

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**Тольяттинский государственный университет**  
Институт машиностроения  
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОЛБЯКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ  
ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЕС ВНЕШНЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ**

Методические указания к курсовой работе по дисциплине  
«Инструментальные системы автоматизированного машиностроения»  
для студентов специальности 15.04.05

УДК 621.923.6

Проектирование долбяков для обработки прямозубых колес внешнего зацепления : метод. указания / сост. Л.А. Резников. – Тольятти : ТГУ, 2020. – 8 с.

Приведен алгоритм расчета геометрических параметров долбяков и даны указания по выбору элементов их конструкции.

Для студентов специальности 15.04.05.

Ил.4. Табл.7. Библиогр.: 3 назв.

Составитель: к.т.н., доцент Резников Л.А.

Утверждено на заседании кафедры  
«Оборудование и технологии машиностроительного производства»

## 1. АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОЛБЯКА

### 1.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Наименование параметра		Обозначение	Единица измерения	Значение параметра
Зубчатое колесо	Модуль	$m$	мм	
	Число зубьев	$z$	–	
	Угол профиля	$\omega$	град.	
Ориентировочное число зубьев долбяка		$Z_0$	–	

### 1.2. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОЛБЯКА

1.2.1. Определяют ориентировочный диаметр делительной окружности долбяка

$$D_0 = mZ_0$$

и находят ближайшее значение нормализованного делительного диаметра  $D_n$  из следующего ряда: 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 и т.д.

Определяют число зубьев долбяка

$$Z = [D_n / m]$$

и окончательный диаметр его делительной окружности

$$D = mZ.$$

1.2.2. Рассчитывают диаметры окружностей выступов и впадин долбяка в его исходном сечении:

$$D_{a \text{ исх}} = D + 2H_{a \text{ исх}} = D + 2,5m;$$

$$D_{f \text{ исх}} = D - 2H_{f \text{ исх}} = D - 2,5m.$$

1.2.3. Рассчитывают толщину зуба долбяка по дуге делительной окружности в исходном сечении

$$S_{\text{исх}} = 0,5\pi m + \Delta,$$

выбрав утолщение зуба  $\Delta$  в зависимости от модуля зацепления из табл. 1.

#### 1. Утолщение зуба инструмента, мм

$m$	1...2	2,25...3,75	4...5,5	6
$\Delta$	0,10	0,14	0,16	0,20

1.2.4. По ГОСТ 9323-79 зуб долбяка для обработки зубчатых колес с углом профиля  $20^\circ$  в радиальной секущей плоскости должен иметь у вершины передний угол  $\gamma_0 = 5^\circ$  и задний угол  $\alpha_0 = 6^\circ$ . Исходя из этого, рассчитывают с точностью до 1' профильный угол долбяка на делительной окружности

$$\Omega = \arctg \left( \frac{\operatorname{tg} \omega}{1 - \operatorname{tg} \gamma_0 \operatorname{tg} \alpha_0} \right).$$

1.2.5. Рассчитывают минимально допустимую с точки зрения периода стойкости долбяка толщину его зуба на окружности выступов

$$S_{a \text{ min}} = 0,51\sqrt{m}.$$

1.2.6. Определяют величину смещения исходного сечения долбяка.

1.2.6.1. Задаются двумя значениями смещения исходного сечения, выбирая первое в интервале 1...5 мм, а второе – в интервале 8...15 мм (например,  $A_1 = 2$  мм,  $A_2 = 10$  мм).

1.2.6.2. Для каждого из выбранных значений  $A_i$  рассчитывают:

– диаметр выступов долбяка

$$D_{ai} = D_{a\text{исх}} + 2A_i \operatorname{tg} \alpha_0;$$

– угол давления эвольвенты на окружности выступов

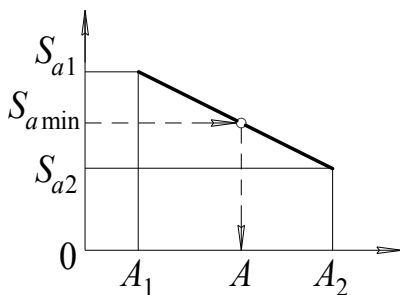
$$\Omega_{ai} = \arccos \left( \frac{D}{D_{ai}} \cos \Omega \right);$$

– толщину зуба на окружности выступов

$$S_{ai} = D_{ai} \left( \frac{S_{\text{исх}}}{D} + \operatorname{inv} \Omega - \operatorname{inv} \Omega_{ai} \right),$$

где  $\operatorname{inv} u = \operatorname{tg} u - u$  (угол  $u$  – в радианах).

Эти и последующие величины (кроме предела стачивания долбяка) определяют с точностью до 0,001 мм.



**Рис. 1. К определению величины  $A$**

1.2.6.3. По полученным значениям  $S_{a1}$  и  $S_{a2}$ , принимая, что зависимость  $S_a(A)$  линейна (рис. 1), рассчитывают величину смещения исходного сечения долбяка

$$A = A_1 + \frac{S_{a\text{min}} - S_{a1}}{S_{a2} - S_{a1}} (A_2 - A_1).$$

1.2.7. Рассчитывают с точностью до 0,1 мм предел стачивания долбяка  $B \approx 1,5A$ , который указывают в технических требованиях на чертеже инструмента (см. рис. 4).

1.2.8. Рассчитывают диаметры выступов и впадин нового долбяка с учетом смещения исходного сечения

$$D_a^{\text{нов}} = D_{a\text{исх}} + 2A \operatorname{tg} \alpha_0;$$

$$D_f^{\text{нов}} = D_{f\text{исх}} + 2A \operatorname{tg} \alpha_0;$$

толщину зуба нового долбяка по делительной окружности

$$S_{\text{нов}} = S_{\text{исх}} + 2A \operatorname{tg} \alpha_0 \operatorname{tg} \Omega,$$

толщину зуба нового долбяка по окружности выступов

$$S_a^{\text{нов}} = D_a^{\text{нов}} \left( \frac{S_{\text{нов}}}{D} + \operatorname{inv} \Omega - \operatorname{inv} \Omega_a^{\text{нов}} \right),$$

где

$$\Omega_a^{\text{нов}} = \arccos \left( \frac{D}{D_a^{\text{нов}}} \cos \Omega \right).$$

### 1.3. ПРОВЕРКА СПРОЕКТИРОВАННОГО ДОЛБЯКА

#### 1.3.1. На отсутствие подрезания ножки зуба изделия.

Подрезания зубьев нет, если выполняется условие

$$\sqrt{(2L_{\text{ст}} \sin \Omega_w^{\text{ст}})^2 + D_b^2} - D_a^{\text{ст}} \geq 0.$$

Межцентровое расстояние при работе сточенным долбяком

$$L_{\text{ст}} = \frac{m(z+Z)}{2} \cdot \frac{\cos \omega}{\cos \Omega_w^{\text{ст}}}.$$

Инволюта угла зацепления при работе сточенным долбяком,

$$\text{inv } \Omega_w^{\text{ст}} = \text{inv } \omega + \frac{2(A-B)}{m(z+Z)} \text{tg } \alpha_o \text{ tg } \omega.$$

Величину  $\Omega_w^{\text{ст}}$  (в радианах) находят из разложения функции  $\text{inv } u$  в ряд:

$$\Omega_w^{\text{ст}} = (3 \text{inv } \Omega_w^{\text{ст}})^{1/3} - \frac{2}{15} (3 \text{inv } \Omega_w^{\text{ст}})^2 + \frac{3}{175} (3 \text{inv } \Omega_w^{\text{ст}})^{5/3} - \frac{2}{1575} (3 \text{inv } \Omega_w^{\text{ст}})^{7/3}.$$

Диаметр основной окружности долбяка  $D_b = mZ \cos \Omega$ , а диаметр окружности выступов сточенного долбяка  $D_a^{\text{ст}} = D_{a \text{ исх}} + 2(A-B) \text{tg } \alpha_o$ .

#### 1.3.2. На чрезмерное занижение диаметра впадин нарезаемого колеса.

Чрезмерное занижение отсутствует, если

$$2L_{\text{нов}} - D_a^{\text{нов}} - m(z-2,7) \geq 0,$$

где значения  $L_{\text{нов}}$  и  $\Omega_w^{\text{нов}}$  рассчитывают по соответствующим формулам из 1.3.1, положив в них  $B = 0$ .

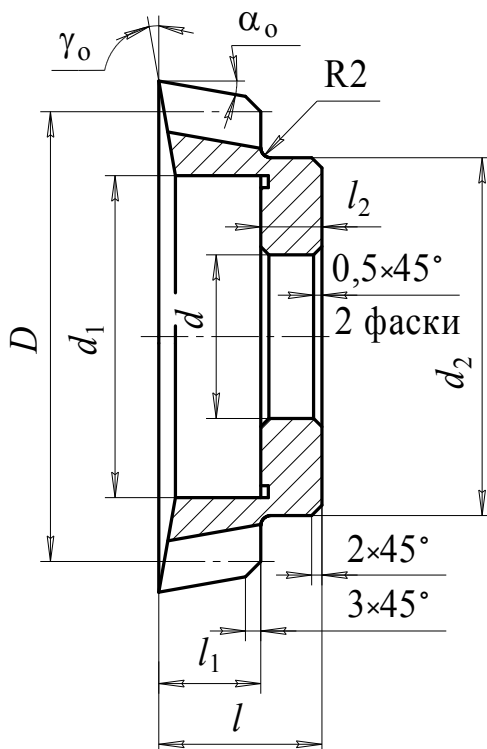


Рис. 2. Чашечный долбяк

#### 1.3.3. На срезание головки зуба колеса.

Срезание головки отсутствует, если выполняется условие

$$\sqrt{(2L_{\text{ст}} \sin \Omega_w^{\text{ст}})^2 + d_b^2} - d_a \geq 0,$$

где  $d_b = mz \cos \omega$  – диаметр основной окружности колеса, а  $d_a = m(z+2)$  – диаметр его окружности выступов.

1.3.4. Если хотя бы одно из условий не выполняется, увеличивают число зубьев долбяка на один-два, пересчитывают величину  $A$  и все связанные с ней параметры и вновь проводят проверку. Процедуру повторяют до выполнения всех условий.

## 2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДОЛБЯКА

2.1. При  $D > 50$  мм проектируют чашечный (рис. 2) или дисковый (рис. 4) долбяк. Толщину долбяка, диаметр посадочно-

го отверстия и размеры других его конструктивных элементов назначают в зависимости от делительного диаметра  $D$  и модуля долбяка (табл. 2).

**2. Основные размеры чашечных долбяков, мм**

$D$	$m$	$d$	$d_1$	$l$	$l_1$	$l_2$
св. 50 до 80	1,75...2,5	31,75	50	30	15	8
	2,75...4,5				17	
св. 80 до 100	1...1,75	44,45	63	32	20	10
	2...5				22	
св. 100 до 125	2...3,5	80	80	34	22	12
	3,75...4,5				24	
	5...10				28	

Диаметр  $d_2$  рассчитывают по формуле

$$d_2 = D_f^{\text{нов}} - 2(l_1 \operatorname{tg} \alpha_0 + 2)$$

с точностью до 0,1 мм.

Размеры канавки для выхода шлифовального круга при обработке внутреннего торца назначают по ГОСТ 8820-69, исходя из диаметра  $d_1$ .

2.2. При делительном диаметре  $D \leq 50$  мм проектируют долбяки с хвостовиком В18 – укороченным конусом Морзе 2. Размеры, показанные на рис. 3, одинаковы для всех таких долбяков. Параметры режущей части рассчитывают, хвостовой берут по справочникам [1].

Для изготовления и заточки хвостовых долбяков их выполняют с центровыми отверстиями по ГОСТ 14034-74. На торце режущей части выполняют отверстие формы  $T$ , а в хвостовике – формы  $A$ .

2.3. Долбяки изготавливают из быстрорежущей стали (ГОСТ 19265-73) с термообработкой до твердости HRC<sub>3</sub> 62...66.

Хвостовые долбяки изготавливают сварными, соединяя стыковой электросваркой соплавлением режущую часть из быстрорежущей стали с хвостовой частью из углеродистой качественной стали (ГОСТ 1050-74) или легированной конструкционной стали (ГОСТ 4543-71), как показано на рис. 3.

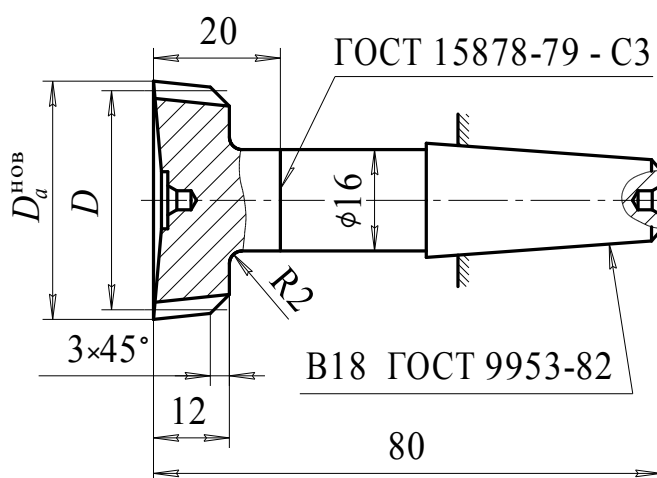
2.4. Шероховатость поверхностей долбяка назначают следующим образом: передних и задних поверхностей –  $Ra$  0,16; базовой опорной поверхности –  $Ra$  0,18; посадочного отверстия (хвостовика) –  $Ra$  0,25; внутренней опорной поверхности –  $Ra$  0,63; остальных поверхностей –  $Ra$  2,5.

2.5. Точность конструктивных элементов долбяка (класс точности  $A$ ).

Допуск на посадочную поверхность назначают по  $H4$ , на делительный диаметр по  $H5$ , на изготовление переднего угла  $\pm 8'$ , заднего угла  $\pm 3'$ . Допуск на толщину зуба инструмента назначают по табл. 3 (расположение поля допуска – в минус), а точность других конструктивных элементов долбяка по табл. 4.

**3. Допуск  $TS$  на толщину зуба долбяка, мкм**

$m$ , мм	1...2	2,25...3,75	4...6	6,5...10	11...16
$TS$	25	32	40	50	63



**Рис. 3. Хвостовой долбяк**

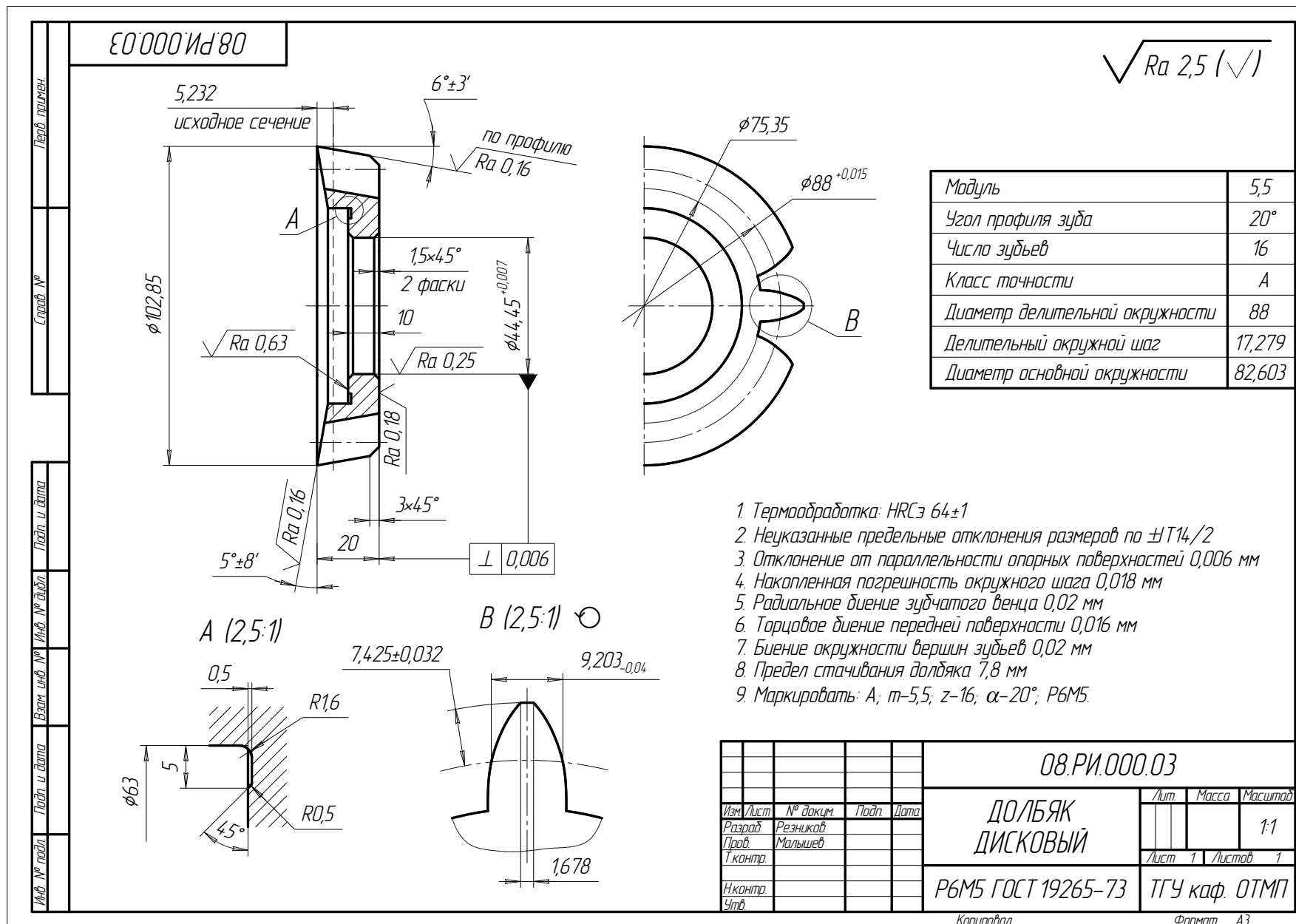


Рис. 4. Рабочий чертеж долбяка

#### 4. Допуски на основные размеры зуборезных долбяков, мкм

Параметр	Делительный диаметр $D$ , мм					
	до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 160	св. 160
Высота головки зуба	± 20	± 25	± 32	± 40	± 50	± 63
Неперпендикулярность опорного торца к поверхности посадочного отверстия	4	5	6	8	10	12
Непараллельность опорных поверхностей						
Накопленная погрешность окружн. шага	6	12	18	24	30	36
Радиальное биение наружного диаметра	12	16	20	25	32	40
Торцовое биение передней поверхности	10	12	16	20	25	32

### 3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В.И. Анурьев ; под ред. И.Н. Жестковой. – 10-е изд., стер. – М. : Инновац. машиностроение, 2015. – Т. 1. – 927 с.

2. Резников, Л.А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента : уч. пособие / Л.А. Резников. – Тольятти : ТГУ, 2016. – 208 с.

3. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов : учебное пособие для вузов / Г.Н. Кирсанов [и др.] ; под общ. ред. Г.Н. Кирсанова. – М. : Машиностроение, 1986. – 288 с.

### ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

#### на проектирование зуборезного долбяка

Спроектируйте долбяк класса точности  $A$  для изготовления эвольвентного прямозубого колеса внешнего зацепления с углом профиля  $20^\circ$  и разработайте рабочий чертеж инструмента.

Модуль колеса см. в табл. I, число зубьев колеса – в табл. II, а ориентировочное число зубьев инструмента – в табл. III.

#### I. Модуль нарезаемого колеса, мм

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$m$	2	2,25	2,5	2,75	3	3,5	3,75	4	4,5	5

#### II. Число зубьев нарезаемого колеса

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$z$	42	44	46	48	52	54	56	58	60	62

#### III. Число зубьев долбяка

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Z_0$	16		18		20		22		24	