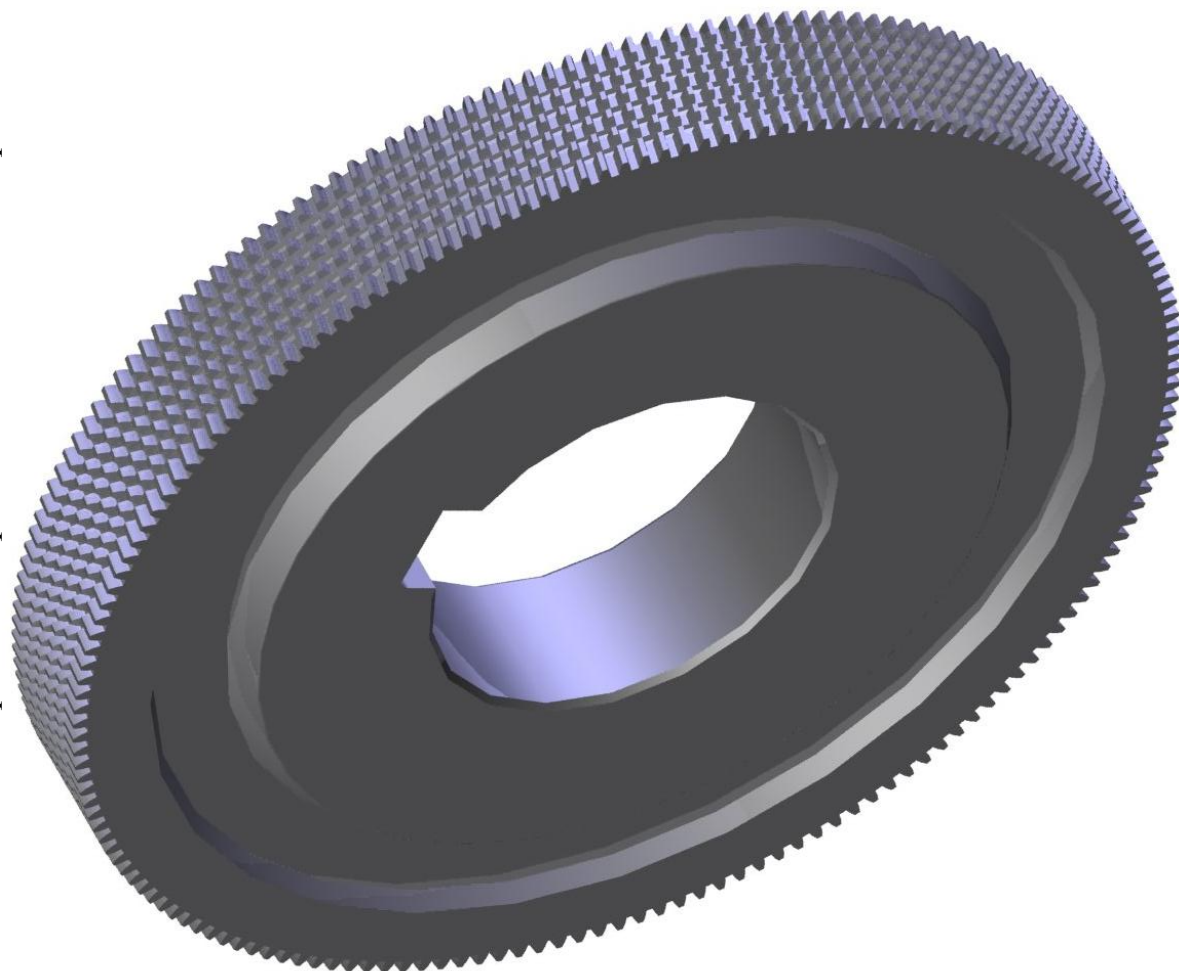
m – модуль нормальный, мм
 α – угол зацепления (профильный угол), град
 β – угол наклона зубьев на делительном цилиндре, град
 y – направление зубьев ($y = 1$ – правое, $y = -1$ – левое, $y = 0$ – прямое)
 z_1 – число зубьев шевингуемой шестерни
 d_w – начальный диаметр шевингуемой шестерни, мм
 d_a – наружный диаметр шевингуемой шестерни, мм
 S – толщина зуба по дуге окружности делительного диаметра, мм
 h_a – высота головки зуба шестерни, мм
 h_f – высота ножки зуба шестерни, мм
 z_2 – число зубьев сопряженного колеса
 d_{a2} – наружный диаметр сопряженного колеса, мм
 d_{w2} – начальный диаметр сопряженного колеса, мм
 D_H – номинальный диаметр шевера, мм
 β_0 – угол наклона зубьев шевера, град

Выходные данные

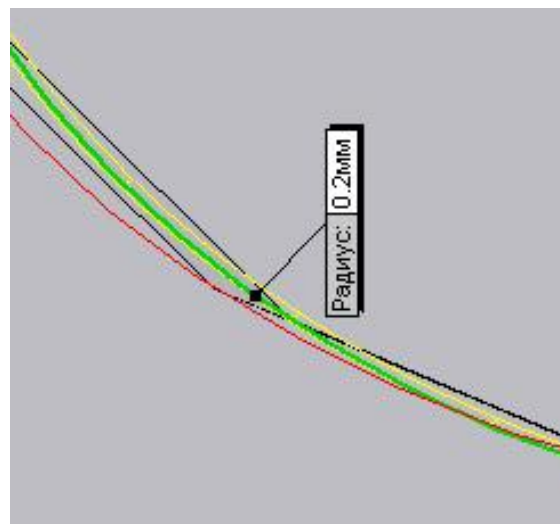
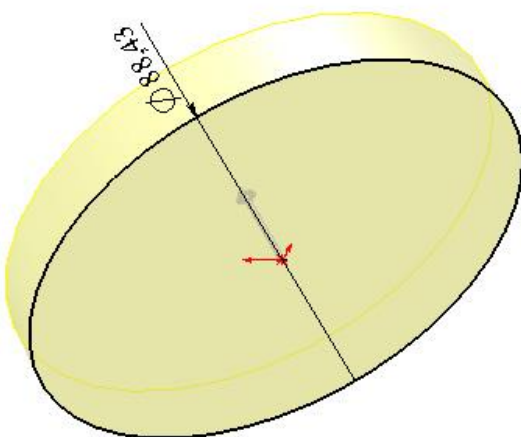
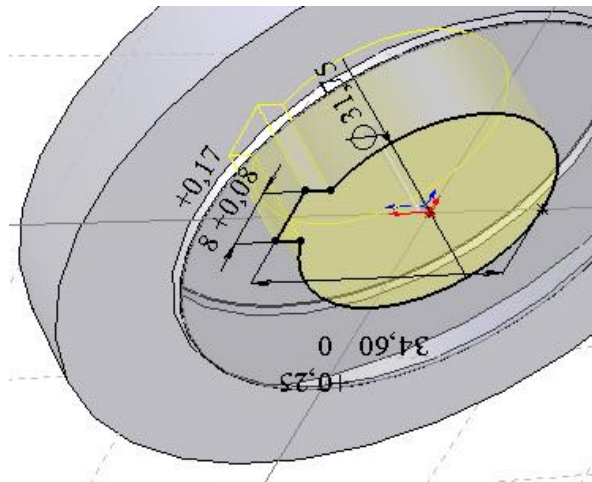
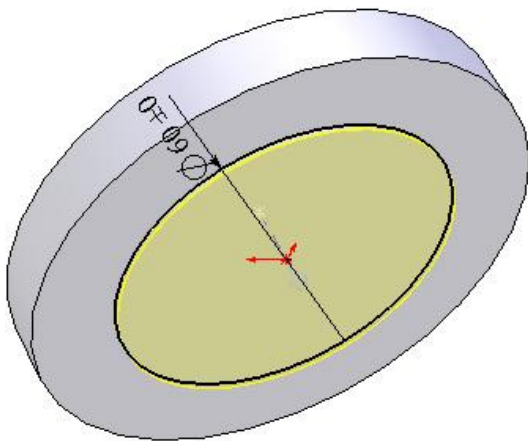
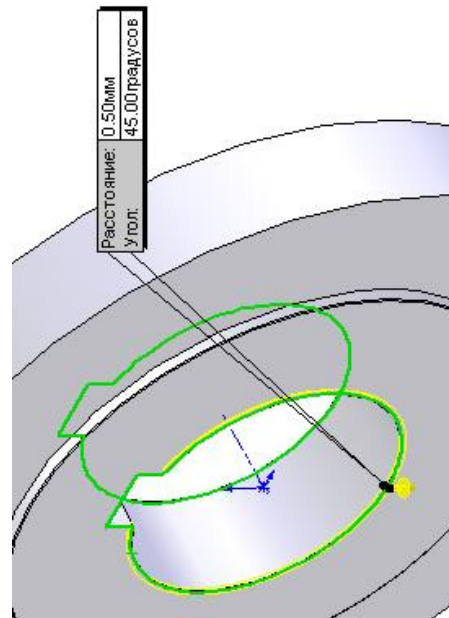
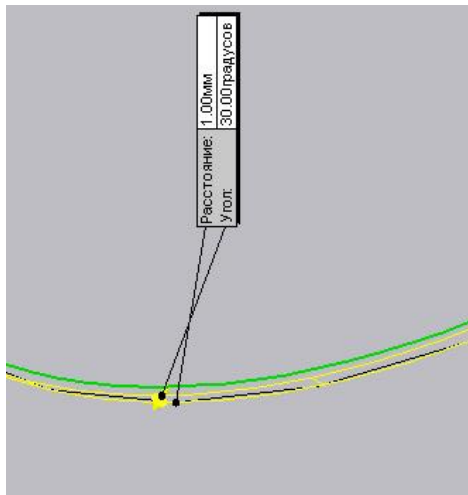
m_t – модуль торцевой
 z_0 – число зубьев шевера
 d_o – делительный диаметр шевера, мм
 d_0 – основной диаметр шевера, мм
 D_a – наружный диаметр шевера, мм
 D_f – внутренний диаметр шевера, мм
 D_K – диаметр основной окружности копира, мм
 $\alpha_{УСТ}$ – Угол установки стола при шлифовании профиля зуба, град
 S_D – толщина зуба по дуге, мм
 h_{a0} – высота головки зуба, мм
 S_x – толщина зуба шевера по хорде, мм
 h_x – высота головки зуба до хорды, мм
 H – полная высота зуба шевера, мм
 B – ширина шевера, мм
 $D_{Ц}$ – диаметр окружности центров отверстия для выхода гребенки, мм
 T_f – размер впадины у ножки зуба шевера после фрезерования
 d_1 – диаметр отверстий шевера для выхода гребенки при долблении канавок, мм
 β_1 – угол наклона оси отверстий для выхода гребенки, град
 p – величина площадки у вершины зуба после долбления канавок, мм
 $УШ$ – направление зубьев шевера ($УШ > 0$ – правое, $УШ < 0$ – левое)

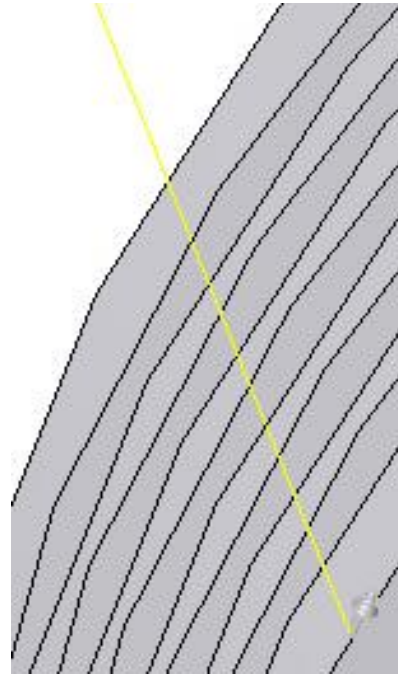
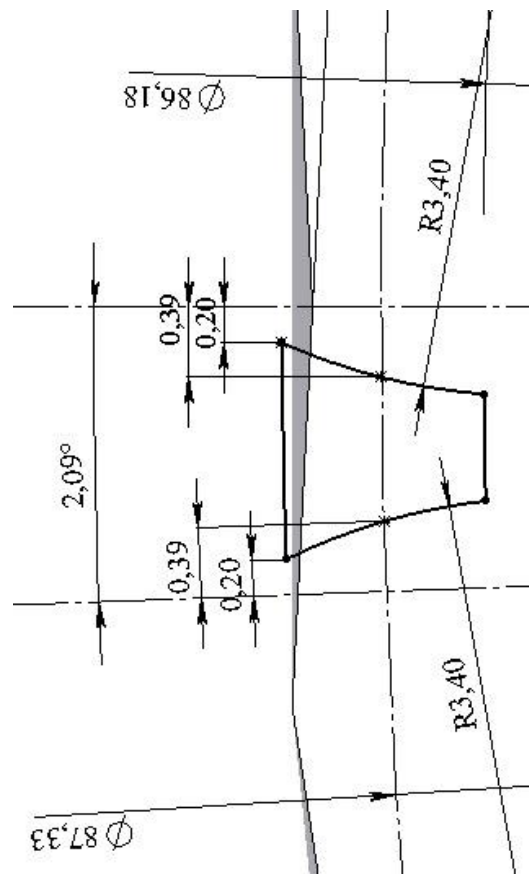
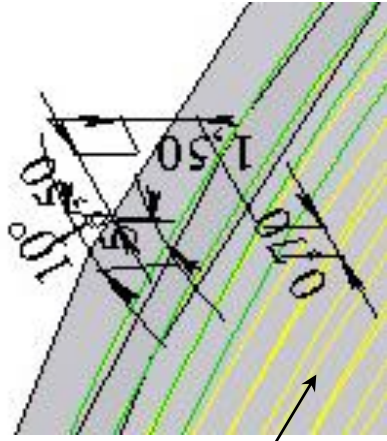
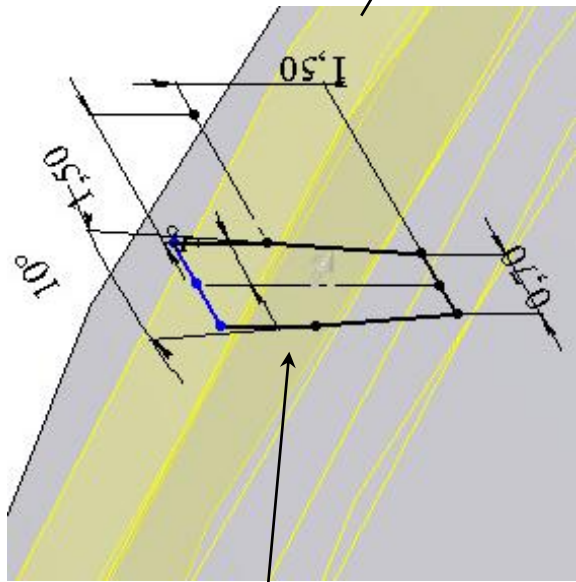
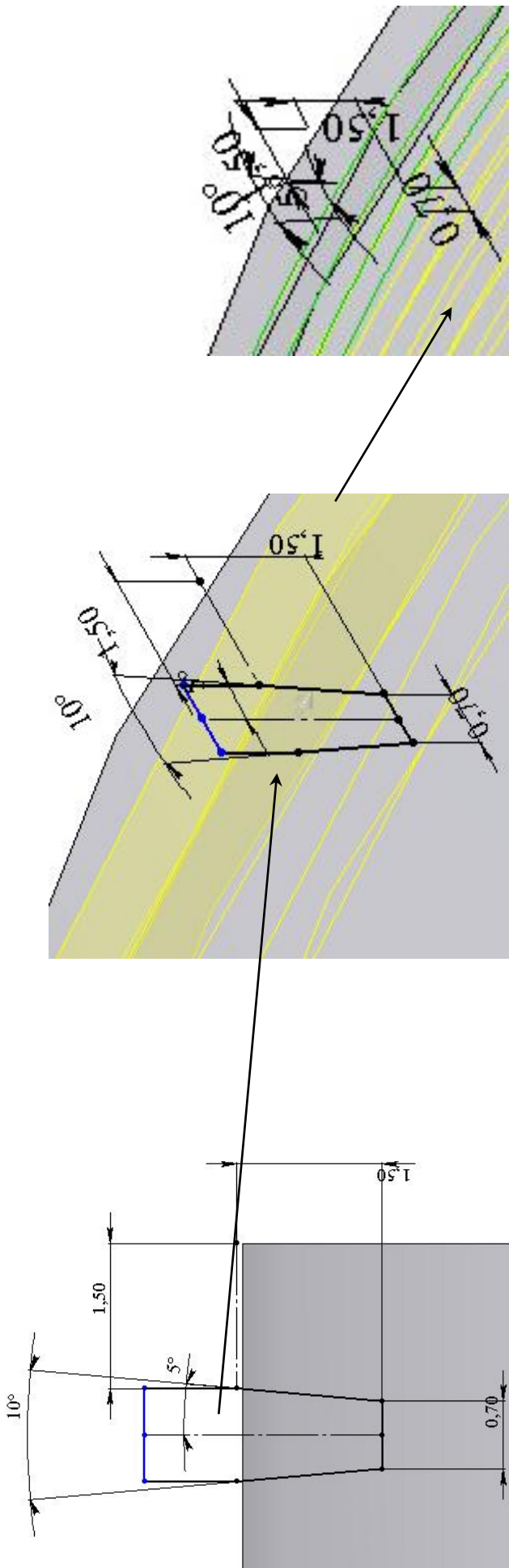
Приложение А

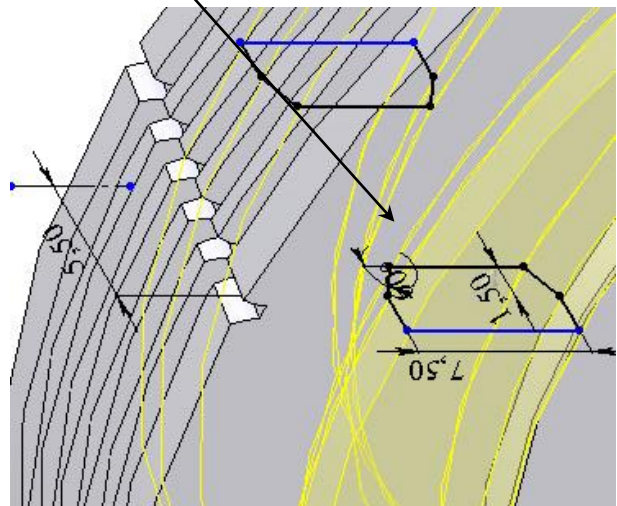
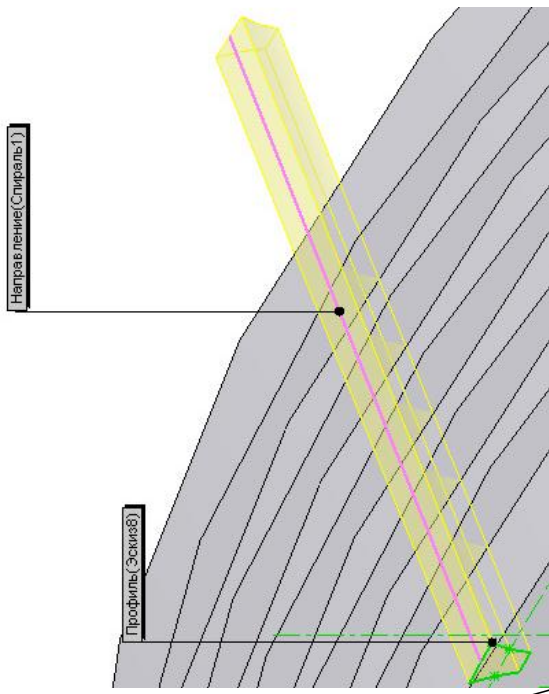
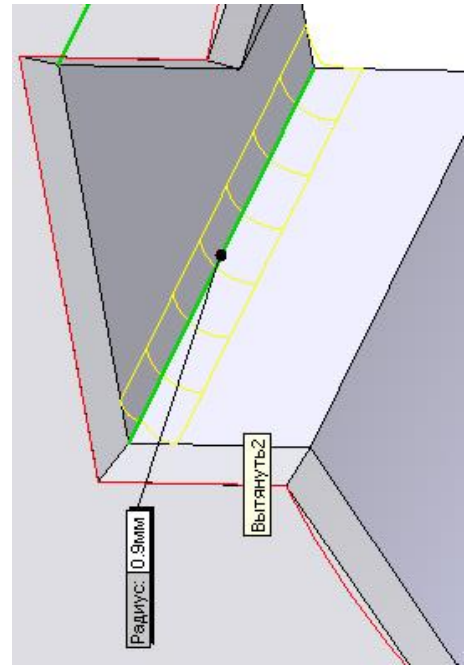
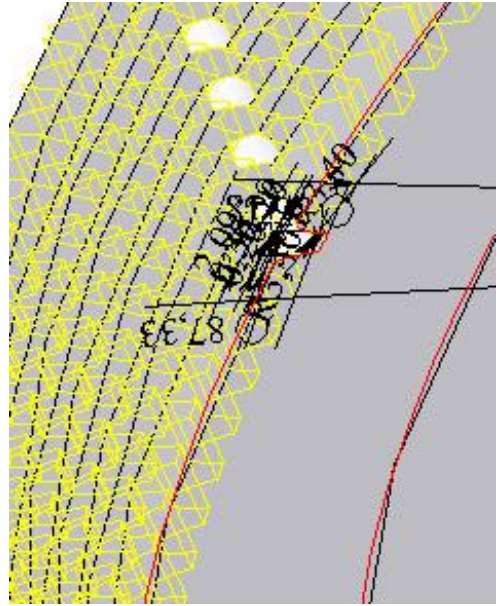
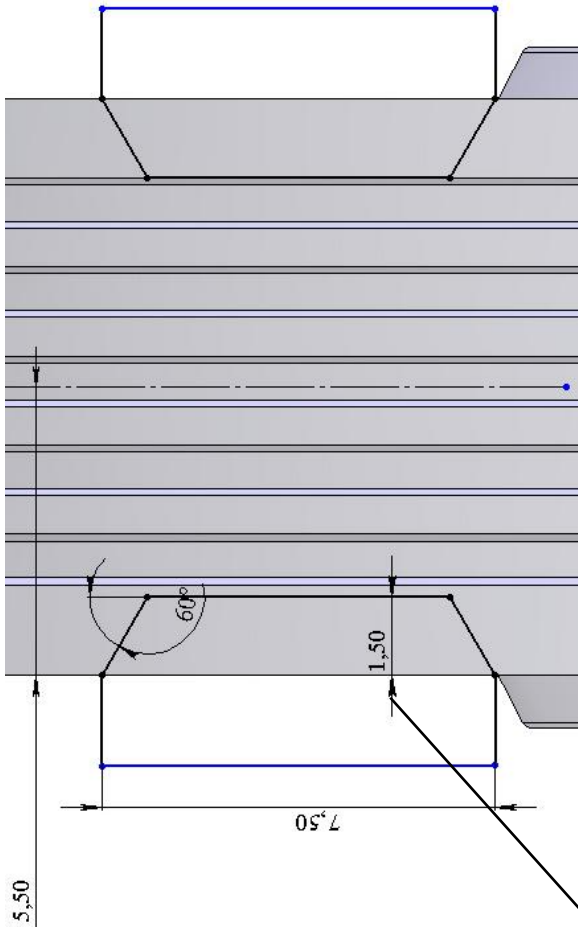
Построение твердотельной модели и чертежа дискового мелкозубного шевера в SolidWorks

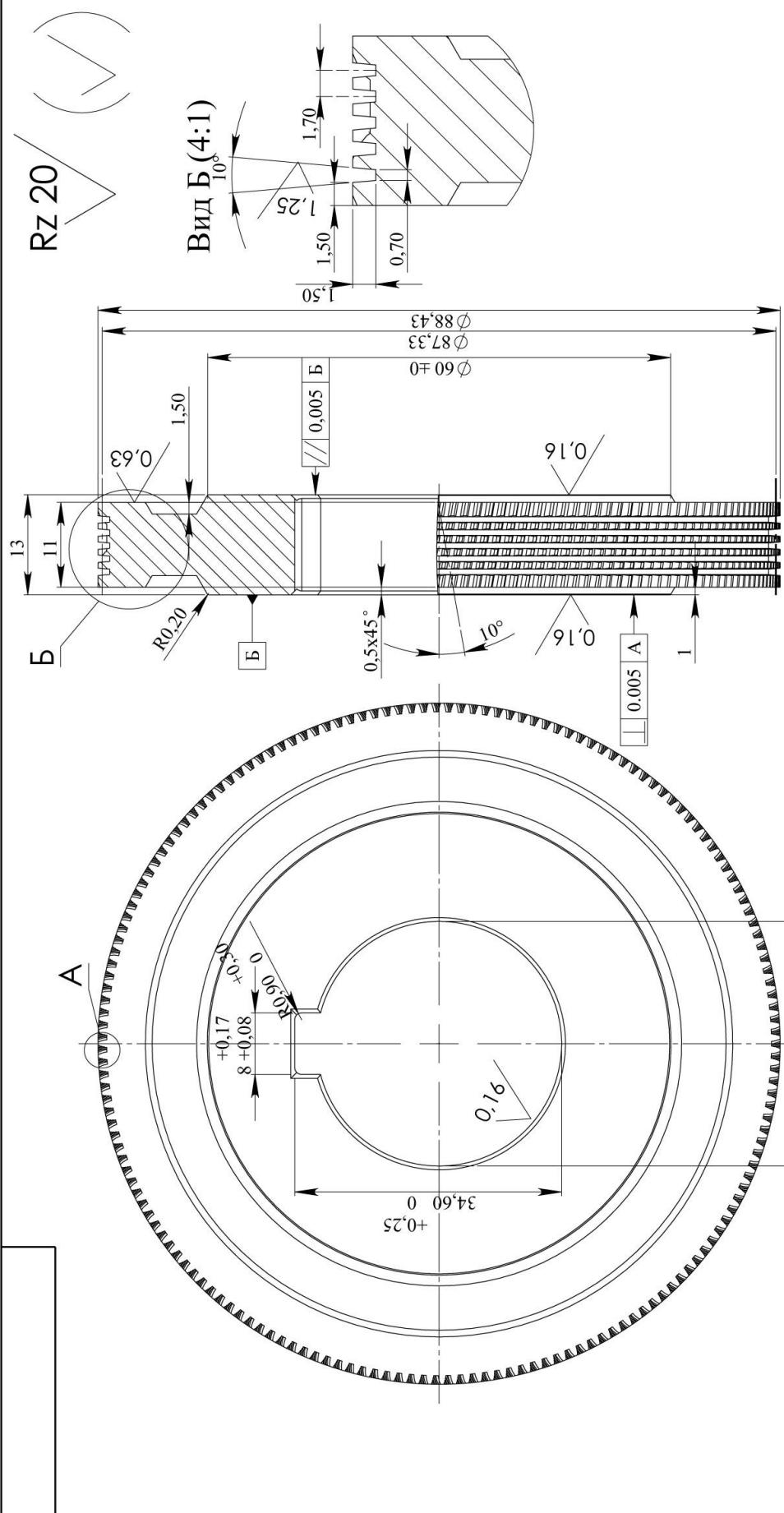


1. Вытягиваем диск шириной H и диаметром равным D_a .
2. Вытягиваем наружный буртик величиной $1 \dots 2$ мм
3. Создаем фаски на буртике
4. Создаем скругление на кромке буртика
5. Создаем такой же буртик с обратной стороны (возможно эти действия заменить на зеркальное отображение первого буртика)
6. Создаем эскиз посадочного отверстия со шпоночным пазом и вырезаем его.
7. Создаем фаски на кромках паза и отверстия
8. Создаем эскиз профиля канавки на цилиндре и вырезаем его по кругу
9. Массив канавок на цилиндре.
10. Вырезаем профиль зуба по витку.
11. Создаем канавку
12. Вырезаем необходимое количество зубьев (**Круговой массив от Выреза по траектории**)









1. Твердость режущей части шевера HRC 62...65 .
2. Предельные отклонения толщины шевера не должны быть более js16.
3. Неуказанные предельные отклонения диаметра буртиков - h16, остальные IT16/2.
4. Периодические испытания должны проводиться не реже одного раза в 3 года и не менее чем на трех шеверах.

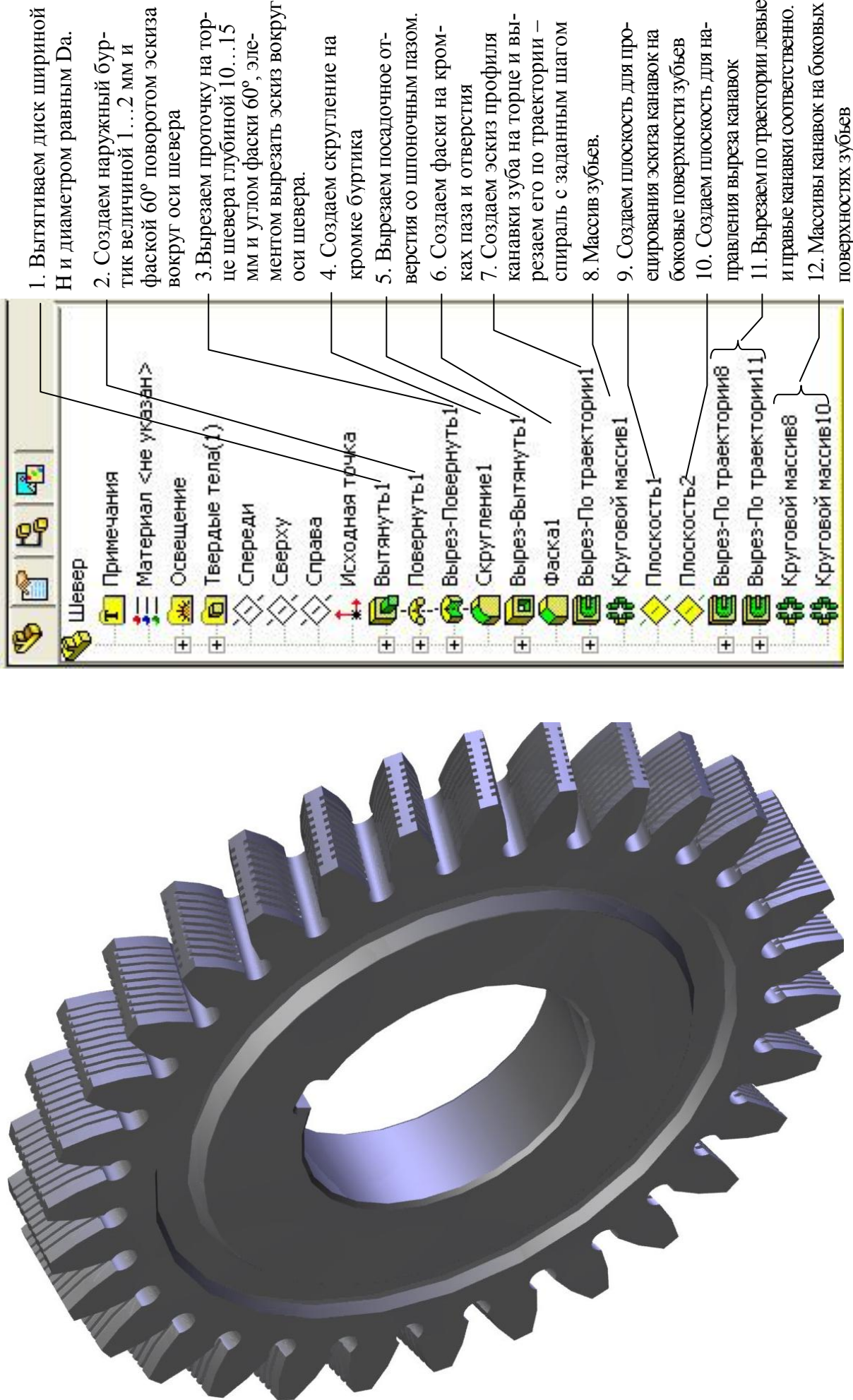
Лит.	Масса	Масштаб
И		2:1
Лист 1	Листов 1	
ИП-98-1		

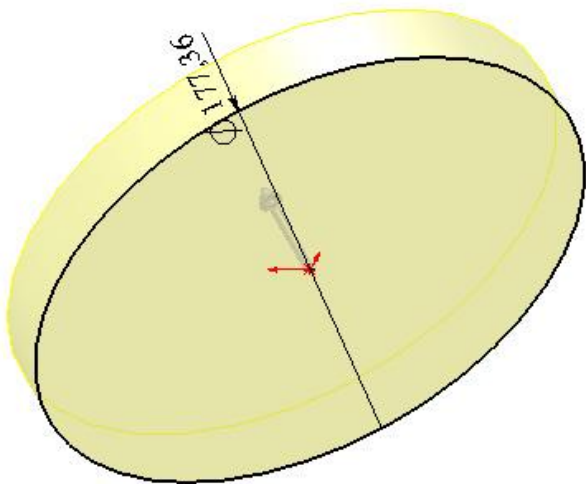
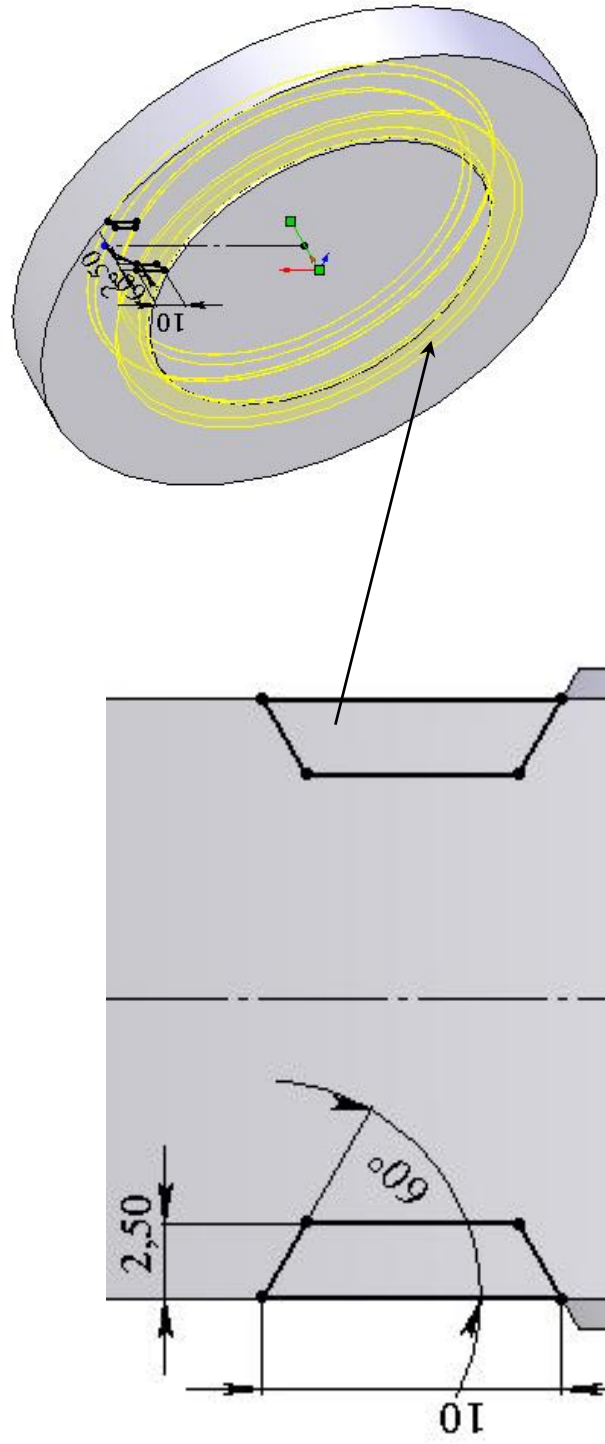
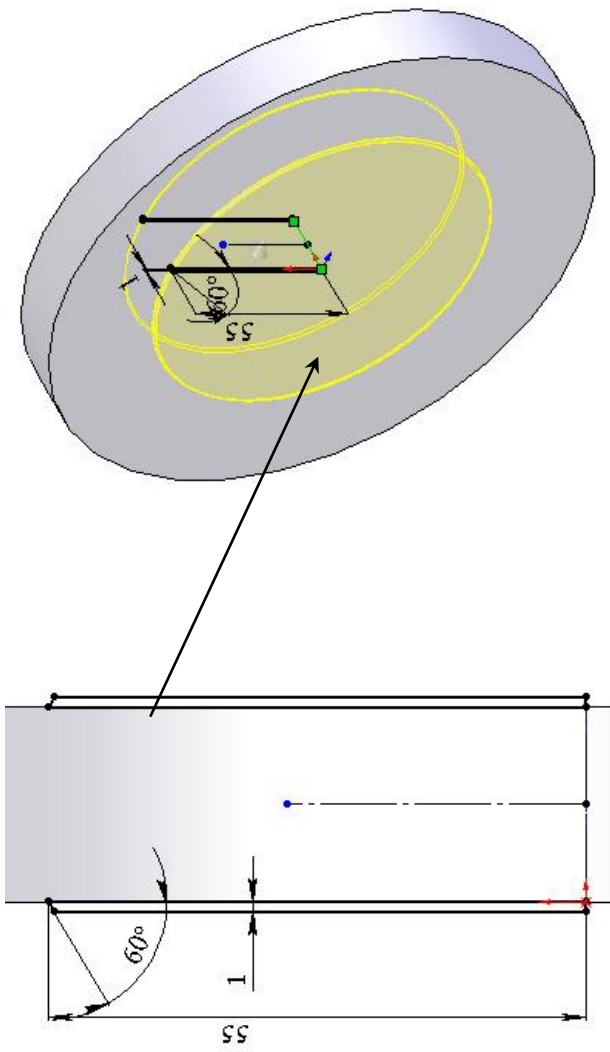
Изм.Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб. Иванов	Сидоров	12.03.04	12.03.04
Т. контр.			
Рук.			
Н. контр.			
Утв.			

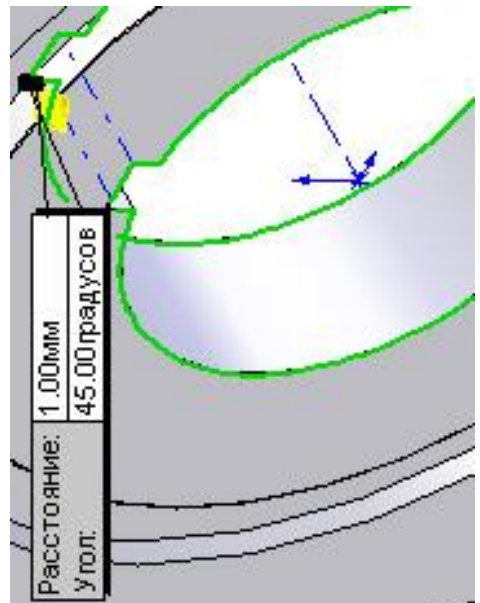
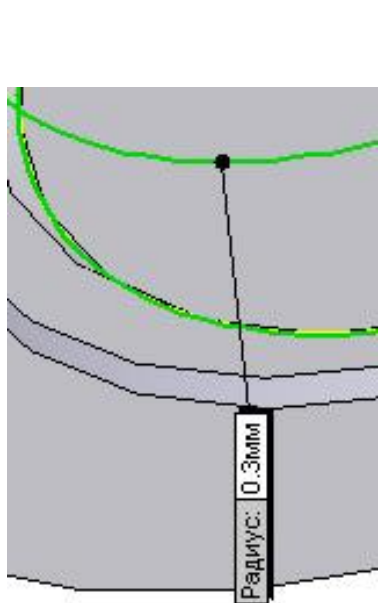
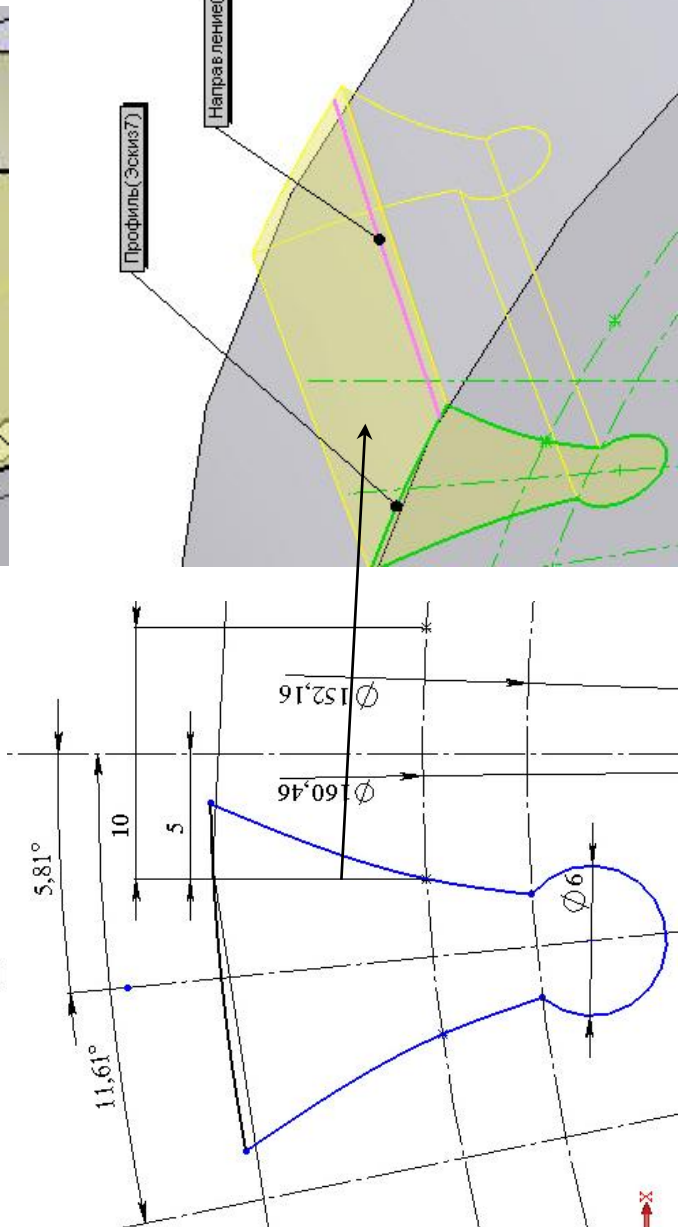
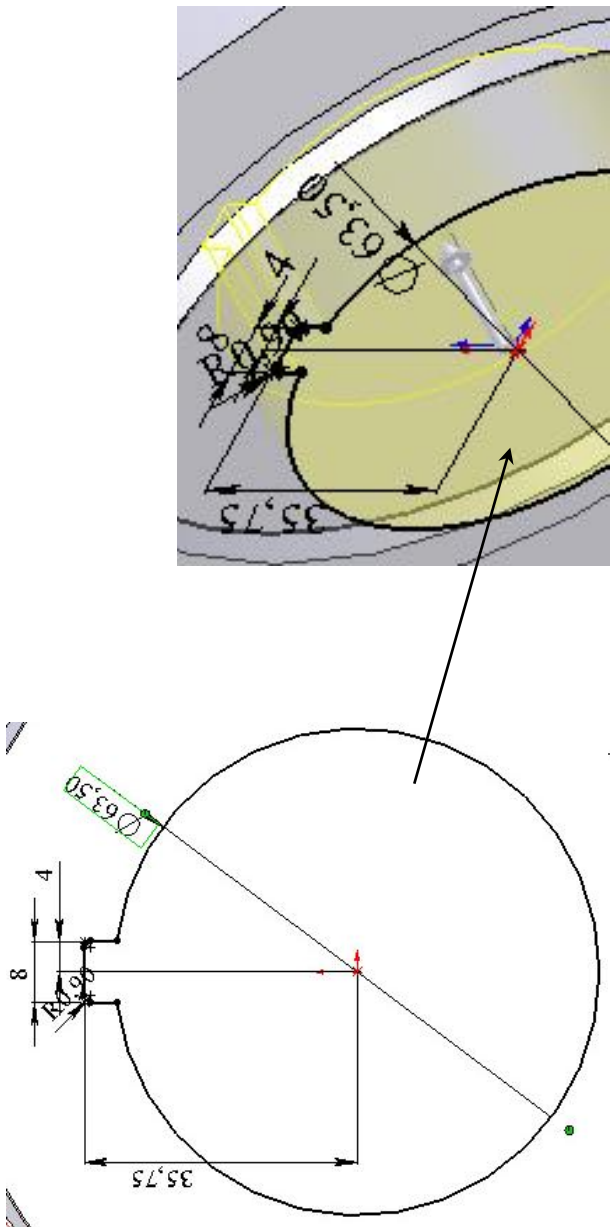
Шевер мелкомодульный
Формат А3

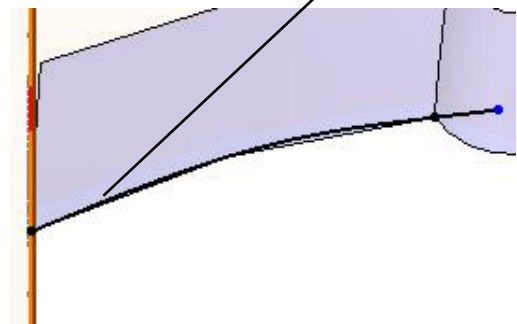
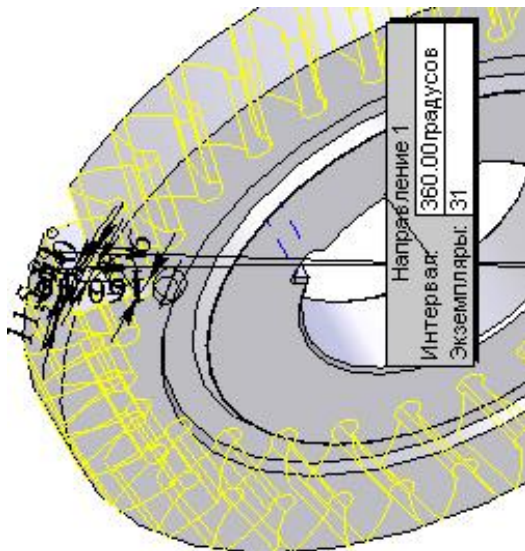
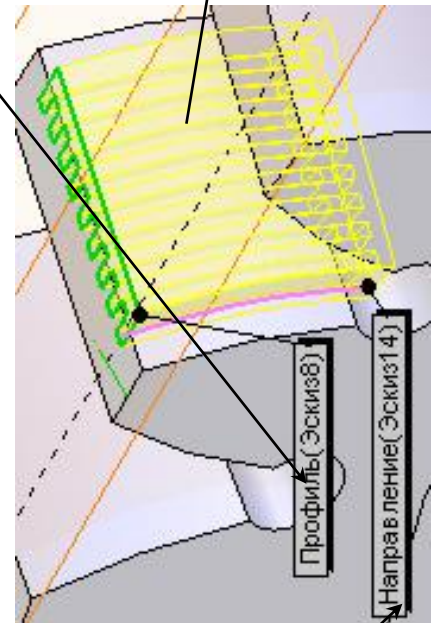
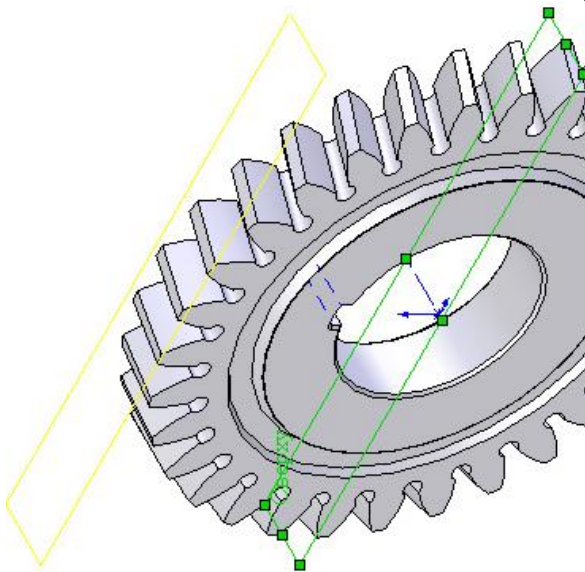
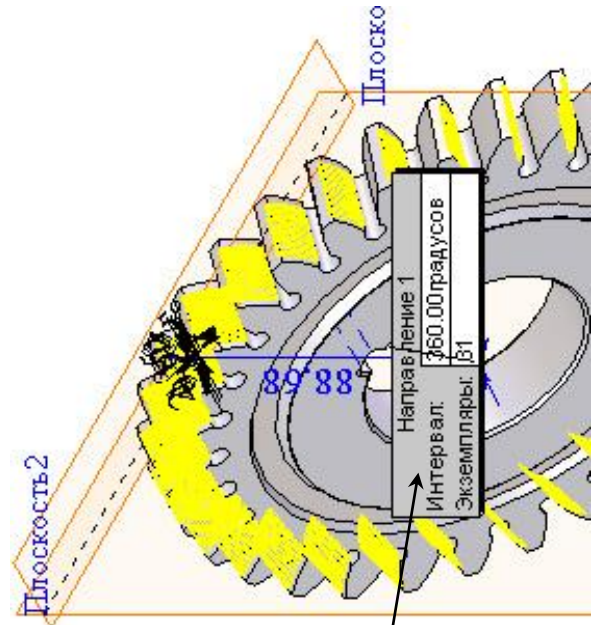
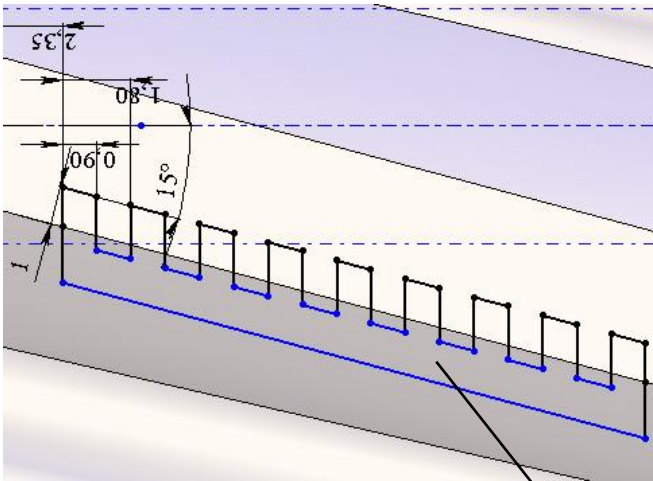
Приложение Б

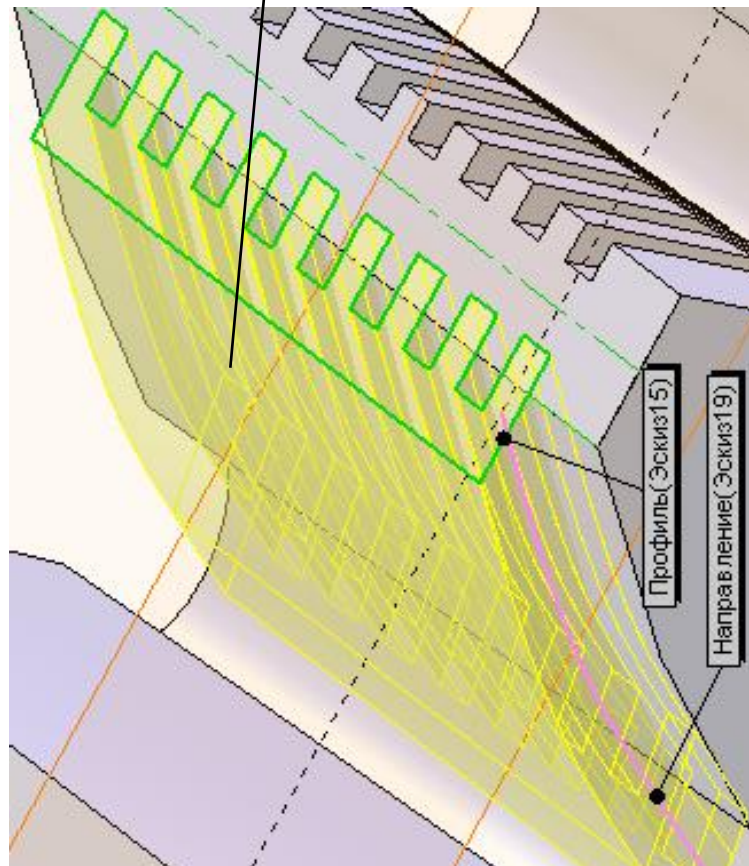
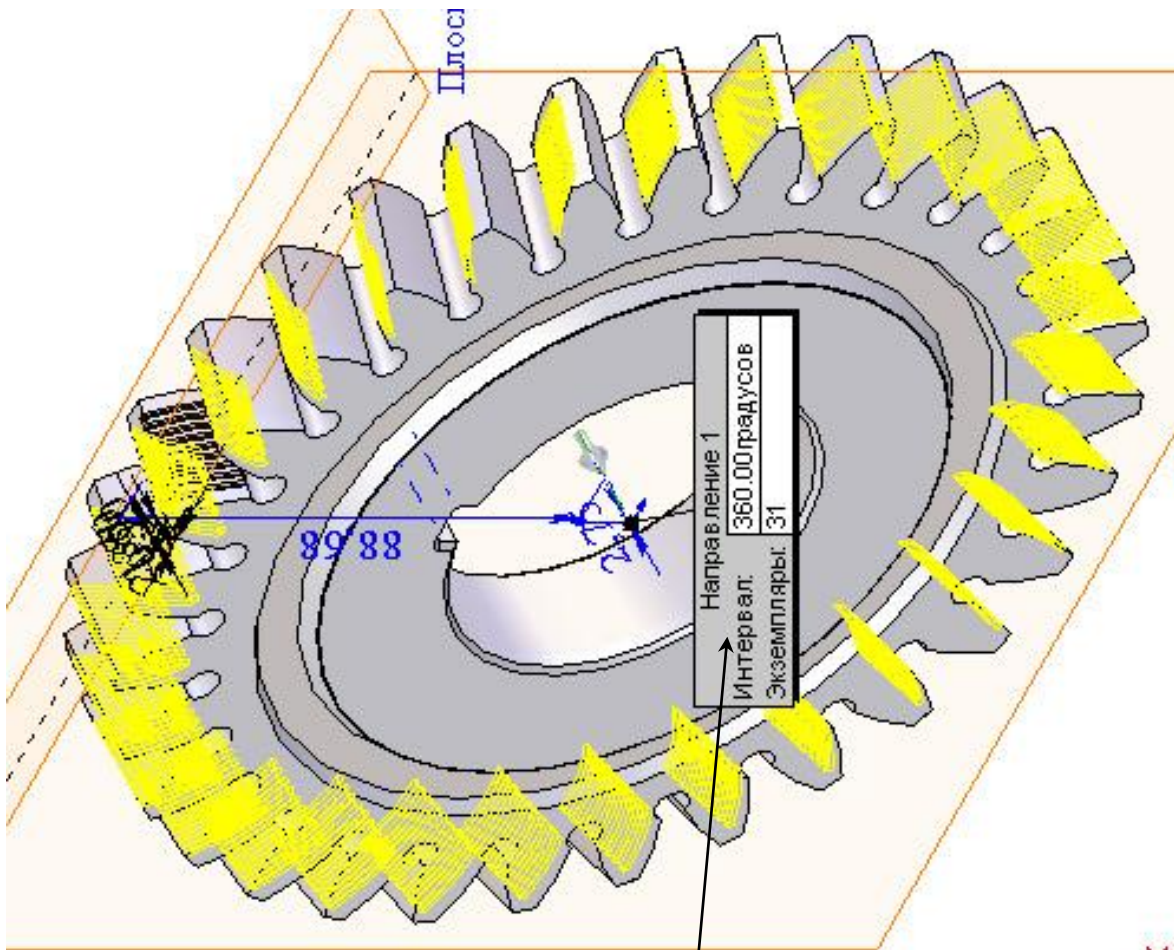
Построение твердотельной модели дискового шевера в SolidWorks











СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» / Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.: ил.
- 2 Основы проектирования режущих инструментов с применением ЭВМ: [Учеб. Пособие для машиностроит. спец. вузов] / П.И. Ящерицын, Б.И. Сеницын, Н.И. Жигалко, И.А. Басс. – Мн.: Выш. шк., 1979. – 304 с., ил.
- 3 Башкин В.И., Панайоти В.А. Расчет режущего инструмента с использованием ЭВМ. Учебное пособие – М., изд. ВЗМИ, 1987. – 82с.: ил.
- 4 Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учеб. пособие для техникумов по предмету «Основы учения о резании металлов и режущий инструмент». – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1990. – 448 с.: ил.
- 5 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985., 496 с., ил.
- 6 3-D моделювання інструментів, формоутворення та зняття припуску при обробці різанням.– Харків: НТУ „ХПР”, 2001.- 304 с.
- 7 Таратынов О.В., Тарамыкин Ю.П. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ. М., Высшая школа, 1991.– 422 с
- 8 Шеверы дисковые мелко модульные. Технические условия. ГОСТ 10222-81
- 9 Шеверы дисковые. Технические условия. ГОСТ 8570-80

Навчальне видання

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольной работы по дисциплине

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНКОВ.
ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ АЛГОРИТМОВ
В СИСТЕМЕ МATHCAD**

ЧАСТЬ 1

**для студентов специальности
7.090203 «Металлорежущие станки и системы»**

(Російською мовою)

Укладачі: ГАКОВ Сергій Олександрович

Редактор Н.О. Хахіна

319/2006 Підп. до друку . Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Ум. друк. арк. . Обл.-вид. арк. .
Тираж прим. Зам. №

Видавець і виготівник
«Донбаська державна машинобудівна академія»
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру серія ДК №1633 від 24.12.03.