

УДК 621.9.04

Ю.М. КУЗНЕЦОВ

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

Д.О. ДМИТРИЄВ, С.А. РУСАНОВ, С.М. ПИВЕНЬ

Херсонський національний технічний університет

БАГАТОРІВНЕВИЙ СИСТЕМНО-МОРФОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД І МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Представлена методологія оптимального проектування технічної системи на прикладі машин з паралельною кінематикою, яка заснована на використанні багаторівневого морфологічного системного підходу, який дає опис на кожному рівні морфологічної моделі (набори), починаючи з ідеї (принцип операції) і закінчуючи проектуванням окремих модулів і зборок з вибором найкращих рішень на кожному рівні і формалізацією якісних і кількісних критеріїв.

Ключові слова: багаторівневий морфологічний синтез, модуль, верстати з паралельною кінематикою, системний підхід.

Ю.Н. КУЗНЕЦОВ

Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт"

Д.А. ДМИТРИЕВ, С.А. РУСАНОВ, С.Н. ПИВЕНЬ

Херсонский национальный технический университет

МНОГОУРОВНЕВИЙ СИСТЕМНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД И МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Представлена методология оптимального проектирования технической системы на примере машин с параллельной кинематикой, основанная на использовании многоуровневого морфологического системного подхода, который дает описание на каждом уровне морфологической модели (наборы), начиная с идеи (принцип операции) и заканчивая проектированием отдельных модулей и сборок с выбором лучших решений на каждом уровне и формализацией качественных и количественных критериев.

Ключевые слова: многоуровневый морфологический синтез, модуль, станки с параллельной кинематикой, системный подход.

Y.M. KYZNETSOV

National Technical University of Ukraine
"Kyiv Polytechnic Institute"

D. O. DMYTRIEV, S.A. RUSANOV, S.M. PIVEN

Kherson National Technical University

MULTILEVEL SYSTEM-MORPHOLOGICAL APPROACH AND MODULE PRINCIPLE OF PLANNING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

The methodology of optimal design of the technical system on the example of machines using a layered system-morphological approach and building on each level of morphological models (sets), starting with the idea (principle of operation) and ending with the design of individual parts and assemblies with a selection of the best decisions at every level to formal and formalize qualitative and quantitative criteria.

Keywords: multilevel morphological synthesis, the module, parallel kinematic machines (PKM), system approach.

Постановка проблемы

В современном мире ускорение процесса проектирования является одним из способов сокращения расходов на производство новых деталей, станков и агрегатов. Одно из главных направлений интенсификации проектирования это применение соответствующего математического и логического аппарата на самом начальном этапе отбора и выбора оптимальной модели. Наличие стратегии оптимизирования выбора конструкции убирает проблему метода последовательного перебора всех решений для нахождения наилучшего. И соответственно значительно сокращает время и усилия направленные на выбор оптимальной конструкции проектируемого станка.

Анализ последних исследований и публикаций

Многие отечественные и зарубежные исследователи предлагали различные способы математического описания структуры станков с параллельной кинематикой (как наиболее сложных в описании и наиболее разнообразных в конструкции и топологии). Существуют различные функциональные, структурные и кинематические схемы описывающие конструкцию станка. Разработаны матричные и векторные описания станка и его взаимного расположения с обрабатываемой деталью. Но проблемой остается отсутствие математического описания конструкции, которое позволяло бы проводить первоначальный выбор оптимальной конструкции на этапе проектирования описания.

Сложный процесс оптимального проектирования станка как сложной ТС можно представить в виде итерационного процесса последовательного решения многовариантных (многоуровневых, многоциклических, многокритериальных, многоэкстремальных) задач синтеза, анализа и испытаний (рис. 1) [4]. При этом на каждом уровне, начиная от идей и заканчивая конструкцией, множество вариантов решения может быть представлено в виде морфологических моделей с последовательной их конкретизацией [6].

На каждом уровне решение представляет собой многокритериальную задачу, причем сложность решения состоит в том, что отсутствует стратегия решения, одновременно лучшая (рациональная, а при параметрическом синтезе оптимальная) по каждому из критериев. В соответствии с теорией исследования операций [9-12] решение должно содержать методы приведения частных критериев (показателей) к однородному виду, определения их относительной важности (весовых коэффициентов) и формирования обобщенного критерия. При этом на каждом уровне, начиная от идей и заканчивая конструкцией, множество вариантов решения может быть представлено в виде морфологических моделей с последовательной их конкретизацией.

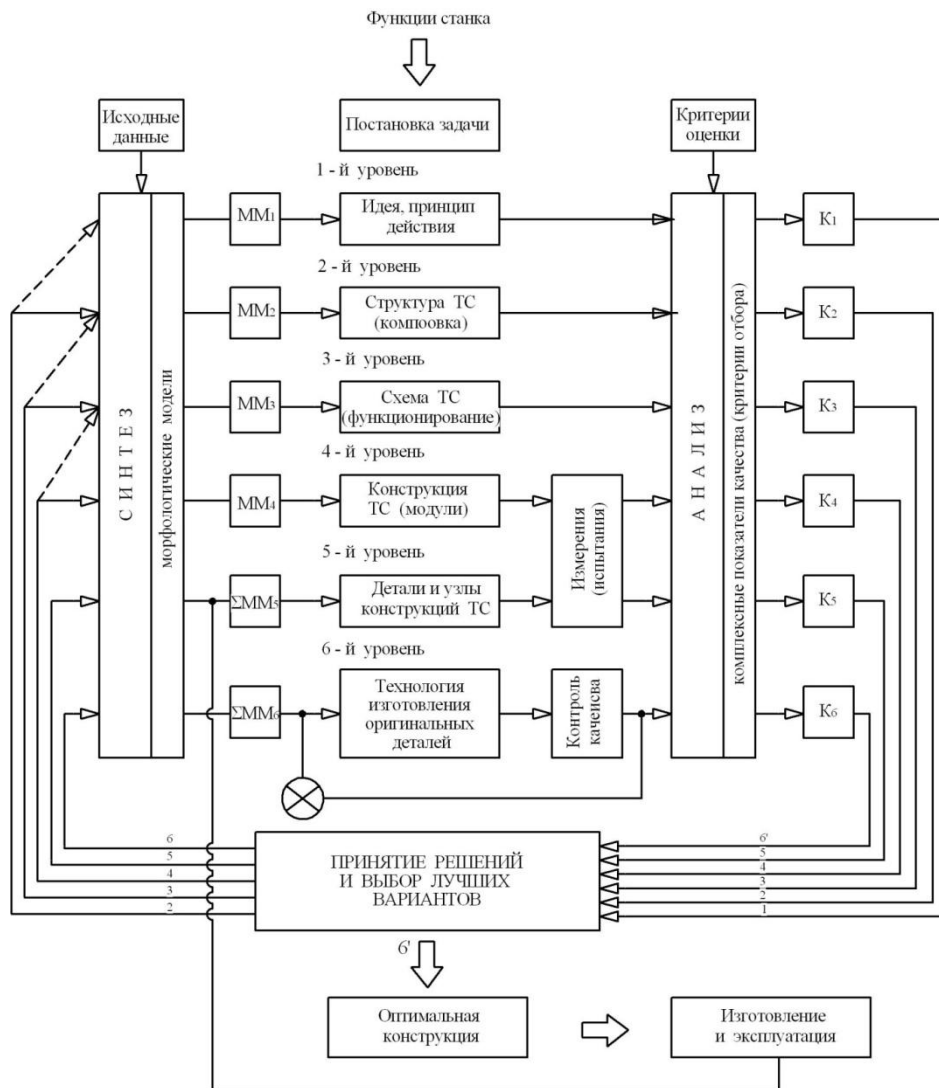


Рис. 1. Алгоритм многоуровневого морфологического синтеза станка

Формулирование цели исследования

Провести анализ проблем создания нового станочного оборудования, в частности задания необходимых технических и технологических характеристик на ранних стадиях его проектирования на уровне компоновочных решений. Рассмотреть правила записи формул компоновок, позволяющих выполнять перестройку базовой и конструкционной компоновки станка математическими методами во время проектных процедур. Описать изменение компоновки станка формулами позволяющими выполнять математические и логические операции изменяющими качественную (технологическую) и количественную (конструктивную) характеристики станка.

Изложение основного материала исследования

Задачи I и II уровней трудно формализуемы, поэтому для их решения требуются, например, применения неформальных процедур, а принятие решений осуществляется в условиях неполной и нечеткой исходной информации с укрупнением критериев отбора K1 и K2 (оценка), что возможно в диалоговом режиме работы с ЭВМ, наделенных искусственным интеллектом и имитационной САПР [13]. Задачи III уровня используют методы схемной оптимизации по обобщенному критерию. Задачи IV – VI уровней сводятся к параметрической оптимизации по обобщенным (комплексным) критериям.

Рассмотрим многоуровневый процесс проектирования станков с механизмами параллельной структуры (МПС) [3].

I-III уровень проектирования осложняется многовариантностью расположения направляющих на несущей основе станка как геометрических операторов в поле компоновки. Процесс проектирования станков как некоторой технической многоуровневой системы, задается выполнением функций [2, 11]:

$$\Pi = F_T \wedge F_G \wedge F_l \wedge F_m, \tag{1}$$

где F_T - множество технологических задач;

F_G - построение стержневых структур повышенной жесткости из направляющих в пространстве компоновки;

F_l - условия соединения шарнирных стержневых систем;

F_m - множество функциональных станочных модулей, которые дополняют компоновку.

I-й уровень проектирования (способ) - обеспечен функцией F_T , которая устанавливает соответствие между множеством обрабатываемых деталей и их поверхностей с формообразующими движениями ИО станка, что определяет тип операции:

$$\forall (P \in D) \exists (w \in W) \Leftrightarrow p_i \forall_D P \exists_W w, \tag{2}$$

где $P = \{p_i \dots p_j\}$ - множество поверхностей, которые подлежат обработке;

D - множество деталей;

$W = \{w_i \dots w_j\}$ - множество степеней свободы ИО и их комбинаций.

Поэтому, $F_T : D \times P \rightarrow W (X \vee Y \vee Z \vee A \vee B \vee C)$.

II и III - й уровни проектирования (структура и схема) – обеспечены функцией $F_G : G \times N$, которая устанавливает связь между жесткостью и компактностью компоновки, задается количеством направляющих и условиями их расположения, как в пространстве, так и между собой. При этом, $G = \{g_i \dots g_j\}$ - множество конструкций направляющих, $N_g \in G$ - подмножество как область переменной G геометрических параметров положения и ориентации систем координат направляющих.

Функция $F_l : \bigwedge_{i=1}^5 K_i$ задается кинематическими свойствами множества шарнирных соединений и

ограничений соответствующего класса, где K_i - множество кинематических пар, i – класс кинематической пары.

Компоновки станков с МПС отвечают множествам комбинаций расположения стоек каркаса компоновки.

Направляющие расположены в одной плоскости $G \times N_g^S \rightarrow S$ выполняются условия:

- $\exists_G g_k \exists_I i_p : g_k \vee G \in S, g_i \parallel G$, - пересекаются любые G_k направляющие – другие параллельные $m=k$, где $i_p \in I$ множество опорных точек соединения направляющих;
- $\exists_G g_k \exists_I i_p : g_k \vee G \in S, \overline{g_i \parallel G}$ - все направляющие не параллельные и пересекаются в разных точках;
- $\exists_G g_k \exists_I i_p : g_k \vee i_p \in I, \overline{g_i \parallel G}$ - все направляющие имеют общую точку пересечения;
- $\exists_G g_k \exists_I i_p : \overline{g_k \vee G \in S, g_i \parallel G}$ - все направляющие параллельные.

Направляющие расположены в разных плоскостях $S \times N_g^V \rightarrow V$ выполняются условия:

- $\exists_S s_k \exists_L l_p : s_k \vee S \in V, s_i \parallel S$, - пересекаются любые S_k плоскости – другие параллельные $m=k$, где $l_p \in L$ множество линий сечения опорных плоскостей;
- $\exists_S s_k \exists_L l_p : s_k \vee S \in V, \overline{s_i \parallel S}$ - все плоскости не параллельные и пересекаются по разным линиям;
- $\exists_S s_k \exists_L l_p : s_k \vee l_p \in L, s_i \parallel S$ - плоскости пересекаются по общей линии;
- $\exists_S s_k \exists_L l_p : \overline{s_k \vee S \in V, s_i \parallel S}$ - все плоскости параллельные.

Общее множество комбинаций расположения направляющих на основе каркаса в компоновке станка $S \times V \rightarrow \Omega$.

Расположение входов (активных кинематических пар) стержневой системы имеет сложную пространственную основу, которую нельзя отождествлять со сплошной базой или стационарным блоком [1], поэтому для IV уровня проектирования – (конструкция) предложено описание стационарного блока как кодирование опорных соединений стержневых механизмов и каркаса неподвижного блока, на котором он базируется, в виде бинарных отношений двух матриц, а именно, трехмерной матрицы каркаса стационарного блока $\|HB\|$ с направляющими и трехмерной матрицы рабочего поля заготовки $\|3pn\|$ (рис.2, а) [2, 8]. Под рабочим полем заготовки понимается пространство, которое занимает обрабатываемая заготовка наибольших размеров в ее среднем положении и примыкает к месту, на котором она устанавливается – станочный стол, планшайба и др. Для оценки качества компоновки и геометрической привязки объемов $\|HB\|$ и $\|3pn\|$ введена нумерация характерных точек рабочего пространства, как для $\|HB\|$, так и для $\|3pn\|$ (рис.2, б).

Порядок матриц n равен количеству точек на каждой координатной оси станка по всему габариту компоновки. В самом простом случае достаточно размерности $n=3$ (две точки на границах и одна в середине), при увеличении подвижных блоков, штанг и их соединений матрица принимает размерность $m \times n \times p$.

Геометрическое поле для матриц $\|HB\|$ и $\|3pn\|$ может иметь значения - $\|HB\| > \|3pn\|$, $\|HB\| < \|3pn\|$, $\|HB\| = \|3pn\|$, что характеризует вариабельность принятого языка обозначений. Варианты расположения объемов $\|HB\|$ и $\|3pn\|$, учитывают как геометрическое положение так и ориентацию поля $\|3pn\|$ относительно поле $\|HB\|$.

Между матрицами $\|3pn\|$ и $\|HB\|$ существует функциональная связь $F(L_{i=N-n}) \subset \llbracket \|3pn\| \cap \|HB\| \rrbracket$ в виде стержневой системы (штанги переменной или постоянной длины). Одни концы штанг расположены в области стационарного блока $\|HB\|$ на направляющих и принадлежат характерным точкам этого пространства $F(L_N) \subset \|HB\|$, а другие концы штанг

находятся в области заготовки $F(L_n) \subset \llbracket 3pn \rrbracket$ на подвижной платформе, или ИО, что и определяет его положение в области $\llbracket 3pn \rrbracket$.

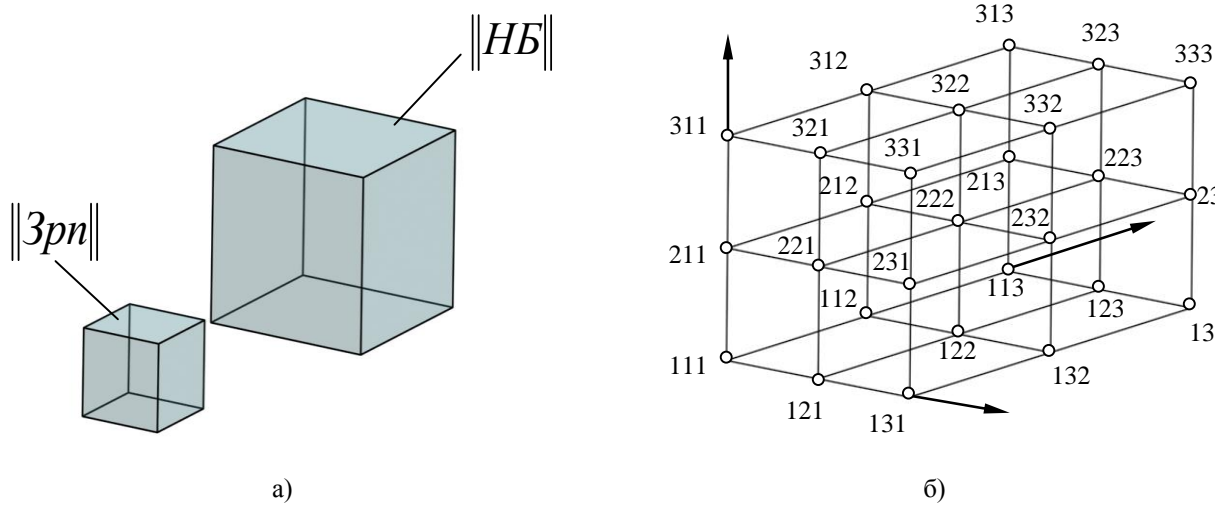


Рис. 2. Геометрическая интерпретация объемов рабочего поля заготовки $\llbracket 3pn \rrbracket$ и стационарного блока $\llbracket НБ \rrbracket$ стержневой системы МПС (а) и нумерация их характерных точек в рабочем пространстве (б)

Порядок n матриц $\llbracket 3pn \rrbracket$ и $\llbracket НБ \rrbracket$ определяет измерение пространств заготовки и стационарного блока, и может принимать различные значения с шагом между промежуточными точками i, j, k , который также может принимать произвольные значения для обоих пространств отдельно $\llbracket 3pn \rrbracket^{n(i) \times n(j) \times n(k)} \neq \llbracket НБ \rrbracket^{n(i) \times n(j) \times n(k)}$, так и в собственном пространстве $n(i) \neq n(j) \neq n(k)$. Над матрицами $\llbracket 3pn \rrbracket$ и $\llbracket НБ \rrbracket$ в компоновке станка с МПС выполняются логические и математические операции. Первые характеризуют качественную связь между ними, а вторые количественную (конструктивную). Система штанг $F(L_{i=N-n})$ в данном определении выступает математическим оператором между $\llbracket 3pn \rrbracket$ и $\llbracket НБ \rrbracket$. Абсолютное значение длины штанг при этом не учитывается. При изменении значений i, j, k в пространстве $\llbracket 3pn \rrbracket$ или $\llbracket НБ \rrbracket$ и параметров $F(L_{i=N-n})$ в соотношениях $\llbracket 3pn \rrbracket \cap \llbracket НБ \rrbracket$ возникает возможность образования новых компоновок станков с МПС, что согласовано с символьной записью соответствующей структурной формулы компоновки. Таким образом, символьная запись структурной формулы, которая описывает образ компоновки состоит из вариации соотношений в зависимости $F(L_{i=N-n}) \subset \llbracket 3pn \rrbracket \cap \llbracket НБ \rrbracket$. И наоборот, возможно обратное преобразование любой структурной формулы к образу компоновки в систему $F(L_{i=N-n}) \subset \llbracket 3pn \rrbracket \cap \llbracket НБ \rrbracket$ (рис. 3).

Принятый подход позволил определить перспективные группы каркасов несущей основы станка с МПС спроектировать и изготовить опытные образцы запатентованных станков [7, 8, 14, 15].

Разработанные обозначения признаков подвижных блоков в структурных формулах дают дополнительное содержание и открывают новые возможности для анализа. Примером структурных преобразований и математических свойств, предложенных правил формализованного описания гибридных каркасных компоновок может быть объединение нескольких плоских МПС в одну компоновку с жестко закрепленным инструментальным шпинделем на подвижной платформе, но с разной начальной ориентацией, которая дает технологическую линию для обработки детали с шести сторон (рис.3, а). Введение одного модуля поворота снижает металлоемкость и габариты в три раза и дает возможность использовать один станочный стол (рис.3, б).

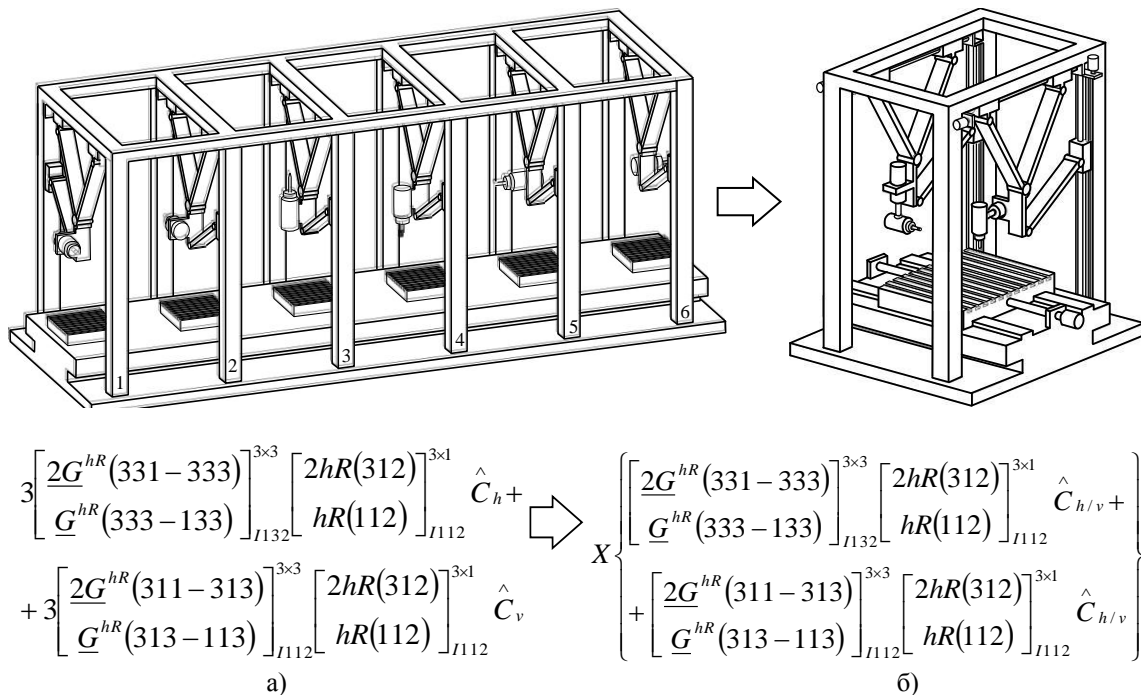


Рис. 3. Преобразование каркасных компоновок станков с МПС и их структурные формулы без потерь функциональности

Благодаря разным функциональным модулям, которые размещаются на подвижной платформе (шпиндельные блоки с приводами главного движения, с приводами подачи инструмента или без него), на неподвижной станине (координатные традиционные блоки) при использовании разных приводов подачи и направляющих для МПС, оснащенных штангами постоянной или переменной длины, доказана возможность создания станков разного назначения и с разным количеством управляемых координат.

Выводы

1. Проведен анализ современной проблемы создания нового станочного оборудования в частности задания необходимых технических и технологических характеристик оборудования с МПС на ранних стадиях его проектирования на уровне компоновочных решений.
2. Проведен многоуровневый морфологический синтез на примере станков с МПС. Рассмотрены три основных этапа синтеза: структурные, схемный, а так же синтез конструкций при этом Обоснованы правила записи формул компоновок, которые позволяют выполнять перестройку базовой и конструкционной компоновки станка математическими методами, за счет изменения признаков и свойств структуры станка в соответствии с компоновочными факторами и критериями во время проектных процедур.
3. Создано описание о стационарном блоке, которое состоит в кодировании опорных соединений МПС и каркаса неподвижного блока, на котором он базируется, в виде отношений двух матриц, а именно, трехмерной матрицы каркаса неподвижного блока с направляющими и трехмерной матрицы рабочего поля заготовки, над которыми в компоновке станка с МПС выполняются логические и математические операции, характеризующие качественную (технологическую) и количественную (конструктивную) связь между ними.
4. Существенным резервом повышения критериев качества компоновки предложены приемы выполнения дискретных изменений при расположении отдельных МПС в одной компоновке, которые позволили получить ряд вариантов сверлильно-фрезерных станков с сниженной металлоемкостью стационарного блока и сохранением функциональности на уровне многокоординатных МПС.

Список использованной литературы

1. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: Основы компонетики/Ю.Д. Врагов – М.: Машиностроение, 1978. – 208с.
2. Дмитрієв Д.О. Компонетика верстатів з механізмами паралельної структури / Д.О. Дмитрієв // Науковий журнал "Технологічні комплекси". – Луцьк: Вид-во ЛНТУ, 2011. - №3. – С.18-30.
3. Кузнецов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія. / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич– Херсон: ПП Вишемирський, 2009. – 456 с., 2010. – 471с.(рос.).

4. Кузнецов Ю.Н. Теория технических систем: учебник. / Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луцив – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. – 252с.
5. Кузнецов Ю.Н. Цанговые патроны двойного зажима: монография / Ю.Н. Кузнецов, Герра Ж.А. Хамуйела – К.: ООО «ГНОЗИС», 2013. – 401с.
6. Кузнецов Ю.Н. Многоуровневый морфологический синтез малогабаритных фрезерных станков с компьютерным управлением / Ю.Н. Кузнецов, А.А. Степаненко, Хамуела Ж.А. Герра // Научный журнал "Технологічні комплекси". – Луцьк: Вид-во ЛНТУ, - 2013 –№2 (8). - С.19-26.
7. Кузнецов Ю.М. Каркасні компоновки свердильно-фрезерних верстатів з механізмами паралельної структури / Ю. М. Кузнецов, В.Б.Фіранський, Д.О. Дмитрієв // Научный журнал "Технологічні комплекси". – Луцьк: Вид-во ЛНТУ, 2010. - №1. - С. 10-16.
8. Кузнецов Ю.М. Реалізація концепції каркасних компоновок верстатів з механізмами паралельної структури / Кузнецов Ю.М., Дмитрієв Д.О., Фіранський В.Б., Степаненко О.О. // Наукові вісті НТУУ "КПІ" – Київ: Вид-во НТУУ "Київський політехнічний інститут", - 2012. - № 1. - С. 104 - 111.
9. Моисеев Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем. / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1971. – 316с.
10. Пальчевський Б.О. Принципи побудови і сучасні тенденції розвитку методів проектування технологічного обладнання // Научный журнал "Технологічні комплекси". Луцьк: Вид-во ЛНТУ, – 2010 - №1. - С.3-9.
11. Пальчевський Б.О. Стратегія оптимізаційного синтезу технологічних машин// Научный журнал "Технологічні комплекси". Луцьк: Вид-во ЛНТУ, – 2011 - №3. - С.3-11.
12. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учебное пособие для студентов вузов./ А.И. Половинкин – М.: Машиностроение, 1988. – 368с.
13. Подиновский В.В. Гаврилов В. М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям/ В.В. Подиновский, В. М.Гаврилов. - М., «Сов. радио», 1975 - 192 с.
14. Пат. 66672 Україна. МПК В23Q1/00, В23С1/00 Свердильно-фрезерний верстат / Ю. М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, В.Б. Фіранський; власник автори. - № u201108142; заявл. 29.06.2011; опубл. 10.01.2012, бюл. № 1.
15. Пат. 66830 Україна. МПК В23В35/00, В23С1/00 Багатокоординатний фрезерний верстат / Ю. М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, В.Б. Фіранський, О.О. Степаненко; власник Херсонський національний технічний університет, Нац. техн. ун-т України "КПІ". - № u201105774; заявл. 10.05.2011; опубл. 25.12.2012, бюл. № 2.