

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 16976

(13) С1

(46) 2013.04.30

(51) МПК

*B 23Q 15/00* (2006.01)

*B 23F 9/10* (2006.01)

(54)

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИВОДОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ШЛИЦЕФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

(21) Номер заявки: а 20110252

(22) 2011.02.28

(43) 2012.10.30

(71) Заявитель: Учреждение образования  
"Полоцкий государственный уни-  
верситет" (ВУ)

(72) Автор: Голембиевский Анатолий  
Иосифович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-  
зования "Полоцкий государственный  
университет" (ВУ)

(56) ВУ 8621 С1, 2006.

RU 2025255 С1, 1994.

RU 2025256 С1, 1994.

SU 1371862 А1, 1988.

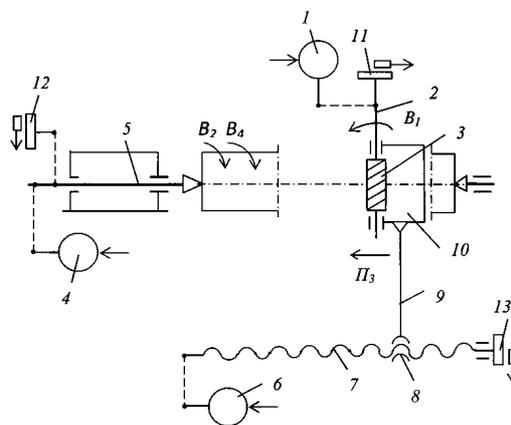
SU 1773683 А1, 1992.

JP 2002/126947 А.

JP 58149129 А, 1983.

(57)

Устройство для синхронизации приводов исполнительных органов шлицефрезерного станка, содержащее два импульсных измерительных преобразователя, установленных на шпинделе червячной фрезы и на шпинделе заготовки, эталонный генератор, первый и второй делители частоты, блок круговой частоты шпинделя червячной фрезы, первый блок круговой частоты шпинделя заготовки, первый и второй фазовые дискриминаторы, первый и второй импульсно-аналоговые преобразователи, первый и второй ключи, управляемые отрицательным потенциалом, первый и второй ключи, управляемые положительным потенциалом, первый и второй параллельные сумматоры, первый и второй усилители мощности, причем выход эталонного генератора соединен со входами первого и второго делителей частоты, выход первого делителя частоты соединен со входом блока круговой частоты шпинделя червячной фрезы, соединенного своим выходом с первым входом сложения первого параллельного сумматора, и с первыми входами первого фазового и первого



Фиг. 1

ВУ 16976 С1 2013.04.30

## ВУ 16976 С1 2013.04.30

знакового дискриминаторов, соединенных своими вторыми входами с импульсным измерительным преобразователем, установленным на шпинделе червячной фрезы, выход первого фазового дискриминатора соединен через первый импульсно-аналоговый преобразователь с аналоговыми входами первого ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и первого ключа, управляемого положительным потенциалом, соединенных своими управляющими входами с выходом первого знакового дискриминатора, выход первого ключа, управляемого отрицательным потенциалом, соединен со вторым входом сложения первого параллельного сумматора, выход первого ключа, управляемого положительным потенциалом, соединен со входом вычитания первого параллельного сумматора, соединенного своим выходом через первый усилитель мощности с управляемым электродвигателем шпинделя фрезы, выход второго делителя частоты соединен со входом первого блока круговой частоты шпинделя заготовки, первые входы второго фазового и второго знакового дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем, установленным на шпинделе заготовки, выход второго фазового дискриминатора соединен через второй импульсно-аналоговый преобразователь с аналоговыми входами второго ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и второго ключа, управляемого положительным потенциалом, соединенных своими управляющими входами с выходом второго знакового дискриминатора, выход второго ключа, управляемого отрицательным потенциалом, соединен со вторым входом сложения второго параллельного сумматора, выход второго ключа, управляемого положительным потенциалом, соединен со входом вычитания этого сумматора, соединенного своим выходом через второй усилитель мощности с управляемым электродвигателем шпинделя заготовки, **отличающееся** тем, что содержит импульсный измерительный преобразователь, установленный на винте тягового вала суппорта червячной фрезы, третий и четвертый делители частоты, второй блок круговой частоты шпинделя заготовки, блок круговой частоты винта тягового вала, третий ключ, управляемый отрицательным потенциалом, третий, четвертый и пятый ключи, управляемые положительным потенциалом, третий знаковый и третий фазовый дискриминаторы, третий импульсно-аналоговый преобразователь, третий и четвертый параллельные сумматоры, третий усилитель мощности, выход первого блока круговой частоты шпинделя заготовки соединен с первым входом сложения третьего параллельного сумматора, выход третьего делителя частоты соединен со входом второго блока круговой частоты шпинделя заготовки, соединенного своим выходом через вход-выход третьего ключа, управляемого положительным потенциалом, со вторым входом сложения третьего параллельного сумматора и через вход-выход четвертого ключа, управляемого положительным потенциалом, со входом вычитания третьего параллельного сумматора, выход которого соединен с первым входом сложения второго параллельного сумматора и со входом аналого-импульсного преобразователя, соединенного своим выходом с первыми входами второго знакового и второго фазового дискриминаторов, выход четвертого делителя частоты соединен со входом блока круговой частоты винта тягового вала и с первыми входами третьего фазового и третьего знакового дискриминаторов, соединенных своими вторыми входами с импульсным измерительным преобразователем, установленным на винте тягового вала, выход блока круговой частоты винта тягового вала соединен с первым входом сложения четвертого параллельного сумматора, выход третьего фазового дискриминатора соединен через третий импульсно-аналоговый преобразователь с аналоговыми входами третьего ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и пятого ключа, управляемого положительным потенциалом, соединенных своими управляющими входами с выходом третьего знакового дискриминатора, выход третьего ключа, управляемого отрицательным потенциалом, соединен со вторым входом сложения четвертого параллельного сумматора, выход пятого ключа, управляемого положительным потенциалом, соединен со входом вычитания четвертого параллельного сумматора, соединенного своим выходом через третий усилитель мощности с управляемым электродвигателем винта тягового вала.

Изобретение относится к станкостроению и может быть использовано в шлицефрезерных станках с числовым программным управлением для обработки шлицевых валов с винтовыми шлицами и косозубых колес червячными фрезами.

Известно устройство для синхронизации приводов исполнительных органов шлицефрезерного станка [1], выполненное в виде настраиваемых кинематических цепей обката и винтовой. При этом обе цепи соединяют шпиндель червячной фрезы и суппорт червячной фрезы со шпинделем заготовки. При фрезеровании винтовых шлицев или косозубых колес известное устройство воспроизводит станочное зацепление червячная фреза-заготовка, воспроизводящее профиль шлицев или зубьев колес, и винтовое станочное зацепление - аналог передачи винт-гайка, воспроизводящее винтовую линию по длине шлицев или зубьев колес. Таким образом, в известном устройстве шпиндель заготовки является исполнительным органом для двух настраиваемых кинематических цепей.

Известное устройство является источником кинематических погрешностей, так как состоит из механических передач, включая две гитары сменных зубчатых колес. В итоге не обеспечивается возможность получения винтовых шлицевых валов и косозубых колес наиболее точных квалитетов. Другим недостатком данного устройства является повышенный шум при его работе.

Указанные недостатки устранены в устройстве для синхронизации двух исполнительных органов, образующих станочное зацепление, воспроизводящее движение обката зубообрабатывающего станка, выполненном на основе интегральных схем [2]. Это устройство включает эталонный генератор, соединенный своим выходом с входами первого и второго делителей частот, каждый из которых выполнен в виде счетчика и соединенного с ним блока установки коэффициента деления, выполняющего функцию задания передаточного отношения в станочной системе. Выход первого делителя частоты соединен с входом блока круговой частоты первого исполнительного органа и первыми входами первого фазового и первого знакового дискриминаторов, соединенных вторыми входами с импульсным измерительным преобразователем, установленным на первом исполнительном органе. Выход блока круговой частоты первого исполнительного органа соединен с первым входом сложения первого параллельного сумматора. Выход первого фазового дискриминатора через первый импульсно-аналоговый преобразователь соединен с входом первого аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и с входом первого аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы этих ключей соединены с выходом первого знакового дискриминатора, выходы - соответственно со вторым входом сложения и входом вычитания первого параллельного сумматора. Выход этого сумматора соединен через первый усилитель мощности с управляемым электродвигателем первого исполнительного органа. Выход второго делителя частоты соединен с входом блока круговой частоты второго исполнительного органа и первыми входами второго фазового и второго знакового дискриминаторов, соединенных вторыми входами с импульсным измерительным преобразователем, установленным на втором исполнительном органе. Выход блока круговой частоты второго исполнительного органа соединен с первым входом сложения второго параллельного сумматора. Выход второго фазового дискриминатора через второй импульсно-аналоговый преобразователь соединен с входом второго аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и с входом второго аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы этих ключей соединены с выходом второго знакового дискриминатора, а выходы - соответственно с вторым входом сложения и входом вычитания второго параллельного сумматора. Выход этого сумматора соединен через второй усилитель мощности с управляемым электродвигателем второго исполнительного органа.

При работе станка эталонный генератор вырабатывает высокочастотный импульсный сигнал. Этот сигнал поступает на оба делителя частоты, где происходит его деление в соответствии с коэффициентами деления, заданными на соответствующих блоках установки

## ВУ 16976 С1 2013.04.30

этих коэффициентов. Импульсный сигнал с выхода первого делителя частоты поступает на вход блока круговой частоты первого исполнительного органа. На выходе этого блока образуется аналоговый сигнал, пропорциональный частоте входного сигнала. Аналоговый сигнал через первый вход сложения - выход первого параллельного сумматора и первый усилитель мощности поступает на управляемый электродвигатель, который сообщает вращательное движение первому исполнительному органу. Одновременно для повышения точности функционирования устраняется девиация механики исполнительного органа. Импульсный сигнал с выхода первого делителя частоты поступает на первые входы первого фазового и первого знакового дискриминаторов, на вторых входах которых постоянно действует импульсный сигнал, пропорциональный действительной круговой частоте первого исполнительного органа в каждый момент времени. В обоих дискриминаторах происходит сравнение заданного сигнала с сигналом - аналогом действительной круговой частоты исполнительного органа. С выхода первого фазового дискриминатора сигнал абсолютной погрешности после преобразования в аналоговую форму в первом импульсно-аналоговом преобразователе поступает на аналоговые входы первого аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и первого аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом. На выходе первого знакового дискриминатора образуется отрицательный или положительный потенциал соответственно при отставании или при опережении первого исполнительного органа от значения, определяемого задающим сигналом. Сигнал с выхода первого знакового дискриминатора поступает на управляющие входы первого аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и первого аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом. При открывании ключа, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения первого параллельного сумматора, а при открывании ключа, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания этого сумматора. В первом параллельном сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит коррекция управляющего сигнала относительно номинального значения. Синхронно импульсный сигнал с выхода второго делителя частоты поступает на вход блока круговой частоты второго исполнительного органа. На выходе этого блока образуется аналоговый сигнал, пропорциональный частоте входного сигнала. Аналоговый сигнал через первый вход сложения - выход второго параллельного сумматора и второй усилитель мощности поступает на управляемый электродвигатель, который сообщает вращательное движение второму исполнительному органу. Одновременно для повышения точности функционирования устраняется девиация механики второго исполнительного органа. Импульсный сигнал с выхода второго делителя частоты поступает на первые входы второго фазового и второго знакового дискриминаторов, на вторых входах которых постоянно действует импульсный сигнал, пропорциональный действительной круговой частоте второго исполнительного органа в каждый момент времени. В обоих дискриминаторах происходит сравнение заданного сигнала с сигналом - аналогом действительной круговой частоты исполнительного органа. С выхода второго фазового дискриминатора сигнал абсолютной погрешности после преобразования в аналоговую форму во втором импульсно-аналоговом преобразователе поступает на аналоговые входы второго аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и второго аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом. На выходе второго знакового дискриминатора образуется отрицательный или положительный потенциал соответственно при отставании или при опережении второго исполнительного органа от значения, определяемого задающим сигналом. Сигнал с выхода второго знакового дискриминатора поступает на управляющие входы второго аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и второго аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом. При открывании ключа, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода

поступает на второй вход сложения второго параллельного сумматора, а при открывании ключа, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания этого сумматора. Во втором параллельном сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит коррекция управляющего сигнала относительно номинального значения.

Описанное устройство обеспечивает возможность воспроизведения профиля шлицев и профиля зубчатых колес, т.е. образующей шлицевой или зубчатой поверхности. В то же время воспроизведение винтовой линии шлицев и косозубых колес, т.е. воспроизведение направляющей шлицевой или зубчатой поверхности при использовании данного устройства, невозможно и, следовательно, является недостатком.

Задача, решаемая изобретением, - расширение технических возможностей устройства за счет обеспечения не только профилирования шлицев и зубьев колес, но также и воспроизведения их винтовой линии по длине, т.е. обработка винтовых шлицевых поверхностей и косозубых колес.

Решение поставленной задачи достигается тем, что известное устройство для синхронизации приводов исполнительных органов шлицефрезерного станка, содержащее два импульсных измерительных преобразователя, установленных на шпинделе червячной фрезы и на шпинделе заготовки, эталонный генератор, первый и второй делители частоты, блок круговой частоты шпинделя червячной фрезы, первый блок круговой частоты шпинделя заготовки, первый и второй фазовые дискриминаторы, первый и второй импульсно-аналоговые преобразователи, первый и второй ключи, управляемые отрицательным потенциалом, первый и второй ключи, управляемые положительным потенциалом, первый и второй параллельные сумматоры, первый и второй усилители мощности, выход эталонного генератора соединен с входами первого и второго делителей частоты, выход первого делителя частоты соединен с входом блока круговой частоты шпинделя червячной фрезы, соединенного своим выходом с первым входом сложения первого параллельного сумматора, и с первыми входами первого фазового и первого знакового дискриминаторов, соединенных своими вторыми входами с импульсным измерительным преобразователем, установленным на шпинделе червячной фрезы, выход первого фазового дискриминатора соединен через первый импульсно-аналоговый преобразователь с аналоговыми входами первого ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и первого ключа, управляемого положительным потенциалом, соединенных своими управляющими входами с выходом первого знакового дискриминатора, выход первого ключа, управляемого отрицательным потенциалом, соединен с вторым входом сложения первого параллельного сумматора, выход первого ключа, управляемого положительным потенциалом, соединен с входом вычитания первого параллельного сумматора, соединенного своим выходом через первый усилитель мощности с управляемым электродвигателем шпинделя фрезы, выход второго делителя частоты соединен с входом первого блока круговой частоты шпинделя заготовки, первые входы второго фазового и второго знакового дискриминаторов соединены с импульсным измерительным преобразователем, установленным на шпинделе заготовки, выход второго фазового дискриминатора соединен через второй импульсно-аналоговый преобразователь с аналоговыми входами второго ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и второго ключа, управляемого положительным потенциалом, соединенных своими управляющими входами с выходом второго знакового дискриминатора, выход второго ключа, управляемого отрицательным потенциалом, соединен со вторым входом сложения второго параллельного сумматора, выход второго ключа, управляемого положительным потенциалом, соединен с входом вычитания этого сумматора, соединенного своим выходом через второй усилитель мощности с управляемым электродвигателем шпинделя заготовки, снабжено импульсным измерительным преобразователем, установленным на винте тягового вала суппорта червячной фрезы, третьим и четвертым делите-

## ВУ 16976 С1 2013.04.30

лями частоты, вторым блоком круговой частоты шпинделя заготовки, блоком круговой частоты винта тягового вала, третьим ключом, управляемым отрицательным потенциалом, третьим, четвертым и пятым ключами, управляемыми положительным потенциалом, третьим знаковым и третьим фазовым дискриминаторами, третьим импульсно-аналоговым преобразователем, третьим и четвертым параллельными сумматорами, третьим усилителем мощности, выход первого блока круговой частоты шпинделя заготовки соединен с первым входом сложения третьего параллельного сумматора, выход третьего делителя частоты соединен с входом второго блока круговой частоты шпинделя заготовки, соединенного своим выходом через вход - выход третьего ключа, управляемого положительным потенциалом, со вторым входом сложения третьего параллельного сумматора и через вход - выход четвертого ключа, управляемого положительным потенциалом, с входом вычитания третьего параллельного сумматора, выход третьего параллельного сумматора соединен с первым входом сложения второго параллельного сумматора и с входом аналого-импульсного преобразователя, соединенного своим выходом с первыми входами второго знакового и второго фазового дискриминаторов, выход четвертого делителя частоты соединен с входом блока круговой частоты винта тягового вала и с первыми входами третьего фазового и третьего знакового дискриминаторов, соединенных своими вторыми входами с импульсным измерительным преобразователем, установленным на винте тягового вала, выход блока круговой частоты винта тягового вала соединен с первым входом сложения четвертого параллельного сумматора, выход третьего фазового дискриминатора соединен через третий импульсно-аналоговый преобразователь с аналоговыми входами третьего ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и пятого ключа, управляемого положительным потенциалом, соединенных своими управляющими входами с выходом третьего знакового дискриминатора, выход третьего ключа, управляемого отрицательным потенциалом, соединен с вторым входом сложения четвертого параллельного сумматора, выход пятого ключа, управляемого положительным потенциалом, соединен с входом вычитания четвертого параллельного сумматора, соединенного своим выходом через третий усилитель мощности с управляемым электродвигателем винта тягового вала.

При описанном выполнении изобретения эталонный генератор вырабатывает задающий высокочастотный импульсный сигнал. Этот сигнал поступает на входы первого, второго, третьего, четвертого делителей частоты, в которых происходит деление задающего сигнала в соответствии с заданными коэффициентами. Импульсный сигнал с выхода первого делителя частоты поступает на вход блока круговой частоты шпинделя фрезы, где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. С выхода этого блока сигнал через первый вход сложения - выход первого параллельного сумматора и первый усилитель мощности сообщается управляемому электродвигателю, который сообщает вращательное движение шпинделю червячной фрезы с круговой частотой, пропорциональной частоте сигнала на выходе первого делителя частоты. Синхронно с выхода второго делителя частоты импульсный сигнал поступает на вход блока круговой подачи шпинделя заготовки, где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте. Выходной сигнал с этого блока поступает на первый вход сложения третьего параллельного сумматора. Синхронно с выхода третьего делителя частоты импульсный сигнал поступает на вход блока круговой подачи шпинделя заготовки, где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте. Выходной сигнал с этого блока поступает в зависимости от знака математического сложения движений на одном исполнительном органе-шпинделе заготовки или через третий ключ на второй вход сложения третьего параллельного сумматора, или через четвертый ключ на вход вычитания этого параллельного сумматора. С выхода третьего параллельного сумматора результирующий сигнал через первый вход сложения - выход второго параллельного сумматора и второй усилитель мощности сообщается управляемому

электродвигателю, который сообщает суммарное вращательное движение круговой подачи шпинделю заготовки с круговой частотой, согласованной с вращательным и поступательным движениями суппорта червячной фрезы. Синхронно с выхода четвертого делителя частоты импульсный сигнал поступает на вход блока продольной подачи суппорта червячной фрезы, где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с этого блока через первый вход сложения - выход четвертого параллельного сумматора и третий усилитель мощности сообщается управляемому электродвигателю, который посредством тягового вала (передачи винт-гайка) сообщает движение суппорту червячной фрезы, пропорциональное частоте сигнала на выходе четвертого делителя частоты.

Таким образом, обеспечивается синхронизация приводов шпинделя червячной фрезы, суппорта червячной фрезы и шпинделя заготовки, воспроизводящих два станочных зацепления, из которых первое соответствует передаточному отношению червячная фреза-заготовка при воспроизведении профиля шлицев или зубьев, а второе - передаточному отношению червячная фреза-заготовка при воспроизведении винтовой линии по длине шлицев или зубьев. При этом шпиндель заготовки одновременно является исполнительным органом обоих станочных зацеплений.

Одновременно для повышения точности воспроизведения профиля и линии по длине шлицев и зубьев обеспечивается устранение девиации механики исполнительных органов посредством коррекции сигналов управления электродвигателями, действующих на выходах первого, второго и четвертого параллельных сумматоров. На первых входах первого фазового и первого знакового дискриминаторов постоянно действует импульсный сигнал с выхода первого делителя частоты. На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной круговой частоты шпинделя червячной фрезы. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении шпинделя. В результате на выходе первого фазового дискриминатора образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в первом импульсно-аналоговом преобразователе поступает на аналоговые входы первого аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и первого аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом. На выходе первого знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании шпинделя червячной от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы первого аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и первого аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом, и открывает один из них. При открывании ключа, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения первого параллельного сумматора, а при открывании ключа, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания первого параллельного сумматора. В первом параллельном сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция (регулирование) относительно заданного номинального значения. Результирующий аналоговый сигнал с выхода третьего параллельного сумматора поступает на вход аналого-импульсного преобразователя, где он преобразуется в импульсный сигнал, пропорциональный напряжению входного сигнала. С выхода этого преобразователя импульсный сигнал поступает на первые входы второго знакового и второго фазового дискриминаторов. На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем, установленным на шпинделе заготовки, импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной суммарной круговой частоты этого шпинделя. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение

задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении шпинделя заготовки. В результате на выходе второго фазового дискриминатора образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования во втором импульсно-аналоговом преобразователе поступает на аналоговые входы второго аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и второго аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом. На выходе второго знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании шпинделя заготовки от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом, и открывает один из них. При открывании второго аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения второго параллельного сумматора, а при открывании второго аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания второго параллельного сумматора. Во втором параллельном сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального значения. На первых входах третьего фазового и третьего знакового дискриминаторов постоянно действует импульсный сигнал с выхода четвертого делителя частоты. На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем, установленным на тяговом валу, импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной продольной подачи суппорта червячной фрезы. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении суппорта. В результате на выходе третьего фазового дискриминатора образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в третьем импульсно-аналоговом преобразователе поступает на аналоговые входы третьего аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, и пятого аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом. На выходе третьего знакового дискриминатора образуется отрицательный потенциал при отставании суппорта от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы третьего и пятого аналоговых ключей и открывает один из них. При открывании третьего аналогового ключа, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения четвертого параллельного сумматора, а при открывании пятого аналогового ключа, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания четвертого параллельного сумматора. В этом параллельном сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального значения.

В итоге описанного прохождения сигнала от общего задатчика - эталонного генератора к трем исполнительным органам - шпинделю червячной фрезы, шпинделю заготовки, суппорту червячной фрезы, образующим два станочных зацепления: обката шпиндель червячной фрезы-шпиндель заготовки и винтовое: суппорт червячной фрезы-шпиндель заготовки, обеспечивается возможность одновременного воспроизведения профиля и винтовой линии по длине шлицев или зубьев на обрабатываемой заготовке.

На фиг. 1 приведена схема приводов исполнительных органов: шпинделя червячной фрезы, суппорта червячной фрезы и шпинделя заготовки; на фиг. 2 - блок-схема функциональных связей приводов.

Управляемый электродвигатель 1 кинематически связан со шпинделем 2 червячной фрезы 3. Управляемый электродвигатель 4 кинематически связан со шпинделем 5, несущим во время обработки заготовку. Управляемый электродвигатель 6 кинематически свя-

## ВУ 16976 С1 2013.04.30

зан с тяговым валом, выполненным в виде передачи винт 7 - гайка 8. Гайка 8 жесткой связью 9 соединена с суппортом 10, несущим шпиндель 2 червячной фрезы 3. Шпиндель 2 червячной фрезы, шпиндель 5 заготовки и суппорт 10 червячной фрезы являются исполнительными органами станка. На шпинделе 2 и шпинделе 5 установлены импульсные измерительные преобразователи соответственно 11 и 12. На винте 7, преобразующем вращательное движение в поступательное движение суппорта 10, установлен импульсный измерительный преобразователь 13.

Общим задатчиком для исполнительных органов является эталонный генератор 14, вырабатывающий задающий импульсный сигнал, частота которого превышает частоту импульсных сигналов - аналогов частот вращения шпинделя червячной фрезы, шпинделя заготовки и тягового вала. Эталонный генератор 14 соединен с входами первого 15, второго 16, третьего 17, четвертого 18 делителей частоты. Делители частоты выполнены соответственно в виде счетчиков 19, 20, 21, 22 и соединенных с ними блоков установки коэффициентов деления соответственно 23, 24, 25, 26. Функция этих блоков - установка передаточных отношений при наладке устройства.

Выход первого делителя частоты 15 соединен с входом блока 27 круговой частоты шпинделя фрезы и первыми входами первого знакового 28 и первого фазового 29 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 11, установленным на шпинделе фрезы. Выход первого фазового дискриминатора 29 соединен с входом первого импульсно-аналогового преобразователя 30, соединенного своим выходом с аналоговыми входами первого аналогового ключа 31, управляемого отрицательным потенциалом, и первого аналогового ключа 32, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 31 и 32 соединены с выходом первого знакового дискриминатора 28. Выход блока 27 круговой частоты шпинделя фрезы соединен с первым входом сложения первого параллельного сумматора 33, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены соответственно с выходом первого аналогового ключа 31, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом первого аналогового ключа 32, управляемого положительным потенциалом. Выход первого параллельного сумматора 33 через первый усилитель мощности 34 соединен с управляемым электродвигателем 1.

Выход второго делителя частоты 16 соединен с входом первого блока 35 круговой частоты шпинделя заготовки в движении  $V_2$ , выход которого соединен с первым входом сложения третьего параллельного сумматора 36. Выход третьего делителя частоты 17 соединен с входом второго блока 37 круговой частоты шпинделя заготовки в движении  $V_4$ , у которого выход соединен с входами третьего 38 и четвертого 39 ключей, управляемых положительным потенциалом. Выходы этих ключей соединены соответственно с вторым входом сложения и входом вычитания третьего параллельного сумматора 36. Выход третьего параллельного сумматора 36 соединен с входом аналого-импульсного преобразователя 40 и с первым входом сложения второго параллельного сумматора 41. Выход аналого-импульсного преобразователя 40 соединен с первыми входами второго знакового 42 и второго фазового 43 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 12, установленным на шпинделе заготовки. Выход второго фазового дискриминатора 43 соединен с входом второго импульсно-аналогового преобразователя 44, соединенного своим выходом с аналоговыми входами второго аналогового ключа 45, управляемого отрицательным потенциалом, и второго аналогового ключа 46, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 45 и 46 соединены с выходом второго знакового дискриминатора 42. Выходы ключей 45 и 46 соединены соответственно с вторым входом сложения и входом вычитания второго параллельного сумматора 41. Выход второго параллельного сумматора через второй усилитель мощности 47 соединен с управляемым электродвигателем 4.

## ВУ 16976 С1 2013.04.30

Выход четвертого делителя частоты 18 соединен с входом блока 48 круговой частоты винта 7, преобразуемой тяговым валом (передачей винт 7 - гайка 8) в продольную подачу суппорта 10, и первыми входами третьего знакового 49 и третьего фазового 50 дискриминаторов, вторые входы которых соединены с импульсным измерительным преобразователем 13, установленным на винте 7. Выход третьего фазового дискриминатора 50 соединен с входом третьего импульсно-аналогового преобразователя 51, соединенного своим выходом с аналоговыми входами третьего аналогового ключа 52, управляемого отрицательным потенциалом, и пятого аналогового ключа 53, управляемого положительным потенциалом. Управляющие входы ключей 52 и 53 соединены с выходом третьего знакового дискриминатора 49. Выход блока 48 круговой частоты винта 7 соединен с первым входом сложения четвертого параллельного сумматора 54, у которого второй вход сложения и вход вычитания соединены соответственно с выходом третьего аналогового ключа 52, управляемого отрицательным потенциалом, и с выходом пятого аналогового ключа 53, управляемого положительным потенциалом. Выход четвертого параллельного сумматора 54 через третий усилитель мощности 55 соединен с управляемым электродвигателем 6.

Блоки 27, 35, 37, 48 круговых частот соответственно шпинделя фрезы, шпинделя заготовки, винта 7 тягового вала выполнены одинаково по схеме частота-напряжение. В этих блоках импульсные сигналы преобразуются в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Функциональное назначение в устройстве - задание скорости резания в движении  $V_1$  шпинделя 2 червячной фрезы 3, суммарной круговой подачи шпинделя 5 заготовки в движении  $V_2 \pm V_4$ , продольной подачи в движении  $\Pi_3$  суппорта 10 червячной фрезы.

Согласно нормативам резания при шлице- и зубофрезеровании червячными фрезами скорость резания принимается по круговой частоте фрезы (движение  $V_1$ ), а подача по ее перемещению параллельно оси заготовки (движение  $\Pi_3$ ). При наладке устройства блоком 23 установки коэффициента деления задается частота импульсного сигнала на выходе делителя частоты 15, соответствующая напряжению постоянного тока на электродвигателе 1, при котором шпиндель 2 фрезы 3 в движении  $V_1$  вращается со скоростью, соответствующей заданной скорости резания. Аналогично блоком 26 установки коэффициента деления задается частота импульсного сигнала на выходе делителя частоты 18, соответствующая напряжению постоянного тока на электродвигателе 6, при котором суппорт 10 в движении  $\Pi_3$  движется со скоростью, соответствующей заданной подаче.

Расчетные перемещения для исполнительных органов станочного зацепления, воспроизводящего движение обката:

1 об. шпинделя 2 фрезы ( $V_1$ )  $\rightarrow$   $k/z$  об. шпинделя 5 заготовки ( $V_2$ ),

где  $k$  - число заходов червячной фрезы;

$z$  - число нарезаемых шлицев или зубьев колеса.

Уравнение кинематической связи станочного зацепления:

$$k/z = 1 \cdot c_1 \cdot n_1 / n_4,$$

где  $c_1$  - произведения постоянных механических передач кинематической связи;

$n_1$  - круговая частота электродвигателя 1, соответствующая заданной скорости резания,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_4$  - круговая частота электродвигателя 4, которую необходимо установить при наладке,  $\text{мин}^{-1}$ .

В уравнении кинематической связи отношение круговых частот заменяется отношением коэффициентов деления:

$$k/z = 1 \cdot c_1 \cdot i_{15} / i_{16}.$$

По этому выражению определяется коэффициент деления, устанавливаемый на блоке 24 делителя частоты 16:

$$i_{16} = (c_1 z / k) i_{15},$$

## ВУ 16976 С1 2013.04.30

где  $i_{15}$  - коэффициент деления, установленный на блоке 23 делителя частоты 15, соответствующий заданной круговой частоте электродвигателя 1 (скорости резания);

$i_{16}$  - коэффициент деления, который необходимо установить на блоке 24 делителя частоты 16 для обеспечения функциональной связи шпинделя 2 фрезы и шпинделя 5 заготовки.

Аналогично выводится коэффициент деления для установки на блоке 25 делителя частоты 17. Расчетные перемещения для исполнительных органов станочного зацепления, воспроизводящего винтовое движение:

$T$  мм перемещения суппорта 10 ( $\Pi_3$ )  $\rightarrow$  1 об. шпинделя 5 ( $V_4$ ),

где  $T$  - шаг винтовой линии нарезаемых шлицев или зубьев колеса.

Уравнение кинематической связи станочного зацепления:

$$1 = T/P \cdot n_6/n_4 \cdot c_2,$$

где  $P$  - шаг тягового вала - винта 7;

$c_2$  - произведения постоянных механических передач кинематической связи;

$n_6$  - круговая частота электродвигателя 6, соответствующая заданной подаче, мм/мин;

$n_4$  - круговая частота электродвигателя 4, которую необходимо установить при наладке, мм/мин.

В уравнении кинематической связи отношение круговых частот заменяется отношением коэффициентов деления:

$$1 = T/P \cdot i_{18}/i_{17} \cdot c_2.$$

По этому выражению определяется коэффициент деления, устанавливаемый на блоке 25 делителя частоты 17:

$$i_{17} = (c_2 T/P) i_{18},$$

где  $i_{17}$  - коэффициент деления, который необходимо установить на блоке 25 делителя частоты 17 для обеспечения функциональной связи суппорта 10 и шпинделя 5 заготовки;

$i_{18}$  - коэффициент деления, установленный на блоке 26 делителя частоты 18, соответствующий заданной круговой частоте электродвигателя 6 (скорости подачи).

Шпиндель 5 заготовки является исполнительным органом обоих станочных зацеплений. При работе устройства результирующая круговая частота шпинделя 5 представляет собой математическую сумму  $V_2 \pm V_4$  двух движений  $V_2$  и  $V_4$ , образующих совместно соответственно с движениями  $V_1$  и  $\Pi_3$  движение обката  $V_1 V_2$  и винтовое движение  $\Pi_3 V_4$ . Выбор знака в математической сумме движений зависит от направления винтовых линий шлицев (зубьев колеса) и червячной фрезы. Знак "+" соответствует условию, когда винтовые линии одноименны, например обе левые, знак "-" соответствует условию, когда винтовые линии разноименны, например одна правая, а другая левая. Необходимый знак устанавливается при наладке устройства подачей управляющего сигнала на потенциальный вход ключа 38 или ключа 39.

Устройство работает следующим образом. Эталонный генератор 14 вырабатывает задающий высокочастотный импульсный сигнал. Этот сигнал поступает на счетчики 19, 20, 21, 22 соответственно первого 15, второго 16, третьего 17, четвертого 18 делителей частоты, в которых происходит деление задающего сигнала в соответствии с коэффициентами деления, заданными на блоках 23, 24, 25, 26.

Импульсный сигнал с выхода первого делителя частоты 15 поступает на вход блока 27 круговой частоты шпинделя 2 фрезы, где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. С выхода блока 27 сигнал через первый вход сложения - выход первого параллельного сумматора 33 и первый усилитель мощности 34 сообщается управляемому электродвигателю 1, который сообщает вращательное движение  $V_1$  шпинделю 2 фрезы с круговой частотой, пропорциональной частоте сигнала на выходе первого делителя частоты 15. Синхронно с выхода второго делителя частоты 16 импульсный сигнал поступает на вход блока 35 круговой подачи шпинделя 5 заготовки в движении  $V_2$ , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте

## ВУ 16976 С1 2013.04.30

те. Выходной сигнал с блока 35 поступает на первый вход сложения третьего параллельного сумматора 36. Синхронно с выхода третьего делителя частоты 17 импульсный сигнал поступает на вход блока 37 круговой подачи шпинделя 5 заготовки в движении  $V_4$ , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте. Выходной сигнал с блока 37 поступает в зависимости от знака математического сложения движений  $V_2$  и  $V_4$  на одном исполнительном органе или через третий ключ 38 на второй вход сложения третьего параллельного сумматора 36, или через четвертый ключ 39 на вход вычитания этого параллельного сумматора. С выхода параллельного сумматора 36 результирующий сигнал через первый вход сложения - выход второго параллельного сумматора 41 и второй усилитель мощности 47 сообщается управляемому электродвигателю 4, который сообщает вращательное движение  $V_{2\pm V_4}$  круговой подачи шпинделю 5 заготовки с круговой частотой, согласованной с движениями  $V_1$  и  $\Pi_3$  червячной фрезы. Синхронно с выхода четвертого делителя частоты 18 импульсный сигнал поступает на вход блока 48 продольной подачи суппорта 10 в движении  $\Pi_3$ , где происходит его преобразование в напряжение, пропорциональное частоте входного сигнала. Выходной сигнал с блока 48 через первый вход сложения - выход четвертого параллельного сумматора 54 и третий усилитель мощности 55 сообщается управляемому электродвигателю 6, который посредством тягового вала (передачи винт 7 - гайка 8) сообщает движение  $\Pi_3$  суппорту 10 фрезы, пропорциональное частоте сигнала на выходе четвертого делителя частоты 18.

В итоге описанного прохождения сигнала от общего задатчика - эталонного генератора 14 к трем исполнительным органам - шпинделю 2 червячной фрезы, шпинделю 5 заготовки, суппорту 10 червячной фрезы, образующим два станочных зацепления: обката шпиндель 2 червячной фрезы-шпиндель 5 заготовки и винтовое: суппорт 10 червячной фрезы-шпиндель 5 заготовки, происходит воспроизведение профиля и винтовой линии по длине шлицев или зубьев на обрабатываемой заготовке.

Одновременно обеспечивается устранение девиации механики исполнительных органов посредством коррекции сигналов управления электродвигателями, действующих на выходах первого 33, второго 41 и четвертого 54 параллельных сумматоров.

На первых входах первого фазового 29 и первого знакового 28 дискриминаторов постоянно действует импульсный сигнал с выхода первого делителя частоты 15. На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 11 импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной круговой частоты шпинделя 2 фрезы. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении шпинделя 2. В результате на выходе первого фазового дискриминатора 29 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в первом импульсно-аналоговом преобразователе 30 поступает на аналоговые входы первого аналогового ключа 31, управляемого отрицательным потенциалом, и первого аналогового ключа 32, управляемого положительным потенциалом. На выходе первого знакового дискриминатора 28 образуется отрицательный потенциал при отставании шпинделя 2 от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 31 и 32 и открывает один из них. При открывании первого аналогового ключа 31, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения первого параллельного сумматора 33, а при открывании первого аналогового ключа 32, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания первого параллельного сумматора 33. В первом параллельном сумматоре 33 в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция (регулирование) относительно заданного номинального значения.

Аналогично осуществляется коррекция управляющего сигнала, действующего на выходе второго 41 и четвертого 55 параллельных сумматоров.

Результирующий аналоговый сигнал с выхода третьего параллельного сумматора 36 поступает на вход аналого-импульсного преобразователя 40, где он преобразуется в импульсный сигнал, пропорциональный напряжению входного сигнала. С выхода этого преобразователя импульсный сигнал поступает на первые входы второго знакового 42 и второго фазового 43 дискриминаторов. На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 12 импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной суммарной круговой частоты шпинделя 5 заготовки. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении шпинделя 5. В результате на выходе второго фазового дискриминатора 43 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования во втором импульсно-аналоговом преобразователе 44 поступает на аналоговые входы второго аналогового ключа 45, управляемого отрицательным потенциалом, и второго аналогового ключа 46, управляемого положительным потенциалом. На выходе второго знакового дискриминатора 42 образуется отрицательный потенциал при отставании шпинделя 5 от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 45 и 46 и открывает один из них. При открывании второго аналогового ключа 45, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения второго параллельного сумматора 41, а при открывании четвертого аналогового ключа 46, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания второго параллельного сумматора 41. Во втором параллельном сумматоре 41 в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального значения.

На первых входах третьего фазового 50 и третьего знакового 49 дискриминаторов постоянно действует импульсный сигнал с выхода четвертого делителя частоты 18. На вторые входы этих дискриминаторов поступает вырабатываемый импульсным измерительным преобразователем 13 импульсный сигнал, соответствующий мгновенному значению действительной продольной подачи суппорта 10 червячной фрезы. В обоих дискриминаторах непрерывно происходит сравнение задающего сигнала с сигналом о действительном мгновенном положении суппорта 10. В результате на выходе третьего фазового дискриминатора 50 образуется сигнал абсолютной погрешности, который после преобразования в третьем импульсно-аналоговом преобразователе 51 поступает на аналоговые входы третьего аналогового ключа 52, управляемого отрицательным потенциалом, и пятого аналогового ключа 53, управляемого положительным потенциалом. На выходе третьего знакового дискриминатора 49 образуется отрицательный потенциал при отставании суппорта от заданного значения и положительный потенциал при опережении. Этот сигнал поступает на управляющие входы аналоговых ключей 52 и 53 и открывает один из них. При открывании третьего аналогового ключа 52, управляемого отрицательным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на второй вход сложения четвертого параллельного сумматора 54, а при открывании пятого аналогового ключа 53, управляемого положительным потенциалом, сигнал с его выхода поступает на вход вычитания четвертого параллельного сумматора 54. В этом параллельном сумматоре в зависимости от знака погрешности происходит увеличение или уменьшение сигнала, действующего на его первом входе сложения, т.е. происходит его двухсторонняя автоматическая коррекция относительно заданного номинального значения.

Таким образом, обеспечивается синхронизация приводов шпинделя червячной фрезы, суппорта червячной фрезы и шпинделя заготовки, воспроизводящих два станочных за-

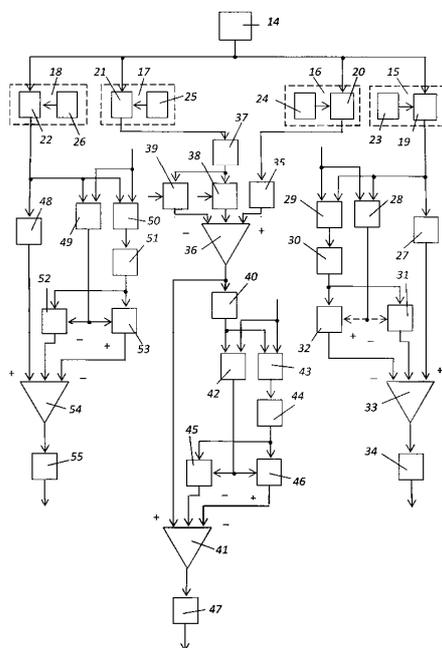
# BY 16976 C1 2013.04.30

цепления, первое из которых соответствует передаточному отношению червячная фреза-заготовка при воспроизведении профиля шлицев или зубьев, а второе - передаточному отношению червячная фреза-заготовка при воспроизведении винтовой линии по длине шлицев или зубьев. При этом шпиндель заготовки одновременно является исполнительным органом обоих станочных зацеплений.

Изобретение по сравнению с прототипом обеспечивает возможность одновременного воспроизведения профиля и винтовой линии по длине шлицев и зубьев колес. Достигается это тем, что три управляемых электродвигателя трех исполнительных органов, воспроизводящих два станочных зацепления: обката шпиндель червячной фрезы-шпиндель заготовки и винтовое: суппорт червячной фрезы-шпиндель заготовки - работают от общего задатчика - эталонного генератора, высокочастотный импульсный сигнал которого делится в соответствующих четырех делителях частоты пропорционально передаточному отношению пары червячная фреза в движении вращения-заготовка и пары червячная фреза в прямолинейном движении-заготовка, и после преобразования сообщается одновременно управляемым электродвигателям. При этом шпиндель фрезы является общим исполнительным органом обоих станочных зацепления. Одновременно автоматически устраняется девиация механики исполнительных органов за счет автоматической коррекции сигналов, управляющих электродвигателями, посредством сравнения номинальных сигналов с сигналами - аналогами действительных круговых частот шпинделя червячной фрезы, шпинделя заготовки и тягового вала червячной фрезы.

Источники информации:

1. Тепинкичиев В.К., Красниченко Л.В., Тихонов А.А., Колев А.А. Металлорежущие станки: Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 1970. - С. 397-400.
2. ВУ 8621, МПК В 23Q 15/00, В 23F 9/10, 2001. - (прототип).



Фиг. 2