

УДК 621.881-608 (0,75...8)

Кузнецов Ю.Н.*, д.т.н., проф., Герра Ж.А. Хамуйела*,

Аль-Рефо Ибрагим Фархан Салман**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

**Коледж при Аль-Балга прикладном университете (Иордания).

ОПИСАНИЕ И СИНТЕЗ ЗАЖИМНЫХ МЕХАНИЗМОВ СТАНКОВ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ СЛОЖНОСТИ СТРУКТУРЫ

Предложен генетико-морфологический подход к описанию и синтезу зажимных механизмов станков для зажима деталей типа тел вращения (прутков, штучных заготовок, длинномерных деталей, режущих инструментов с цилиндрическим хвостовиком). Приведены примеры реализации генетико-морфологического подхода применительно к зажимным патронам, зажимным механизмам и шпиндельным узлам с различной средой и различными силовыми потоками.

Генетический подход, морфологическая модель, силовой поток, силовой контур, зажимной механизм, шпиндельный узел.

Введение.

Структура зажимного механизма (ЗМ) – совокупность взаимосвязанных элементов, образующих целостность системы и обуславливающих ее функционирование на основе принципов преобразования энергии от источника до объекта зажима (ОЗ) в виде потенциальной энергии упруго-напряженного состояния контакта (сопряжения) «зажимной элемент-объект зажима» (ЗЭ – ОЗ). Структуры ЗМ относят к динамическим преобразователям энергии в виде силового потока. Эти структуры являются трехмерными объектами с явно выраженной геометрической информацией, что связано с многовариантностью возможных пространственных компоновок и разнообразием форм активных частей (зажимных элементов, передаточно-усилительных и преобразовательных звеньев).

Кроме того структура воспроизводит пространственную геометрию и топологию взаимосвязанных силовых контуров и силовых потоков. Поэтому все ЗМ в исполнительной части зажимном патроне (ЗП) и силопреобразующие явления имеют соответствующие геометрические прообразы (геометрические модели). Изучение принципов структурной организации ЗМ непосредственно связано с анализом пространственной геометрии и взаимной ориентации силопередающих и напряженных поверхностей. Осуществление процесса преобразования энергии силового потока возможно лишь при условии наличия полной внутренней упорядоченности и закономерностей связей, совокупность которых определяет понятие структурной организации ЗМ.

Постановка задачи.

Под организацией в теории структур имеется в виду внутренняя упорядоченность, согласованность отдельных элементов структуры [2].

Основными критериями, которые определяют структурную организацию произвольного ЗМ, являются: наличия хотя бы двух активных частей: подвижной ЗЭ и неподвижной ОЗ и существование согласованных силовых связей между ними, что обеспечивает процесс преобразования энергии в необходимую силу зажима ОЗ.

По аналогии с генетической электромеханикой [13] доминантной компонентной произвольного ЗМ является силовое поле (упруго-напряженное состояние, свойства которого определяются законами механики деформированного тела). В соответствии с генетическим подходом ЗМ можно описать от простого к сложному на различных уровнях: генетическом, хромосомном, объектном, популяционном, видовом, системном и межсистемном (рис. 1).

Для описания ЗМ на хромосомной уровне необходимо использовать элементарный силовой поток, вводя для различных случаев количества силовых потоков их комбинацию в зависимости от поставленной задачи, характеристик ОЗ и расположения рабочей зоны обработки по отношению к нему (табл.1, рис. 2).

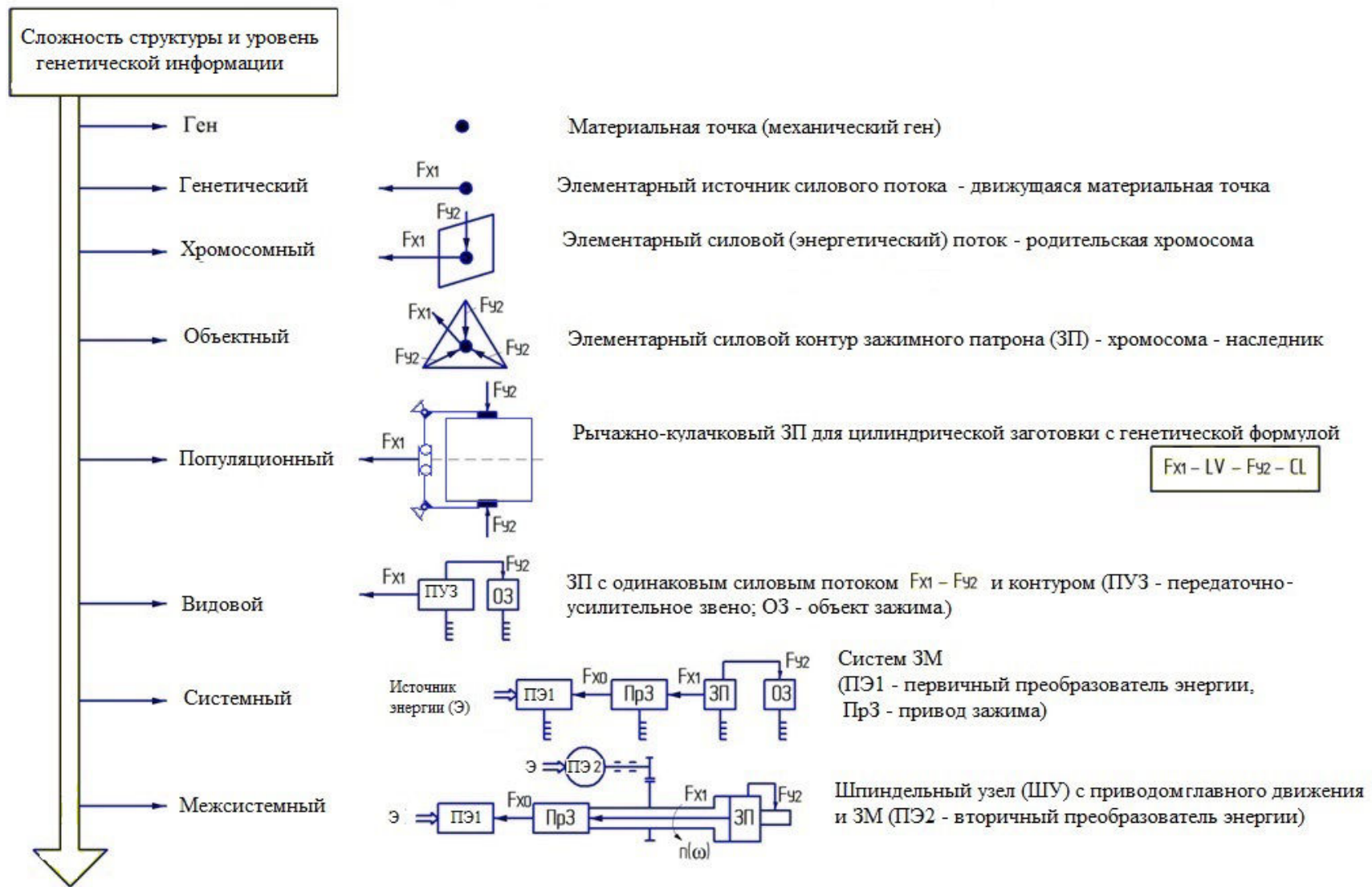


Рис.1. Генетическая модель строения и развития структуры ЗМ станка на примере одного силового потока с замкнутым силовым контуром

Расположение ОЗ и ЗМ (рис. 2) и его элементов зависит от технологических возможностей станка и конструкции его элементов и, в первую очередь шпиндельного узла (ШУ), наличия дополнительных устройств на линии шпинделя (оси ОЗ): задней бабки (ЗБ), люнета (ЛН) и других устройств поддержки и направления длинномерного ОЗ – прутка, трубы, вала, проволоки, свернутой в бунт.

Таблица 1

Морфологическая модель объектов зажима типа тел вращения

1. Тип и соотношение размеров	2. Расположение рабочей зоны (РЗ) по отношению к объекту зажима (ОЗ)
1.1. Диск	2.1. Спереди (РЗ ₁)
1.2. Палец	2.2. Внутри (РЗ ₂)
1.3. Ось	2.3. Снаружи (РЗ ₃)
1.4. Кольцо	2.4. Сзади (РЗ ₄)
1.5. Втулка	2.5. Спереди и внутри (РЗ ₁ +РЗ ₂)
1.6. Гильза (трубка)	2.6. Спереди и снаружи (РЗ ₁ +РЗ ₃)
1.7. Пруток	2.7. Спереди и сзади (РЗ ₁ +РЗ ₄)
1.8. Труба	2.8. Внутри и снаружи (РЗ ₂ +РЗ ₃)
1.9. Проволока	2.9. Спереди, внутри, снаружи (РЗ ₁ +РЗ ₂ +РЗ ₃)
1.10. Инструмент с цилиндрическим хвостовиком	2.10. Спереди, снаружи, сзади (РЗ ₁ +РЗ ₃ +РЗ ₄)

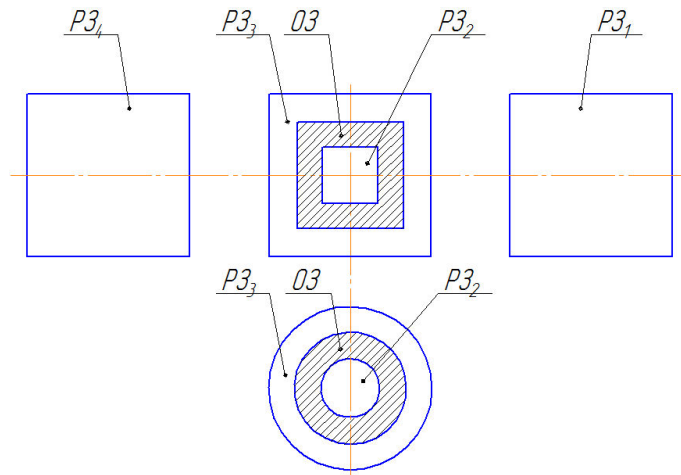


Рис. 2. Варианты расположения рабочей зоны (РЗ) по отношению к объекту зажима (ОЗ)

Решение задачи.

При зажиме сплошных цилиндрических ОЗ разной длины число силовых потоков при одинарном зажиме со входами ($\pm F_{x1}, \pm F_{y1}, \pm M_{x1}, \pm M_{y1}$) и выходами (F_{x2}, F_{y2}) (рис. 3, а) определяется морфологической матрицей (1):

$$M_{СП} = \begin{matrix} F_{x1} \\ F_{x1} \\ F_{y1} \\ M_{x1} \\ M_{x1} \\ M_{y1} \\ M_{y1} \end{matrix} \wedge \begin{matrix} F_{x2} \\ F_{y2} \end{matrix}, \quad (1)$$

дающей $N_{СП} = 7 \cdot 2 = 14$ вариантов (подчеркивание снизу показывает противоположное направление силы или момента).

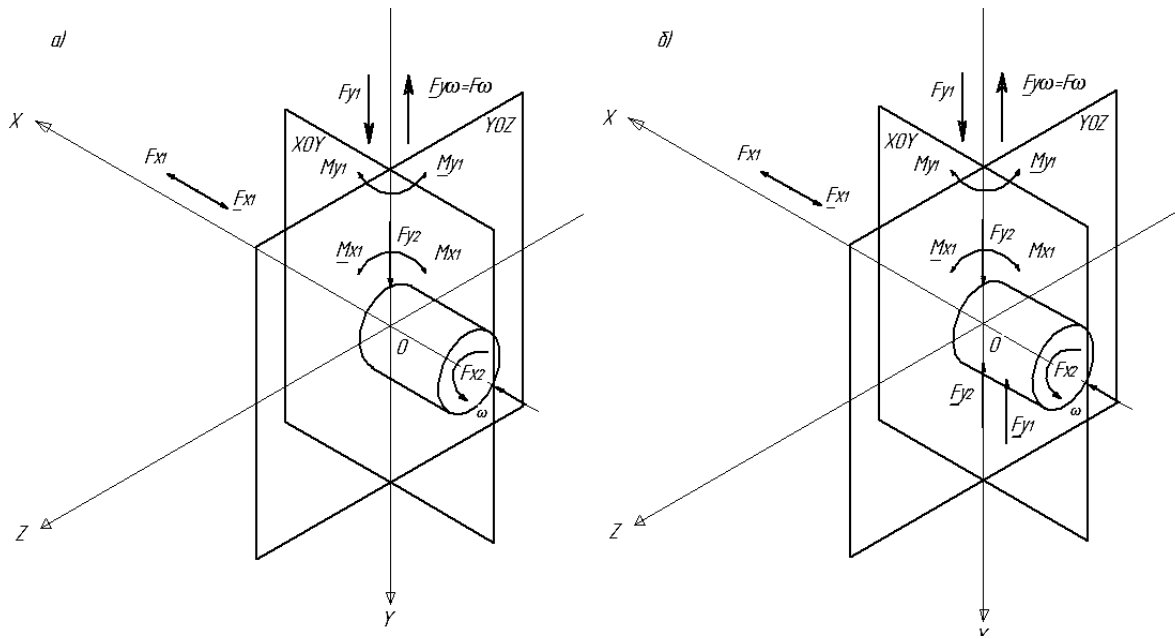


Рис.3. Обобщённые модели силовых потоков при зажиме цилиндрической детали:
а – сплошной, б – пустотелой

При вращении ОЗ, зажатого снаружи, из-за центробежных сил неуравновешенных частей зажимных элементов (ЗЭ) происходит уменьшение выходной силы F_{y2} до силы $F_{y2\omega}$, зависящей от ряда факторов [4,6]. Для зажима пустотелого ОЗ (рис. 3, б) число силовых потоков при одинарном зажиме увеличивается и определяется морфологической матрицей (2), дающей $M_{III} = 8 \cdot 3 = 24$ варианта:

$$M_{III} = \begin{matrix} \left| \begin{matrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{x2} \\ F_{y2} \end{matrix} \right| \\ \left| \begin{matrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ M_{x1} \\ M_{y1} \end{matrix} \right| \end{matrix} \wedge \begin{matrix} \left| \begin{matrix} F_{x2} \\ F_{y2} \end{matrix} \right| \\ \left| \begin{matrix} F_{x2} \\ F_{y2} \end{matrix} \right| \end{matrix}, \quad (2)$$

Если не учитывать направление действия сил и моментов на входе, пользуясь принципом симметрии [1,3,8,9,12], число вариантов для описания на хромосомном уровне сократится, т.е.

$$M'_{CII} = \begin{matrix} \left| \begin{matrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ M_{x1} \\ M_{y1} \end{matrix} \right| \\ \left| \begin{matrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ M_{x1} \\ M_{y1} \end{matrix} \right| \end{matrix} \wedge \begin{matrix} \left| \begin{matrix} F_{x2} \\ F_{y2} \end{matrix} \right| \\ \left| \begin{matrix} F_{x2} \\ F_{y2} \end{matrix} \right| \end{matrix}, \quad (3)$$

$$M'_{III} = \begin{matrix} \left| \begin{matrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ M_{x1} \\ M_{y1} \end{matrix} \right| \\ \left| \begin{matrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ M_{x1} \\ M_{y1} \end{matrix} \right| \end{matrix} \wedge \begin{matrix} \left| \begin{matrix} F_{x2} \\ F_{y2} \end{matrix} \right| \\ \left| \begin{matrix} F_{x2} \\ F_{y2} \end{matrix} \right| \end{matrix}, \quad (4)$$

что в первом случае даёт $N'_{CII} = 8$ вариантов, а во втором $N'_{III} = 12$ вариантов.

Любой энергетический (силовой) поток в ЗМ может осуществляться с помощью механических кинематических цепей, электромагнитных, магнитных и др. полей, исключая кинематические цепи.

При наличии механических кинематических цепей силовой поток может характеризоваться следующими тремя характеристиками:

- 1) коэффициентом усиления K_y , как отношение выходной силы зажима F_2 к входной нагрузке (силе F_1 или моменту M_1);
- 2) передаточным отношением U , как отношение скорости (перемещения) ЗЭ на выходе к скорости (перемещению) на входе от источника энергии (ИЭ) или привода зажима (Пр З);
- 3) коэффициентом полезного действия η , как отношение полезной энергии зажима к расходуемой энергии.

При отсутствии кинематических цепей силовой поток характеризуется только к. п. д.

При наличии механических кинематических цепей и других полей, используются все характеристики, но с учетом участков силового потока при последовательной, параллельно-последовательной и параллельной передаче энергии.

В практике используется до двух, а иногда и более, силовых потоков, зависящих от количества входов и выходов ($n_{вх} = 1, 2, n_{вых} = 1, 2$). Таким образом для распространенных случаев возможны следующие 4 варианта $1 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 2$ (рис. 4):

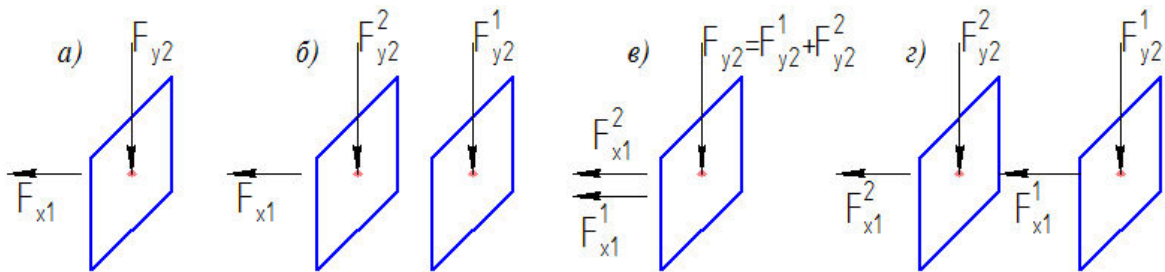


Рис. 4. Варианты силовых потоков при одном (а, в) и двух (б, г) выходах радиальной силы зажима F_{y2}

Для наружного радиального зажима с силой F_{y2} сплошного ОЗ в случае 1 будет $N_1 = 7 \cdot 1 = 7$ вариантов, в случае 2 – $N_2 = 7 \cdot 2 = 14$ вариантов, в случаях 3 и 4 – $N_3 = N_4 = 7 \cdot 7 \cdot 1 = 49$ вариантов.

С учетом расположения мест зажима на выходе силовых потоков при одноопорной и двухопорной схеме зажима ОЗ, длина которых больше диаметра, возможны варианты выхода сил: с одной стороны (код 10); с двух сторон (код 11); в центре (код 00).

При этом морфологическая матрица силового выхода будет:

$$M_{EX} = \left| \begin{array}{c|c|c} \frac{F_{x2}^1}{F_{y2}^1} & \frac{F_{y2}^2}{0} & \left| \begin{array}{c} 10 \\ 11 \\ 00 \end{array} \right. \end{array} \right., \quad (5)$$

а число вариантов $N_{EX} = 2 \cdot 2 \cdot 3 = 12$; некоторые из них показаны на рис. 5 с кортежами:

- а) $F_{y2}^1 - 0 - 10$; б) $F_{y2}^1 - F_{y2}^2 - 10$; в) $F_{y2}^1 - F_{y2}^2 - 11$; г) $F_{x2}^1 - 0 - 10$; д) $F_{x2}^1 - F_{y2}^2 - 10$; е) $F_{y2}^1 - F_{y2}^2 - 11$; ж) $F_{y2}^1 - F_{y2}^2 - 11$; з) $F_{y2}^1 - F_{y2}^2 - 00$

На объектном уровне для замыкания силового потока в качестве хромосомы-наследника используется элементарный силовой контур ЗП, который может быть замкнутым (открытым и закрытым) в плоскости, перпендикулярной оси вращения X шпинделя (ЗП, ОЗ) (рис.6) при зажиме снаружи (рис. 6,а), изнутри (рис. 6, б), торцевом вдоль оси вращения (рис. 6, в) и комбинированном объемном (рис. 6, г).

В различных ТС, в том числе и ЗМ, силовые (энергетические) потоки могут быть:

М – механические передачи и преобразователи с помощью твердых тел, в том числе и сил упругости.

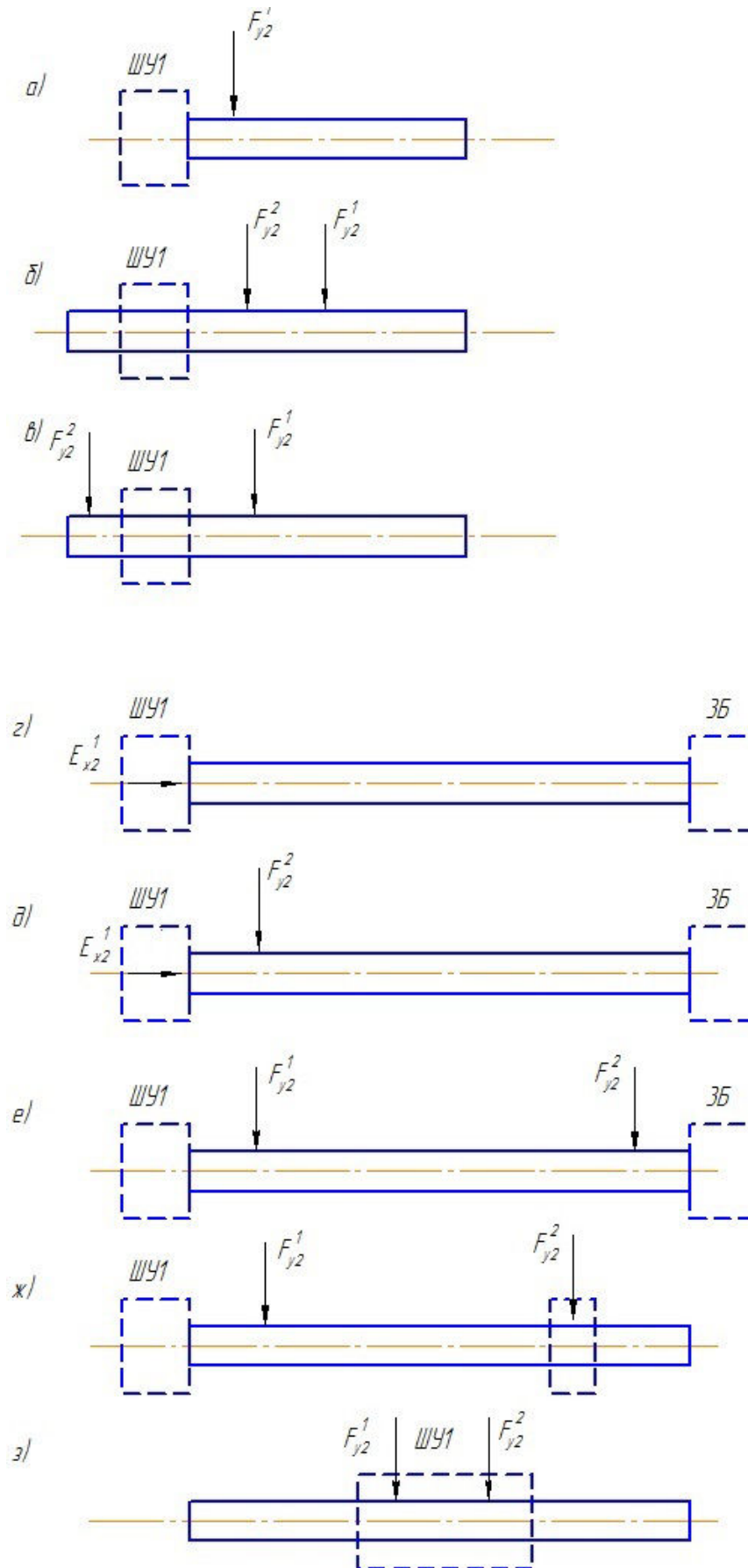


Рис. 5. Варианты выхода силовых потоков при зажиме вращающейся длиномерной детали (ОЗ): ШУ1 – основной шпиндельный узел; ШУ2 – дополнительный шпиндельный узел; ЗБ – задняя бабка

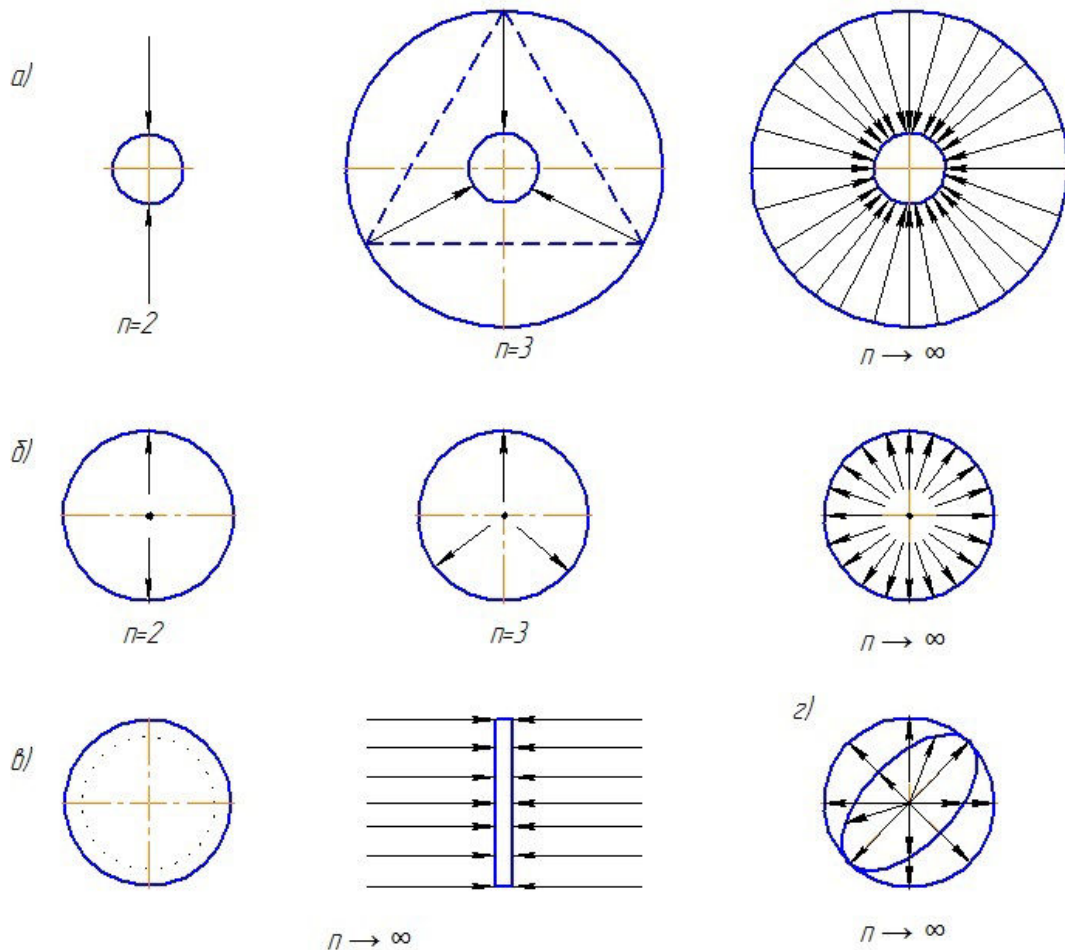


Рис. 6. Силовые контуры с различным замыканием сил (n - количество элементарных сил, нормальных к поверхности контакта зажимных элементов и ОЗ)

Э – электромагнитные поля, действующие непосредственно или в составе (структуре) электромеханических систем передачи и преобразования.

Ж – жидкотекучие и вязкие среды для передачи и преобразования;

В – воздушные среды для передачи и преобразования, в том числе вакуум;

М – магнитные поля притяжения и отталкивания;

Т – тепловые потоки расширения и сужения при нагреве и охлаждении;

Ц – центробежные силы от вращения неуравновешенных частей.

Схемы и характеристики силовых (энергетических) потоков с различными средами передачи и преобразования приведены в табл. 2.

С использованием вышеприведенных соображений приведём пример синтеза ЗМ для зажима режущих инструментов с учётом высокоскоростной обработки и расширения диапазона диаметров режущих инструментов с цилиндрическим хвостовиком (фрез, сверл, разверток, зенкеров).

Пример. Создать ЗМ и вписать в шпиндельный узел (ШУ) сверлильно-фрезерного станка для высокоскоростной обработки.

В качестве источника энергии в силовом потоке выберем электромагнитное поле Э (поз. 3, табл. 2), момент которого M_{a0} преобразуем в осевое перемещение через винтовой преобразователь SC, а далее усилие F_{a1} передадим цанговому (клиновому) патрону через гидравлическую (жидкотекучую) среду Ж (поз. 6, табл. 2) для зажима фрезы с цилиндрическим хвостовиком CL.

Запишем этот ЗМ в виде генетической (морфологической) формулы силового потока на популяционном уровне:

$$\text{Э} - M_{a0} - SC - F_{a1} - Ж - F_{a1} \cdot K - WD - F_{r2} - CL .$$

Этой формуле соответствует схема ЗМ по патенту Украины №80481, предоставленная на рис. 7.

Виды силовых потоков с различными средами в ЗМ

№ п/п	Вид потока	Схема потока с различными средами	Признаки передачи и преобразования
1	2	3	4
1	М		$ F_{a1} = S \cdot \sigma$
2			$ F_{a1} = S_1 \cdot \sigma_1$ $ F_{a1} = S_2 \cdot \sigma_2$
3	Э		$M_{a1} = IBS_n$
4			$F_{a1} = IBL$
5	Ж(В)		$ F_{a1} = S \cdot p$
6			$ F_{a1} = S_1 \cdot p$ $ F_{a2} = S_2 \cdot p$ $\frac{S_1}{ F_{a1} } = \frac{S_2}{ F_{a2} }$ $K_{yc} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{ F_{a1} }{ F_{a2} }$
7	В		$F_{a1} = P_p S$ $F_{a2} = S(P_a - P_p)$
8	М		Постоянный ток $ F_{a2} = \frac{1}{2} (IN)^2 \mu_0 \frac{S}{\delta^2}$ Переменный ток $ F_{a2} = \frac{1}{4} (IN)^2 \mu_0 \frac{S}{\delta^2}$
9	Ц		$F_{\tau 2} = F_{a1}$ $F_{\omega} = z \cdot m \cdot \omega^2 R$

Примечание: S – площадь тела (среды); σ – нормальные напряжения растяжения-сжатия в твёрдом теле; M_{a1} – крутящий момент сил электромагнитного поля; S_1, S_2 – жидкотекучей или воздушной среды со стороны соответственно входа и выхода; $n(\omega)$ – частота (угловая скорость) вращения; P_p – разрежение (давление); P_a – атмосферное давление; I – сила тока, N – число витков катушки; μ_0 – магнитная постоянная; R – радиус неуравновешенных масс m; В – индукция; S_B – площадь витков; L – длина проводника.

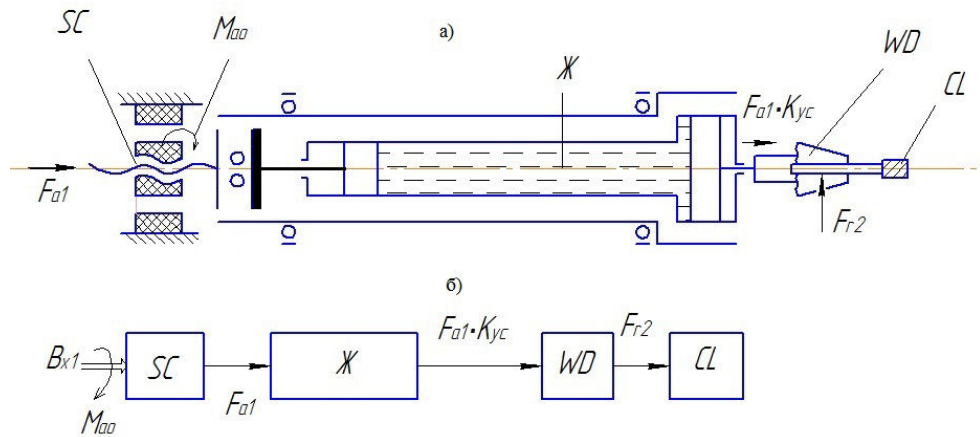


Рис. 7. Принципиальная (а) и структурная (б) схемы электрогидромеханического ЗМ с цанговым ЗП и одним силовым потоком

Вывод: Впервые предложена и реализована новая концепция описания и синтеза ЗМ с применением генетико-морфологического подхода.

1. Ачкурин И.А. симметрия как принцип динамической физики // Принцип ассиметрии / под ред. Б.М. Кедрова, Н.Ф. Овчинникова. – М.: Наука, 1978, – с. 122-162.
2. Балашов Е.П. эволюционный синтез систем. /Е.П. Балашов – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.
3. Дурнев В.Д., Талашкевич И.П. Симметрия в технологии. – Спб.: Политехника, 1993. – 256 с.
4. Кузнецов Ю.М. Морфологический синтез станков и их механизмов. Монография: / Ю.Н. Кузнецов, Герра Ж.А. Хамуйела, Т.О. Хамуйела. – К.: ООО «ГНОЗИС», 2012. – 416 с.
5. Кузнецов Ю.Н. Генетико-морфологический подход при синтезе цанговых патронов двойного зажима / Ю.Н. Кузнецов, Герра Ж.А. Хамуйела //Вестник Сев НТУ. Збірник наукових праць. Серія: Механіка, енергетика, екологія. Вип. №120 – Севастополь, 2011. – С. 106-112.
6. Кузнецов Ю.Н. Цанговые патроны двойного зажима: теория и практика: Монография /Ю.Н. Кузнецов, Герра Ж.А. Хамуйела, Т.О. Хамуйела. – К.: ООО «ГНОЗИС», 2013. – 401 с.
7. Морозов Е.И. Генетика в вопросах и ответах. / Е.И. Морозов, Е.И. Тарасевич, В.С. Анахина: Монография, - Минск: Университетское, 1989. – 290 с.
8. Овчинников Н.Ф. Симметрия – закономерность природы и принципы познания /Н.Ф. Овчинников //Принцип симметрии. – М.: Наука, 1978. – С. 4-38 с.
9. Овчинников Н.Ф. Принципы симметрии: Монография / Н.Ф. Овчинников. – М.: Наука, 1966. – 326 с.
10. Одрин В.М. Метод морфологического анализа технологических систем. / В.М. Одрин. – М.: ВНИИПИ, 1989. – 312 с.
11. Половинкин А.И. Основа инженерного творчества: Учебник /А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
12. Урмануев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии: Монография /Ю.А. Урманцев. – М.: Мысль, 1974. – 229 с.
13. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем: Монографія / В.Ф. Шинкаренко. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
14. Kuznetsov Y.N. Genetic – morphological approach for creation of widerange eccentric drilling – milling chuck /Y.N. Kuznetsov , Hasan Al-Dabbas, Zh. A. Guerra Hamuyela. // International Journal of Sciences Basic and Applied Research (IJSBAR), ISSN 2307 – 4531