

УДК 621. 913.3

МНОГОПРОХОДНОЕ ЗУБОДОЛБЛЕНИЕ СО СПИРАЛЬНЫМ ВРЕЗАНИЕМ

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

Предложен способ многопроходного зубодолбления со спиральным врезанием и увеличенными круговыми подачами на предварительных проходах и путь его реализации в системе числового программно-управления зубодолбежных станков.

Современная тенденция в области конструирования и производства зубодолбежных станков ведущих станкостроительных фирм - это переход от классического одно - трех проходного зубодолбления к многопроходному при шести - десяти проходах с увеличенными круговыми подачами до 3,5 - 4 мм / дв. ход долбяка на предварительных (черновых и получистовых) проходах. Такой режим при сохранении производительности традиционного зубодолбления с малыми круговыми подачами обеспечивает повышение периода размерной стойкости зуборезных долбяков. Объясняется это следующими обстоятельствами [1]. При зубодолблении толщина стружки возрастает с увеличением круговой подачи. Одновременно при увеличении количества проходов уменьшается ее длина. Таким образом, происходит перераспределение параметров сечения стружки. При этом количество срезаемых стружек уменьшается примерно на порядок. Каждый зуб долбяка, срезая существенно меньшее количество стружек, меньше нагревается. В результате возрастает термоциклическая стойкость режущих кромок зубьев.

При зубодолблении наиболее распространен тип U-образной стружки [2]. Причем толщина стружек, срезаемых выходными режущими кромками, значительно меньше толщины стружек, срезаемых входными режущими кромками на одноименных окружностях. При малых круговых подачах выходная режущая кромка срезает тонкие стружки, соизмеримые с естественным радиусом закругления режущей кромки. Эта стружка выдавливается более толстыми стружками, срезаемыми вершинной и входной режущими кромками в зазор между выходной поверхностью зуба долбяка и обрабатываемой поверхностью, где она истирается на участке стыка вершинной и выходной режущих кромок. Здесь образуется лунка локального износа по передней поверхности. При малых круговых подачах расстояние от выходной режущей кромки до центра этой лунки весьма мало. Развитие лунки локального износа приводит к разрушению выходной режущей кромки на участке ее возникновения заметно раньше общего допустимого износа зубьев. Таким образом, лунка локального износа на выходной режущей кромке зубьев лимитирует период размерной стойкости долбяка. При

увеличении круговой подачи толщина стружки, срезаемой выходной режущей кромкой, увеличивается и, как следствие, лунка локального износа сдвигается к центру передней поверхности зуба. Интенсивность ее развития с уменьшением количества резов и перераспределением параметров сечения стружки замедляется. В итоге время до разрушения выходной режущей кромки увеличивается, приближаясь к времени общего допустимого износа зубьев долбяка.

В практике многопроходного зубодолбления с увеличенными круговыми подачами основным является способ, основанный на классической схеме, согласно которой каждому проходу предшествует радиальное врезание на часть высоты зуба, совмещаемое с движением обката. После каждого врезания в течение полного оборота заготовки осуществляется профилирование. В итоге при большом количестве проходов из-за дополнительного поворота заготовки на каждом проходе увеличивается машинное время обработки. Устранить этот недостаток классической схемы позволяет способ [3, 4], по которому на черновых (предварительных проходах) врезание осуществляется непрерывно по спирали (рис. 1).

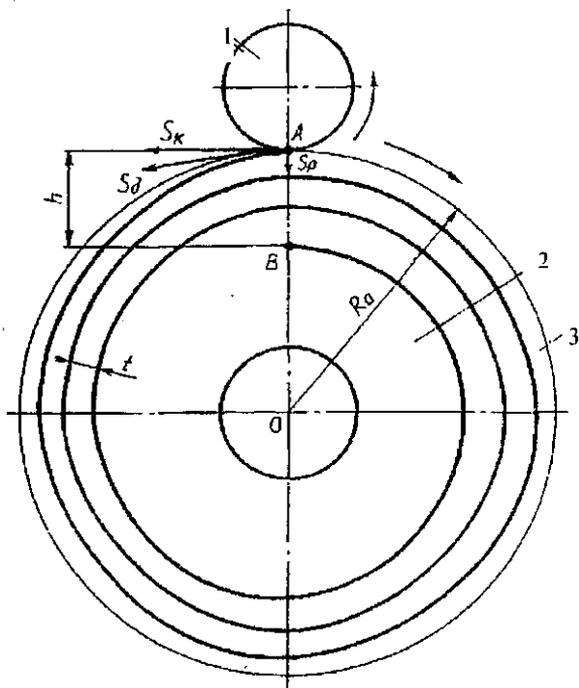


Рис. 1. Траектория движения долбяка при непрерывном спиральном врезании

При постоянных значениях подачи радиального врезания и круговой подачи на этапе черновых проходов при непрерывном врезании долбяка 7 относительно заготовки 2 действительная траектория врезания имеет форму архимедовой спирали 3. Результирующая (спиральная) подача врезания долбяка равна геометрической сумме составляющих ее подач:

$$S_d = \sqrt{S_k^2 + S_p^2},$$

где S_d – действительная подача врезания, мм / дв. ход долбяка; S_k – круговая подача, мм / дв. ход долбяка; S_p – радиальная подача, мм / дв. ход долбяка.

Результирующая подача врезания при ее реализации на станках обеспечивается посредством установления функциональной связи на основе следующих расчетных перемещений:

L мм перемещения долбяка по спирали $\rightarrow h$ мм его радиального перемещения.

Круговая подача является нормируемой величиной, устанавливаемой при назначении режимов резания. Тогда радиальную подачу можно определить как часть круговой подачи, используя принцип пропорциональности перемещений:

$$S_p = S_k \cdot \frac{h}{L},$$

где h – принимаемая величина радиального перемещения долбяка на этапе черновых проходов, мм; L – длина архимедовой спирали между точками A и B , по которой перемещается долбяк относительно заготовки, мм.

Известно [5], что длина архимедовой спирали, начиная от полюса, определяется по формуле:

$$l = \frac{a}{2} (\varphi \sqrt{1 + \varphi^2} + \text{Arsh} \varphi),$$

где l – длина архимедовой спирали, мм; a – параметр архимедовой спирали, мм; φ – угол поворота радиус-вектора точки в полярных координатах, рад.

Следовательно, длину архимедовой спирали, по которой перемещается долбяк, можно определить как разность длин спиралей: полюс O – точка A и полюс O – точка B . После элементарных преобразований получим

$$L = \frac{a}{2} \left[\left(\varphi_2 \sqrt{1 + \varphi_2^2} - \varphi_1 \sqrt{1 + \varphi_1^2} \right) + \left(\text{Arsh} \varphi_2 - \text{Arsh} \varphi_1 \right) \right],$$

где φ_1 и φ_2 – углы поворота заготовки в движении обката по длине архимедовой спирали на участках соответственно от полюса до точки B и от полюса до точки A .

Углы φ_1 и φ_2 определим из выражений:

$$\varphi_1 = 2\pi \frac{R_a - h}{a}, \quad \varphi_2 = 2\pi \frac{R_a}{a},$$

где R_a – радиус заготовки (радиус окружности выступов обрабатываемого колеса), мм.

Параметр a и шаг t архимедовой спирали связаны соотношением $t = 2\pi a$. Шаг архимедовой спирали при зубодолблении можно выразить через количество проходов k :

$$t = h / k.$$

Следовательно,

$$a = h / 2\pi k.$$

В выражении для определения L второе слагаемое, представляющее разность обратных гиперболических синусов в пределах практически приемлемого числа черновых проходов, не превышает 0,1 мм. Поэтому этим слагаемым можно пренебречь при практических расчетах.

После подстановки значения L в выражение для S_p окончательно получим:

$$S_p = \frac{2S_k h}{a(\varphi_2 \sqrt{1 + \varphi_2^2} - \varphi_1 \sqrt{1 + \varphi_1^2})}.$$

Для рассмотренного способа машинное время обработки определяется по формуле:

$$T_m = \frac{\pi m Z}{n S_{k1}} + \frac{L}{n S_d},$$

где T_m - машинное время зубодолбления, мин; $от$ - модуль, мм; Z - число зубьев нарезаемого колеса; $S_{kj} \sim$ круговая подача на чистовом проходе, мм / дв. ход долбяка; n - число дв. ходов долбяка в минуту; L - длина архимедовой спирали, по которой осуществляется врезание, мм; S'_a - результирующая подача врезания, мм / дв. ход долбяка.

На рис. 2 приведена структурная схема станка; на рис. 3 - структурная схема системы управления циклом многопроходного зубодолбления с непрерывным врезанием, реализующая рассмотренный способ [6]. Кинематическая структура станка унифицирована со структурой выпускаемых зубодолбежных станков с механическими связями и гидрофицированным приводом продольного стола. Система управления циклом врезания по архимедовой спирали состоит из стандартных интегральных элементов.

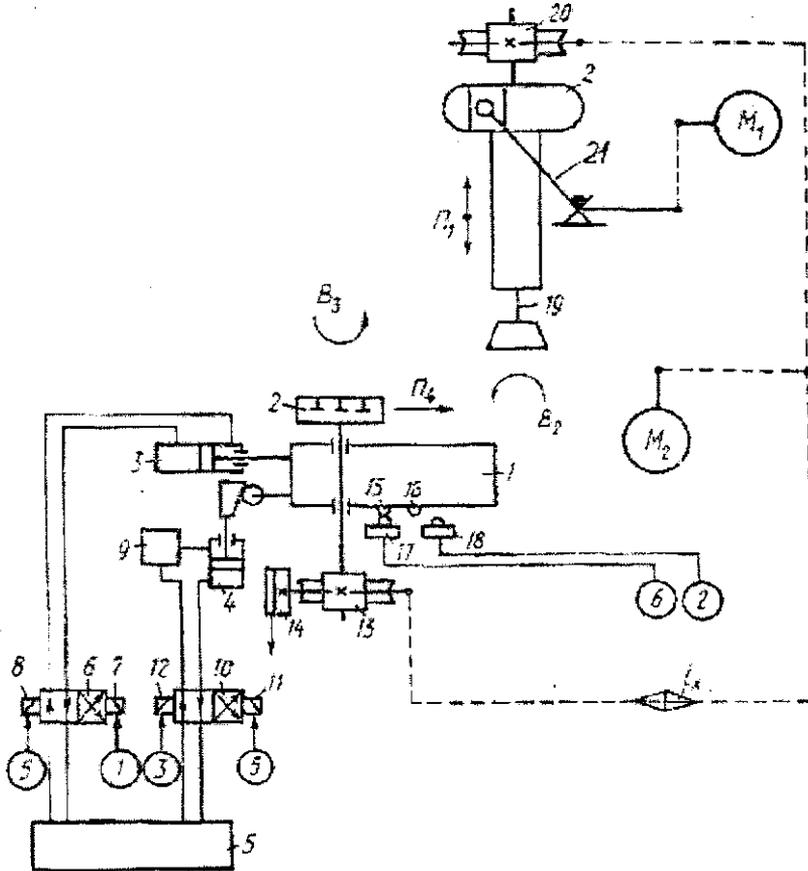


Рис. 2. Кинематическая структура станка

Продольный стол 1 (см. рис. 2), несущий делительный стол 2, оснащен гидроцилиндрами ускоренного перемещения 3 и врезания 4. Гидроцилиндр ускоренного перемещения 3 соединен с гидростанцией 5 посредством реверсивного золотника 6, управляемого электромагнитами 7 и 8, а гидроцилиндр врезания 4 - посредством регулятора 9, предназначенного для задания подачи врезания, и реверсивного золотника 10, управляемого электромагнитами 11 и 12. На делительной паре 13 делительного стола установлен счетчик 14 числа зубьев, служащий для отсчета одного оборота делительного стола. На продольном столе установлены упоры 15 и 16, контактирующие с путевыми переключателями 17 и 18. Первый путевой переключатель соответствует исходному положению продольного стола, второй - началу движения врезания.

Станочное зацепление делительный стол 2 - шпиндель 19 долбяка воспроизводится группой обката, содержащей во внутренней связи делительную пару 13, гитару сменных зубчатых колес i_x и делительную пару 20. Источником энергии в этой группе является регулируемый электродвигатель M_2 . Привод поступательно-возвратного движения шпинделя 19 осуществляется кулисным механизмом 21, кинематически связанным с электродвигателем M_1 .

Электромагниты 7 и 8 реверсивного золотника 6 соединены с выходами ключей 1 и 2 (см. рис. 3), а электромагниты 11 и 12 реверсивного золотника 10 - с выходами ключей 2 и 3. Аналоговые входы ключей 1, 2, 3 объединены и соединены с источником питания 4, а управляющие входы - с выходами триггеров 5, 6, 16. Первый вход триггера 5 соединен с выходом элемента ИЛИ 8, соединенного первым входом с блоком 9 начальной установки триггеров, а вторым входом - с выходом элемента И 10, у которого первый вход соединен с путевым переключателем 18, а второй вход через элемент НЕ 11 - с выхо-

дом триггера 6. Второй вход триггера 5 используется для включения рабочего цикла. Первый вход триггера 6 соединен с выходом элемента ИЛИ 12, соединенного первым входом с блоком 9 начальной установки триггеров, а вторым входом - с путевым переключателем 17. Второй вход триггера 6 объединен с первым входом элемента ИЛИ 13, с входом «сброс» двоичного 4-разрядного счетчика 14 и соединен с выходом блока задания общего количества проходов 15. Первый вход триггера 16 соединен с выходом элемента ИЛИ 7, соединенного первым входом с блоком 9 начальной установки триггеров, а вторым входом - с выходом блока задания количества черновых проходов 17. Вторые входы триггеров 16 и 18 объединены и соединены с выходом элемента И 19, у которого первый вход соединен с путевым переключателем 18, а второй вход - с выходом элемента НЕ 11. Первый вход триггера 18 соединен с выходом элемента ИЛИ 13, выход триггера 18 - с входом счетчика числа зубьев 14 (см. рис. 2). Выход этого счетчика соединен с входом двоичного 4-разрядного счетчика 14, выходы которого соединены с соответствующими входами блоков задания количества проходов 15 и 17. Блоки задания количества проходов 15 и 17 содержат диодно-резисторный конъюнктор на диодах 1, 2, 3, 4 (рис. 4), выходы которых объединены и соединены через резистор 5 с источником питания. Входы конъюнктора через ключи 6, 7, 8, 9 соединены с соответствующими входами двоичного 4-разрядного счетчика 14. Управляющие входы ключей 6, 7, 8, 9 используются для набора кода количества проходов. К выходу 4-входового конъюнктура подключен вход одноустойчивого мультивибратора 10.

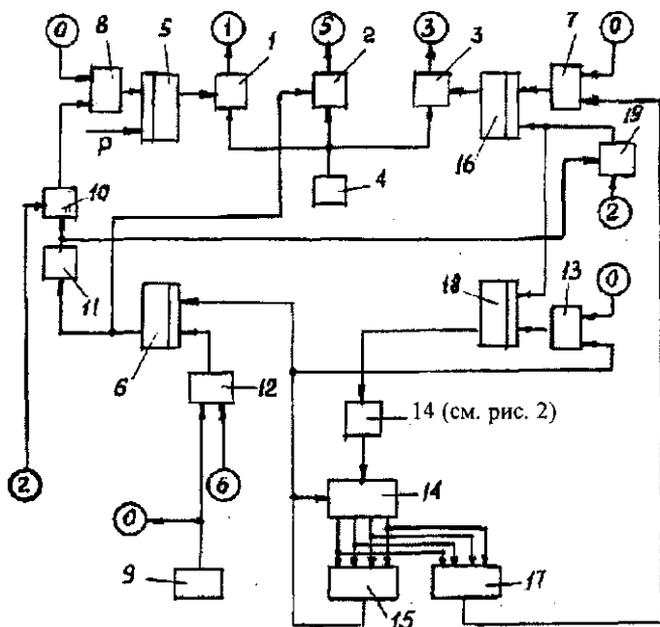


Рис. 3. Блок-схема системы управления циклом обработки

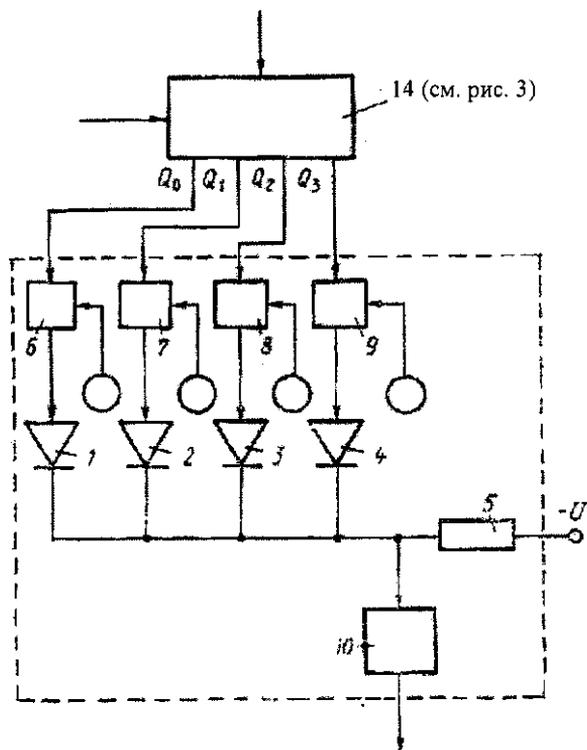


Рис. 4. Схема блока задания количества проходов

разрядного счетчика 14, состояние которых равно нулю в двоичной записи числа входных импульсов. В этом случае одноустойчивый мультивибратор 10 срабатывает и выдает на выходе импульс, соответствующий количеству выполненных проходов.

Цикл работы схемы осуществляется после подачи на второй вход триггера 5 управляющего сигнала *P*. На выходе триггера устанавливается сигнал, открывающий ключ 1, который посредством электромагнита 7 перемещает из нейтрального положения плунжер реверсивного золотника 6. Поток масла, посту-

ров, а вторым входом - с путевым переключателем 17. Второй вход триггера 6 объединен с первым входом элемента ИЛИ 13, с входом «сброс» двоичного 4-разрядного счетчика 14 и соединен с выходом блока задания общего количества проходов 15. Первый вход триггера 16 соединен с выходом элемента ИЛИ 7, соединенного первым входом с блоком 9 начальной установки триггеров, а вторым входом - с выходом блока задания количества черновых проходов 17. Вторые входы триггеров 16 и 18 объединены и соединены с выходом элемента И 19, у которого первый вход соединен с путевым переключателем 18, а второй вход - с выходом элемента НЕ 11. Первый вход триггера 18 соединен с выходом элемента ИЛИ 13, выход триггера 18 - с входом счетчика числа зубьев 14 (см. рис. 2). Выход этого счетчика соединен с входом двоичного 4-разрядного счетчика 14, выходы которого соединены с соответствующими входами блоков задания количества проходов 15 и 17. Блоки задания количества проходов 15 и 17 содержат диодно-резисторный конъюнктор на диодах 1, 2, 3, 4 (рис. 4), выходы которых объединены и соединены через резистор 5 с источником питания. Входы конъюнктора через ключи 6, 7, 8, 9 соединены с соответствующими входами двоичного 4-разрядного счетчика 14. Управляющие входы ключей 6, 7, 8, 9 используются для набора кода количества проходов. К выходу 4-входового конъюнктура подключен вход одноустойчивого мультивибратора 10.

Выходы Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 двоичного 4-разрядного счетчика имеют веса $2^0, 2^1, 2^2, 2^3$.

Следовательно, на входах 4-входового конъюнктора возможны состояния счетчика от 0000 до 1111, т.е. от 0 до 15. Первое состояние соответствует исходному положению схемы или отсутствию сигнала на входе счетчика, последнее - 15-му импульсу на входе. Таким образом, возможный максимальный цикл проходов равен 15. Каждый проход соответствует одному обороту делительного стола станка.

При наладке станка для получения на выходе 4-входового конъюнктора сигнала о конкретном числе проходов посредством ключей 6, 7, 8, 9 необходимо отключить от диодов 1, 2, 3, 4 те выходы двоичного 4-

пающий из гидростанции 5 через золотник 6 в полость цилиндра 3, обеспечивает ускоренное перемещение Π_4 продольного стола 1 в точку, соответствующую началу цикла. При набегании упора 16 на путевой переключатель 18, на выходе которого появляется сигнал, поступающий на первый вход элемента И 10, открытого по второму входу. На выходе этого элемента появляется сигнал, который, поступая на первый вход триггера 5, сбрасывает с его выхода сигнал, и ключ 1 отключает электромагнит реверсивного золотника, управляющего ускоренным перемещением Π_4 продольного стола 1. Сигнал с путевого переключателя 18 включает также привод поступательно-возвратного движения Π_1 шпинделя 19 долбяка и электродвигатель M_1 группы обката, обеспечивающей согласованные движения B_2 долбяка и B_3 делительного стола с круговой подачей, соответствующей черновым проходам. Одновременно сигнал с путевого переключателя 18 через элемент И19, открытый по второму входу, поступает на вторые входы триггеров 16 и 18. Сигнал, устанавливающийся на выходе триггера 16, открывает ключ 3, который посредством электромагнита 12 перемещает плунжер реверсивного золотника 10. Поток масла через золотник поступает в полость гидроцилиндра 4 врезания, сообщающего продольному столу 1 подачу врезания в движении Π_4 . Сигнал, устанавливающийся на выходе триггера 18, включает счетчик 14 числа зубьев. В итоге указанного воздействия на схему сигнала с путевого переключателя 18 движениями Π_1 , Π_4 и B_2B_3 осуществляются черновые проходы.

После каждого чернового прохода, соответствующего одному обороту делительного стола 2, на выходе счетчика 14 (см. рис. 2) числа зубьев появляется сигнал, поступающий на вход двоичного 4-разрядного счетчика 14. После выполнения заданного на блоке 17 количества черновых проходов на выходе последнего появляется сигнал, поступающий на первый вход триггера 16. Сигнал с выхода триггера сбрасывается, ключ 3 отключает электромагнит 12 золотника 10 и движение врезания прекращается. Одновременно электродвигатель M_2 переключается на другую круговую частоту, соответствующую круговой подаче чистового прохода.

После прекращения движения врезания в течение одного оборота делительного стола выполняется чистовой проход. Окончание его соответствует появлению на счетчике 14 очередного импульса, который поступает на вход двоичного 4-разрядного счетчика. В итоге на выходе блока 15 задания общего количества проходов появляется сигнал, который отключает приводы движений Π_1 и B_2B_3 и одновременно поступает на вход «сброс» двоичного 4-разрядного счетчика 14, на первый вход триггера 18 и на второй вход триггера 6. На выходе триггера 18 сигнал сбрасывается, и счетчик 14 отключается. Одновременно на выходе триггера 6 устанавливается сигнал, включающий ключ 2. Электромагниты 8 и 11 реверсивных золотников 6 и 10 срабатывают, и изменяется направление потока масла в гидроцилиндрах 3 и 4. Продольный стол 1 под воздействием гидроцилиндра 3 ускоренно перемещается в исходное положение. Одновременно ползушка гидроцилиндра 4 также перемещается в исходное положение. В исходном положении продольного стола упор 15 набегаем на путевой переключатель 17. Сигнал с его выхода поступает на первый вход триггера 6, сбрасывая сигнал с его выхода. Ключ 2 обесточивает электромагниты 8 и 11 реверсивных золотников 6 и 10, и продольный стол 1 фиксируется в исходном положении. После смены заготовки цикл обработки повторяется.

Если необходимо разделить общее количество проходов на черновые, получистовые и чистовые, в схему системы управления циклом вводится дополнительный блок задания количества проходов, ключами которого устанавливается количество получистовых проходов. Дополнительный блок присоединяется входами к соответствующим выходам двоичного 4-разрядного счетчика параллельно входам блоков 15 и 17, задающих количество проходов. Сигнал с выхода дополнительного блока используется для переключения электродвигателя группы обката на получистовую круговую подачу и соответствующего изменения подачи радиального врезания.

Задача реализации способа многопроходного зубодолбления с непрерывным врезанием на черновых (предварительных) проходах в рассмотренном примере решена аппаратно. Возможно также ее программное решение. В частности, это выполнено в станках фирмы «Lorenz» (ФРГ) [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Hans I. Gezielt wirtschaftlicher walzstoBen // VDI-zeitschrift. - 1970. - Vol. 112, № 4. ~ S. 266 - 269.
2. Кениг В., Бузакис К. Стружкообразование и износ инструмента при зубодолблении // Экспресс-информация, режущие инструменты. - М.; ВИНТИ, 1978.-С. 1 - 12.
3. Wälzstolien in Eteppen // Maschine. - 1991. - Vol. 45, № 6. - S. 75 - 78.
4. А.с. 1763112 (SU), МЮС В23F 5/12. Способ обработки зубчатых колес / А.И. Голембиевский; Оpubл. // Бюллетень изобретений. - 1992. - № 35.
5. Справочник машиностроителя: В 6-ти т. / Под ред. Н.С. Ачеркана. - М.: Машгиз, 1960. - Том 1. - С. 274 - 275.
6. А.с. 1835335 (SU), МКИ В23F 5/12. Устройство управления приводом продольного стола зубодолбежного станка / А.И. Голембиевский; Оpubл. // Бюллетень изобретений. - 1993. - № 31.
7. Каталог зубодолбежных станков фирмы «Lorenz». - Ettlingen, 1988.