

## МАШИНОВЕДЕНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 371.261:621.9.06+372.8

### ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МЕТОДИКЕ ПОЗНАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ»

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

*Рассматривается использование функционального проектирования в методике познания инженерной дисциплины «металлорежущие станки», основанной на парадигме познания, базирующейся на законе разветвления механической энергии в кинематических цепях и принципе возможных перемещений. Функциональное проектирование как синтез кинематической структуры металлорежущего станка по закону его функционирования, задаваемому способом формообразующей обработки. Итерационный характер функционального проектирования, последовательно приближающий от этапа к этапу, начиная с анализа соответствующего способа формообразующей обработки, к решению поставленной задачи.*

**Ключевые слова:** функциональное проектирование, методика познания инженерной дисциплины «металлорежущие станки», способ формообразующей обработки, кинематическая структура, этапы проектирования.

**Введение.** Современная университетская методика преподавания дисциплины «металлорежущие станки» основана на парадигме познания, базирующейся на фундаментальных положениях теоретической механики [1]: законе разветвления механической энергии в кинематических цепях и принципе возможных перемещений, известном в кинематике как принцип Даламбера. Эта методика включает логически связанные части: основы теории формообразования реальных поверхностей в машиностроении, понятие о способе формообразующей обработки и понятие о кинематической структуре, функции и настройке металлорежущих станков [2]. В учебной литературе, в том числе в фундаментальном учебнике для вузов по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» [3], рекомендуемом типовой программой дисциплины «Металлорежущие станки», основополагающие понятия парадигмы познания представляются как уже известные, технические решения. Такой обезличенный подход не стимулирует творческое мышление при изучении виртуальных технических решений (способов формообразующей обработки) и соответствующих им реальных технических объектов (кинематической структуры металлорежущих станков), являющихся объектами интеллектуальной собственности и защищаемыми патентами на изобретения. Данное явление, по существу, является противоречием между современной парадигмой познания и сложившейся методикой преподавания дисциплины «металлорежущие станки». Это противоречие можно устранить посредством включения функционального проектирования в методику преподавания дисциплины.

**Основная часть.** Функциональное проектирование – это синтез технического объекта (структурной схемы металлорежущего станка) по заданному функциональному назначению или по закону его функционирования, задаваемому способом формообразующей обработки. В учебном процессе предпочтительно использование закона функционирования реального технического объекта, получаемого на основе анализа виртуального технического решения – способа формообразующей обработки. В этом случае, по существу, непосредственно на лекции или практическом занятии можно проследить путь создания или «изобретения» кинематической структуры станка.

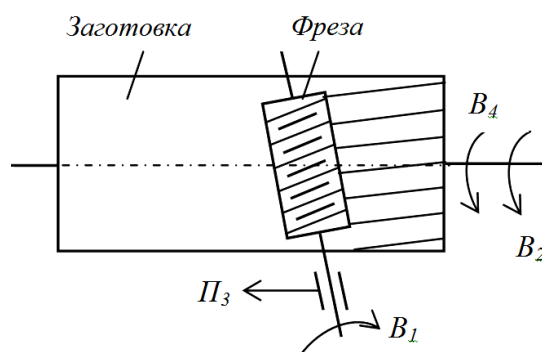
Процесс функционального проектирования носит итерационный характер, то есть от этапа к этапу, начиная с анализа соответствующего способа формообразующей обработки, последовательно приближает к решению поставленной задачи. Методику функционального проектирования рассмотрим на примере разработки структурной схемы станка для обработки шлицевых валов и вал-шестерен червячными фрезами. Характеристический образ червячной фрезы есть  $K$ -элементный класс равномоментных множеств  $\{M_s\}$ , где  $\{M_s\}$  – множество материальных точек, образующих вершинную и боковые режущие кромки каждого зуба фрезы [4].

На первом этапе анализируют способ формообразующей обработки, подлежащий реализации в кинематической структуре разрабатываемого станка. Боковые поверхности прямобочных шлицев очерчены отрезками прямой, а боковые поверхности эвольвентных шлицев – отрезками левой и правой эвольвент. Линия прямобочных и эвольвентных шлицев по длине может быть как прямой, так и винтовой.

Червячная фреза представляет собой совокупность исходных режущих реек, расположенных на цилиндре и смещенных одна относительно другой по винтовой линии. Режущий контур зубьев, каждый из которых имеет правую и левую режущие кромки в виде материальных линий, очерчен отрезками прямых для прямобочного шлица и отрезками левой и правой эвольвент для эвольвентного шлица (зуба колеса). Размеры режущих зубьев обычно соответствуют размерам впадин между нарезаемыми шлицами (зубьями), а их геометрическое взаимное положение обусловлено необходимостью выполнения делительного процесса и определяется окружным шагом нарезаемого шлицевого вала (зубчатого колеса). Форма режущей кромки червячной фрезы и форма профиля зуба или шлица нарезаемого вала различаются между собой. Поэтому профили шлицев (зубьев) можно получить только посредством обката.

Воспроизводящая винтовая линия по длине шлица (зуба) образуется посредством касания, так как образуемая винтовая линия является касательной к ряду дополнительных окружностей, создаваемых вращающимися материальными точками воспроизводящего режущего контура (характеристического образа инструмента). Таким образом, образование боковой поверхности винтового шлица (зуба) должно осуществляться сочетанием обката (профиль шлица или зуба) и касания (линия шлица или зуба по длине).

На рисунке 1 приведена схема классического способа обработки шлицевых валов и вал-шестерен червячной фрезой.



**Рисунок 1. – Способ фрезерования червячной фрезой шлицевых валов и вал-шестерен**

По классу образования поверхности устанавливаем количество движений формообразования. Для воспроизведения профиля шлицев (зубьев) обкатом фрезе и заготовке сообщают функционально связанные движения соответственно  $B_1$  и  $B_2$ , образующие сложное формообразующее движение  $\Phi_s(B_1B_2)$  скорости резания. Для воспроизведения касанием винтовой линии по длине шлицев (зубьев) – функционально связанные движения соответственно  $B_3$  и  $B_4$ , образующие сложное формообразующее движение  $\Phi_s(B_3B_4)$  подачи.

При фрезеровании прямых шлицев и прямозубых колес отпадает необходимость в движении  $B_4$ . В этом случае сложное двухэлементарное формообразующее движение  $\Phi_s(B_3B_4)$  преобразуется в простое движение  $\Phi_s(B_3)$ .

При фрезеровании червячными фрезами процессы деления и врезания осуществляются попутно в процессе формообразования. Следовательно, основная часть структуры станка должна состоять только из сложных формообразующих групп  $\Phi_s(B_1B_2)$  и  $\Phi_s(B_3B_4)$  при фрезеровании винтовых шлицев (зубьев) или из сложной и простой формообразующих групп соответственно  $\Phi_s(B_1B_2)$  и  $\Phi_s(B_3)$  при фрезеровании прямых шлицев (зубьев).

На втором этапе осуществляют графическое оформление (рисунок 2) подвижных исполнительных органов структурной схемы станка. Исполнительный орган, несущий фрезу, представляет собой шпиндель 1, смонтированный с возможностью вращения  $B_1$  в корпусе инструментального суппорта. Поступательное движение  $B_3$  суппорта по направляющим, параллельно оси центров станка, обеспечивается тяговым валом  $TB$ , выполненным в виде передачи винт – гайка. Исполнительный орган, несущий заготовку, это шпиндель, смонтированный с возможностью вращения  $B_2$  и  $B_4$  в стационарном блоке 2, называемом бабкой изделия.

На третьем этапе решают вопрос о количестве источников механической энергии, выполняют графическое оформление связей между источниками механической энергии и исполнительными органами, устанавливают органы настройки параметров исполнительных движений.

При фрезеровании винтовых шлицев (зубьев) на шпинделе заготовки необходимо суммировать элементарные движения  $B_2$  и  $B_4$ , входящие в обе формообразующие группы. Суммирование этих движений на одном исполнительном органе можно как физически, так и алгебраически. При физическом сложении в кинематической структуре станка необходимо использовать планетарный суммирующий меха-

низм (дифференциал). Алгебраическое (бездифференциальное) сложение возможно при условии, что суммируемые движения имеют одинаковую скоростную характеристику, продолжительность их одинакова и создаются они одним источником движения. Движения  $B_2$  и  $B_4$  названным условиям удовлетворяют. В этом случае исполнительные движения  $\Phi_v(B_1B_2)$  и  $\Phi_s(\Pi_3B_4)$  преобразуются к виду  $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$  и  $\Phi_s(\Pi_3)$ . При этом между кинематическими группами обязательно должна быть кинематическая связь.

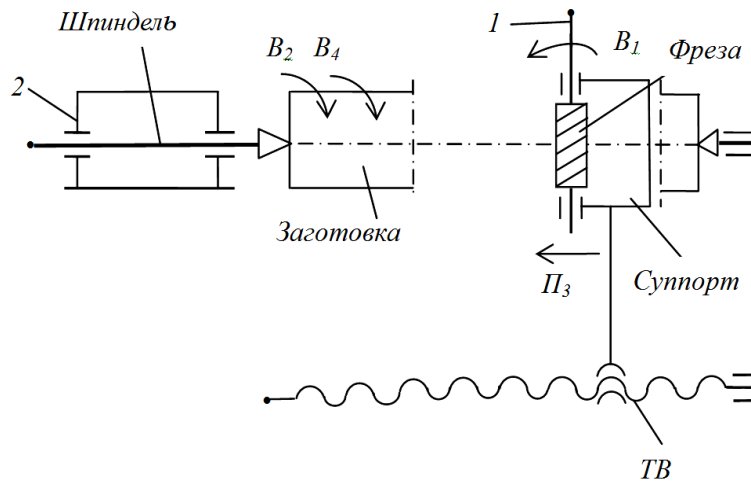


Рисунок 2. – Исполнительные органы структурной схемы станка

Разработаем бездифференциальную кинематическую структуру станка с общим электродвигателем для обеих формообразующих групп.

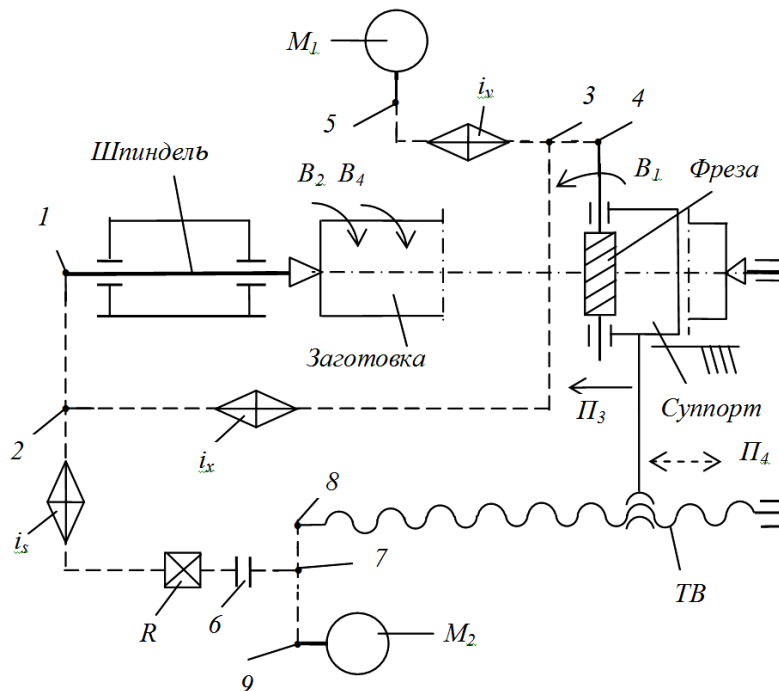


Рисунок 3. – Бездифференциальная структурная схема шлице-зубофрезерного станка

Для воспроизведения сложного формообразующего движения  $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$ , воспроизводящего образующую – профиль шлицев (зубьев), соединим шпиндель заготовки со шпинделем фрезы посредством кинематической цепи  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ , обеспечивающей функциональное согласование движения  $B_1$  с алгебраической суммой  $B_2 \pm B_4$  движений  $B_2$  и  $B_4$ . Эта цепь, называемая внутренней связью, обеспечивает потенциальную возможность воспроизведения траектории сложного исполнительного движения.

Во внутренней связи размещают орган настройки  $i_x$  на траекторию этого движения. Для сообщения движения исполнительным органам соединим источник механической энергии – электродвигатель  $M_1$  – с внутренней связью посредством внешней связи  $5 \rightarrow 3$ . В этой связи размещают орган настройки  $i_v$  на скорость воспроизведения траектории исполнительного движения. Кинематическое звено  $3$ , входящее в обе связи, принято называть звеном соединения связей. Его расположение во внутренней связи имеет принципиальное значение и зависит от расчетной цепи для органа настройки  $i_v$ . Элементарные движения  $B_1, B_2, B_4$ , образующие сложное движение обката  $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$ , всегда одновременны и одинаковы по продолжительности. Это позволяет оценивать скорость сложного исполнительного движения через скорость одного из входящих в него элементарных движений. Обычно это движение исполнительного органа, имеющего большую скорость и потребляющего большую мощность. В проектируемой схеме это шпиндель фрезы. Следовательно, звено соединения связей  $3$  целесообразно располагать между шпинделем фрезы и органом настройки на траекторию  $i_x$ .

Спроектированная совокупность исполнительных органов, источника энергии движения, внутренней и внешней связей именуется *кинематической группой* с названием, соответствующим названию движения, которое она воспроизводит. Причем внутренняя связь этой группы при функционировании имитирует червячную передачу. Скорость этой имитации (темп воспроизведения образующей обрабатываемой поверхности) зависит только от скорости звена соединения связей  $3$ , являющегося конечным звеном внешней связи. Это правило характерно для любой сложной формообразующей группы, имитирующей любую передачу, например, зубчатую или зубчато-реечную.

Поступательная пара «направляющие станины станка – суппорт» обеспечивает потенциальную возможность осуществления движения  $П_3$ , воспроизводящего линию шлицев (зубьев). Данная пара – это внутренняя связь простой формообразующей группы  $\Phi_s(P_3)$ .

Соединим суппорт – подвижное звено этой группы, называемое звеном соединения связей, – с электродвигателем  $M_1$  посредством внешней кинематической связи

$$5 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow i_x \rightarrow 2 \rightarrow i_s \rightarrow R \rightarrow \text{муфта } 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow ТВ \rightarrow \text{суппорт}.$$

В этой связи размещают орган настройки  $i_s$  на скорость воспроизведения прямолинейной траектории исполнительного движения  $П_3$ .

При функционировании внутренняя связь простой формообразующей группы  $\Phi_s(P_3)$  имитирует поступательную кинематическую пару. Скорость этой имитации (темп воспроизведения направляющей обрабатываемой поверхности) зависит только от скорости движения суппорта, являющегося звеном соединения связей.

Функциональное проектирование формообразующих групп шлице-зубофрезерного станка выполнено на вербальном языке. При анализе кинематической структуры следует отдать предпочтение языку современной парадигмы познания станочного оборудования [2], обеспечивающему большую наглядность и компактность описания. Приведем логико-математическое описание структурной схемы на логико-математическом языке этой парадигмы.

Группа формообразования, создающая сложное, двухэлементарное, замкнутое движение обката  $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$ , воспроизводящая образующую – профиль шлицев (зубьев).

Внутренняя связь группы имеет вид:

$$B_1 \rightarrow \text{фреза} \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow i_x \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow \text{шпиндель заготовки} \rightarrow B_2.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 5 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Группа настраивается по двум параметрам: на траекторию и скорость резания органами настройки соответственно  $i_x$  и  $i_v$ .

Группа формообразования, создающая простое, незамкнутое движение подачи  $\Phi_s(P_3)$ , воспроизводящая линию по длине шлицев (зубьев).

Внутренняя связь группы – поступательная пара:

$$\text{направляющие станины} \rightarrow \text{суппорт фрезы}.$$

Внешняя связь:

$$M_1 \rightarrow 5 \rightarrow i_v \rightarrow 3 \rightarrow i_x \rightarrow 2 \rightarrow i_s \rightarrow R \rightarrow \text{муфта } 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow ТВ \rightarrow \text{суппорт} \rightarrow P_3.$$

Группа настраивается на скорость (подачу) органом настройки  $i_s$ , на путь и исходную точку упорами системы управления, на направление реверсом  $R$ .

Формообразующие группы связаны общим электродвигателем, а часть внутренней связи группы  $\Phi_v$  является также частью внешней связи группы  $\Phi_s$ .

Для ускоренного перемещения (позиционирования) суппорта при наладке станка в его структурную схему целесообразно ввести ненастраиваемую вспомогательную группу  $Bc(P_4)$  с отдельным элек-

тродвигателем. Внутренняя связь этой группы будет совпадать с внутренней связью формообразующей группы  $\Phi_s$ , а внешняя связь иметь вид:

$$M_2 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow TB \rightarrow \text{суппорт} \rightarrow П_4.$$

Причем при наладочных перемещениях суппорта внешняя связь формообразующей группы  $\Phi_s$  отключается от исполнительного органа (суппорта) посредством сцепной муфты б.

Для нарезания прямых шлицев и прямозубых колес из сложного движения  $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$  исключается элементарное движение  $B_4$  шпинделя заготовки. Формально это не изменяет кинематическую структуру группы  $\Phi_v$ . Однако ее настройка изменяется, так как отпадает необходимость в винторезном движении заготовки относительно инструмента.

На *четвертом этапе* выводят формулы настройки (ФН) для органов настройки  $i_x, i_v, i_s$ .

Орган настройки  $i_x$ . Внутренняя связь группы  $\Phi_v(B_1B_2 \pm B_4)$  содержит один орган настройки. Поэтому расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью.

При нарезании прямых шлицев (зубьев) за один оборот заготовки (движение  $B_2$ ) фреза делает  $\frac{z}{k}$  оборотов (движение  $B_1$ ) и перемещается по образующей цилиндра на величину  $s$  мм.

Для получения винтовых шлицев (зубьев) при перемещении фрезы на величину  $s$  заготовка должна дополнительно повернуться на  $\frac{s}{T}$  оборота (движение  $B_4$ ), что соответствует дополнительному повороту фрезы на  $\pm \left(\frac{z}{k}\right) \cdot \left(\frac{s}{T}\right)$ .

Следовательно, расчетные перемещения (РП) при обработке винтовых шлицев (зубьев) имеют вид:

$$1 \text{ об. заготовки } (B_2 \pm B_4) \rightarrow \frac{z}{k} \cdot \left(1 \pm \frac{s}{T}\right) \text{ об. фрезы } (B_1),$$

где  $k$  – число заходов фрезы;  $z$  – число нарезаемых шлицев (зубьев);  $T$  – шаг винтовой линии шлицев (зубьев);  $s$  – подача, мм/об заготовки.

Тогда уравнение кинематической цепи (УКЦ):

$$\frac{z}{k} \cdot \left(1 \pm \frac{s}{T}\right) = 1 \cdot c_1 \cdot \left(\frac{1}{i_x}\right).$$

ФН:

$$i_x = \frac{k \cdot c_1}{z \cdot \left(1 \pm \frac{s}{T}\right)},$$

где  $c_1$  – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

При обработке прямых шлицев (зубьев) РП имеют вид:

$$1 \text{ об. заготовки } (B_2) \rightarrow \frac{z}{k} \text{ об. фрезы } (B_1).$$

Тогда УКЦ:

$$\frac{z}{k} = 1 \cdot c_1 \cdot \left(\frac{1}{i_x}\right).$$

ФН:

$$i_x = \frac{k \cdot c_1}{z}.$$

Орган настройки  $i_v$ .

Расчетная цепь связывает электродвигатель  $M_1$  со шпинделем фрезы. Следовательно, РП имеют вид:

$$n_{M1} \text{ мин}^{-1} \rightarrow n_{фр} \text{ мин}^{-1} (B_1).$$

Тогда, УКЦ:

$$n_{фр} = n_{M1} \cdot c_2 \cdot i_v.$$

ФН:

$$i_v = \frac{n_{фр}}{n_{M1} \cdot c_2},$$

где  $c_2$  – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Орган настройки  $i_s$ .

Расчетная цепь связывает шпиндель заготовки с суппортом фрезы. Следовательно, РП имеют вид:

$$1 \text{ об. заготовки} \rightarrow s \text{ мм продольного перемещения фрезы (П}_3\text{)}.$$

Тогда, УКЦ:

$$s = 1 \cdot c_3 \cdot i_s \cdot P_{TB}.$$

ФН:

$$i_s = \frac{s}{P_{TB} \cdot c_3},$$

где  $P_{TB}$  – шаг тягового вала;  $c_3$  – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи.

Современная тенденция в области станкостроения – использование отдельных регулируемых приводов в формообразующих группах. Это позволяет заменить механические органы настройки  $i_v$  и  $i_s$  параметрами «скорость» частотными преобразователями, устанавливаемыми в электрическую схему. Этим условиям удовлетворяет структурная схема шлице-зубофрезерного станка (рисунок 4), разработанная по методике функционального проектирования.

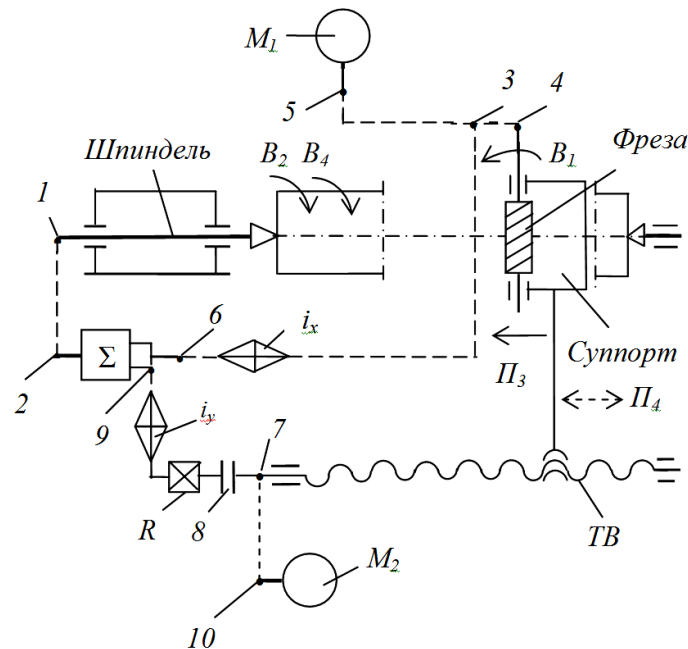


Рисунок 4. – Структурная схема шлице-зубофрезерного станка с отдельными регулируемыми приводами

Эта схема, как и представленная выше, обеспечивает возможность обработки прямых и винтовых шлицев (зубьев). При оснащении станка программируемым контролером типа NC (Numerical control) из кинематической структуры исключается отдельный электродвигатель для ускоренного перемещения суппорта. При этом выбор параметра «скорость» (рабочая подача или позиционирование) будет осуществляться алгоритмом работы программируемого контроллера. Принципиальным отличием рассматриваемой схемы является необходимость использования планетарного суммирующего механизма (дифференциала) для физического сложения двух движений на одном исполнительном органе – шпинделе заготовки. Проведем анализ названной схемы на логико-математическом языке современной парадигмы.

Группа формообразования, создающая сложное, двухэлементарное, замкнутое движение обката  $\Phi_v(B_1B_2)$ , воспроизводит образующую при обработке как винтовых, так и прямых шлицев (зубьев).

Внутренняя связь этой группы имеет вид:

$$B_1 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow i_x \rightarrow 6 \rightarrow \Sigma \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow B_2.$$

Внешняя связь, соединяющая электродвигатель  $M_1$  со звеном соединения связей 3, имеет вид:

$$M_1 \rightarrow 5 \rightarrow i_v \rightarrow 3.$$

Группа настраивается по двум параметрам: на траекторию – механическим органом настройки  $i_x$ ; на скорость воспроизведения образующей, или скорость резания – программно посредством задания круговой частоты электродвигателя  $M_1$ .

Группа формообразования, создающая сложное, двухэлементарное, незамкнутое винтовое движение  $\Phi_s(P_3B_4)$ , воспроизводит направляющую при обработке винтовых шлицев (зубьев).

Внутренняя связь этой группы имеет вид:

$$P_3 \rightarrow \text{суппорт} \rightarrow ТВ \rightarrow 7 \rightarrow \text{муфта } 8 \rightarrow R \rightarrow i_y \rightarrow 9 \rightarrow \Sigma \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow \text{шпиндель заготовки} \rightarrow B_4.$$

Внешняя связь, соединяющая электродвигатель  $M_2$  со звеном соединения связей 7, имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 10 \rightarrow 7.$$

Группа настраивается по пяти параметрам: на траекторию – механическим органом настройки  $i_y$ ; на скорость воспроизведения направляющей (подачу) – программно посредством задания круговой частоты электродвигателя  $M_2$ , на путь и исходное положение – программно, на направление – реверсом  $R$ .

Формообразующие группы  $\Phi_v(B_1B_2)$  и  $\Phi_s(P_3B_4)$  соединены суммирующим механизмом  $\Sigma$  и имеют общий участок во внутренних связях, соединяющий суммирующий механизм  $\Sigma$  со шпинделем заготовки.

Простая группа формообразования, создающая элементарное, незамкнутое прямолинейное движение  $\Phi_s(P_3)$ , воспроизводит направляющую при обработке прямых шлицев (зубьев). Эта группа образуется посредством разрыва муфтой 8 кинематической связи между звеном соединения связей и реверсом  $R$  сложной формообразующей группы  $\Phi_s(P_3B_4)$ . Внутренняя связь простой группы – поступательная пара:

$$\text{направляющие станины} \rightarrow \text{суппорт фрезы}.$$

Внешняя связь, соединяющая электродвигатель  $M_2$  с суппортом, имеет вид:

$$M_2 \rightarrow 10 \rightarrow 7 \rightarrow ТВ \rightarrow \text{суппорт} \rightarrow P_3.$$

Группа настраивается по четырем параметрам:

- на скорость воспроизведения направляющей (подачу) – программно, посредством задания круговой частоты электродвигателя  $M_2$ ;

- на путь и исходное положение – программно;

- на направление – реверсом  $R$ .

Формообразующие группы  $\Phi_v(B_1B_2)$  и  $\Phi_s(P_3)$  не имеют кинематической связи и соединены между собой через общий стационарный блок – станину станка.

Вывод ФН для механических органов настройки  $i_x, i_y$ .

Орган настройки  $i_x$ .

Внутренняя связь группы  $\Phi_v(B_1B_2)$  содержит один орган настройки. Поэтому расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью. Следовательно, РП имеют вид:

$$\text{один об. заготовки } (B_2) \rightarrow z/k \text{ об. фрезы } (B_1),$$

где  $k$  – число заходов фрезы;  $z$  – число нарезаемых шлицев (зубьев).

Тогда, УКЦ:

$$z/k = I \cdot c_4 \cdot i_\Sigma \cdot (1/i_x),$$

где  $c_4$  – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;  $i_\Sigma$  – передаточное отношение суммирующего механизма.

ФН:

$$i_x = c_4 \cdot i_\Sigma \cdot k / z.$$

Орган настройки  $i_y$ . Расчетная цепь для этого органа настройки совпадает с внутренней связью группы  $\Phi_s(P_3B_4)$ , воспроизводящей винтовую направляющую. Поэтому РП для расчетной цепи, обеспечивающей согласование перемещения червячной фрезы вдоль заготовки с ее дополнительным вращением, имеют вид:

$$T \text{ мм перемещения фрезы } (P_3) \rightarrow \text{один об. заготовки } (B_4),$$

где  $T$  – шаг винтовой линии нарезаемых шлицев (зубьев).

Тогда УКЦ:

$$I = T / P_{TB} \cdot i_y \cdot i_\Sigma \cdot c_5.$$

ФН:

$$i_y = c_5 \cdot i_\Sigma \cdot P_{TB} / T,$$

где  $c_5$  – произведение передаточных отношений постоянных передач расчетной цепи;  $i_\Sigma$  – передаточное отношение суммирующего механизма;  $P_{TB}$  – шаг тягового вала.

При использовании более развитой системы ЧПУ механические органы настройки  $i_x, i_y$  можно заменить электронными связями на основе типовых интегральных схем. Такое техническое решение предложено в работе [5].

**Заключение.** С позиций современной научной парадигмы познания металлорежущих станков, основанной на теории воспроизведения реальных поверхностей в машиностроении, рассмотрено использование функционального проектирования в методике преподавания основополагающих понятий «кинематическая группа» и «кинематическая структура станка», что позволяет непосредственно на лекции или практическом занятии на основе анализа способов формообразующей обработки проектировать (изобретать) кинематическую структуру металлорежущего станка. Такой подход при использовании функционального проектирования в учебном процессе стимулирует творческое мышление при изучении реальных технических решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – Изд. второе. – М. : Машиностроение, 1970.
2. Голембиевский, А.И. Эволюция познания и методики преподавания дисциплины металлорежущие станки / А.И. Голембиевский // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 3. – С. 2–11.
3. Металлорежущие станки : учебник : в 2 т. / Т.М. Аврамова [и др.] ; под ред. В.В. Бушуева. Т. 1. – М. : Машиностроение, 2012.
4. Голембиевский, А.И. Системология способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2017.
5. Устройство для синхронизации приводов исполнительных органов шлицефрезерного станка : пат. BY 16976 / А.И. Голембиевский. – Опубл. 26.12.2012.

*Поступила 25.05.2018*

#### FUNCTIONAL DESIGN IN THE TEACHING METHOD DISCIPLINES METALWORKING MACHINES

**A. GOLEMBIEVSKI**

*The use of functional design in the teaching of engineering discipline “metal cutting machines” is considered, based on the paradigm of cognition, based on the end-branching of mechanical energy in kinematic chains and the principle of possible displacements. Functional design as a synthesis of the kinematic structure of a metal cutting machine according to the law of its functioning, given by the method of shaping processing. The iterative nature of functional design, consistently approximating from stage to stage, starts with the analysis of the corresponding method of shaping processing, to the solution of the task.*

**Keywords:** *functional design, methods of teaching engineering discipline “metal-cutting machines”, method of forming processing, kinematic structure, design stages.*