

СОЗДАНИЕ СТАНКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИКО-МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА (Часть 1)

CREATION OF NEW GENERATION MACHINE-TOOLS USING GENETIC- MORPHOLOGICAL METHOD (Part 1)

Ю.Н. Кузнецов, проф., д-р техн. наук

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

Abstract

A new genetic-morphological method using genetic and geometrical operators of synthesis and multilevel morphological analysis is exposed here. Further the examples of realization of proposed approach in creation of machine tools with parallel structure.

Keywords: genetic information, crossing, hybrid structure, mechanisms of parallel structure, machine tool, morphological analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Характерной тенденцией развития науки в последнее время является приближение к познанию еще неизвестных и известных объективных законов природы, которые через осознание человеком переносятся на искусственные системы. К ним относятся технические (машинные, электрические, строительные) и комбинированные (биотехнические, мехатронные) системы [4, 12].

Это стало возможным благодаря структурно-системным исследованиям, основная задача которых заключается в открытии и познании принципов структурообразования и законов развития [12]. Формой представления этих исследований выступают периодические генетические классификации [5, 16, 17], которые упорядочивают генетическую информацию создаваемых элементов определенной физической природы. В результате структурно-системных исследований возникли новые научные направления в биологии, кристаллографии, бионике, нанотехнологиях, системологии, кибернетике. Общим для этих исследований является использование общесистемных принципов формообразования и структурообразования в системах естествен-

ного и естественно-антропогенного происхождения [4, 7].

Главной целью современного машиностроения является изготовление продукции сверхвысокого качества как можно быстрее и с минимальными капиталовложениями, что в то же время сопровождается постоянным повышением сложности геометрических форм деталей и их точности, высокими требованиями к сопрягаемым поверхностям и их свойствам, работоспособности сборных изделий и условий их эксплуатации [1, 2].

ЦЕЛЬ ПУБЛИКАЦИИ

Сформулировать основные принципы предлагаемой концепции создания станков нового поколения на основе модульной компоновки и мехатронных систем с механизмами параллельной структуры (МПС).

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЕЕ АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время станкостроительными фирмами широко предлагаются станки-гексаподы и триподы с телескопическими штангами переменной длины, которые про-

ходят апробацию и зарекомендовали себя на машиностроительных предприятиях для различных групп изделий [3, 8]. При этом особенностью компоновок гексаподов и триподов является то, что весь механизм находится в подвешенном состоянии, а каждый механизм подачи вместе с приводом изготовлен заодно с телескопической штангой, шарнирно-подвешенной на неподвижной платформе. Приводным органом станка-гексапода являются телескопические (раздвижные) штанги переменной длины, содержащие в себе конструктивные элементы, влияющие на металлоемкость и массивность всего механизма. Это требует дополнительных средств обеспечения стабильных динамических характеристик, точности позиционирования и обработки. Поэтому определенным преимуществом по сравнению со станками-гексаподами и триподами обладают станки на основе МПС со стержнями постоянной длины, так как приводы подачи расположены на станине, которая и воспринимает основные нагрузки от сил резания, а стержни, шарнирно-закрепленные на подвижных каретках, перемещаются по направляющим. Однако практически все компоновки станков с МПС, использующие штанги постоянной длины, ограничены призматической формой и элементами закрепления направляющих для кареток (массивные колонны, оболочки в виде колодцев, надстройки-эстакады и т.п.).

Учитывая мировые тенденции и накопленный опыт в станкостроении, можно утверждать, что интенсивное эволюционное развитие агрегатно-модульного программно-управляемого быстроперенастраиваемого технологического оборудования с МПС происходит в параметрических соотношениях степени унификации элементной базы и многовариантностью компоновочных реализаций, обусловленных многообразием геометрических форм пространственной композиции функциональных и конструктивных станочных модулей [1, 2]. Таким образом, необходимы решения, позволяющие объединить или максимально сблизить технологическую компоновку станка, которая определяется составом технологических переходов и их совмещением во времени с конструкторской компоновкой, зависящей от набора модулей и их расположения (табл. 1).

Станки с параллельной кинематикой являются перспективной альтернативой традиционному металлообрабатывающему оборудованию [3, 8]. Пространственные МПС на штангах переменной или постоянной длины (рис. 2) дают возможность обеспечить исполнительному органу (ИО) до 6-и степеней свободы при неизменной структуре механизма, выполнять ускоренные линейные перемещения с одновременной ориентацией относительно объекта обработки, позволяют ИО станка выполнять delicate и точные манипуляции с объектом обработки, например, такие, как измерение, переустановка или перебазирование. Возможности технологического оборудования с МПС слишком широкие, они могут выполнять практически все виды работ, связанных с обработкой, сборкой, испытанием и контролем изделий. Станки с МПС способны заменить громоздкие обрабатывающие комплексы для средних и небольших деталей, а в некоторых случаях вытеснить полностью станки традиционной компоновки за счет своей многофункциональности.

Поэтому необходим углубленный направленный поиск компоновочных решений станков нового поколения и их параметрических соотношений для обеспечения и повышения показателей качества обработки, расширения функциональности, снижения металлоемкости, уменьшения или рационализации занимаемых производственных площадей и объемов.

Это требует новых научных разработок, новых методологических подходов к созданию станков и другого технологического оборудования нового поколения.

Так, например, в работе [4] рассматривается методология синтеза систем, базирующаяся на закономерностях развития антропогенных (искусственных) систем, где используется функционально-структурный подход к синтезу структуры сложных многоуровневых систем. При компоновке станков и станочных систем, как и других искусственных систем, целесообразно учитывать объективно существующую в природе симметрию как особый род геометрической закономерности при построении геометрических фигур в пространстве [5, 6, 14, 15, 18].

Таблица 1. Примеры модулей для станков с МПС

Наименование			Наименование			Наименование			Наименование		
Блока	Модуля	Графическое условное обозначение	Блока	Модуля	Графическое условное обозначение	Блока	Модуля	Графическое условное обозначение	Блока	Модуля	Графическое условное обозначение
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Стационарный (неподвижный)	Станина (стол неподвижный)		Координатный традиционный	Поступательный однокоординатный стол		Шпиндельный	Мотор-шпиндель		Координатный с МПС	Подвижная инструментальная платформа на штангах постоянной длины	
	Призматическая стойка (трехгранная)			Поступательный двухкоординатный (крестовый) стол			Самодействующая силовая головка электромеханическая			Подвижная инструментальная платформа на штангах переменной длины	
	Пирамидальная стойка (трехгранная)			Поворотный одноосный			Долбежно-протяжная головка (штоксель)			Кинематическое соединение подвижной платформы параллелограмным механизмом (Дельта)	
	Клиновидная			Поворотный двухосный			Подвижная платформа на основе V-образного кинематического соединения ("Ножницы")				

В работах [16, 17] на основе исследования инвариантных свойств генетической классификации выявлены и сформулированы принцип сохранения электромагнитной симметрии и принцип топологической инвариантности первичных источников поля. Показано, что эти принципы носят фундаментальный характер, поскольку определяют закономерности структурной организации и эволюции как существующих, так и потенциально возможных классов электро-механических преобразователей энергии.

СУЩНОСТЬ ВОПРОСА

Создание станков с параллельной кинематикой является перспективной альтернативой традиционному оборудованию благодаря следующим достоинствам МПС:

- строятся на основе пространственных стержневых систем, имеют меньшие массы и обладают повышенной жесткостью;
- реализуют одновременно (параллельно) передачу энергии от ведущего звена к

ведомому несколькими кинематическими цепями и механизмами;

– обеспечивают поток движений и сил ИО станка путем рационального распределения перемещений и нагрузок между несколькими кинематическими цепями;

– создают замкнутые кинематические цепи, которые образуют замкнутый пространственный контур повышенной жесткости;

– построены на основе бесконсольных конструкций.

Сегодня в Украине не изготавливаются и не эксплуатируются станки с параллельной кинематикой, в то же время более 10 стран мира преуспевают в этом направлении (рис.1).

В этих станках применяются две принципиальные схемы МПС: со штангами переменной длины типа "трипод" и "гексапод" и штангами постоянной длины типа "биглайд" и "гексаглайд" (рис. 2), причем преимущественно на основе платформы Стюарта с шестью управляемыми координатами.

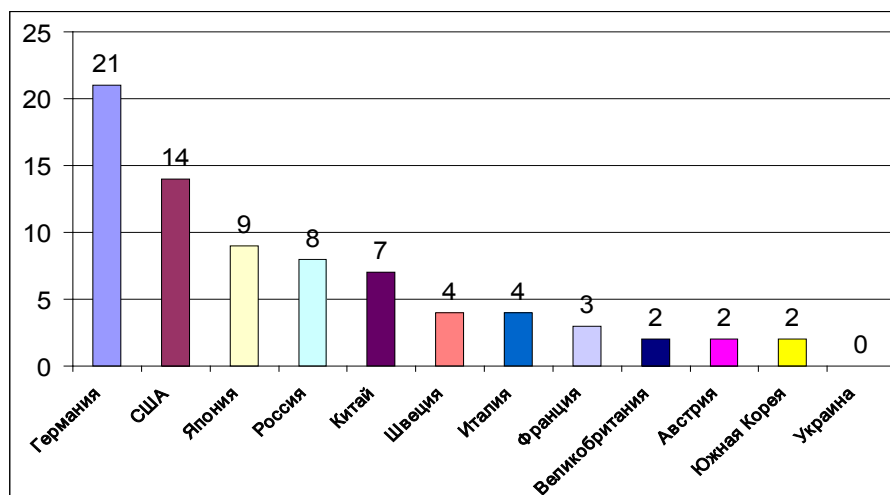


Рис. 1. Распределение моделей станков с параллельной кинематикой по странам-производителям (по состоянию на 2009 г.)

Один из первых станков-гексаподов был разработан в начале 1980-х годов на кафедре металлорежущих станков и инструмен-

тов Новосибирского электротехнического института [2, 8].

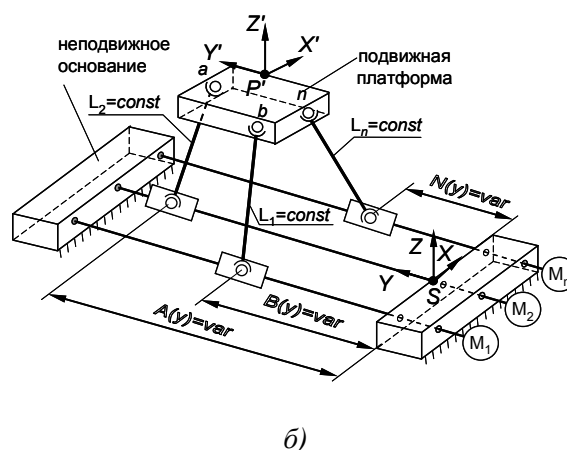
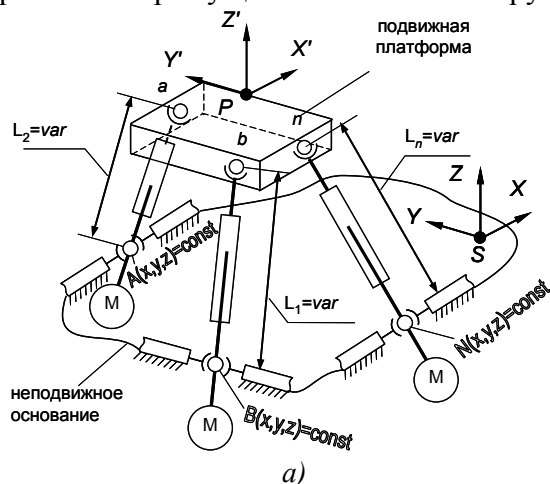


Рис. 2. Принципиальные схемы МПС: а – со штангами управляемой переменной длины (бипод, трипод, линапод, пентапод, гексапод); б – со штангами постоянной длины (биглайд, триглайд, ортоглайд, гексаглайд, дельта, "ножницы")

В отличие от сложившейся мировой практики создания станков с параллельной кинематикой, предложена новая концепция, основные особенности которой следующие:

1. Генетико-морфологический принцип, включающий:

- генетический подход к описанию, эволюции развития, синтезу и прогнозированию технических систем [4, 5, 7, 14 – 18];
- системно-морфологический подход к строению (классификации) и синтезу технических систем [9, 10].

2. Применение каркасных и оболочечных конструкций несущих систем [8, 11].

3. Агрегатно-модульный принцип компоновок [1, 2, 13].

4. Использование перспективных информационных технологий интеллектуальных компьютерных систем [12].

Как при эволюции любой биологической системы существуют пять генетических операторов синтеза [5, 16], так и в технических системах, к которым относятся станки и их механизмы, присущи эти операторы, а именно:

репликация – размножение исходной структуры с сохранением соответствующей совокупности ее генетических признаков (многопозиционность и многоинструментальность);

скрещивание – образование структур со смешанной генетической информацией (гибридизация);

инверсия – размещение двух элементов структуры в обратном порядке (зеркальность и симметричность);

кроссинговер – обмен отдельными дискретными генетическими участками, между которыми возможен обмен генетической информацией (перекрест);

мутация – изменения в структуре геометрических фигур компоновки, которые не

учитываются генетическими операторами репликации, скрещивания и кроссинговера (скачкообразное формоизменение).

В сочетании с генетическими операторами для синтеза компоновок станков, выбора формы исполнения несущей системы и размещения исполнительных органов могут применяться геометрические операторы преобразования в виде условных "хромосом" (рис. 3), мутацию которых при изменении количества вершин, ребер и граней удобно имитировать на компьютере.

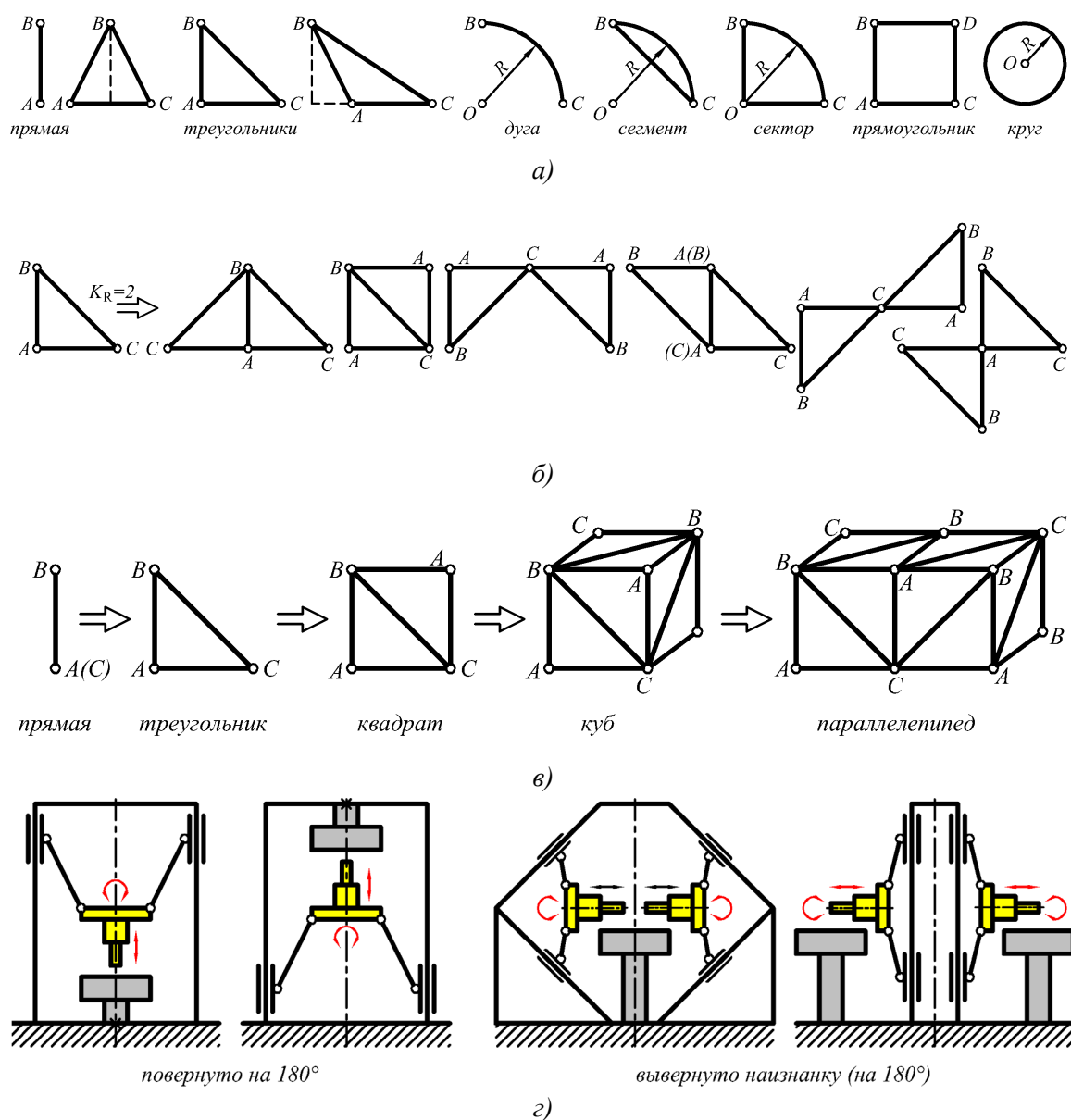


Рис. 3. Геометрические операторы преобразования компоновок станков:
а – родительские "хромосомы" (первичные геометрические фигуры в процессе генетического синтеза); б – "хромосомы"-потомки (пространственные комбинации двух и более "хромосом"); в – "хромосомы"-репликаторы (порождающие новые формы в процедурах репликации); г – "хромосомная" инверсия (разновидность повернутой хромосомной структуры – инструментальных систем на подвижных платформах)

Процесс оптимального проектирования станка как технической системы является сложным, многоуровневым, многокритериальным, многоэкстремальным и в многосвязной области, начиная от идеи (принципа действия) и заканчивая техническим решением в виде материализованной конструкции [9, 10, 12]. Образно говоря, необходимо в безбрежном океане идей найти архипелаг (структуру), а в нем остров (схему) с гористой местностью (конструкцию), где находится наиболее высокая гора (оптимальные параметры конструкции).

Для решения таких задач предполагается использовать многоуровневый морфологический анализ, создающий огромное поле поиска или область множества станков, механизмов, узлов и деталей, а также вариантов их исполнения.

Многоуровневый морфологический анализ станка как сложной ТС предусматривает

построение морфологических моделей M_s^m , M_m^u и M_u^d на различных уровнях:

– станки s из механизмов m (система)

$$M_s^m = M_s^{me} \wedge M_s^{mr} \quad (1)$$

– механизмы m из узлов u (подсистема I уровня)

$$M_m^u = M_m^{ue} \wedge M_m^{ur} \quad (2)$$

– узлы u из деталей d (подсистема II уровня)

$$M_u^d = M_u^{de} \wedge M_u^{dr} \quad (3)$$

где M_s^{me} , M_m^{ue} и M_u^{de} – морфологические матрицы структур (элементов e) соответственно механизмов, узлов и деталей; M_s^{mr} , M_m^{ur} и M_u^{dr} – морфологические матрицы связей r соответственно между механизмами, узлами и деталями.

Многоуровневый морфологический анализ станка как ТС дает различные области множества (рис. 4).

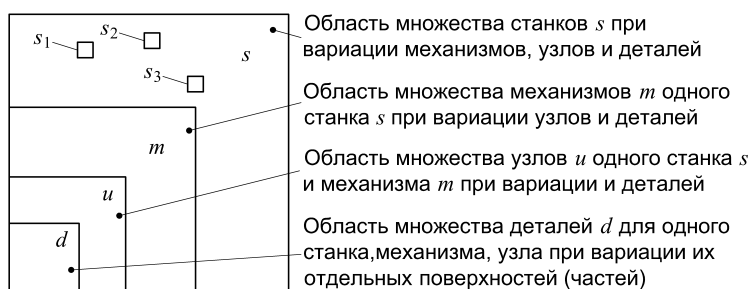


Рис. 4. Области множества станка и его элементов на различных уровнях

В общем случае морфологические модели станков будут представлены как совокупность моделей (1) – (3):

$$M_s = M_s^m \wedge M_m^u \wedge M_u^d = (M_s^{me} \wedge M_s^{mr}) \wedge (M_m^{ue} \wedge M_m^{ur}) \wedge (M_u^{de} \wedge M_u^{dr}) \quad (4)$$

Тогда общее количество синтезированных вариантов при полном переборе альтернатив содержит:

– станков s при вариации механизмов и связей между ними:

$$N_s^m = N_m^e \wedge N_m^r \quad (5)$$

– механизмов m для одного варианта станка при вариации узлов и связей между ними:

$$N_m^u = N_u^e \wedge N_u^r \quad (6)$$

– узлов u для одного варианта механизма при вариации деталей и связей между ними:

$$N_u^d = N_d^e \wedge N_d^r \quad (7)$$

Общее количество синтезированных станков при вариации механизмов, узлов и деталей составит:

$$N_s^{mud} = N_s^m \wedge N_m^u \wedge N_u^d = (N_m^e \wedge N_m^r) \wedge (N_u^e \wedge N_u^r) \wedge (N_d^e \wedge N_d^r) \quad (8)$$

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
- [2] Агрегатно-модульне технологичне обладнання: у 3-х част. / Під ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2003.

- [3] Афонин В.Л., Подзоров П.В., Слепцов В.В. Обработывающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры / Под общей редакцией В.Л. Афонина. – М.: Учебное пособие. Издательство МГТУ СТАНКИН, Янус. – К., 2006. – 452 с.
- [4] Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.
- [5] Волохонский А.Г. Генетический код и симметрия // Симметрия в природе. – Л.: 1971. – С. 75.
- [6] Дурнев В.Д., Талашкевич И.П. Симметрия в технологии. – СПб.: Политехника, 1993. – 256 с.
- [7] Короткова Г.П. Принципы целостности (к вопросу о соотношении живых и неживых систем). – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1968. – 160 с.
- [8] Кузнецов Ю.Н., Дмитриев Д.А., Диневич Г.Е. Компоновки станков с механизмами параллельной структуры. – Херсон: ПП Вышемирский В.С., 2010. – 471 с.
- [9] Кузнецов Ю.Н. Системно-морфологический подход при создании новых станков и их механизмов // II Междунар. конференция "Процессы механической обработки, станки и инструменты", Житомир, 9...11 октября 2003 г.
- [10] Кузнецов Ю.Н. Поиск новых технологических принципов методом морфологического анализа // Материалы междунар. научно-практической конференции "Экологизация технологий: проблемы и решения". – М. – Курган: Курганский научный центр МАНЭБ, 2004. – С. 120...127.
- [11] Кузнецов Ю.Н., Дмитриев Д.А. Концепция гибридных компоновок станков с параллельной кинематикой на модульном принципе // Труды международной научной конференции "Technologies and Systems TechSys'2009", Пловдив (Болгария), Journal of the Technical University Sofia, branch Plovdiv "Fundamental Sciences and Applications", Vol. 14, 2009. – С. 19...36.
- [12] Половинкин А.И. Законы строения и развития техники. – Волгоград, 1985. – 202 с.
- [13] Титков Ю.С. Стандартизация как наука и ее место в системе наук, техника и производстве. Вопросы судостроения. – 1972. – С. 7...14 (Серия "Стандартизация", вып. 2).
- [14] Фоменко А.Т. Наглядная геометрия и топология. Математические образы в реальном мире. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 432 с.
- [15] Шафрановский И.И. Симметрия в природе. – 2-е изд., перераб. – Л.: Недра, 1985. – 168 с.
- [16] Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
- [17] Шинкаренко В.Ф. Актуальные проблемы и задачи генетической электромеханики. – Труды III Международной научно-технической конференции "Электромеханические и электромагнитные преобразователи энергии и управляемые электромеханические системы "ЕЕCCES-2007"". Екатеринбург (Россия), 27...29 сентября 2007 г. – Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2007. – С. 27...33.
- [18] Шубников А.В., Копчик В.А. Симметрия в науке и искусстве. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1972. – 339 с.