

УДК 621.9.04:621.833.06

СИНХРОНИЗАЦИЯ ПРИВодОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО СВЯЗАННЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ЗУБОДОЛБЕЖНОГО СТАНКА РОТОРНОГО ТИПА

канд. техн. наук, проф. А.И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрена кинематика способа обкатного зубодолбления по роторной схеме, совмещающей обработку с транспортированием пары долбяк – заготовка. Показано, что реализация этого способа зубодолбления в конструкции роторного зубодолбежного станка, объединяющего в своей структуре несколько однотипных станков с касательным (круговым) врезанием на базе традиционных механических связей, содержащих большое количество органов настройки, зубчатых передач и переключающих механизмов, нерациональна. На основе этого сделан вывод о целесообразности разработки станков роторного типа с электронными связями между исполнительными органами с использованием центрального командоаппарата или программируемого контроллера для управления циклом работы станка. Разработана на основе интегральных элементов схема отслеживающей синхронизации системы управления приводами подачи функционально связанных исполнительных органов зубодолбежного станка роторного типа. Предложена для повышения точности функционирования схема двухсторонней коррекции управляющего сигнала ведущей координаты (шпинделя долбяка) по эталонному сигналу, а ведомой координаты (делительного стола) – по задающему сигналу ведущей координаты.

Введение. Изобретение в середине 70-х годов прошлого столетия способа обкатного нарезания зубчатых колес зуборезными долбяками при касательном движении врезания [1] послужило основой для возможности создания способа зубодолбления по роторной схеме [2], совмещающей обработку с транспортированием пары долбяк – заготовка. По этой схеме (рис. 1) обработка заготовки 1 долбяком 2 осуществляется при их перемещении по концентрическим окружностям с общим центром O . В течение цикла

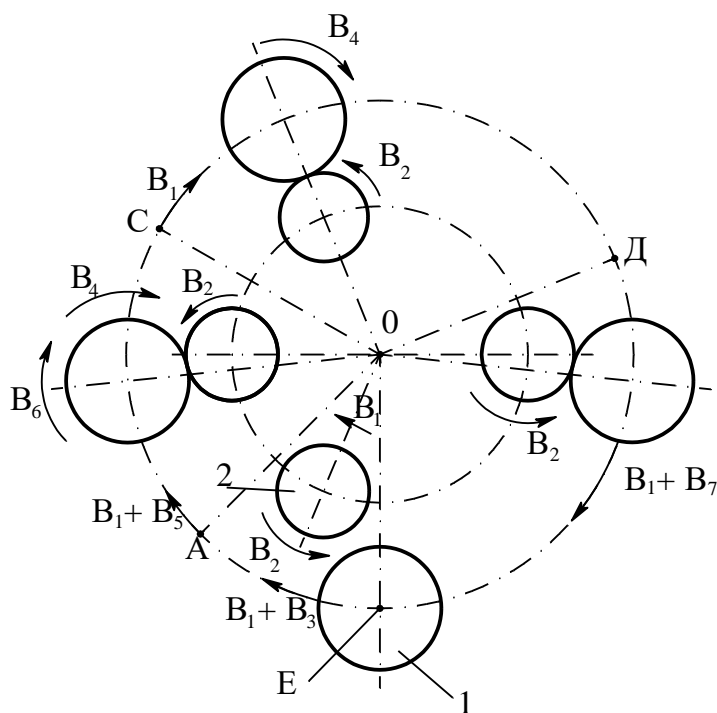


Рис. 1. Схема зубодолбления при непрерывном транспортировании пары долбяк – заготовка

обработки долбяк 2, совершающий традиционные для обкатного зубодолбления движения скорости резания V_1 и синхронное с ним движение «отскока» V_2 (на рисунке не показаны), перемещается относительно центра O с постоянной угловой скоростью V_1 и вращается вокруг собственного центра с угловой скоростью V_2 , определяемой круговой подачей. Угловая скорость заготовки 1 относительно центра O имеет различные значения. В начальный момент цикла обработки после установки заготовки в положение E ей сообщается движение V_1+V_3 , превышающее угловую скорость V_1 долбяка на величину угловой скорости позиционирования V_3 . В результате на участке позиционирования EA заготовка догоняет долбяк с угловой скоростью позиционирования V_3 . На участке касательного врезания AC заготовке сообщается движение V_4 , согласованное с движением V_2 долбяка (функционально связанные движения V_2 и V_4 образуют сложное движение обката V_2V_4), движение касательного врезания V_1+V_5 , превышающее угловую скорость движения V_1 долбяка на угловую скорость подачи касательного врезания V_5 , и согласованное с движением V_5 дополнительное движение V_6 . Врезание на высоту зуба заканчивается в позиции C . На участке CD заготовка и долбяк относительно центра O перемещаются с одинаковыми угловыми скоростями V_1 . На этом участке осуществляется профилирование заготовки движением обката V_2V_4 , которое продолжается в течение одного поворота заготовки вокруг собственного центра.

Профилирование заканчивается в позиции *Д*. Здесь долбяк выводится в крайнее верхнее положение в движении Π_1 , движение B_4 заготовки прекращается и одновременно ей сообщается движение B_1+B_7 , превышающее угловую скорость движения B_1 долбяка относительно центра O на угловую скорость позиционирования B_7 . В итоге на участке *ДЕ* заготовка уходит от долбяка и при достижении позиции загрузки-выгрузки останавливается, где происходит замена обработанного колеса новой заготовкой. За время смены заготовки долбяк в движении B_1 проходит позицию *Е* и обгоняет заготовку. Затем цикл обработки повторяется.

Описанный способ позволяет одновременно обрабатывать несколько заготовок за счет последовательного перемещения по концентрическим окружностям относительно центра O нескольких пар долбяк – заготовка. Будем считать, что приведенная схема является мгновенным положением четырех пар долбяк – заготовка. Тогда можно утверждать, что на позиции *Е* устанавливается очередная заготовка, на участках *АС* и *СД* две заготовки проходят зону обработки, а на участке *ДЕ* еще одна заготовка после окончания ее обработки в позиции *Д* перемещается в позицию загрузки-выгрузки *Е*. Таким образом данный способ создает условия для последовательно-параллельного нарезания зубчатых колес. Количество пар долбяк – заготовка зависит от диаметров концентрических окружностей, по которым перемещаются эти пары.

Авторами рассмотренного способа зубодолбления предложена также его реализация в ряде кинематико-компоновочных схем роторных зубодолбежных станков [3, 4]. По существу роторные станки можно рассматривать как совокупность нескольких одинаковых зубодолбежных станков с касательным врезанием, объединенных общим ротором. В этих станках кинематические связи между исполнительными органами выполнены в виде развитых кинематических цепей, содержащих большое количество зубчатых передач, механических органов настройки, переключающих устройств и распределительных механизмов. Однако развитые кинематические цепи существенно усложняют механику станка, увеличивают его металлоемкость и трудоемкость изготовления, снижают ремонтпригодность и, как следствие, качество обработки. Поэтому в станках роторного типа представляется целесообразной замена кинематических связей между исполнительными органами электронными связями между электродвигателями их приводов и использование программируемых контроллеров для их управления.

Разработки системы синхронизации. На рисунке 2 представлена кинематико-компоновочная схема одного из n -го количества одинаковых зубодолбежных станков с касательным врезанием, составляющих роторный зубодолбежный станок, у которого каждый исполнительный орган оснащен отдельным электродвигателем.

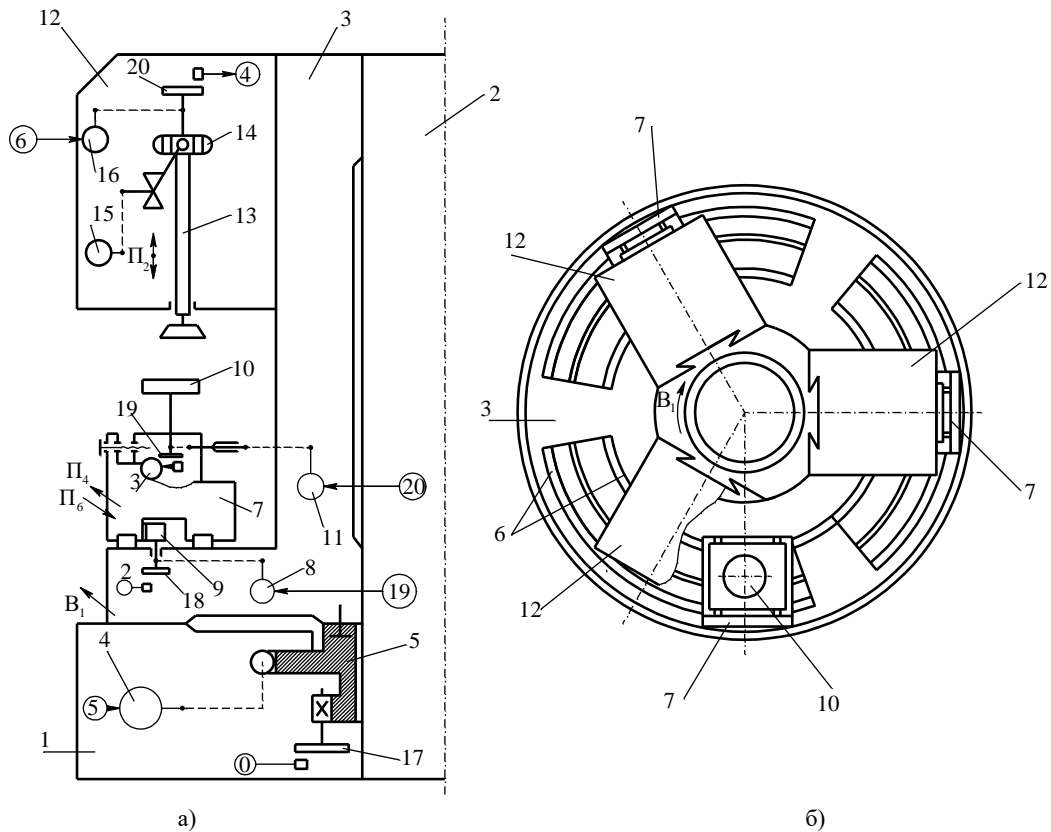


Рис. 2. Роторный зубодолбежный станок:
а – кинематическая структура; б – вид в плане

Общая компоновка базовых элементов выполнена аналогично компоновке, принятой в [3]. На станине 1 установлен с возможностью вращения относительно колонны 2 ротор 3. Привод вращения ротора осуществляется электродвигателем 4 через червячную передачу 5. В приводе ротора можно использовать как нерегулируемый, например асинхронный, так и регулируемый электродвигатель. На основании ротора 3 равномерно по окружности с возможностью движения по направляющим 6 размещены круговые столы 7. Привод каждого кругового стола 7 осуществляется от отдельного регулируемого, высокомоментного электродвигателя 8 через зубчато-реечную передачу 9. На каждом круговом столе 7 смонтирован делительный стол 10, получающий круговую подачу от кинематически связанного с ним регулируемого высокомоментного электродвигателя 11. В верхней части ротора 3 установлены инструментальные суппорты 12 в количестве, равном количеству делительных столов. В каждом суппорте 12 смонтирован шпindel 13, несущий стандартный долбяк. Привод поступательно-возвратного движения шпинделя осуществляется кулисным механизмом 14, кинематически связанным с электродвигателем 1. Приводы круговых подач шпинделей осуществляются от регулируемых высокомоментных электродвигателей 16. На делительных передачах исполнительных органов – роторе, круговых и делительных столах и шпинделях установлены импульсные измерительные преобразователи соответственно 17, 18, 19, 20, предназначенные для преобразования круговых частот вращения исполнительных органов в последовательности импульсов, сообщаемых в электронную систему отслеживающей синхронизации их приводов.

Система отслеживающей синхронизации выполнена по схеме ведущая – ведомая координаты [5]. Ведущими координатами являются шпиндели 13 и круговые столы 7.

Блок-схема формирования сигналов управления круговыми подачами шпинделей (рис. 3) выполнена по схеме с автоматической двухсторонней коррекцией погрешностей их приводов (на схеме представлен один канал) по сигналу эталонного генератора [6].

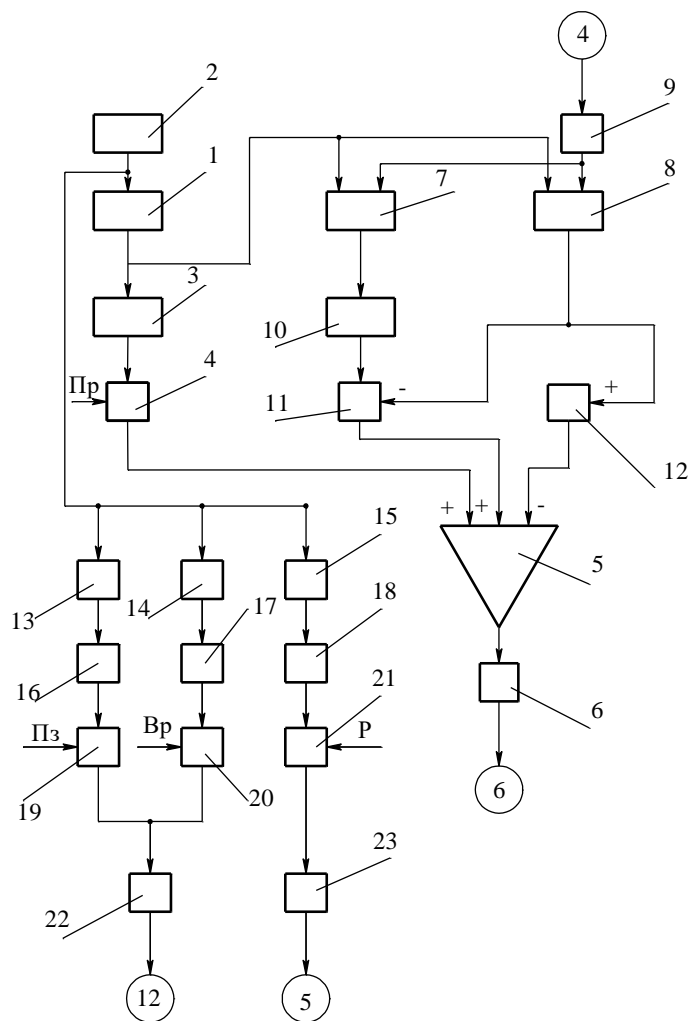


Рис. 3. Блок-схема формирователя сигнала управления ведущей координаты (шпинделя долбяка)

Задатчиком для электродвигателя привода круговой подачи является делитель частоты 1, соединенный своим входом с эталонным генератором 2, а выходом через импульсно-аналоговый преобразователь 3, элемент И 4, первый положительный вход-выход параллельного сумматора 5, усилитель мощности 6 – с электродвигателем 16 привода вращения шпинделя 13 (см. рис. 2) и с первыми входами фазового 7 и знакового 8 дискриминаторов. Вторые входы дискриминаторов соединены с выходом счетчика импульсов 9, вход которого соединен с импульсным измерительным преобразователем 20, установленным на шпинделе.

Выход фазового дискриминатора 7 через импульсно-аналоговый преобразователь 10 соединен с аналоговыми входами ключей 11 и 12, управляемых соответственно отрицательным и положительным потенциалами. Выход знакового дискриминатора 8 соединен с потенциальными входами ключей 11 и 12, а выходы этих ключей соединены соответственно со вторым положительным и отрицательным входами параллельного сумматора 5. Делитель частоты 1 состоит из счетчика импульсов и блока установки коэффициента деления. Импульсный сигнал с выхода этого делителя преобразуется в импульсно-аналоговом преобразователе 3 в постоянное напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Это напряжение после усиления по мощности в усилителе мощности 6 запускает электродвигатель привода круговой подачи (вращения шпинделя). Одновременно следующим образом устраняется девиация механики этого привода. На первые входы дискриминаторов 7 и 8 непрерывно поступает задающий сигнал с делителя частоты 3, а на вторые входы этих дискриминаторов – импульсный сигнал с импульсного измерительного преобразователя 20, соответствующий мгновенному значению действительной круговой подачи. В дискриминаторах непрерывно происходит сравнение обоих сигналов. В результате на выходе фазового дискриминатора 7 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в импульсно-аналоговом преобразователе 10 поступает на аналоговые входы ключей 11 и 12. Одновременно на выходе знакового дискриминатора 8 непрерывно образуется отрицательный потенциал при отставании шпинделя от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот потенциал поступает на потенциальные входы ключей 11 и 12 и открывает один из них. При открывании ключа 11, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения параллельного сумматора 5, а при открывании ключа 12, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания параллельного сумматора 5. В итоге в зависимости от знака погрешности в параллельном сумматоре 5 происходит увеличение или уменьшение задающего сигнала, действующего на его первом входе, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно номинального значения.

Формирование сигналов управления приводами круговых подач остальных $n - 1$ шпинделей происходит аналогично. При этом общим задатчиком для схем формирования является делитель частоты 1.

Задатчиками для приводов подач позиционирования и врезания круговых столов, а также для привода подачи ротора являются делители частоты соответственно 13, 14, 15, имеющие такую же структуру, что и делитель частоты 1. Входы этих делителей частоты объединены и соединены с выходом эталонного генератора 2, а их выходы соединены с импульсно-аналоговыми преобразователями 16, 17, 18 соответственно. Выходы этих преобразователей соединены с входами аналоговых элементов И 19, 20, 21 соответственно. Выходы элементов И 19, 20 объединены и соединены с усилителем мощности 22, у которого выход соединен с электродвигателями круговых столов. Выход элемента И 21 соединен с усилителем мощности 23, соединенного своим выходом с электродвигателем ротора. Таким образом, на входах элементов И 19, 20, 21 при включенном эталонном генераторе 2 постоянно действуют сигналы управления приводами соответствующих круговых столов и ротора. Девиация приводов механики ротора и круговых столов, при необходимости ее устранения, осуществляется на основе сравнения задающих сигналов, постоянно действующих на выходах импульсно-аналоговых преобразователей 16, 17, 18 с сигналами-аналогами действительных подач, действующими на соответствующих импульсных измерительных преобразователях 17 и 18 (см. рис. 2). Схема сравнения и двухсторонней коррекции управляющих сигналов аналогична рассмотренной при описании решения такой же задачи при коррекции сигнала управления приводом круговой подачи шпинделя.

С точки зрения кинематической структуры блоки установки коэффициента деления в делителях частоты выполняют функцию органов настройки соответствующих подач.

Система формирования сигнала управления делительного стола на этапе врезания и на этапе профилирования нарезаемого колеса выполнена по схеме (рис. 4), где делительный стол является ведомой координатой. На этапе врезания шпиндель и круговой стол одновременно являются задающими координатами, а при профилировании задающей координатой является шпиндель. При этом на этапе профилирования осуществляется двухсторонняя коррекция сигнала управления привода делительного стола (на схеме представлен один канал) по сигналу задающей координаты.

Задатчиками для электродвигателя привода ведомой координаты (делительного стола) на этапе врезания являются импульсные измерительные преобразователи 18 и 20, установленные на делительных

передачах соответственно кругового стола 7 и шпинделя 13 (см. рис. 2). Импульсный измерительный преобразователь 18 через соединенные последовательно делитель частоты 1, импульсно-аналоговый преобразователь 2 и элемент И 3, управляемый аналоговым сигналом, соединен с первым входом сумматора 4. А импульсный измерительный преобразователь 20 соединен с входом ключа 5 (например, элемент И 2), имеющего два аналоговых управляющих входа и два выхода. Один выход этого ключа соединен с входом делителя частоты 6, а другой выход – с входом умножителя частоты 7. Выходы делителя частоты 6 и умножителя частоты 7 объединены и соединены с входом элемента И 9, управляемого аналоговым сигналом, и с входом импульсно-аналогового преобразователя 8, соединенного своим выходом со вторым входом сумматора 4. Выход этого сумматора соединен с первым входом сложения параллельного сумматора 10. Выход элемента И 9 соединен с первыми входами знакового 11 и фазового 12 дискриминаторов. Вторые входы этих дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем 19, установленным на делительной передаче ведомой координаты. Выход знакового дискриминатора 11 соединен с потенциальными входами элементов И 13, 14, управляемых соответственно отрицательным и положительным потенциалами. Выход элемента И 13 соединен со вторым положительным входом параллельного сумматора 10, а выход элемента И 14 – с отрицательным входом этого сумматора. Выход фазового дискриминатора 12 через импульсно-аналоговый преобразователь 15 соединен с аналоговыми входами элементов И 13, 14. Выход параллельного сумматора 10 через усилитель мощности 16 соединен с электродвигателем 11 делительного стола (ведомая координата).

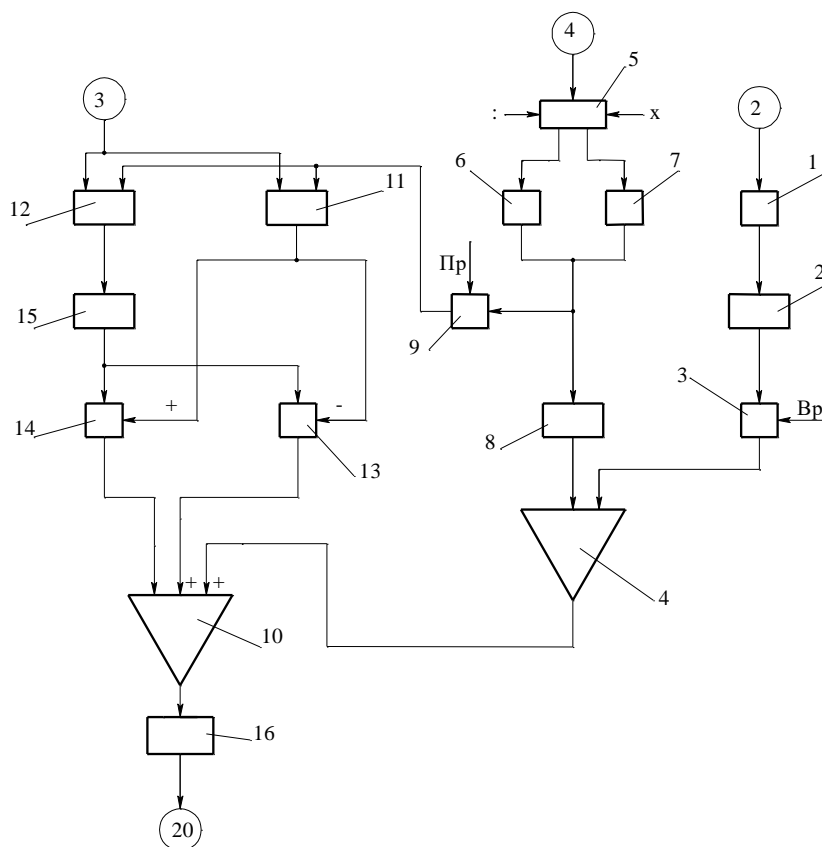


Рис. 4. Блок-схема формирователя сигнала управления ведомой координаты (делительного стола)

Делители частоты 1 и 6 аналогичны делителю частоты, используемому в схеме формирования сигнала управления приводами круговых подач шпинделя. Умножитель частоты 7 состоит из счетчика импульсов и блока установки коэффициента умножения. Выбор делителя частоты 6 или умножителя частоты 7 зависит от передаточного отношения функциональной связи долбяк – заготовка:

$$i_x = c \frac{z_d}{z},$$

где i_x – передаточное отношение станочного зацепления; c – коэффициент, зависящий от передаточного отношения делительных передач; z_d и z – числа зубьев соответственно долбяка и нарезаемого колеса.

В практике зубодолбления $z \geq cz_d \geq z$. Поэтому при $cz_d < z$ ключом 5 устанавливаем связь импульсного измерительного преобразователя 20 с делителем частоты 6, при $cz_d > z$ – с множителем частоты 7. При $cz_d = z$ эта связь может устанавливаться с любым из этих блоков при условии установки коэффициента деления или умножения, равного единице.

Таким образом, блоки установки коэффициента деления или умножения соответственно в делителе частоты 6 или в множителе частоты 7 выполняют функцию органа настройки на круговую подачу делительного стола станочного зацепления долбяк – заготовка, а совместно с делителем частоты 1 ведущей координаты (см. рис. 3) – органа настройки на траекторию этого зацепления. Блок установки коэффициента деления делителя частоты 1 выполняет функцию органа настройки на дополнительный поворот делительного стола на этапе врезания, а совместно с блоком установки коэффициента деления делителя частоты 14 (см. рис. 3) ведущей координаты на этапе врезания – органа настройки на траекторию станочного зацепления заготовка (касательное движение) – заготовка (дополнительный поворот).

Схемы формирователей сигналов управления приводами подач остальных $n - 1$ ведомых координат (делительных столов) аналогичны.

Связь системы синхронизации с центральным командоаппаратом или программируемым контроллером осуществляется посредством бесконтактных конечных переключателей, установленных на станине и роторе станка в точках, соответствующих позициям *E, A, C, D* (см. рис. 1).

Циклы обработки зубчатых колес на каждом из делительных столов одинаковы но смещены во времени на величину, равную времени поворота ротора в движении B_1 на угол $2\pi/n$, где n – количество однотипных зубодолбежных станков, составляющих структуру роторного станка.

На рисунке 2 показано исходное для обработки положение, при котором круговой стол 7 находится в положении относительно инструментального суппорта 12 на позиции загрузки-выгрузки. В следующем по направлению вращения ротора положении исполнительных органов 7 и 12 происходит профилирование зубчатого колеса. В третьем положении профилирование закончено, осуществляется вывод долбяка из зоны зацепления и начинается этап позиционирования кругового стола в зону загрузки-выгрузки. Рассмотрим взаимодействие исполнительных органов станка по циклу обработки одного зубчатого колеса.

При включении эталонного генератора 2 импульсный сигнал с его выхода (см. рис. 3) преобразуется в импульсно-измерительных преобразователях 1, 16, 17, 18 в постоянное напряжение. Затем по программе на элементы *И 19* и *21* подается управляющий потенциал (символы *Пз* и *Р*). Напряжение с выхода импульсно-аналогового преобразователя 18 сообщается через элемент *И 21* и усилитель мощности 23 электродвигателю ротора, а напряжение с выхода импульсно-аналогового преобразователя – через элемент *И 19* и усилитель мощности 22 электродвигателю продольного стола. В результате ротору сообщается движение подачи B_1 , а круговому столу – B_3 . На участке позиционирования *EA* (см. рис. 1) круговой стол догоняет инструментальный суппорт. В конечной точке *A* участка позиционирования срабатывает конечный переключатель системы управления циклом, с элемента *И 19* снимается управляющий потенциал *Пз*, а элементу *И 20* сообщается управляющий потенциал (символ *Вр*). В результате круговому столу сообщается подача врезания B_5 . Одновременно включается привод поступательно-возвратного движения шпинделя долбяка.

На этапе врезания делительному столу сообщается движение B_6 , согласованное с движением B_5 . Осуществляется это следующим образом. Сигнал – аналог подачи B_5 кругового стола – поступает с импульсного измерительного преобразователя 18 на делитель частоты 1 канала отслеживающей синхронизации (см. рис. 4), где происходит его деление в соответствии с коэффициентом деления, определяющим передаточное отношение станочного зацепления сложного движения врезания. Импульсный сигнал с выхода делителя частоты после преобразования в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 2 через последовательно включенные элемент *И 3*, открытый по управляющему входу потенциалом *Вр*, сумматор 4, параллельный сумматор 10 и усилитель мощности 16, сообщается электродвигателю 11 привода делительного стола.

Этап врезания прекращается в конечной точке *C* участка врезания *AC* по команде конечного переключателя системы управления циклом. Управляющий потенциал *Вр* снимается с соответствующих элементов *И*. В результате сложное движение врезания B_5B_6 прекращается. Одновременно на входы элементов *И 4* (см. рис. 3) и *И 9* (см. рис. 4) поступает управляющий потенциал на профилирование колеса (символ *Пр*). Управляющий потенциал, действующий на управляющем входе элемента *И 4*, включает привод круговой подачи шпинделя, являющегося ведущей координатой движения обката (профилирования) B_2B_4 (работа схемы формирования сигнала управления этим приводом описана выше). Функциональная связь движений B_2 и B_4 осуществляется схемой отслеживающей синхронизации (см. рис. 4).

Сигнал – аналог круговой подачи шпинделя – поступает с импульсного измерительного преобразователя 20, установленного на шпинделе, на вход элемента *И 22*, один из управляющих входов которого при наладке открыт для прохождения задающего сигнала на вход делителя частоты 6 или множителя частоты 7 (символы : или \times) в соответствии с передаточным отношением станочного зацепления долбяк – заготовка.

После умножения или деления задающий сигнал преобразуется в аналоговую форму в импульсно-аналоговом преобразователе 8 через сумматор 4, первый вход – выход параллельного сумматора 10, усилитель мощности 16 сообщается электродвигателю кругового стола. Одновременно устраняется девиация привода кругового стола. Сигнал с выхода делителя или умножителя частоты через открытый по управляющему входу потенциалом *Пр* элемент *И* 9 поступает на первые входы знакового 11 и фазового 12 дискриминаторов, на вторых входах которых одновременно поступает сигнал с импульсного измерительного преобразователя, установленного на делительной передаче делительного стола. При непрерывном мгновенном сравнении сигналов на выходе фазового дискриминатора образуется сигнал абсолютной погрешности, а на выходе знакового дискриминатора – ее погрешности по знаку. Сигнал с выхода знакового дискриминатора 11 открывает по управляющему входу элемент *И* 13, управляемый отрицательным потенциалом, или элемент 14, управляемый положительным потенциалом. С выхода фазового дискриминатора сигнал абсолютной погрешности преобразуется в аналоговую форму и поступает на входы элементов *И* 13 и 14. Этот сигнал в зависимости от его знака поступает через один из элементов *И* на второй положительный или на отрицательный входы параллельного сумматора 10, происходит двухсторонняя коррекция задающего сигнала ведомой координаты (делительного стола).

Профилирование прекращается по сигналу конечного переключателя после переноса ротором исполнительных органов (обоих столов и инструментального шпинделя) в конечное положение участка профилирования *СД*. В этом положении управляющий потенциал *Пр* снимается с соответствующих ключей, приводы шпинделя и делительного стола отключаются. Прекращается также поступательно-возвратное движение шпинделя, и он выводится в крайнее верхнее положение. Одновременно на элемент *И* 19 подается управляющий потенциал, и круговой стол на подаче врезания уходит из зоны профилирования по направляющим ротора по ходу его вращения. В положении загрузки-выгрузки конечным переключателем системы управления циклом электродвигатель кругового стола реверсируется и одновременно включается реле времени. Круговой стол, перемещаясь в направлении, противоположном направлению движения ротора, остается неподвижным в зоне загрузки-выгрузки в течение времени, определяемом циклом обработки. За это время снимается нарезанное колесо, устанавливается новая заготовка, а инструментальный суппорт перемещается на участок позиционирования. По окончании времени выдержки реле времени выключается, на управляющий вход соответствующего элемента *И* поступает потенциал *Пз* и цикл обработки повторяется.

Выводы. Замена большого количества механических связей между исполнительными органами роторного зубодолбежного станка электронной системой синхронизации на основе типовых интегральных схем между их управляемыми электродвигателями создает предпосылки для снижения металлоемкости станка, существенного снижения уровня шума при работе, для оптимизации режимов резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ нарезания цилиндрических колес: пат. 475761 (SU), МКИ² В 23F 5/00 / М. Тиксье // Открытия. Изобретения. – 1975. – № 24.
2. Способ нарезания зубчатых изделий: а. с. 1291311 (SU), МКИ³ В 23F 5/12 / В.А. Терентьев, А.И. Трофимов // Открытия. Изобретения. – 1987. – № 7.
3. Роторный зубодолбежный станок: а. с. 1324778 (SU), МКИ³ В 23F 5/12 / В.А. Терентьев, А.И. Трофимов // Открытия. Изобретения. – 1987. – № 27.
4. Терентьев, В.А. Роторный зубодолбежный станок / В.А. Терентьев, А.И. Трофимов // Машиностроение. – 1990. – Вып. 15. – С. 107 – 111.
5. Устройство для синхронизации приводов вращения шпинделя и делительного стола зубодолбежного станка: заявка 20010361 Респ. Беларусь, В 23Q 15/00, В 23F 5/12 / А.И. Голембиевский // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2002. – № 4 (35).
6. Устройство для синхронизации приводов шпинделя и делительного стола зубодолбежного станка: пат. 8621 Респ. Беларусь, В 23Q 15/00, В 23F 5/12 / А.И. Голембиевский; заявитель Полоц. гос. ун-т. – опубл. 26.07. 2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006.

Поступила 22.01.2007