

## К ВОПРОСУ О ФУНКЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛА НАСТРОЙКИ ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

© 2008 В. Д. Смолин, И. А. Чигринев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Представлена методика настройки цепи деления зубофрезерного станка с дифференциальным механизмом. Этот суммирующий механизм применяется для получения независимой кинематической настройки на угол наклона зубьев нарезаемого косозубого колеса. В этом механизме анализируется сложение двух движений в одно по формуле Виллиса с целью получения передаточного отношения узла настройки цепи деления. Рассмотрены два распространенных типа дифференциальных механизмов.

*Настройка, станок, модуль, число заходов, угол, обороты, дифференциал*

Дифференциал в зубофрезерном станке (ЗФС) используется для настройки цепи деления при нарезании косозубых зубчатых колес (КК). Винтовая спираль КК является результатом сложения двух равномерных движений: вращения заготовки и перемещения червячной фрезы (ЧФ) вдоль ее оси. Этот набор движений есть и при нарезании многозаходных резьб на токарно-винторезном станке с той только разницей, что нарезание спиралей производится последовательно, а на ЗФС параллельно (одновременно). При нарезании резьбы - два основных движения: вращение заготовки и движение подачи. В ЗФС обычно рассматривается четыре движения [1,2,3]: вращение ЧФ  $n_{\phi}$ , вращение стола с заготовкой (движение деления,  $n_{осн}$ ), вертикальная подача фрезы  $S_B$  и дополнительное вращение заготовки  $n_d$  для образования винтового зуба.

На рис. 1 показано расположение дифференциала на структурной схеме ЗФС. Настройка ЗФС на нарезание КК осуществляется на основании набора исходных данных. Пусть это будет для КК: материал заготовки - сталь  $\sigma_B = 50 \text{ кгс/мм}^2$ ; число зубьев  $z = 16$ ; модуль по нормали  $m_n = 2$ ; угол наклона линии зуба с осью  $\beta = 45^\circ$ ; направление зубьев левое; ширина КК 145 мм. Для ЧФ на основе конволютного червяка наружный диаметр  $d = 54 \text{ мм}$ ; модуль  $m_o = 2$ ; число заходов ЧФ  $z_{10} = 1$ ; угол подъема витка  $\gamma_{m0} = 1^\circ 48'$ ; угол главного профиля исходного контура  $\alpha = 20^\circ$ ; направление витков фрезы правое. Параметры режима резания: скорость резания  $V = 28 \text{ м/мин}$ ; вертикальная подача ЧФ  $S_{BV} = 1,5 \text{ мм/об.заг.}$  Станок 5К310 Витебского станкостроительного завода.

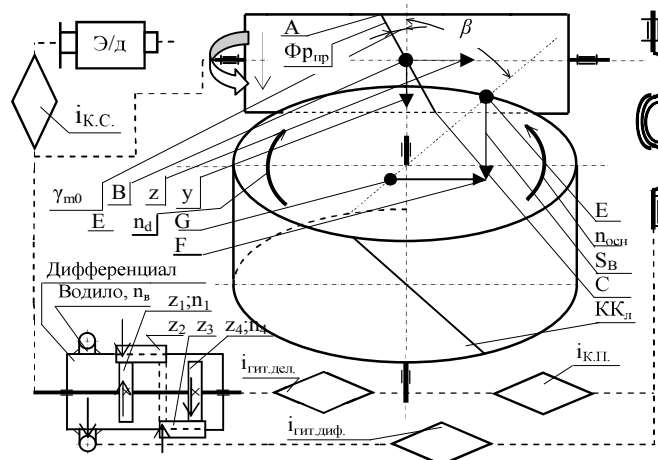


Рис. 1. Структурная схема ЗФС

В основу идеи работы ЗФС заложена имитация работы червячной пары, т.е. за один оборот однозаходной ЧФ заготовка должна повернуться на  $1/z$  оборота ( $1/z = i_{\text{ЧП}}$  это передаточное отношение (ПО) пары в передаче движения от фрезы к прямозубому (ПК) колесу). При этом начальная прямая рейки ЧФ катится без скольжения по начальной окружности колеса (для некоррегированного зацепления - это делительная прямая рейка и делительный диаметр ПК  $D$ ). Стандарты на зубчатые передачи (ГОСТ 16530;31;32-83;70) несколько расплывчато толкуют термин «передаточное отношение», используя понятия «колесо» и «шестерня». В данной работе под «передаточным отношением» понимается  $i = z_1/z_2$ , где  $z_1$ -число зубьев ведущего колеса, а  $z_2$ -ведомого. В выражении  $1/z = i_{\text{ЧП}}$  под «1» следует понимать число зубьев однозубого зубчатого колеса, каковым, по сути, и является однозаходный червяк.

В ЗФС для организации согласованного движения фрезы и заготовки (КК) задействованы все четыре движения; при нарезании ПК - только три (корпус дифференциала фиксируется и его  $i_{\text{дифПК}} = 1$ ). В нашем случае главное движение  $n_{\text{фр}V} = 1000V/(\pi \cdot 54) = 165,05 \text{ мин}^{-1}$ ; на станке имеется  $n_{\text{фр.ст}} = 160 \text{ мин}^{-1}$ . Уточним эту цифру. Цепь главного движения имеет узел настройки в виде девятиступенчатой коробки скоростей  $i_{\text{к.с.}}$ . Согласно кинематике главного движения [3]:  $n_{\text{фр}} = 1450 \cdot 120/160 \cdot 0,985 \cdot 35/40 \cdot 31/44 \cdot 23/25 \cdot 24/24 \cdot 24/24 \cdot 20/80 = 151,88343 \text{ об.фр/мин}$ . (1)

Весьма важно определиться с направлением вращения заготовки КК. Для  $S_B$ , направленной сверху вниз, при попутном фрезеровании (направления векторов  $S_B$  и  $V_d$  в точке  $B$  на рис. 1 совпадают), т.е. фреза вращается против часовой стрелки, если смотреть с вершины оси  $z$  при правой системе координат. При этом КК должно вращаться по часовой стрелке, если смотреть с вершины оси  $y$  ( $n_{\text{оснКК}}$ ). Контроль  $n_{\text{фр}}$  тахометром показал значение  $153 \text{ мин}^{-1}$ . При дальнейшем анализе направлений движения элементов кинематики использовалось «правило стрелок». Ближайшая к  $S_{BV}$ , подача на ЗФС  $1,6 \text{ мм/об.заг}$  (цепь подач имеет узел на-

стройки в виде девятиступенчатой коробки подач  $i_{\text{к.п.}}$ ). Согласно кинематике  $S_B = 1 \cdot 72/1 \cdot 36/74 \cdot 37/59 \cdot 28/56 \cdot 42/42 \cdot 42/56 \cdot 36/72 \cdot 52/85 \cdot 85/60 \cdot 2/30 \cdot 2\pi = 1,495185 \text{ мм/об.заг}$ . (2)

С этой подачей шпиндель с фрезой будет перемещаться по вертикальным направляющим стойки ЗФС.

Третья цепь (цепь деления) обеспечивает заготовке угловое перемещение, соответствующее согласованным движениям в паре ЧФ-ПК или ЧФ-КК. Цепь содержит два узла настройки: гитару деления ( $i_{\text{гит.дел}}$  - ПО гитары деления) и дифференциал (имеет в ЗФС два ПО:  $i_{\text{дифПК}}$  и  $i_{\text{диф14КК}}$ ). Таким образом, цепь деления обеспечивает работу ЗФС в двух режимах: нарезание ПК и КК. При нарезании ПК  $i_{\text{дифПК}} = 1$  или, точнее:

$$z_1/z_2 \cdot z_2/z_3 \cdot z_3/z_4 = (-1)40/30 \cdot (-1)30/30 \cdot (-1)30/40 = -1.$$

Это ПО реализуется торможением корпуса дифференциала (водица,  $n_g = 0$ ). По кинематике цепь деления для ПК:

$$1 \text{ об.фр } 80/20 \cdot 24/24 \cdot 24/24 \cdot i_{\text{дифПК}} \cdot e/f \cdot i_{\text{гит.дел}} \cdot 1/72 = z_{10}/z,$$

$$\text{где } i_{\text{дифПК}} = 1; e/f = 48/48 = 1; z = 16.$$

Отсюда  $i_{\text{гит.дел}} = 9/8$ . Линия зуба фрезы (АС) здесь устанавливается вертикально. При нарезании КК настройка гитары деления не изменяется, а дополнительный поворот заготовки  $n_d$  (в нашем случае на рис. 1 это дуга GF) реализуется за счет цепи дифференциала. Корпус дифференциала при этом не фиксируется. Поворот  $n_d$  подставляет линию зуба КК (GE) под траекторию перемещения режущей точки фрезы в движении подачи  $S_B$ . Для левого КК этот дополнительный поворот направлен навстречу вращению заготовки в движении обката  $n_{\text{осн}}$ . Если спираль EG продолжить до одноименной точки (N на рис. 2), то ширина КК будет равна шагу спирали  $P_z$ , а на ее развертке угол MEN равен  $\beta$  (угол наклона линии зуба), который и следует получить зубофрезерованием.

Дополнительный оборот заготовки за время перемещения фрезы на  $P_z$  ( $\tau$ ) будет равен 1 об. заготовки и будет соответствовать длине делительной окружности КК ( $\pi D$ ).

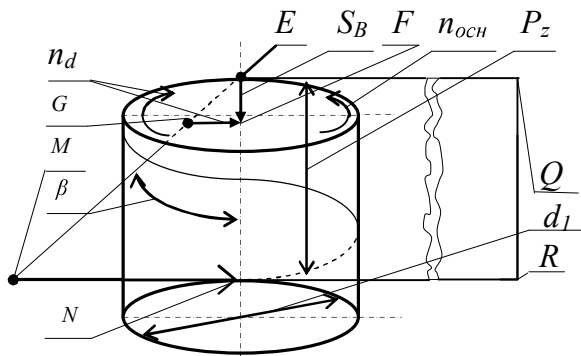


Рис.2. Развертка D КК

При перемещении из точки E в N при нарезании ПК оно сделает  $P_z/S_B$  [об.ПК], а фреза  $(P_z/S_B) \cdot z$  [об.фр] =  $N_{фр}$ , при  $z_{10} = 1$ . Для получения зуба КК заготовка за время  $\tau$  делает на один оборот больше (КК-левое),  $(P_z/S_B + 1) = N$  [об. КК].

Добавленный оборот - это тот оборот заготовки, который цепь дифференциала в движении  $n_d$  (рис. 2) делает так, чтобы точка M (за время  $\tau$ ) попала на траекторию перемещения фрезы EN.

Винтовая линия на цилиндре образуется в результате сложения равномерных движений: вращения заготовки и подачи. Пусть заготовка на токарном станке (настроенном на резьбу) есть, но не вращается.

Движение же подачи организовано каким-либо способом (например, вручную). В результате будет получена канавка, параллельная оси заготовки, т.е. винтовой поверхности получено не будет. При нарезании ПК получаем прямые зубья, т.е. подача  $S_B$  есть, а «вращения заготовки» как бы нет. Таким образом, дополнительное вращение заготовки через цепь дифференциала ( $i_{зум.диф}$ , рис. 1) и есть то самое равномерное вращение, которое необходимо для образования ВС (четвертое основное движение в ЗФС при нарезании КК). Таким образом, вращение ЧФ следует организовать так же, как при нарезании ПК. Для настройки цепи деления КК необходимо знать:  $D$  и  $P_z$ :

делительный диаметр  $D = m_n \cdot z / \cos \beta = 2 \cdot 16 / 0,707 = 45,254832$  мм;

шаг винтовой спирали (ВС)

$P_z = \pi D / \tan \beta = \pi \cdot 45,254 / 1 = 142,17225$  мм.

Шаг ВС  $P_z$  является основной характеристикой КК (в случае многозаходной резьбы - это «ход резьбы»). Этот шаг можно из-

мерить, если ширина КК  $b \geq P_z$ . Наладка цепи деления для КК основывается на закономерности обката ЧФ и КК, т.е. 1 обороту фрезы должен соответствовать поворот заготовки на угловое деление  $(1/z)$ . Но при этом нужно получить не ПК, а КК. Цепь деления ПК уже налажена,  $n_{фр}$  и  $S_B$  заданы. В организации настройки цепи деления возможен один вариант: числу оборотов фрезы  $n_{фр}$ , сделанных за время  $\tau$ , должна соответствовать сумма одного дополнительного оборота  $n_d$  заготовки и числа оборотов, которое делает заготовка за время  $\tau$ . При этом следует учесть, что величина подачи  $S_B$  изменится и станет  $S_{Bd}$ , т.к. она зависит от числа оборотов заготовки и имеет размерность [мм/об.заг]. Второй вариант настройки цепи деления КК, через изменение количества оборотов фрезы при сохранении числа оборотов заготовки (как при настройке на ПК) [1, стр. 295; 2, стр. 154], сложен, т.к. на изменение числа оборотов фрезы нельзя повлиять через цепь дифференциала. С учетом изложенного выше цепь деления КК

$$P_z \cdot z / S_{Bd} \cdot 80/20 \cdot 24/24 \cdot 24/24 \cdot 24/24 \cdot i_{диф14КК} \cdot e/f \cdot i_{зум.дел} \cdot 1/72 = P_z \cdot z / S_{Bd} + 1. \quad (4)$$

Т.к. при настройке на ПК заготовка делает  $N_{фр}$  оборотов, а при нарезании КК на 1 оборот больше  $N_{КК}$  (КК - левое), то  $S_{Bd} = P_z / N_{КК} = 1,4796242$  мм/об.КК. По уравнению (4) находим:  $i_{диф14КК} = 1,0104072$ .

Цепь дифференциала связывает винт вертикальной подачи  $S_B$  с корпусом дифференциала, который является его водилом. Известно, что «дифференциальный» механизм (дифференциал) обычно имеет две степени свободы, что может означать: принудительное движение одного из трех звеньев получается при определенном движении двух других.

В нашем случае (рис. 1) определены: частоты вращения колес  $z_1(n_1)$  и  $z_5(n_5, n_6)$ , а принудительное движение будет у колеса  $z_4(n_4)$ . Так как имеется два входа  $n_1$  и  $n_6$  и один выход  $n_4$ , то у дифференциала будет два ПО:  $i_{диф,14} = n_4/n_1$  и  $i_{диф,54} = n_4/n_6$ . В цепи деления (4) задействовано ПО  $i_{диф,14}$ . Зная значение  $i_{диф,14}$ , получим  $n_4 = n_1 \cdot i_{диф,14}$ , где  $n_1 = 1450 \cdot 120/160 \cdot 0,985 \cdot 35/40 \cdot 31/44 \cdot 23/25 \cdot 24/24 = 607,53372$  мин<sup>-1</sup>.

Отсюда  $n_4 = 607,53372 \cdot 1,0104072 = 613,85644$  мин<sup>-1</sup>.

Узел настройки цепи дифференциала  $i_{\text{злт.диф}}$ , для расчета этого ПО необходимо знать  $n_6$  (в станке 5К310 это корпус дифференциала, на котором смонтированы два сателлита  $z_2$  и  $z_3$ ). Для расчета  $n_6$  необходимо объединить все параметры дифференциала ( $n_1; n_4; n_6; z_1; z_2; z_3; z_4$ ) в одну зависимость (формула Виллиса). Это делается методом «обращения движения» или «методом остановки». Суть этого метода состоит в сообщении всем звеньям механизма вращения со скоростью, равной по величине и противоположной по направлению угловой скорости водила. Тогда водило можно условно считать неподвижным, а частота вращения колес  $z_1$  и  $z_4$  изменится на величину « $-n_6$ ». Сам же дифференциал превращается в обычный редуктор. При этом необходимо знать направления вращения всех звеньев (это делается по «правилу стрелок», рис. 1). Необходимо ввести систему координат  $X_0 Y_0 Z_0$ , направив ось  $Z_0$  вдоль его оси в направлении передачи движения. Направление, противоположное вращению водила – отрицательное, т.е. направление « $n_1$ » будет отрицательное. В системе вращающейся вокруг оси  $Z_0$  ПО дифференциала:

$$(n_4 - n_6) / (-n_1 - n_6) = (-z_1/z_2) \cdot (-z_2/z_3) \cdot (-z_3/z_4) = (-40/30) \cdot (-30/30) \cdot (-30/40) = -1.$$

Отсюда  $n_4 - n_1 = 2 \cdot n_6$ ,  $n_6 = (n_4 - n_1) / 2 = 3,16136 \text{ мин}^{-1}$ .

Цепь дифференциала  $i_{\text{злт.диф}}$  имеет привод от ходового винта вертикальной подачи  $S_B$ , который вращается с частотой  $n_{XIV}$  [3].

Из условия обката фрезы и КК:  $n_{KK} = n_{фр}/z = 151,88343/16 = 9,4927143 \text{ об.КК/мин}$ .

Для рассматриваемого примера:  
 $n_{XIV} = n_{KK} \cdot 72/1 \cdot 36/74 \cdot 37/59 \cdot 28/56 \cdot 42/42 \cdot 42/56 \cdot 36/72 \cdot 52/60 \cdot 2/30 = 2,258944 \text{ мин}^{-1}$ .  
 Зная  $n_{XIV}$  и  $n_6$ , получаем уравнение настройки цепи дифференциала:

$$n_{XIV} \cdot 30/2 \cdot i_{\text{злт.диф}} \cdot 24/24 \cdot 2/30 = n_6. \quad (5)$$

$$i_{\text{злт.диф}} = n_6/n_{XIV} = 3,16136/2,258944 = 1,3994857 \approx 35/25 \cdot 30/30.$$

Таким образом, суть настройки  $Z_{\text{УС}}$  на нарезание КК состоит в определении ПО  $i_{\text{злт.диф}}$ , а это в свою очередь связано с определением входных  $n_1$ ,  $n_6$  и выходного  $n_4$  параметров дифференциала.

Рассмотрим работу конического дифференциала в зубофрезерном станке 5Д32.

Выбранный станок по конструкции во многом схож с 5К310.

Отличие - в расположении ЧФ относительно заготовки (справа) и использовании дифференциала с коническими ЗК (редуктор типа Джемса, рис. 3). Исходные данные для настройки станка оставим прежними.

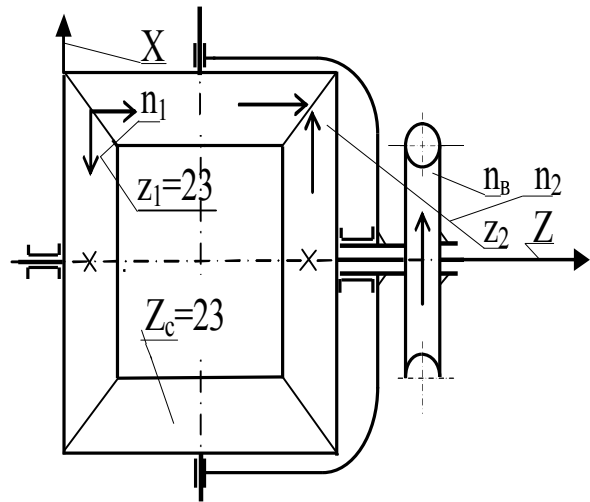


Рис. 3. Конический дифференциал

Для главного движения  $V = 28 \text{ м/мин}$ ,  $n_{фрV} = 165,05 \text{ мин}^{-1}$ ,  $n_{фр.ст} = 155$ . По кинематике:

$$n_{фр} = 1420 \cdot 105/224 \cdot 0,985 \cdot 32/48 \cdot 35/35 \cdot 35/25 \cdot 24/24 \cdot 24/24 \cdot 17/17 \cdot 16/64 = 152,9828 \text{ мин}^{-1}.$$

Величина заданной подачи

$$S_{BV} = 1,5 \text{ мм/об.заг.}$$

По кинематике

$$S_B = 1 \cdot 96/1 \cdot 2/24 \cdot 0,45 \cdot 45/36 \cdot 19/19 \cdot 16/16 \cdot 4/20 \cdot 5/30 \cdot 10 = 1,500 \text{ мм/об.заг.,}$$

где  $0,45 = a_1/b_1 \cdot c_1/d_1$  – ПО гитары подачи. Цепь деления для прямозубого зубчатого колеса (ПК):

$$1 \text{ об.фр} = 1 \cdot 64/16 \cdot 17/17 \cdot 24/24 \cdot 24/24 \cdot 46/46 \cdot i_{\text{дифПК}} \cdot i_{\text{делПК}} \cdot 1/96 = 1/16 \text{ об./заг.},$$

$i_{\text{дифПК}} = 1$  – ПО дифференциала при неподвижном водиле. Отсюда

$$i_{\text{делПК}} = (1 \cdot 16 \cdot 96)/(16 \cdot 64) = 1,5. \text{ Делительный диаметр КК } D = 45,254832 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой спирали на делительном диаметре  $P_z = 142,17225 \text{ мм}$ . При нарезании левого КК заготовка должна сделать на один оборот больше, чем ПК, т.е.  $N_{KK} [\text{об.КК}] = P_z/S_B + 1 = 95,7815$ . При этом подача изменится

$S_{Bd} = P_z/N_{KK} = 1,4843393$  мм/об.КК  $< S_B = 1,5$  мм/об.ПК. Цепь деления, воспроизводящая механическое зацепление ЧФ с КК, стандарт:

$$(P_z/S_{Bd}) \cdot 16 \cdot 64 / 16 \cdot 17 / 17 \cdot 24 / 24 \cdot 24 / 24 \cdot 46 / 46 \cdot i_{диф12КК} \cdot i_{делПК} \cdot 1/96 = (P_z/S_{Bd} + 1),$$

откуда  $i_{диф12КК} = 1,0104404$ . Небольшое отличие (пятый знак после запятой) от варианта с 5К310 следует объяснить различием  $S_B$  (1,5 и 1,495185), которое влияет на число оборотов заготовки за время  $\tau$  прохождения фрезой расстояния (шага)  $P_z$ , участвующее в цепи деления КК.

Дифференциал станка 5Д32 (рис. 3) с коническими колесами имеет также две степени свободы. Это означает, что два входных движения ( $n_1$  и  $n_6$ ), суммируясь в этом механизме, формируют (в соответствии с формулой Виллиса) выходную частоту вращения  $n_2$ . Частоту  $n_1$  можно определить:  $n_1 = n_{фр} \cdot 64 / 16 \cdot 17 / 17 \cdot 24 / 24 \cdot 24 / 24 \cdot 46 / 46 = 611,9312$  мин<sup>-1</sup>.

При известном ПО дифференциала в цепи деления  $n_2 = n_1 \cdot i_{диф12КК} = 618,32$  мин<sup>-1</sup>. Неизвестную  $n_6$  определим из формулы Виллиса

$$(+n_2 - n_6) / (-n_1 - n_6) = -z_1 / z_2 = -1.$$

Угловые скорости  $n$  следует подставлять в формулу (5) с учетом направления вращения.

Водило, связанное с червячным колесом (рис. 3), вращается по часовой стрелке, если смотреть с конца оси Z. Это направление вращения принято за *положительное*. Колесо  $n_1$  вращается против часовой стрелки, поэтому в формуле Виллиса (5) перед  $n_1$  следует поставить знак “-“. Знак минус в правой части (5) потому, что направление вращения колес  $z_1$  и  $z_2$  (при остановленном

водиле) противоположно. Из (5) следует:  $+n_2 - n_6 = +n_1 + n_6$ ;  $n_6 = (n_2 - n_1) / 2 = +3,1944$  мин<sup>-1</sup>.

Для составления цепи дифференциала необходимо определить *частоты* вращения заготовки КК  $n_{КК}$  и вала (винта) вертикальной подачи  $n_{ХХ}$ . В ЗФС воспроизводится механическое зацепление ЧФ и КК, поэтому  $n_{КК} = n_{фр} / z = 9,561425$  об.КК/мин;  $n_{ХХ} = n_{КК} \cdot 96 / 1 \cdot 2 / 24 \cdot 0,45 \cdot 45 / 36 \cdot 19 / 19 \cdot 16 / 16 \cdot 4 / 2 \cdot 0,5 / 30 = 1,4342137$  мин<sup>-1</sup>. По кинематической цепи дифференциала:

$$n_{ХХ} = n_{КК} \cdot 30 / 5 \cdot 20 / 4 \cdot 16 / 16 \cdot 19 / 19 \cdot 36 / 45 \cdot i_{сум.диф} \cdot 1 / 30 = n_6,$$

$$\text{откуда } i_{сум.диф} = a_2 / b_2 \cdot c_2 / d_2 = n_6 \cdot 45 / 36 = 3,993.$$

Таким образом, предлагаемая методика расчета настройки ЗФС на нарезание косозубого колеса позволяет более корректно и осознанно учитывать функцию дифференциала в зубофрезерном станке.

### Библиографический список

1. Чернов Н.Н. Металлорежущие станки. - М.: Машиностроение, 1978.
2. Металлорежущие станки: Учеб. пособие для вузов / Н.С. Колев, Л.В. Красниченко, Н.С. Никулин. - М.: Машиностроение, 1980.
3. Изучение конструкции и кинематики зубофрезерного станка 5К310: метод. указания к лабораторной работе / Сост. К.Ф. Митряев, М.Б. Сазонов. - Самара, 1993.

### References

1. Chernov N.N. Cutting Machines. Moscow: "Mashinostroenie", 1978.
2. Kolev N.S., Krasnichenko L.V. and Nikulin N.S. Cutting Machines. University tutorial. Moscow: "Mashinostroenie", 1980.
3. Mitryaev K.F., Sazonov M.B. Gear Milling Machine Design and Cinematics Research. Educational manual. Samara: SSAU, 1993.

## TO A QUESTION ON FUNCTION OF DIFFERENTIAL IN ADJUSTMENT TOOTH MILLING MACHINE

© 2008 V. D. Smolin, I. A. Chigrinev

Samara State Aerospace University

Clause states a technique of adjustment of a circuit of division tooth milling machine with the differential mechanism. This summing mechanism is applied to reception by independent cinematicsing of adjustment on a corner of an inclination tooth's thread of a wheel. In this mechanism the addition of two movements in one under the formula

Villisa is analyzed, with the purpose of reception of the transfer relation of unit of adjustment of a circuit of division. Two widespread types of differential mechanisms are considered.

*Adjustment, machine, modulus, number of starts, angle, rotation, differential*

### Информация об авторах

**Смолин Владимир Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры механической обработки материалов Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: [mom@ssau.ru](mailto:mom@ssau.ru). Область научных интересов – оптимизация режимов обработки конструкционных материалов.

**Чигринев Илья Александрович** – инженер кафедры механической обработки материалов Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: [mom@ssau.ru](mailto:mom@ssau.ru). Область научных интересов – оптимизация режимов обработки конструкционных материалов.

**Smolin Vladimir Dmitrievich**, Candidate of Engineering Science – associate professor of Mechanical Material Working department Samara State Aerospace University. E-mail: [mom@ssau.ru](mailto:mom@ssau.ru). Area of research: optimization of constructional materials machining conditions.

**Tchigrinev Ilya Alexandrovich**, ingeneur of Mechanical Material Working department Samara State Aerospace University. E-mail: [mom@ssau.ru](mailto:mom@ssau.ru). Area of research: optimization of constructional materials machining conditions.