

УДК 621.9.04:621.833.06

**ОБРАБОТКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС  
С НАКЛОННЫМИ ПО ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ОКРУЖНОСТИ ЗУБЬЯМИ****канд. техн. наук, проф. А.И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ  
(Полоцкий государственный университет)**

*Рассмотрены конструктивные особенности цилиндрических зубчатых колес с наклонными зубьями, обеспечивающие минимальные величины бокового зазора и циклической ошибки в пределах срока службы. Показано, что модернизация базовых моделей зубодолбежных и зубофрезерных станков на основе изменения их компоновки для обработки колес с наклонными зубьями снижает коэффициенты универсальности и мобильности этих станков, так как их наладка на обработку традиционных цилиндрических колес или переналадка на иной угол наклона зубьев проблематична.*

*Предложены способы обработки цилиндрических колес с наклонными зубьями зуборезными долбяками и червячными фрезами на основе кинематического принципа воспроизведения траектории движения инструмента по делительному конусу, обеспечивающие переналадку соответствующих станков посредством органа настройки на траекторию. Разработана реализация предложенных способов обработки в кинематической структуре зубодолбежных и зубофрезерных станков.*

**Введение.** Конструктивной особенностью цилиндрических зубчатых колес (ЦЗК) с наклонными по делительной окружности зубьями является использование делительного конуса вместо делительного цилиндра, характерного для традиционных цилиндрических колес. Отсюда следует, что при использовании делительного конуса толщина зуба вдоль его линии равномерно уменьшается от большего основания делительного конуса к его меньшему основанию. Эта конструктивная особенность позволяет регулировать боковой зазор в зубчатых передачах посредством осевого смещения колес. В итоге обеспечиваются в пределах срока службы передачи минимальные величины бокового зазора и циклической ошибки. Такие колеса как с прямыми, так и с винтовыми зубьями используются в передачах, от которых требуется высокая кинематическая точность и минимальные боковые зазоры.

**Постановка задачи.** Колеса с наклонными зубьями обрабатывают зуборезными долбяками и червячными фрезами соответственно на зубодолбежных и зубофрезерных станках, модернизированных на основе изменения их компоновки для нарезания рассматриваемого вида ЦЗК. Модернизация базовой модели зубодолбежного станка на этапе конструирования заключается в изменении направления траектории движения исполнительного органа, обеспечивающего перемещение долбяка по линии зуба, расположенной на делительном конусе, или посредством установки продольного стола, несущего делительный стол, под углом к оси шпинделя долбяка, или посредством установки направляющих инструментального суппорта под углом к оси делительного стола. Модернизация базовой модели зубофрезерного станка заключается в установке направляющих суппорта фрезы под углом к оси делительного стола. Данные варианты модернизации на основе принципа изменения компоновки снижают коэффициенты универсальности и мобильности базовых моделей зубообрабатывающих станков, так как их наладка на обработку традиционных ЦЗК или переналадка на иной угол наклона зубьев проблематична. Поэтому представляется целесообразным использование кинематического принципа воспроизведения траектории движения инструмента по делительному конусу при обработке ЦЗК с наклонными зубьями.

**Разработка способов обработки ЦЗК с наклонными зубьями.** В основу методики разработки положен принцип кинематического воспроизведения траектории движения инструмента по линии зуба ЦЗК при его обработке. Такой принцип предусматривает использование в кинематической структуре станка или в системе его управления органа настройки на траекторию формообразующего движения.

**Способ долбления ЦЗК с наклонными зубьями.** На рисунке 1 приведена схема взаимодействия заготовки нарезаемого колеса и долбяка [1]. Для обработки заготовка 1 устанавливается в исходное положение относительно долбяка 3. Причем начальное и конечное положение долбяка в движении  $P_1$  устанавливается с учетом параметра пути  $L$ , который складывается из высоты  $H$  зубчатого венца заготовки, верхнего  $K_1$  и нижнего  $K_2$  перебегов долбяка. Для воспроизведения линии зуба на делительном конусе 2 долбяку 3 необходимо сообщать два движения: традиционное для зубодолбления ЦЗК с линией зуба на цилиндре поступательно-возвратное движение  $P_1$  скорости резания и дополнительное радиальное равномерное движение  $P_2$ , синхронное с движением  $P_1$ . Путь дополнительного движения  $P_2$  рассчитывается по формуле:

$$L = L \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где  $l$  – путь дополнительного движения  $P_2$ , мм;  $L$  – путь поступательно-возвратного движения  $P_1$ , мм;  $\varphi$  – угол наклона зубьев обрабатываемого колеса, град.

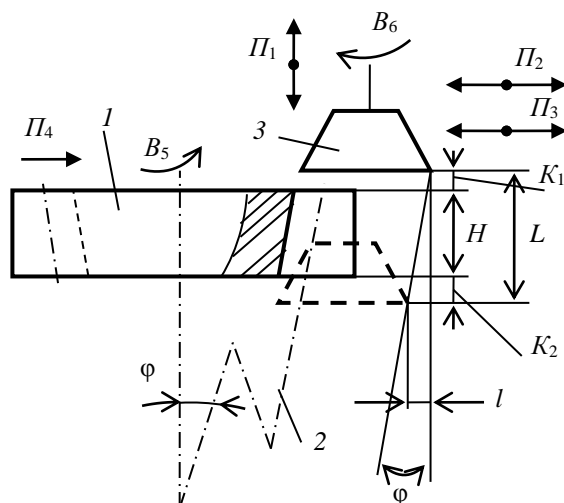


Рис. 1. Способ долбления цилиндрических колес с наклонными зубьями

Таким образом, при кинематическом воспроизведении линии зуба на делительном конусе в предлагаемом способе обработки ЦЗК с наклонными зубьями линия зуба должна воспроизводиться сложным двухэлементарным движением  $\Phi_v(P_1 P_2)$  скорости резания. При этом движения обката  $\Phi_s(B_5 B_6)$ , врезания  $Vp(P_4)$  и отвода («отскока») долбяка  $Vc(P_3)$  при его холостом ходе в движении  $\Phi_v$  остаются такими же, как и у классического способа зубодолбления.

Элементарные движения ( $P_1$  – скорости резания;  $B_6$  – круговой подачи и  $P_4$  – подачи врезания) являются нормируемыми характеристиками процесса зубодолбления. Функциональная связь дополнительного радиального равномерного движения  $P_2$  с нормируемым движением  $P_1$  и вращения  $B_5$  с нормируемым вращением  $B_6$  осуществляются на основе известных в станковедении правил составления расчетных перемещений исполнительных органов расчетных кинематических (структурных) цепей:

$L$  мм перемещения долбяка в движении  $P_1 \rightarrow l$  мм перемещения долбяка в движении  $P_2$ ;

$1/z_0$  вращения долбяка в движении  $B_6 \rightarrow 1/z$  вращения заготовки колеса в движении  $B_5$ .

При обработке долбяку 3 сообщается движение скорости резания  $\Phi_v(P_1 P_2)$  и движение отвода  $Vc(P_3)$ , а заготовке 1 – движение врезания  $Vp(P_4)$  на высоту зуба нарезаемого колеса. Затем заготовке и долбяку сообщается движение обката  $\Phi_s(B_5 B_6)$ . В результате сообщения долбяку и заготовке указанных движений долбяк воспроизводит линию зуба (образующую) по делительному конусу 2, которая переносится по профилю зуба (направляющей). В итоге на заготовке воспроизводится зубчатый венец ЦЗК с наклонными зубьями.

В предлагаемом способе зуборезный долбяк в радиальном направлении по циклу обработки совершает элементарное движение  $P_2$ , входящее в сложное формообразующее движение  $\Phi_v(P_1 P_2)$ , и элементарное вспомогательное движение  $Vc(P_3)$ . Это увеличивает критерий сложности способа обработки и, как следствие, в общем случае ведет к необходимости введения в кинематическую структуру зубодолбежного станка дополнительного привода. Однако, используя особенности тягового вала кинематической группы, воспроизводящей движение  $Vc(P_3)$ , можно использовать кулачок тягового вала этой группы одновременно как физический программноситель траектории движения  $P_2$  и таким образом не вводить дополнительный привод.

**Способ фрезерования ЦЗК с наклонными зубьями.** На рисунке 2 приведена схема взаимодействия заготовки нарезаемого колеса и червячной фрезы [2]. Как и при зубодолблении, заготовка 1 устанавливается в исходное положение относительно червячной фрезы 2. Причем начальное и конечное положение фрезы в движении  $P_3$  устанавливается с учетом величины пути  $L$ , который складывается из высоты  $H$  зубчатого венца заготовки, верхнего  $K_1$  и нижнего  $K_2$  перебегов фрезы. Для воспроизведения линии зуба, являющейся направляющей при нарезании червячной фрезой, на делительном конусе 5 фрезе 2 необходимо сообщать два движения: традиционное для зубофрезерования цилиндрических колес с линией зуба на цилиндре движение  $P_3$  продольной подачи и дополнительное движение  $P_4$ , согласованное с движением  $P_3$ . Причем путь дополнительного движения  $P_4$  определяется по формуле:

$$l = L \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $l$  – путь дополнительного движения  $P_4$ , мм;  $L$  – путь движения  $P_3$ , мм;  $\varphi$  – угол наклона зубьев обрабатываемого колеса, град.



дачей 8 делительного стола 6, на котором устанавливаются обрабатываемые заготовки 5. Привод круговых подач осуществляется электродвигателем  $M_2$ , кинематически связанным через орган настройки  $i_s$  передачу 11 с цепью обката. В приводе радиального врезания на высоту зуба нарезаемого колеса используется гидроцилиндр 9.

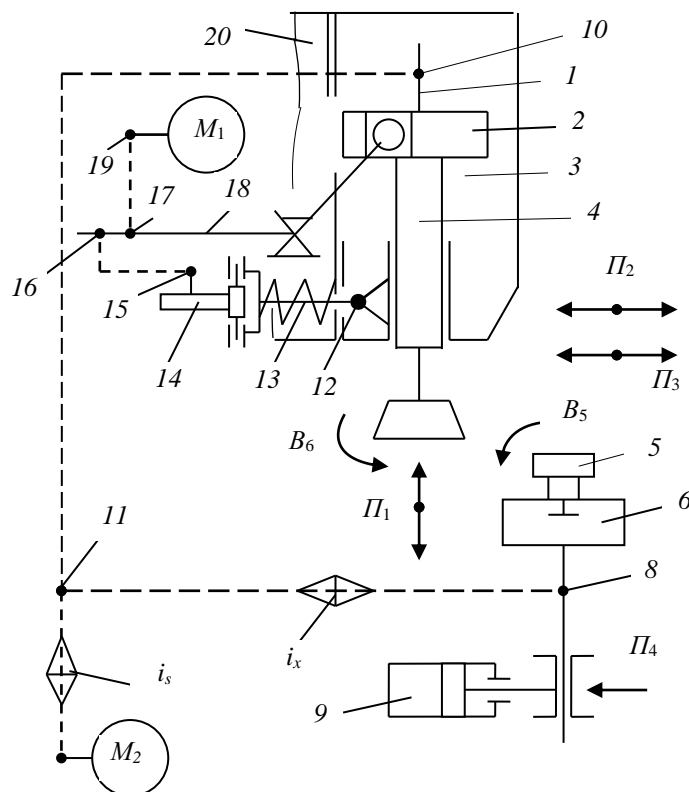


Рис. 3. Кинематическая структура зубодолбежного станка для обработки колес с наклонными зубьями

Кулачок (рис. 4) кулачкового механизма имеет форму диска с отверстием для его установки на станке. Рабочий профиль кулачка выполнен в виде двух дуг 1 и 3, разделенных переходными кривыми 2 и 4. Дуги 1 и 3 выполнены по архимедовой спирали. При указанном направлении вращения кулачка дуга 1 соответствует движению резания в поступательно-возвратном движении долбяка  $\Pi_1$ , а дуга 3 – его возвратному движению. При этом конечный радиус  $R_2$  дуги 1 больше ее начального радиуса  $R_1$ , а конечный радиус  $R_4$  дуги 3 меньше ее начального радиуса  $R_3$ . Разности радиусов для обеих дуг одинаковы и равны пути дополнительного движения долбяка, рассчитанному по формуле (1):

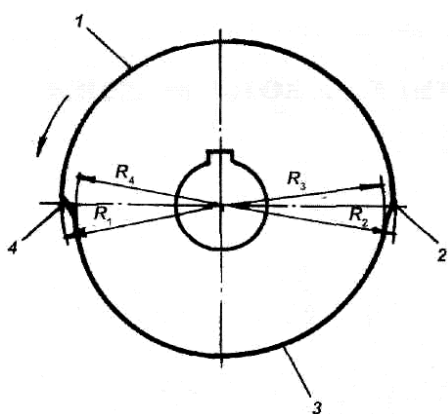


Рис. 4. Кулачок – орган настройки на траекторию движения  $\Phi_s(\Pi_1 \Pi_2)$

при приведенном выполнении кулачка его профиль как жесткий, физический программноноситель несет информацию о двух элементарных движениях  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$ , которые в соответствии с описанным выше способом зубодолбления должны осуществляться синхронно и синфазно с движением  $\Pi_1$ . Причем движение  $\Pi_2$  совместно с движением  $\Pi_1$  образует сложное формообразующее движение  $\Phi_s(\Pi_1 \Pi_2)$ , воспроизводящее линию зуба нарезаемого колеса по делительному конусу.

$$(R_2 - R_1) = (R_3 - R_4) = l = L \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Таким образом, разности радиусов  $(R_2 - R_1)$  и  $(R_3 - R_4)$  равны пути дополнительного радиального равномерного перемещения долбяка в движении  $\Pi_2$ . Переходные кривые 2 и 4 выполнены в виде дуг окружности, радиус которой соответствует радиусу ролика толкателя кулачкового механизма. Разности радиусов  $(R_1 - R_4)$  и  $(R_2 - R_3)$  равны пути отвода («отскока») долбяка в движении  $\Pi_3$ . Следовательно,

Формообразующее движение  $\Phi_v(P_1 P_2)$  в кинематической структуре станка воспроизводится кинематической группой того же названия. Эта группа воспроизводит образующую зубчатого колеса – линию зуба. Ее внутренняя связь:

$P_1 \rightarrow$  гильза 4  $\rightarrow$  кулисный механизм 2  $\rightarrow$  приводной вал 18  $\rightarrow$  передача 16  $\rightarrow$  передача 15  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  кулачок (орган настройки  $i_x$ )  $\rightarrow$  толкатель 13  $\rightarrow$  шарнир 12  $\rightarrow$  суппорт 3  $\rightarrow P_2$ .

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow$  передача 19  $\rightarrow$  передача 17  $\rightarrow$  приводной вал 18 (звено соединения связей).

Группа настраивается на траекторию кулачком (орган настройки  $i_x$ ), на скорость, путь и исходную точку – органами настройки базового станка.

Группа обката  $\Phi_s(B_5 B_6)$  воспроизводит направляющую зубчатого колеса – профиль зубьев. Ее внутренняя связь:

$B_6 \rightarrow$  шпиндель 1  $\rightarrow$  передача 10  $\rightarrow$  передача 11  $\rightarrow i_y \rightarrow$  делительный стол 5  $\rightarrow B_5$ .

Внешняя связь:

$M_2 \rightarrow i_s \rightarrow$  передача 11 (звено соединения связей).

Группа настраивается на траекторию и скорость так же, как аналогичная группа базового станка.

Группа врезания  $Vp(P_4)$  долбяка на высоту зуба имеет простую структуру. Ее внутренняя связь:

направляющие станины  $\rightarrow$  продольный стол, несущий делительный стол 6.

Внешняя связь:

гидроцилиндр 9  $\rightarrow$  продольный стол (звено соединения связей).

Группа настраивается на скорость, путь и исходную точку органами настройки базового станка.

В структуре станка нет группы  $Vc(P_3)$ . Функцию движения  $P_3$  отвода долбяка при его возвратном ходе в движении  $P_1$  выполняет группа  $\Phi_v(P_1 P_2)$  за счет формы рабочего профиля кулачка кулачкового механизма.

Станок работает следующим образом: заготовка 5 устанавливается на делительном столе 6. Затем включается электродвигатель  $M_1$ , сообщающий вращательное движение приводному валу 18. От этого вала долбяк получает поступательно-возвратное движение  $P_1$  и синхронно с ним посредством кулачкового механизма – поступательно-возвратное радиальное движение, представляющее собой геометрическую сумму дополнительного равномерного движения  $P_2$  и поступательно-возвратного движения  $P_3$  подвода-отвода долбяка на участках верхнего и нижнего перебегов. В итоге долбяк совершает поступательно-возвратное движение по траектории в виде прямой, наклоненной к оси заготовки на угол, равный углу наклона зубьев колеса. При включении электродвигателя  $M_2$  долбяку и делительному столу с заготовкой сообщается движение обката со скоростью круговой подачи, состоящее из согласованных вращений  $B_5$  делительного стола и  $B_6$  долбяка. Движение обката обеспечивает воспроизведение профиля зубьев колеса. Одновременно на этапе врезания на высоту зубьев делительному столу сообщается движение  $P_4$  посредством гидроцилиндра 9. По окончании этапа врезания в течение полного оборота делительного стола выполняется профилирование ЦЗК с наклонными по делительному конусу зубьями.

При выполнении кулачкового механизма со сменным кулачком на станке можно обрабатывать ЦЗК с различными углами наклона зубьев при соответствующем профилировании сменных кулачков. В кулачковом механизме можно использовать также кулачок, у которого дуги 1 и 3 (см. рис. 4) рабочего профиля имеют форму дуг окружности. Это позволяет нарезать традиционные ЦЗК с линией зуба на делительном цилиндре. В этом случае сложная формообразующая группа  $\Phi_v(P_1 P_2)$  преобразуется в простую  $\Phi_v(P_1)$ . Одновременно образуется группа отвода-подвода долбяка  $Vc(P_3)$ , обеспечивающая отвод долбяка при его возвратном ходе в движении  $P_1$ .

Предлагаемую схему модернизации зубодолбежного станка можно также использовать при проектировании станков с ЧПУ, так как группа  $\Phi_v(P_1 P_2)$ , воспроизводящая линию зуба колеса по делительному конусу, в этом случае не изменяется.

**Модернизация структуры зубофрезерного станка.** На рисунке 5 приведена структурная схема зубофрезерного станка [2], реализующего описанный выше способ фрезерования червячной фрезой цилиндрических колес с наклонными зубьями. Кинематическая структура станка включает двухэлементарные группы  $\Phi_v(B_1 B_2)$  и  $\Phi_s(P_3 P_4)$ , связанные между собой общим электродвигателем.

Группа скорости резания воспроизводит образующую (профиль) зубьев. Ее внутренняя связь:

$B_1 \rightarrow$  шпиндель 1 фрезы 2  $\rightarrow 3 \rightarrow i_x \rightarrow 4 \rightarrow$  делительный стол 5, несущий заготовку 6  $\rightarrow B_2$ .

Внешняя связь:

$M \rightarrow i_v \rightarrow 3$  (звено соединения с внутренней связью).

Группа настраивается на траекторию и скорость (резания) органами настройки  $i_x$  и  $i_v$  соответственно.  
Группа подачи воспроизводит направляющую (линию зуба). Ее внутренняя связь:

$П_3 \rightarrow$  суппорт 7 фрезы  $\rightarrow$  тяговый вал 12  $\rightarrow$  муфта 11  $\rightarrow$  10  $\rightarrow$  муфта 9  $\rightarrow i_y \rightarrow$  тяговый вал 8  $\rightarrow$   $П_4$ .

Внешняя связь:

$M \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow i_x \rightarrow 4 \rightarrow i_s \rightarrow 10$  (звено соединения связей).

Группа настраивается на траекторию и скорость (подачи) органами настройки  $i_y$  и  $i_s$  соответственно; на путь и исходное положение по упорам системы управления.

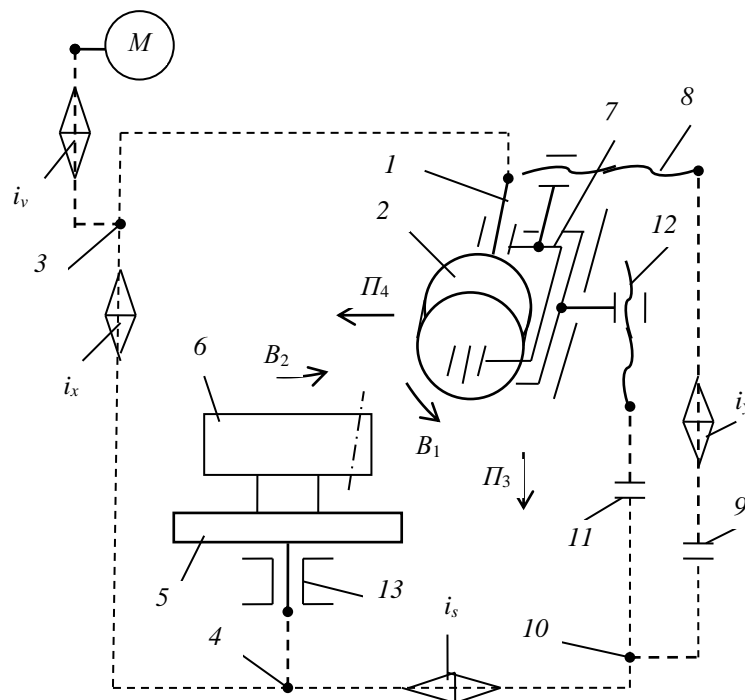


Рис. 5. Структурная схема зубофрезерного станка для обработки колес с наклонными зубьями

В станках с механическими связями органы настройки на траекторию обоих формообразующих движений и органы настройки на скорости резания и подачи, как правило, выполняют в виде гитар сменных зубчатых колес. Формулы настройки для органов настройки на траектории формообразующих движений выводятся на основе расчетных перемещений, приведенных выше при обсуждении способа зубофрезерования, а формулы настройки для органов настройки на скорость резания и подачу выводятся на основе правил, принятых для зубофрезерных станков.

Станок работает следующим образом. По циклу обработки после установки заготовки на делительном столе включается электродвигатель  $M$ . Движение от электродвигателя по внешней связи группы скорости резания через звено соединения связей 3 сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге шпиндель фрезы 2 получает вращательное движение  $V_1$  скорости резания. Одновременно делительный стол 5, несущий заготовку 6, получает вращательное движение  $V_2$ , согласованное с движением  $V_1$ . Согласованные движения  $V_1$  и  $V_2$  воспроизводят профиль зубчатого венца. Затем после включения муфт 9 и 11 движение от электродвигателя  $M$  по внешней связи группы подачи через звено соединения связей 10 сообщается во внутреннюю связь этой группы. В итоге суппорт 7 фрезы получает два согласованных между собой движения: продольной подачи  $П_3$  и радиальной подачи  $П_4$ . В результате профиль каждого зуба будет воспроизводиться по линии зуба, представляющей собой результирующую траекторию движений  $П_3$  и  $П_4$ , наклоненной к оси заготовки на заданный при настройке угол, т.е. по делительному конусу.

На станке можно обрабатывать также традиционные ЦЗК с линией зуба на делительном цилиндре. Для этого достаточно посредством муфты 9 отключить тяговый вал 8, обеспечивающий движение  $П_4$  радиальной подачи суппорта фрезы. В итоге сложная группа  $Ф_s(П_3 П_4)$  преобразуется в простую группу продольной подачи  $Ф_s(П_3)$ , осуществляющей перемещение фрезы по траектории, параллельной оси нарезаемого колеса. Кинематическая структура рассматриваемого станка может быть выполнена также по схеме с отдельными электродвигателями в формообразующих группах. Для этого достаточно орган настройки  $i_s$  отсоединить от кинематического звена 4, а его вход соединить с отдельным электродвигателем группы подач. Такая модификация кинематической структуры обеспечивает возможность оснащения станка простейшей системой ЧПУ с использованием программируемого контроллера. В этом случае из

схемы исключаются органы настройки на скорость резания  $i_x$  и подачу  $i_s$ , и в обеих группах устанавливаются регулируемые электродвигатели. При этом настройка на траекторию обоих формообразующих движений, как и в схеме с механическими связями, будет осуществляться органами настройки  $i_x$  и  $i_y$ . Такой вариант станка рационален в серийном производстве с установившейся номенклатурой зубчатых колес. При уменьшении серийности при одновременном увеличении номенклатуры обрабатываемых колес возрастают трудозатраты на переналадку органов настройки на траекторию, что ведет к снижению коэффициента мобильности станка. Поэтому для достижения высокого коэффициента мобильности в единичном и мелкосерийном производстве с неустановившейся номенклатурой необходима более сложная система ЧПУ, при которой механические органы настройки можно заменить электронными связями между исполнительными органами в обеих формообразующих группах. Обязательным условием при этом является использование в сложных формообразующих группах на каждом исполнительном органе отдельного регулируемого электродвигателя. Этим условиям отвечает структурная схема станка, приведенная на рисунке 6 [3].

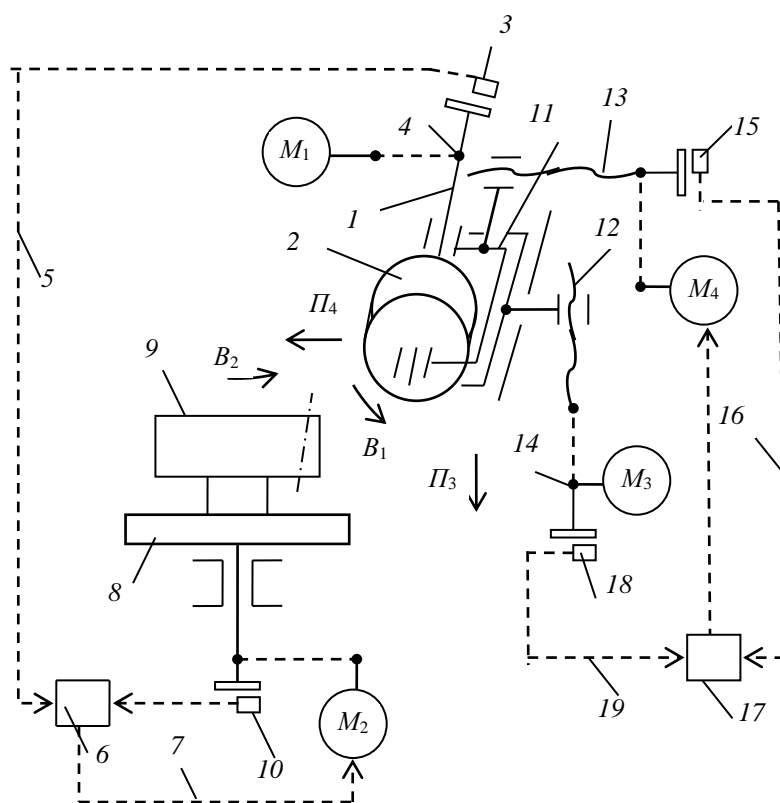


Рис. 6. Структура зубофрезерного станка с ЧПУ для обработки колес с наклонными зубьями

Кинематическая структура станка включает не связанные между собой формообразующие группы  $\Phi_v(B_1 B_2)$  и  $\Phi_s(\Pi_3 \Pi_4)$ . В обеих группах функциональная связь между исполнительными органами осуществляется системой отслеживающей синхронизации (см. рис. 6 – пунктирные линии), выполненной по схеме ведущая координата – ведомая координата [4]. Связь механики с системой синхронизации в группе  $\Phi_v$  обеспечивается посредством импульсных измерительных преобразователей 3 и 10, а в группе  $\Phi_s$  – посредством таких же преобразователей 15 и 18. В группе скорости резания  $\Phi_v(B_1 B_2)$  ведущей координатой является шпиндель 1 фрезы 2. Внутренняя связь этой группы:

$B_1 \rightarrow$  шпиндель 1 фрезы 2  $\rightarrow$  4  $\rightarrow$  импульсный измерительный преобразователь 3  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  электрическая цепь (электрический вал) 5  $\rightarrow$  блок автоматического управления 6  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  электрическая цепь 7  $\rightarrow$   $M_2$   $\rightarrow$  делительный стол 8 с заготовкой 9  $\rightarrow$   $B_2$ .

Внешняя связь:

$M_1 \rightarrow$  звено соединения связей 4.

Таким образом, система синхронизации включает импульсный измерительный преобразователь 3, установленный на шпинделе и соединенный электрической цепью 5 с блоком автоматического управления 6 электродвигателя  $M_2$  делительного стола. В систему синхронизации входит также цепь адаптации,

включающая импульсный измерительный преобразователь 10, электрически соединенный с блоком 6. Эта цепь обеспечивает повышение точности функционирования группы посредством устранения девиации механики ведомого исполнительного органа – делительного стола.

Группа настраивается на траекторию посредством делителя частоты системы синхронизации и на скорость (резания) посредством делителя напряжения системы ЧПУ станка.

В группе подачи  $\Phi_s(P_3 P_4)$  ведущей координатой является фрезерный суппорт 11 в движении  $P_3$ .

Внутренняя связь этой группы:

$$P_3 \rightarrow \text{фрезерный суппорт } 11 \rightarrow \text{тяговый вал (передача винт – гайка) } 12 \rightarrow 14 \rightarrow \\ \rightarrow \text{импульсный измерительный преобразователь } 18 \rightarrow \text{электрическая цепь } 9 \rightarrow \\ \rightarrow \text{блок автоматического управления } 17 \rightarrow \text{электрическая цепь } 16 \rightarrow \\ \rightarrow M_4 \rightarrow \text{тяговый вал } 13 \rightarrow \text{фрезерный суппорт} \rightarrow P_4.$$

Внешняя связь:

$$M_3 \rightarrow \text{звено соединения связей } 14.$$

В систему синхронизации входит также цепь адаптации, включающая импульсный измерительный преобразователь 15, установленный на тяговом валу 13 и соединенный с блоком 17. Эта цепь обеспечивает повышение точности функционирования группы посредством устранения девиации механики ведомого исполнительного органа – фрезерного суппорта 11.

Группа настраивается на траекторию посредством делителя частоты системы синхронизации, на скорость (подачи) посредством делителя напряжения устройства ЧПУ станка, на путь и исходное положение – цикловым автоматом устройства ЧПУ.

На станке можно обрабатывать также ЦЗК с линией зуба на делительном цилиндре. Для этого необходимо отключить систему отслеживающей синхронизации группы  $\Phi_s(P_3 P_4)$ . В итоге эта сложная группа преобразуется в простую группу продольной подачи  $\Phi_s(P_3)$ , осуществляющей перемещение фрезы по траектории, параллельной оси нарезаемого колеса.

В заключение исследования можно сделать следующие **выводы**:

1) преобразование элементарной формообразующей группы воспроизведения линии зуба ЦЗК в способах обработки таких колес зуборезными долбляками и червячными фрезами в сложную двухэлементарную обеспечивает возможность модернизации базовых моделей зубодолбежных и зубофрезерных станков для обработки ЦЗК с наклонными зубьями;

2) использование принципа совмещения сложного формообразующего и простого вспомогательного движений одним исполнительным органом при модернизации базовой модели зубодолбежного станка позволяет достаточно просто реализовать способ зубодолбления ЦЗК с наклонными зубьями. Принципиальной особенностью такой реализации является преобразование кулачка кулачкового механизма вспомогательной группы в физический программноситель информации о траектории обоих движений;

3) модернизация базовой модели зубофрезерного станка с механическими связями осуществляется посредством использования в формообразующей группе воспроизведения линии наклонного зуба ЦЗК дополнительного тягового вала установочного, радиального перемещения инструментального суппорта и его кинематической связи, включающей гитару сменных зубчатых колес, с тяговым валом продольной подачи суппорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Способ долбления зубчатых колес и станок для его осуществления: пат. 3343 Респ. Беларусь, В 23F 5/00, В 23F 5/12 / А.И. Голембиевский; заявитель Полоц. гос. ун-т; опубл. 20.12.1999 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 1999.
2. Способ нарезания цилиндрических зубчатых колес и станок для его реализации: пат. 6134 Респ. Беларусь, В 23F 5/12 / А.И. Голембиевский; заявитель Полоц. гос. ун-т; опубл. 29.12.2003 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 2003.
3. Голембиевский, А.И. Управление процессом многопроходного зубодолбления / А.И. Голембиевский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2006. – № 6. – С. 111 – 115.

Поступила 27.03.2008