

## МАШИНОВЕДЕНИЕ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.9

### ЧАСТНАЯ МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ СПОСОБОВ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

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

*Способ формообразующей обработки рассматривается с позиций общей теории систем как целенаправленный, целостный объект реальной действительности, наделенный вполне определенной структурой и функцией. Структура способа обработки представлена как множество целесообразно связанных приемов (действий), их последовательности и правил выполнения, а функция как процесс формообразования поверхности на заготовке. Выявлено, что целенаправленное изменение совокупности приемов или последовательности их выполнения, изменение правил выполнения отдельных приемов приводит к качественно иному способу обработки с новой структурой и функцией, обеспечивающему достижение иной производной цели. Это следствие, как показывает анализ патентных источников, целенаправленно используется при поиске новых способов формообразующей обработки, производных от известных технических решений.*

**Ключевые слова:** *способ формообразующей обработки, следствие из определения способа обработки, зуборезный долбяк, обкатной резец, зубодолбление, зуботочение, точение червяков.*

**Введение.** В нормативной литературе по научно-технической экспертизе изобретений [1] периода интенсивного развития изобретательства в СССР способ определяется как процесс выполнения взаимосвязанных действий, необходимых для достижения поставленной цели. Это определение недостаточно полно отображало практику патентной защиты изобретений, поэтому на примере формообразующей обработки в машиностроении в работе [2] на основе анализа формул изобретения произвольного многообразия способов конкретизировано нормативное определение такого способа обработки.

*Способ формообразующей обработки* – это целенаправленная совокупность приемов воздействия посредством объекта как инструмента на твердое тело, выполняемых в заданной последовательности с соблюдением определенных правил, например, в течение некоторого времени, при определенном соотношении воздействий приемов, определенной температуре, определенном состоянии среды, в которой происходит процесс, и т. д.

Это определение с позиций общей теории систем характеризует любой способ формообразующей обработки (S-систему) *со стороны целостности* как относительно обособленный объект (виртуальное техническое решение) из совокупности всех известных и возможных новых способов, объединенных общей пионерной или первообразной целью; *со стороны функции* – как процесс формообразования поверхностей, то есть как процесс качественного изменения твердого тела (заготовки); *со стороны структуры* – как множество целесообразно связанных приемов, их последовательности и правил выполнения [3].

Приведенное определение способа формообразующей обработки, сформулированное в 1986 году, адекватно действующему в настоящее время правовому акту в области патентования [4].

**Основная часть.** Из определения понятия способа формообразующей обработки и его представления в форме системного объекта (S-системы) следует, что целенаправленное изменение совокупности приемов или последовательности их выполнения, изменение правил выполнения отдельных приемов приводит к качественно иному способу обработки с новой структурой и функцией, обеспечивающему достижение иной производной цели. При этом структурные изменения могут охватывать как отдельные приемы, так и существенно преобразовывать структуру и функцию способа, что влечет за собой появление новых способов, в том числе подлежащих правовой защите. Это следствие, как показывает анализ патентных и библиографических источников, целенаправленно используется при поиске новых способов формообразующей обработки, производных от известных, в том числе пионерных технических решений.

Рассмотрим пионерный способ обкатного зубодолбления цилиндрических прямозубых колес, разработанный в начале 20-го столетия (фирма «Феллоу», США). По этому способу [5] при воспроизведении профиля зубчатой поверхности согласованные вращательные движения зуборезного долбяка, выполненного в виде зубчатого колеса, и нарезаемой заготовки имитируют зацепление зубчатой передачи.

По пионерному способу обкатного зубодолбления (рис. 1) заготовка 1 относительно долбяка 2 устанавливается в плоскости А–А, совпадающей с плоскостью осей заготовки и долбяка. Процесс получе-

ния зубчатого колеса осуществляется в результате сообщения долбяку и заготовке нескольких формообразующих и вспомогательных движений. Линия зуба (образующая) зубчатого колеса – прямая, параллельная оси заготовки, – воспроизводится элементарным движением  $\Phi_v(\uparrow\Pi_1)$  долбяка, а профиль зубьев (направляющая) – двухэлементарным движением обката  $\Phi_s(B_2B_3)$ , состоящим из двух функционально связанных элементарных движений: вращения  $B_2$  долбяка и вращения  $B_3$  заготовки. На начальном этапе одновременно с указанными формообразующими движениями заготовке (или долбяку) сообщается движение  $Vp(\Pi_4)$  радиального врезания на высоту зуба нарезаемого колеса. В течение всего цикла обработки долбяку сообщается движение  $Vc(\Pi_5)$  «отскока», предназначенное для отвода долбяка от заготовки при его возвратном ходе в движении  $\Phi_v(\uparrow\Pi_1)$  с целью устранения явления затирания, проявляющегося в виде скольжения зубьев долбяка о зубья профилируемого колеса.

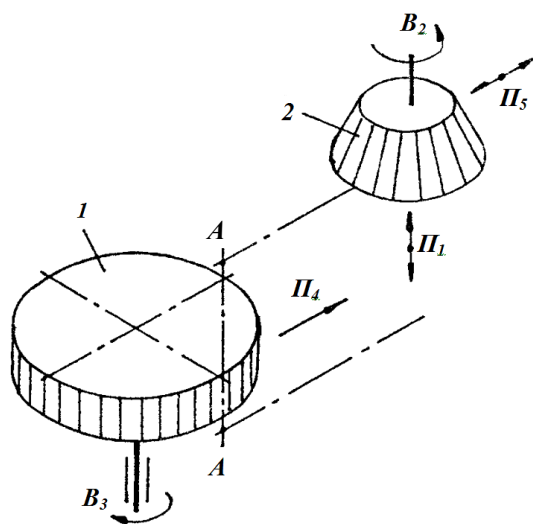
Формообразующее движение  $\Phi_v(\uparrow\Pi_1)$  имеет незамкнутую траекторию и настраивается по трем параметрам: на скорость – изменением числа двойных ходов в минуту долбяка 2, на путь и исходную точку – по упорам в движении  $\Pi_1$  долбяка. Формообразующее движение  $\Phi_s(B_2B_3)$  имеет замкнутую траекторию. Это движение настраивается также по трем параметрам: на траекторию – согласованием движений  $B_2$  долбяка и  $B_3$  заготовки; на скорость – изменением круговой подачи долбяка в движении  $B_2$ , задаваемой величиной дуги начальной окружности долбяка за один его двойной ход; на направление – изменением направления траектории движения обката. При этом согласование движений  $B_2$  и  $B_3$  осуществляют на основе следующих расчетных перемещений:

$$1 \text{ оборот долбяка } (B_2) \rightarrow z_u/z \text{ оборота нарезаемого колеса } (B_3),$$

или

$$1/z_u \text{ оборота долбяка } (B_2) \rightarrow 1/z \text{ оборота нарезаемого колеса } (B_3),$$

где  $z_u$  и  $z$  – число зубьев долбяка и нарезаемого колеса соответственно.



**Рисунок 1. – Способ долбления прямозубых цилиндрических колес при радиальном врезании долбяка**

Движение врезания  $Vp(\Pi_4)$  настраивается на скорость (подачу) в движении  $\Pi_4$ , задаваемую относительно одного двойного хода долбяка, путь и исходную точку по упорам.

В приведенном примере способ формообразующей обработки характеризуется некоторой совокупностью приемов, т. е. целенаправленных действий (движений), совершаемых заготовкой и долбяком для достижения первообразной цели – получение прямозубого колеса внешнего зацепления. Наряду с приемами целенаправленных действий в качестве признаков способа выступают последовательность приемов и правила выполнения отдельных приемов – определенность установки заготовки относительно направления движения врезания и существенно меньшей скорости движения врезания и скорости обката (круговой подачи) по сравнению со скоростью резания. Таким образом, с позиций общей теории систем *пионерный способ зубодолбления* – это законченный целостный объект реальной действительности. Его синергизм на период создания – существенное повышение производительности и кинематической точности зубчатых колес [6].

Позже (фирма «Сайкс», Великобритания), с целью долбления косозубых цилиндрических колес, в схеме рассмотренного пионерного способа элементарное поступательно-возвратное движение  $\Phi_v(\uparrow\Pi_1)$  было преобразовано в двухэлементарное возвратно-винтовое движение  $\Phi_v(\uparrow\Pi_1 \uparrow B_6)$ , где  $\uparrow B_6$  – дополнительное вращательно-возвратное движение долбяка (на рисунке 1 не показано). Полученный таким образом способ долбления косозубых цилиндрических колес с радиальным врезанием отличается от пионерного дополнительным элементом (движением  $\uparrow B_6$ ) и правилом его выполнения (функциональной связью с движением  $\uparrow\Pi_1$ ). Согласование движений  $\uparrow\Pi_1$  и  $\uparrow B_6$  обеспечивает настройку параметра траектория при воспроизведении винтовой образующей – линии зуба косозубого колеса. Формулу настройки этого параметра вычисляют на основе следующих расчетных перемещений:

$$1 \text{ двойной ход долбяка } (\uparrow\Pi_1) \rightarrow \pi m_n z_u / \sin\beta (\uparrow B_6),$$

где  $m_n$  – нормальный модуль;  $\beta$  – угол подъема зубьев долбяка и нарезаемого колеса.

Таким образом, способ долбления косозубых цилиндрических колес, производный от пионерного, получен на основе использования следствия, приведенного выше. Названное следствие использовано также при разработке способа зубодолбления колес с линией зуба на делительном конусе [7]. По этому способу

зубодолбления долбяку сообщают дополнительное равномерное движение  $\Pi_7$  (на рисунке 1 не показано) в направлении его «отскока» в движении  $\Pi_5$ , которое синхронизируют с поступательно-возвратным движением  $\Pi_1$ . Параметр «путь дополнительного движения» устанавливают по зависимости

$$h = H \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $h$  – путь дополнительного движения, мм;  $H$  – путь поступательно-возвратного движения долбяка, мм;  $\varphi$  – угол наклона зуба обрабатываемого колеса.

В первоисточнике [7] при реализации данного способа в кинематической структуре станка путь дополнительного движения  $\Pi_7$  совмещен с параметром «путь движения “отскока”  $\Pi_5$ » на одном исполнительном органе – жестком программоносителе (кулачке), управляющем вспомогательным движением  $B_5(\Pi_5)$ .

Пионерный способ зубодолбления является также прототипом для способа обработки зубчатых колес внутреннего зацепления. В этом способе элементарные движения, образующие сложное движение обката  $\Phi_s(B_2B_3)$ , вращаются в одну и ту же сторону.

Анализ патентных источников показывает, что большинство способов обкатного зубодолбления разработано в разное время с использованием следствия, вытекающего из определения понятия способа формообразующей обработки. В настоящее время на поле ветвящихся путей целенаправленного развития способов обкатного зубодолбления, вероятно, наибольший практической интерес представляют производные от пионерного – способ зубодолбления с тангенциальным врезанием [8] и способ зубодолбления со спиральным врезанием [9].

При обкатном зубодолвлении зуборезными долбяками срезание стружки происходит только при рабочем ходе долбяка в движении  $\uparrow \Pi_1$  (см. рис. 1) скорости резания. Вместе с тем движение обката  $B_2B_3$ , скорость которого определяется круговой подачей долбяка, в течение всего цикла обработки происходит непрерывно. Следовательно, оба формообразующих движения функционируют в качественно различном ритме. Это неизбежно при каком-то значении круговой подачи и при принятой величине «отскока» долбяка на холостом ходу в движении  $\Pi_5$  приводит к возникновению явления затирания, которое проявляется в виде трения скольжения боковых режущих кромок зубьев долбяка о профилируемые зубья колеса. Природа этого явления рассмотрена в работе [10].

Среди технических решений, обеспечивающих устранение явления затирания, предпочтительны решения, основанные на согласовании ритмов формообразующих движений. Для решения этой задачи возможны два пути согласования ритмов этих движений. Первый путь – приведение ритма движения обката, воспроизводящего направляющую (профиль зубьев), к ритму движения скорости резания, воспроизводящей образующую (линию зуба).

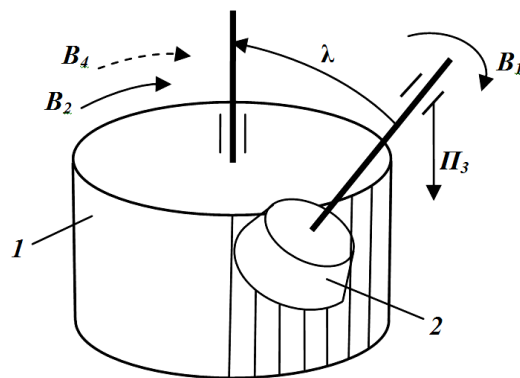


Рисунок 2. – Способ зуботочения цилиндрических прямозубых колес

Следовательно, необходимо на периоды холостого хода долбяка прекращать движение обката. Такой вариант, признанный изобретением [11], посредством изменения правила выполнения одного из формообразующих движений обеспечивает устранение явления затирания при зубодолвлении. Второй путь основан на приведении ритма движения скорости резания к ритму движения обката. В этом случае оба формообразующих движения осуществляются непрерывно. Полученный таким образом процесс обработки был назван зуботочением (рис. 2), а режущий инструмент – обкатным резцом типа долбяка.

Первые технические решения в области зуботочения (способы обработки и соответствующее станочное оборудование) были защищены шестью патентами в США в 1921–1929 годах [12]. В приведенном первоисточнике краткое описание способа зуботочения повторяет его описание по первому патенту. Такое описание не соответствует современной парадигме, принятой в настоящее время

в станковедении. Не рассматривается также условие, при котором возможно зуботочение обкатным резцом типа долбяка при воспроизведении профиля зубьев обкатом (по описанию изобретения по патентам – огибанием).

При рассмотрении зацепления двух цилиндрических колес с винтовыми зубьями, работающими с перекрещивающимися осями, наблюдается скольжение боковой поверхности зубьев одного колеса относительно другого. Одно из двух сцепляющихся колес заменим обкатным резцом типа зуборезного долбяка, а другое – заготовкой. При сообщении инструменту и заготовке согласованных вращательных движений, имитирующих зацепление зубчатой передачи, скольжение боковой поверхности зубьев инструмента преобразуется в резание (точение). При этом прямозубые колеса необходимо нарезать обязательно косозубым инструментом, так как только в этом случае угол скрещивания осей не будет равен

нулю. Косозубые колеса можно нарезать как прямозубым, так и косозубым инструментом. При названных условиях скорость резания определяется относительным скольжением боковых поверхностей зубьев и зависит от суммы углов подъема зубьев инструмента, зубьев нарезаемого колеса и угла скрещивания осей инструмента и нарезаемой заготовки. По библиографическим источникам, наивыгоднейшая сумма этих углов равна 90 градусов. При этом угол скрещивания осей обычно принимают равным 60 градусам.

При зуботочении прямозубого колеса (см. рис. 2) заготовка 1 относительно инструмента 2 устанавливается так, чтобы их оси скрещивались под углом  $\lambda$ . Процесс получения зубчатого колеса осуществляется в результате сообщения инструменту и заготовке двух формообразующих движений. Профиль зубьев (образующая) зубчатого колеса и процесс деления, совмещенный с формообразованием, воспроизводится двухэлементарным движением обката  $\Phi_v(B_1B_2)$ , состоящим из двух функционально связанных элементарных движений: вращения  $B_1$  инструмента 2 и вращения  $B_2$  заготовки 1. Движение обката с замкнутой траекторией. Настраивается это движение по трем параметрам: на траекторию – согласованием движений  $B_1$  и  $B_2$ ; на скорость – изменением круговой частоты движения  $B_1$ ; на направление – изменением направления траектории обката. Функциональная связь движений  $B_1$  и  $B_2$  осуществляется на основе расчетных перемещений, аналогичных приведенным выше для движения обката при зубодолблении.

Линия зуба (направляющая) – прямая, параллельная оси заготовки, – воспроизводится элементарным движением  $\Phi_s(P_3)$  инструмента. Это движение с незамкнутой траекторией и настраивается на скорость изменением величины подачи, на путь и исходное положение – по упорам.

Способ зуботочения цилиндрических прямозубых колес, как и его прототип по рисунку 1, характеризуется вполне определенной совокупностью целенаправленных действий (движений), совершаемых заготовкой и долбяком, последовательностью и правилами выполнения этих действий. Как законченный целостный объект реальной действительности способ зуботочения обеспечивает достижение первообразной цели – получение прямозубого колеса внешнего зацепления.

Для зуботочения косозубых колес (производная цель) в схеме рассмотренного способа зуботочения прямозубых колес (см. рис. 2) элементарное движение  $\Phi_s(P_3)$  необходимо преобразовать в двухэлементарное винтовое движение  $\Phi_s(P_3B_4)$ , где  $B_4$  – дополнительное вращательное движение заготовки (на рисунке 2 показано пунктирной стрелкой). Полученный таким образом способ зуботочения косозубых цилиндрических колес отличается от прототипа (первообразного способа) дополнительным элементом (движением  $B_4$ ) и правилом его выполнения, определяемым через функциональную связь с движением  $P_3$ . При этом функциональная связь движений  $P_3$  и  $B_4$  осуществляется по расчетным перемещениям:

$$\pi t_n z_u / \sin \beta \text{ поступательного перемещения обкатного резца } (P_3) \rightarrow 1 \text{ оборот обкатного резца } (B_4).$$

При зуботочении косозубых колес заготовка 1 одновременно участвует в движениях  $B_2$  и  $B_4$ . Возможно как физическое, так и математическое суммирование двух элементарных движений на одном исполнительном органе. При физическом сложении в кинематической структуре станка обязательно наличие дифференциала (суммирующего механизма). Этот вид сложения используется в выпускаемых станках для зуботочения (например, в станках моделей ЕЗ-13, ЕЗ-24 и др.).

Синергизм обоих рассмотренных способов зуботочения характеризуется производными целями: изменением функции формообразующих движений; на этой основе упрощением структуры посредством исключения движений врезания и «отскока» инструмента, характерного для зубодолбления; отсутствием явления затирания инструмента; повышением производительности. По библиографическим источникам, производительность зуботочения выше производительности обкатного зубодолбления и зубофрезерования червячными фрезами в 3–4 раза. Недостатки зуботочения – невозможность нарезания меньшего колеса в блоке зубчатых колес, зубчатых реек и зубчатых секторов.

Обкатной резец типа зуборезного долбяка можно использовать также при точении различных червяков. Для этого в червячной передаче необходимо червячное колесо заменить обкатным резцом типа зуборезного долбяка, а червяк – заготовкой. На рисунке 3 приведена схема взаимодействия инструмента 1 (обкатного резца типа зуборезного долбяка) и заготовки 2 обрабатываемого цилиндрического (архимедова) червяка. Для реализации рассматриваемого способа точения необходимо обкатной резец 1 в виде зубчатого колеса с профилем зуба, форма которого является сопряженной при обкате с профилем резьбы нарезаемого червяка, катить без скольжения относительно обрабатываемой заготовки 2. В этом случае характеристический образ каждого зуба инструмента соответствует характеристическому образу зубьев зуборезного долбяка.

При обработке профиль витка – образующая винтовой поверхности червяка – воспроизводится сложным двухэлементарным движением обката  $\Phi_v(B_1B_2)$ , состоящим из согласованных элементарных вращательных движений  $B_1$  инструмента 1 и  $B_2$  заготовки 2. Это движение имитирует зацепление червячной передачи, имеет замкнутую траекторию и настраивается по трем параметрам: на траекторию – согласованием движений  $B_1$  и  $B_2$ ; на скорость – изменением круговой частоты движения  $B_1$ ; на направление – изменением направления траектории обката.

Линия витка – винтовая направляющая винтовой поверхности червяка – воспроизводится сложным двухэлементарным винтовым движением  $\Phi_s(B_3\Pi_4)$ , состоящим из согласованных элементарных движений – вращательного движения  $B_3$  заготовки и поступательного движения  $\Pi_4$  инструмента. Винтовое движение имитирует зацепление передачи «винт – гайка». Это движение имеет незамкнутую траекторию. Поэтому настраивается по пяти параметрам:

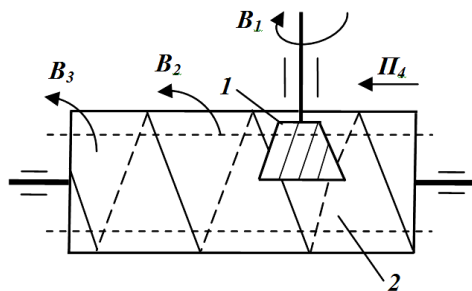


Рисунок 3. – Способ точения цилиндрических (архимедовых) червяков

Вывод формул настройки траекторий формообразующих движений осуществляют по следующим расчетным перемещениям:

$$1 \text{ оборот заготовки } (B_2) \rightarrow k/z \text{ поворота обкатного резца } (B_1);$$

$$1 \text{ оборот заготовки } (B_3) \rightarrow kT \text{ мм перемещения обкатного резца } (\Pi_4),$$

где  $k$  – количество заходов обрабатываемого червяка;  $z$  – количество зубьев обкатного резца;  $T$  – шаг обрабатываемого червяка.

В рассматриваемом способе точения червяков заготовка 2 одновременно участвует в движениях  $B_2$  и  $B_3$ , находящихся в жесткой функциональной связи, задаваемой приведенными расчетными перемещениями, с движениями  $B_1$  и  $\Pi_4$ . В известных специализированных станках моделей ЕЗ-10, ЕЗ-10А и др., реализующих данный способ точения червяков, движения  $B_2$  и  $B_3$  суммируются физически посредством планетарного суммирующего механизма. Такой механизм не нужен при математическом сложении указанных движений. Однако осуществимость такого сложения возможна только при условии, что слагаемые движения имеют одинаковую скоростную характеристику, продолжительность их одинакова и создаются они одним источником движения. В этом случае двухэлементарное движение обката преобразуется к виду  $\Phi_v(B_1B_2 + B_3)$ , а двухэлементарное винтовое движение  $\Phi_s(B_3\Pi_4)$  преобразуется в элементарное  $\Phi_s(\Pi_4)$ . При этом изменяются расчетные перемещения для вывода формулы настройки на траекторию движения обката и исключается вывод формулы настройки для согласования движений  $B_3$  и  $\Pi_4$ . Этот тезис обосновывается следующим образом. При нарезании червяка за один оборот заготовки (движение  $B_2$ ) обкатной резец совершает  $k/z$  оборотов (движение  $B_1$ ) и перемещается на величину  $s$  (движение  $\Pi_4$ ). Для получения винтовой линии червяка при перемещении обкатного резца на величину  $s$  заготовка должна дополнительно повернуться на  $s/T$  оборота (движение  $B_3$ ), что соответствует дополнительному повороту резца на величину  $+(k/z) \cdot (s/T)$ . Следовательно, расчетные перемещения для согласования элементарных движений, образующих движение обката  $\Phi_v(B_1B_2 + B_3)$ , будут иметь вид:

$$1 \text{ оборот шпинделя заготовки } (B_2 + B_3) \rightarrow k/z(1 + s/T) \text{ оборота обкатного резца } (B_1).$$

Как законченный целостный объект данный способ обеспечивает достижение первообразной цели – получение цилиндрического червяка. Причем процесс обработки осуществляется, как правило, за один проход. Синергизм способа заключается в существенном повышении производительности по сравнению с первообразным способом многопроходного точения червяков не менее чем тремя последовательно используемыми токарными резцами.

Известен [13] двухшаговый червяк, отличающийся от традиционного архимедова червяка тем, что его начальная винтовая линия витка расположена на конической поверхности. При этом шаг витка червяка по противоположным сторонам его профиля зависит от угла  $\varepsilon$  расположения начальной винтовой линии витка:

$$t_{\sigma, m} = \pi m (\cos \alpha_0 / \cos (\alpha_0 \pm \varepsilon)),$$

где  $t_{\sigma, m}$  – соответственно больший и меньший шаги витка;  $\alpha_0$  – угол зацепления;  $\varepsilon$  – угол наклона образующей начальной поверхности; «+» и «-» – относятся соответственно к большему и меньшему шагам.

Угол  $\varepsilon$  определяется из выражения:

$$\varepsilon = \arctg (\Delta / 2 \operatorname{tg} \alpha_0),$$

где  $\Delta$  – коэффициент приращения шага,  $\Delta = a\pi m / l_p$ . Здесь  $a$  – коэффициент допустимого износа;  $l_p$  – дополнительная длина червяка.

Коэффициент  $a$  допустимого износа зависит от знаменателя стандартного ряда модулей. При знаменателе ряда, равном 1,06, коэффициент  $a = 0,03$ . Дополнительная длина  $lp$  является конструктивным признаком двухшаговых червяков. Для станочных делительных передач  $lp = 10 \dots 15$  мм.

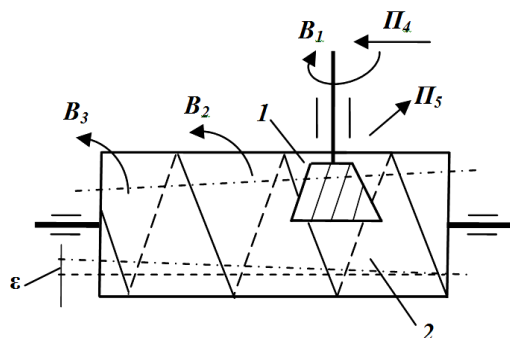


Рисунок 4. – Способ точения цилиндрических двухшаговых червяков

Двухшаговый червяк с начальной винтовой линией витка на конической поверхности в зацеплении с традиционным одношаговым червячным колесом образует червячную передачу [14], в которой при осевом смещении червяка осуществляется регулирование бокового зазора.

Используя рассмотренный выше способ точения цилиндрических червяков по рисунку 3, в качестве прототипа разработаем способ точения двухшаговых червяков с начальной винтовой линией витка на конической поверхности. Решение этой задачи (рис. 4) сводится к изменению траектории формообразующего движения, воспроизводящего винтовую направляющую винтовой поверхности витка червяка 2. Для этого необходимо обкатному резцу 1 сообщить дополнительно движение  $P_5$  перпендикулярно движению  $P_4$  и установить функциональную связь между этими движениями.

В итоге известное по прототипу сложное двухэлементарное движение  $\Phi_3(B_3P_4)$  преобразуется в трехэлементарное  $\Phi_3(B_3P_4P_5)$ . При этом функциональную связь между движениями  $P_4$  и  $P_5$  устанавливают по следующим расчетным перемещениям:

$$L \text{ мм перемещения обкатного резца } (P_4) \rightarrow l \text{ мм перемещения обкатного резца } (P_5),$$

где  $L$  – параметр «путь обкатного резца в движении  $P_4$ »;  $l = L \operatorname{tg} \varepsilon$ ;  $\varepsilon$  – угол наклона начальной винтовой линии червяка.

Профиль витка – образующая винтовой поверхности двухшагового червяка – воспроизводится, как и в способе-прототипе, сложным двухэлементарным движением обката  $\Phi_2(B_1B_2)$ .

В процессе обработки, выполняем, как правило, за один проход, заготовка 2 одновременно участвует в движениях  $B_2$  и  $B_3$ . При математическом сложении этих движений двухэлементарное движение обката, воспроизводящее профиль витка червяка, преобразуется к виду  $\Phi_2(B_1B_2 + B_3)$ , а трехэлементарное движение, воспроизводящее винтовую линию витка, преобразуется к виду  $\Phi_3(P_4P_5)$ . При этом изменяются расчетные перемещения для вывода формулы настройки на траекторию движения обката и исключается вывод формулы настройки для согласования движений  $B_3$  и  $P_4$ .

Таким образом, как законченный целостный объект данный способ обеспечивает достижение производной цели (получение цилиндрического двухшагового червяка с линией витка на конической поверхности) при сохранении синергизма способа-прототипа.

Возвращаясь к следствию из понятия способа формообразующей обработки, заметим, что целенаправленное включение в структуру способа-прототипа дополнительного приема (движение  $P_5$ ) и задание правила выполнения этого приема посредством его функциональной связи с известным по прототипу приемом (движение  $P_4$ ) привели к качественно иному способу точения червяков с новой структурой и функцией, обеспечивающей достижение производной цели. Данный способ формообразующей обработки, вероятно, мог быть признан изобретением при подаче соответствующей заявки до его опубликования в открытой печати [15].

**Заключение.** Предложена частная методика создания новых способов формообразующей обработки (виртуальных технических решений). В основу методики положено следствие, вытекающее из легального определения понятия способа формообразующей обработки. По этому следствию целенаправленное изменение совокупности приемов способа-прототипа или последовательности их выполнения, изменение правил выполнения отдельных приемов приводят к качественно иному способу обработки, в том числе подлежащему правовой защите, с новой структурой и функцией, и обеспечивающему достижение иной производной цели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по государственной научно-технической экспертизе изобретений ЭЗ-2-74 // Вопросы изобретательства. – 1974. – № 8. – С. 29–65.
2. Голембиевский, А.И. Основы системологии способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский. – Минск : Наука и техника, 1986.

3. Голембиевский, А.И. Анализ способов формообразующей обработки с позиций общей теории систем / А.И. Голембиевский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Прикладные науки. – 2009. – № 8. – С. 139–146.
4. Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2003. – № 83. – С. 39.
5. Гир-Шепер, Ф. Зубодолбежный станок / Ф. Гир-Шепер. – М., 1914.
6. Голембиевский, А.И. Синергетическая модель эволюции множества способов нарезания цилиндрических зубчатых колес / А.И. Голембиевский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Прикладные науки. – 2010. – № 8. – С. 17–22.
7. Способ долбления зубчатых колес и станок для его осуществления : пат. ВУ 3343 / А.И. Голембиевский [и др.]. – Оpubл. 20.12.1999.
8. Способ нарезания цилиндрических колес : пат. SU 475761 / М. Тиксье. – Оpubл. 1975.
9. Способ обработки зубчатых колес : а. с. SU 1763112 / А.И. Голембиевский. – Оpubл. 1992.
10. Голембиевский, А.И. Целенаправленная эволюция открытого множества способов обкатного зубодолбления цилиндрических зубчатых колес / А.И. Голембиевский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Прикладные науки. – 2016. – № 3. – С. 8–15.
11. Способ долбления цилиндрических зубчатых колес : а. с. SU 698732 / А.И. Голембиевский. – Оpubл. 1979.
12. Мальков, О.В. Анализ способов обработки резьбы фрезерованием [Электронный ресурс] / О.В. Мальков // Инженерное образование. – 2016. – № 4. – С. 10.
13. Двухшаговый червяк : пат. RU 2020326 / А.И. Голембиевский, В.А. Петров. – Оpubл. 1994.
14. Червячная передача : пат. RU 2044194 / А.И. Голембиевский, В.А. Петров. – Оpubл. 1995.
15. Голембиевский, А.И. Модернизация кинематической структуры станка для обработки червяков чашечным резцом / А.И. Голембиевский // Техника машиностроения. – М., 2014. – Т. 21, вып. 2(86). – С. 15–20.

Поступила 10.01.2017

## METHODS OF THE WAYS FORMING MACHINING IN MECHANICAL ENGINEERING

A. GOLEMBIEVSKI

*Forming machining is regarded as a targeted, holistic object of reality, endowed with a well-defined structure and function. The structure of the processing method is considered as a set of related expedient methods (actions), their consistency and compliance with the rules, and function as a process of formation in a surface on the work piece. It is noted that purposeful change the set of methods or sequence of their execution, changing the rules of the implementation of certain techniques leads to a qualitatively different way machining the new structure and the function of ensuring the achievement of other objectives of the derivative. This is a consequence, as the analysis of patent sources specifically used in the search for new ways of forming machining, derived from the prior art.*

**Keywords:** way of forming machining, a consequence of the definition of a way of forming machining, gear-cutting ram, flow forming cutter, gear shaping, skiving, turning worms.