

**А. М. Лахин**, канд. техн. наук

(ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР, РФ)

E-mail: le.lax@yandex.ru

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ МЕХАНИЗМА ГИТАРЫ ДЕЛЕНИЯ**

*В работе предложен способ модернизации конструкции зубодолбежного станка путем замены гитары деления устройством прямого привода долбяка, а также считывания и обработки угловых перемещений привода инструмента и заготовки. Предложенный способ упрощает наладку станка на нарезание колес с различным числом зубьев и существенно расширяет технологические возможности зубообрабатывающего оборудования.*

***Ключевые слова:** зубчатое колесо, долбяк, станок, привод, передаточное отношение.*

**A. M. Lahin**

## **INCREASING THE EFFICIENCY OF USE OF GEAR SHAPING MACHINES DUE TO MODERNIZATION OF THE DIVISION GUITAR MECHANISM**

*The work proposes a method for modernizing the design of a gear shaping machine by replacing the division guitar with a direct drive device for the shaper, as well as reading and processing the angular movements of the tool drive and the workpiece. The proposed method simplifies setting up a machine for cutting wheels with different numbers of teeth and significantly expands the technological capabilities of gear-processing equipment.*

***Keywords:** gear wheel, cutter, machine tool, drive, gear ratio.*

### **1. Введение**

В настоящее время зубообработка является одной из наиболее трудоемких операций при изготовлении деталей с зубчатым венцом. Это обусловлено как высокой трудоёмкостью самих зубообрабатывающих операций, так и длительностью вспомогательного времени на настройку и наладку оборудования под заданные параметры зубчатого венца. При этом существующее зубообрабатывающее оборудование является достаточно сложным в наладке, требующим высокой квалификации наладчиков и больших затрат времени [4, 6, 8].

Метод обкатки, к которому относятся: зубодолбление, зубофрезерование червячной фрезой и зубострогание, является универсальным методом обработки, позволяющими выполнять формообразование зубьев зубчатых колес с любым числом зубьев, инструментом одного модуля. Кроме того, при обработке зубьев методом обкатки достигается форма профиля зуба наиболее близкая к теоретической, за счет чего достигаются меньшие погрешности по всем нормам точности [2].

Между тем, для обеспечения заданных параметров нарезаемого зубчатого колеса, требуется сложная настройка станка, связанная с частичной разборкой оборудования [6]. Это требуется для согласованности угловых перемещений заготовки относительно инструмента при заданном числе зубьев нарезаемого зубчатого колеса. При зубодолблении должно быть обеспечено угловое перемещение заготовки на угол, в соответствии с передаточным отношением нарезаемого колеса с долбяком. Для зубофрезерования червячной фрезой скорость круговой подачи должна быть уменьшена относительно скорости вращения фрезы в величину передаточного отношения заготовки с червячной фрезой. При зубострогании конических колес

поворот люльки также должен быть согласован с числом зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

При классическом подходе настройка станков выполняется подбором сменных шестерен гитары деления [4]. При этом для каждого числа зубьев нарезаемого колеса требуется уникальный набор пар шестерен, что усложняет настройку и делает невозможным обработку колес с нестандартным числом зубьев.

Целью данной работы является расширение технологических возможностей зубообрабатывающих станков, работающих по методу обкатки, за счет модернизации их конструкции устройством электронной гитары деления.

Задачи: исследовать особенности зубодолбежных станков на предмет их возможной модернизации; предложить совершенствование конструкции механизма деления для обработки зубчатых колес с любым числом зубьев; предложить рациональные способы обработки зубьев предложенным способом.

## 2. Основное содержание и результаты работы

Зубодолбление является одним из наиболее универсальных методов зубообработки. Он позволяет нарезать зубья наружного, внутреннего зацепления, прямозубые, косозубые и шевронные зубчатые колеса, а также зубчатые блоки.

Кинематическая схема зубодолбежного станка 514 представлена на рис. 1.

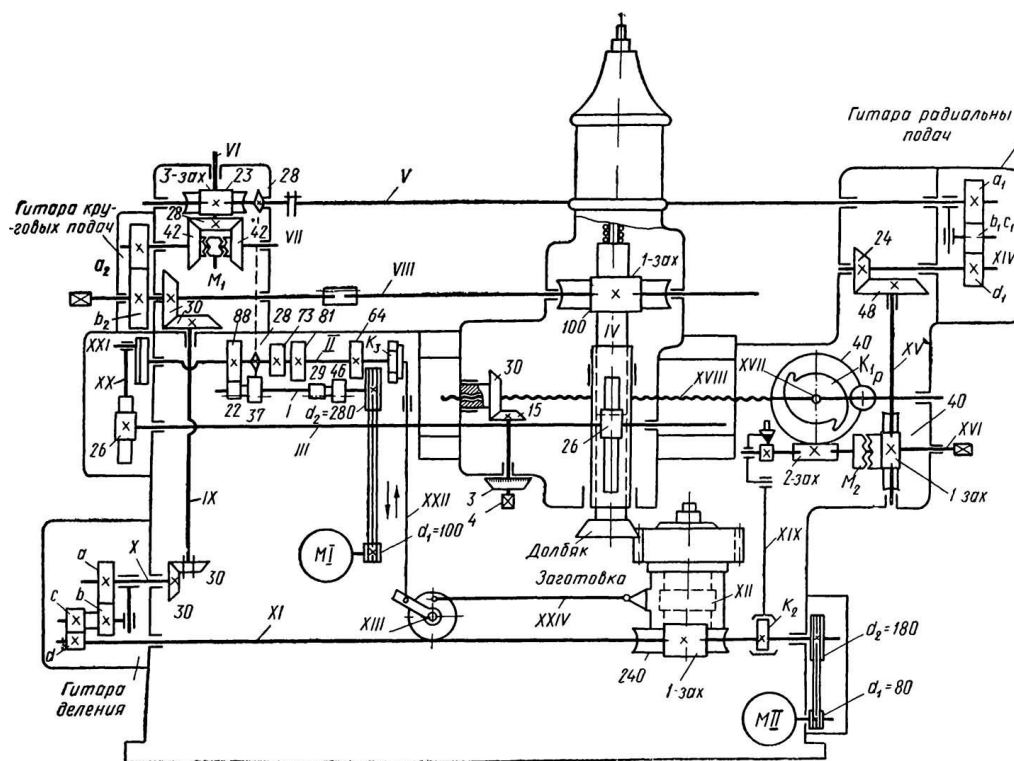


Рисунок 1. Кинематическая схема зубодолбежного станка 514

Данный станок можно условно разделить на 5 групп механизмов: привод главного движения шпинделя долбяка, механизм радиальной подачи долбяка, механизм круговой подачи долбяка, механизм движения деления заготовки и гитара деления. Вращательные движения: круговая подача долбяка и движение деления заготовки

должны быть строго согласованы за счет подбора пар шестерен  $a-b$  и  $c-d$ . Связь между приводом круговой подачи инструмента и движения деления реализована с помощью конической передачи между валами VIII и X с помощью промежуточного вала IX. Движение на вал VIII передается через дифференциальный механизм  $M_1$  и пары сменных шестерен  $a_2$  и  $b_2$  гитары круговых подач. Передача вращательного движения на шпиндель долбяка и шпиндель заготовки реализованы от червячных передач. Можно отметить, что точность сменных шестерен гитар деления и гитары круговых подач, должна обеспечивать минимальный боковой зазор, от которого на прямую зависит точность шага нарезаемых колес.

Исходная конструкция имеет большое количество кинематических цепей, требующих точной настройки. Наладка на обработку колес с иным числом зубьев требует смены шестерен на X и XI валах, что требует значительных затрат времени. Упрощения устройства трансмиссии зубодолбежного станка можно достичь за счет модернизации данного станка устройством электронной гитары деления, которая позволит исключить гитару круговых подач и гитару деления. При этом устройство связи угловых движений шпинделя долбяка и движения деления заготовки может быть реализовано с помощью электронного считывающего устройства угловых перемещений – энкодера. Данное устройство преобразует угловые перемещения вала привода вращения долбяка в электронные сигналы, которые обрабатываются в блоке управления. В настоящее время этот подход широко применяется для переоборудования токарных станков, используемых для нарезания резьбы [1]. Комплект для переоборудования металлорежущего станка устройством электронной гитары представлен на рис. 2.



Рисунок 2. Комплект для модернизации металлорежущего станка устройством электронной гитары

В комплект электронной гитары входят следующие составные части (рис. 2): 1 – цифровая панель управления с электронным блоком, 2 – драйвер шагового двигателя, 3- шаговый двигатель для привода заготовки, 4 – энкодер, 5 – шкивы и зубчатый ремень для передачи движения от шагового двигателя на ходовой вал, 6 -

соединительный кронштейн двигателя и ходового вала, 7 – импульсный блок питания, 8 – зубчатый шкив устанавливаемый на шпиндель станка.

Предложенный вариант модернизации зубодолбежного станка представлена на рис. 3.

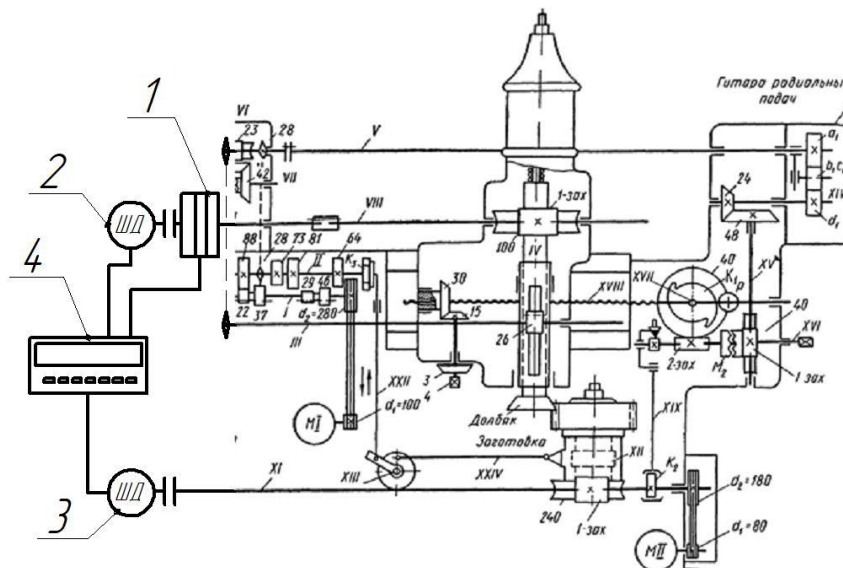


Рисунок 3. Модернизация трансмиссии зубодолбежного станка устройством электронной гитары деления

В представленной конструкции (рис.3) исключены гитара круговых подач а также гитара деления. Привод главного движения (возвратно-поступательное перемещение шпинделя с долбяком) реализовано от электродвигателя М1 с коробкой скоростей на 3 ступени, и цепной передачей. Привод круговой подачи долбяка реализован от шагового электродвигателя 2, передающего движение через червячную передачу 1/100. На валу двигателя 2 также установлен энкодер 1, который фиксирует угловые перемещения вала VIII и преобразует их в электронный сигнал. Полученный сигнал в блоке управления 4 преобразуется в электронный импульс, задающий угловое перемещение шаговому электродвигателю 3, который через червячную пару 1/240 передает движение деления заготовке. Величина выходного сигнала настраивается в блоке управления 4 через меню команд. Вращение шагового электродвигателя 3 передается на червяк привода углового перемещения деления и через червячную передачу сообщается заготовке. Угол поворота заготовки за счет настройки в меню блока управления, будет равен:

$$\varphi_3 = 360 \cdot \frac{Z_2}{Z_1}, \tag{1}$$

где  $Z_1$  – число зубьев долбяка;  
 $Z_2$  – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

Для задания требуемого угла поворота долбяка  $\varphi_d$  требуется поворот шагового двигателя 2 и вала VIII на следующих угол:

$$\varphi_{VIII} = \varphi_d \cdot i_{VIII-IV}, \tag{2}$$

где  $i_{VIII-IV}$  – передаточное отношение червячной передачи на валу шпинделя долбяка. В случае станка 514,  $i_{VIII-IV} = 100$ .

Требуемый угол поворота вала XI, который должен быть обеспечен шаговым двигателем 3, будет следующим:

$$\varphi_{XI} = \varphi_3 \cdot i_{XI-XII}, \quad (3)$$

где  $\varphi_3$  – угол поворота заготовка, определенный из соотношения (1);

$i_{XI-XII}$  – передаточное отношение червячной передачи на валу заготовки. В случае станка 514,  $i_{XI-XII} = 240$ .

При нарезании зубчатого колеса с любым числом зубьев, соотношение между углами поворота шаговых двигателей 2 и 3 будет определяться следующим поправочным коэффициентом:

$$k = \frac{i_{VIII-IV}}{i_{XI-XII}} \cdot \frac{Z_2}{Z_1}. \quad (4)$$

Отношение  $\frac{i_{VIII-IV}}{i_{XI-XII}}$  является конструктивной характеристикой станка, и в случае зубодолбежного станка 514 равна:

$$\frac{i_{VIII-IV}}{i_{XI-XII}} = \frac{100}{240} = 0,417.$$

Тогда поправка для угла поворота шагового двигателя поворота вала XI будет учитывать только передаточное отношение между долбяком и нарезаемым зубчатым колесом:

$$k = 0,417 \cdot \frac{Z_2}{Z_1}, \quad (5)$$

где  $Z_1$  – число зубьев долбяка;

$Z_2$  – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

Полученная поправка является основной величиной для настройки зубодолбежного станка на нарезание заданного числа зубьев. Блок управления должен обеспечивать настройку данного коэффициента угловых перемещений

Данный станок может работать полностью в автоматическом режиме. В цикл работы данного станка входят следующие переходы:

- врезание долбяка с радиальной подачей на глубину зуба (при нарезании за один проход), или на глубину 1-го прохода; поворот долбяка и заготовки не осуществляется а долбяк совершает возвратно-поступательное движение с отскоком назад при холостом ходе;
- включение круговой подачи долбяка и движения деления заготовки; выполнение нарезания зубьев по кругу с отскоком долбяка при холостом ходе;
- остановка поворотного движения, радиальная подача долбяка на следующий проход;
- включение круговой подачи долбяка и движения деления на следующий проход.

Аналогичным образом можно выполнить модернизацию зубофрезерных станков, работающих по методу обката. В этом случае привод вращения фрезы, механизм вертикальной подачи, радиального перемещения стойки и тангенциального перемещения протяжного суппорта соответствуют исходной конструкции станка.

Тогда как исключается цепь обкатки (деления нарезаемого колеса). Движение обката будет реализована с помощью отдельного шагового двигателя, присоединенного к червяку передачи вращения заготовки. К валу шпинделя фрезы присоединяется энкодер связанный с блоком управления, с помощью которого будет настроено согласованное движение деления нарезаемой заготовки. При такой конструкции значительно упрощается кинематическая схема станка и отпадает необходимость использования сменных шестерен цепи деления, а также появляется возможность обработки зубчатых колес с любым числом зубьев.

Основной задачей конструктора и проектировщика металлообрабатывающего оборудования является разработка и программирование электронных устройств для преобразования сигналов и согласования угловых перемещений приводов вращения инструмента и заготовки [3]. Данная задача решается применением программируемых контроллеров и устройств преобразования электронных сигналов в управляющие команды для элементов станка.

### 3. Заключение

Таким образом, в работе предложен способ модернизации конструкции зубодолбежного станка путем замены гитары деления на прямой привод поворота заготовки и долбяка с устройством считывания и обработки сигнала угловых перемещений. Данный способ значительно упрощает настройку станка на обработку зубчатых колес с любым числом зубьев, уменьшает погрешности в кинематических цепях станка и позволяет существенно снизить время на наладку и обслуживание зубообрабатывающих станков. Кроме того, предложенный способ требует гораздо меньших капиталозатрат по сравнению с использованием полноценных станков с ЧПУ при незначительных затратах на модернизацию действующего оборудования.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лахин, А. М. Повышение технологических возможностей токарно-винторезных станков путем использования механизма электронной подачи / А. М. Лахин, О. В. Мороз, И. А. Горобец // Инженер: Студенческий научно-технический журнал. – Донецк: ДонНТУ, 2023. - № 1 (35). - С.43-46.
2. Кудрявцев, В. Н. Зубчатые передачи [Текст] / В.Н. Кудрявцев // - М.: «Машгис», 1957. – 263 с.
3. Клепиков, В. В. Новые технологические решения и направления в производстве зубчатых колес [Текст] / В. В. Клепиков // СТИН. — 2002. — №2. — С. 30 — 33.
4. Калашников, А. С. Технология изготовления зубчатых колес [Текст] /А. С. Калашников// М.: Машиностроение, 2004. – 480 с.
5. Лоскутов, В. В. Зубообрабатывающие станки [Текст] / В. В. Лоскутов, А. Г. Ничков // М.: Машиностроение -1978, - 192 с., ил.
6. Шавлюга, Н. И. Расчет и примеры наладок зубофрезерных и зубодолбежных станков [Текст] / Н. И. Шавлюга // Л.: Машиностроение – 1978, - 168 с.
7. Шепелева, И. Н. Обработка материалов резанием. Часть 2 [Текст] / И. Н. Шепелева [и др.]. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – 212 с.
8. Гинзбург, Е. Г., Халебский Н. Т., Производство зубчатых колес [Текст] / Е. Г. Гинзбург, Н. Т. Халебский // Л.: «Машиностроение» 1978 г. – 136 с., ил.

Поступила в редколлегию 12.02.2024 г.