

**СИНТЕЗ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ НА БАЗІ МОТОР-ШПИНДЕЛІВ
З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМНО-МОРФОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ****К. О. Олійник**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: katty-all@ukr.net

Мотор-шпинделі відносяться до особливого класу складних динамічних систем природного й природно-антропогенного походження, що можуть реалізувати як поступальний так і обертовий рух, і представляють собою різноманітність видів, що розвиваються. Такі системи застосовуються у металообробних комплексах, токарних, фрезерних, свердильних, шліфувальних, багатоцільових та інших верстатах. В сучасних конструкціях шпиндельних вузлів застосовують опори кочення, гідростатичні, гідродинамічні, газостатичні (аеростатичні), газодинамічні (аеродинамічні), магнітні опори і їх комбінації (гібриди), наприклад, газоманітні (газостатичні підшипники з магнітним підвісом, що дозволяє забезпечити частоти обертання в токарних верстатах до 10-20 тис. об/хв, а в свердильно-фрезерних і шліфувальних до 100-200 тис. об/хв і вище. З подальшим розвитком техніки у верстатобудівній галузі почали з'являтися мотор-шпинделі, які здатні реалізовувати рух подачі за допомогою зубчатих передач і муфт, з використанням пневматичних систем, із застосуванням гідравлічних систем, шляхом використання гвинтових передач. Запропоновано систематизувати досить великий обсяг знань про морфологію в компактному вигляді, формалізувати процес упорядкування множини варіантів, розміщених в моделі, побудувати інтегровану модель для схемно-параметричного синтезу шпиндельних вузлів з використанням різних джерел і перетворювачів енергії у вигляді морфологічної множини. З урахуванням варіантів реалізації морфологічних ознак отримаємо морфологічну модель. Для розробки морфологічної моделі було обрано функціональні ознаки, які систематизовано та розкладено на три групи у відповідності до модульного принципу. Були використані результати генетичного аналізу відомих різновидів мотор-шпинделів досліджуваного класу для впорядкування його виявлених представників на підставі генетичних ознак. Якщо генетичний синтез дозволяє знайти нові структури мотор-шпинделів і шпиндельних вузлів на їх основі, то для синтезу схем і конструкцій доцільно використовувати системно-морфологічний підхід.

Ключові слова: мотор-шпиндель, електромеханічний привод, системно-морфологічний підхід, синтезований, привод головного руху.

**СИНТЕЗ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА НА БАЗЕ МОТОР-ШПИНДЕЛЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМНО-МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА****К. А. Олейник**

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: katty-all@ukr.net

Мотор-шпиндели относятся к особому классу сложных динамических систем естественного и естественно-антропогенного происхождения, которые могут реализовать как поступательное так и вращательное движение, и представляют собой разнообразие видов развивающихся стран. Такие системы применяются в металлообрабатывающих комплексах, токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных, многоцелевых и других станках. В современных конструкциях шпиндельных узлов применяют опоры качения, гидростатические, гидродинамические, газостатических (аэростатические), газодинамические (аэродинамические), магнитные опоры и их комбинации (гибриды), например, газоманитни (газостатических подшипники с магнитным подвесом, что позволяет обеспечить частоты вращения в токарных станках до 10-20 тыс. об/мин, а в сверлильно-фрезерных и шлифовальных до 100-200 тыс. об/мин и выше. С дальнейшим развитием техники в станкостроительной отрасли начали появляться мотор-шпинделя, которые способны реализовывать движение подачи с помощью зубчатых передач и муфт, с использованием пневматических систем, с применением гидравлических систем, путем использования винтовых передач. Предлагается систематизировать достаточно большой объем знаний о морфологии в компактном виде, формализовать процесс составления множества вариантов, размещенных в модели, построить интегрированную модель для схемно-параметрического синтеза шпиндельных узлов с использованием различных источников и преобразователей энергии в виде морфологического множества. С учетом вариантов реализации морфологических признаков получим морфологическую модель. Для разработки морфологической модели были выбраны функциональные признаки, которые систематизированы и разложены на три группы в соответствии с модульным принципом. Были использованы результаты генетического анализа известных разновидностей мотор-шпинделей исследуемого класса для упорядочения его обнаруженных представителей на основании генетических признаков. Если генетический синтез позволяет найти новые структуры мотор-шпинделей и шпиндельных узлов на их основе, то для синтеза схем и конструкций целесообразно использовать системно-морфологический подход.

Ключевые слова: мотор-шпиндель, электромеханический привод, системно-морфологический подход, синтезированный, привод главного движения.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Однією із сучасних тенденцій розвитку машинобудування і, зокрема її серцевини – верстатобудування, є високошвидкісна (HSC – High Speed Cutting), високопродуктивна (HPC – High Production Cutting) і прецизійна (High Precision Cutting) обробка деталей. Для цього в приводах головного руху верстатів з числовим програмним керуванням використовують високошвидкісні і прецизійні шпиндельні вузли з різними опорами (кочення, гідростатичні і гідродинамічні, аеростатичні і аеродинамічні, магнітні і комбіновані), що дозволяє забезпечити частоти обертання в токарних верстатах до 10-20 тис. об/хв, а в свердлильно-фрезерних і шліфувальних до 100-200 тис. об/хв і вище.

В останній час широко розповсюджені електромеханічні приводи головного руху типу мотор-шпиндель, де шпинделем є ротор з опорами, які мають повітряне або радіальне охолодження [1]. Існуючі мотор-шпинделі забезпечують тільки обертання для здійснення головного руху, а для постійного переміщення по керованій координаті використовують додаткові приводи, неспіввісні з віссю шпинделя, це обмежує їх функціональні можливості.

Використання несамодіючих мотор-шпинделів знизило габарити приводу головного руху при високих частотах обертання об'єкту затиску – деталі-заготовки або ріжучого інструменту.

Метою статті є аналіз застосовування мотор-шпинделів як модулів в верстатах різного призначення, в тому числі з механізмами паралельної структури.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для розширення функцій при обробці складнопрофільних деталей під різними кутами виникає нагальна потреба створення самодіючого мотор-шпинделя з додатковою координатою поступального руху. Такі приводи поки не створені і досліджені, що потребує системно-морфологічного підходу при пошуку нових технічних рішень.

На рис. 1 показана еволюція приводу головного руху верстатів з використанням електричної енергії і способу її передачі на шпиндель. Еволюцію ШВ можна прослідкувати при використанні опор шпинделів, які суттєво впливають на експлуатаційні характеристики і, зокрема, на забезпечення швидкодійності [2].

Працездатність верстата в значній мірі визначається точністю обертання шпинделя, статичною і динамічною жорсткістю шпиндельних вузлів, гранично допустимою частотою обертання, нагрівом, несучою спроможністю і довговічністю підшипників. Лише деякі з перерахованих параметрів працездатності в теперішній час нормуються (рис. 2).

На даний час мотор-шпинделі виробляються в таких країнах: Японія, Німеччина, Франція, Китай,

Італія. Найвідомішими виробниками в цих країнах являються: DMU, ELTE, Franz Kessler, Weiss, Diebold, Antecs, Cytec, Henninger, IMT, NSK, FANUC, KITAGAWA, HOWA, SUDA, SIEMENS, SAUTER, GRUNDFOS, DUPLOMATIC, SMW AUTOBLOC.

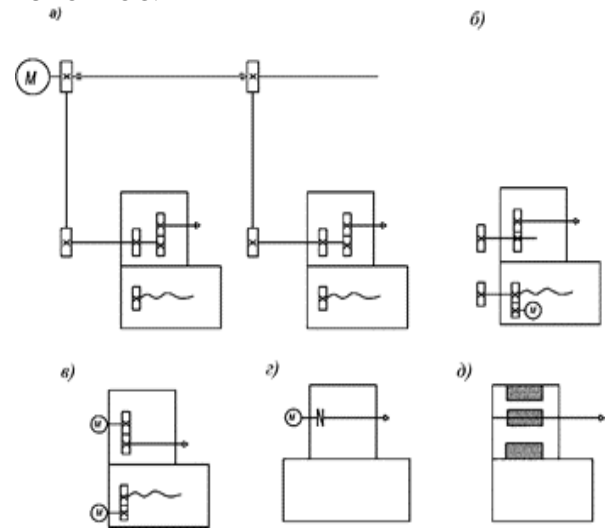


Рисунок 1 – Еволюція електроприводу головного руху на прикладі токарних верстатів: а – груповий на кілька верстатів; б – загальний для одного верстата із ступінчастими передачами; в – індивідуальний із ступінчатою коробкою швидкостей; г – індивідуальний співвісний із шпинделем; д – мотор-шпиндель

Системи типу «мотор-шпиндель» являють собою складні суміщені електромеханічні структури, які включають в себе механічну і електромагнітну частини (рис. 3) [3].

До механічної частини відноситься сам шпиндель, а до електромагнітної відносяться обмотки, які являються джерелом виникнення електромагнітного поля.

Якщо генетичний синтез [4] дозволяє знайти нові структури мотор-шпинделів і шпиндельних вузлів на їх основі [5], то для синтезу схем і конструкцій доцільно використовувати системно-морфологічний підхід [6, 7, 8, 9]. На теоретико-множинний мові морфологічний опис містить

$$S_m = \{E, R, S_{tr}\},$$

де $E = \{E_i\}_i$ – множина елементів і]х властивостей; елемент-підсистема, всередину якої морфологічний опис не проникає; $R = \{R_i\}_i$ – множина зв'язків; S_{tr} – структура (визначається генетичним кодом [10]); К – композиція (компонування в просторі).

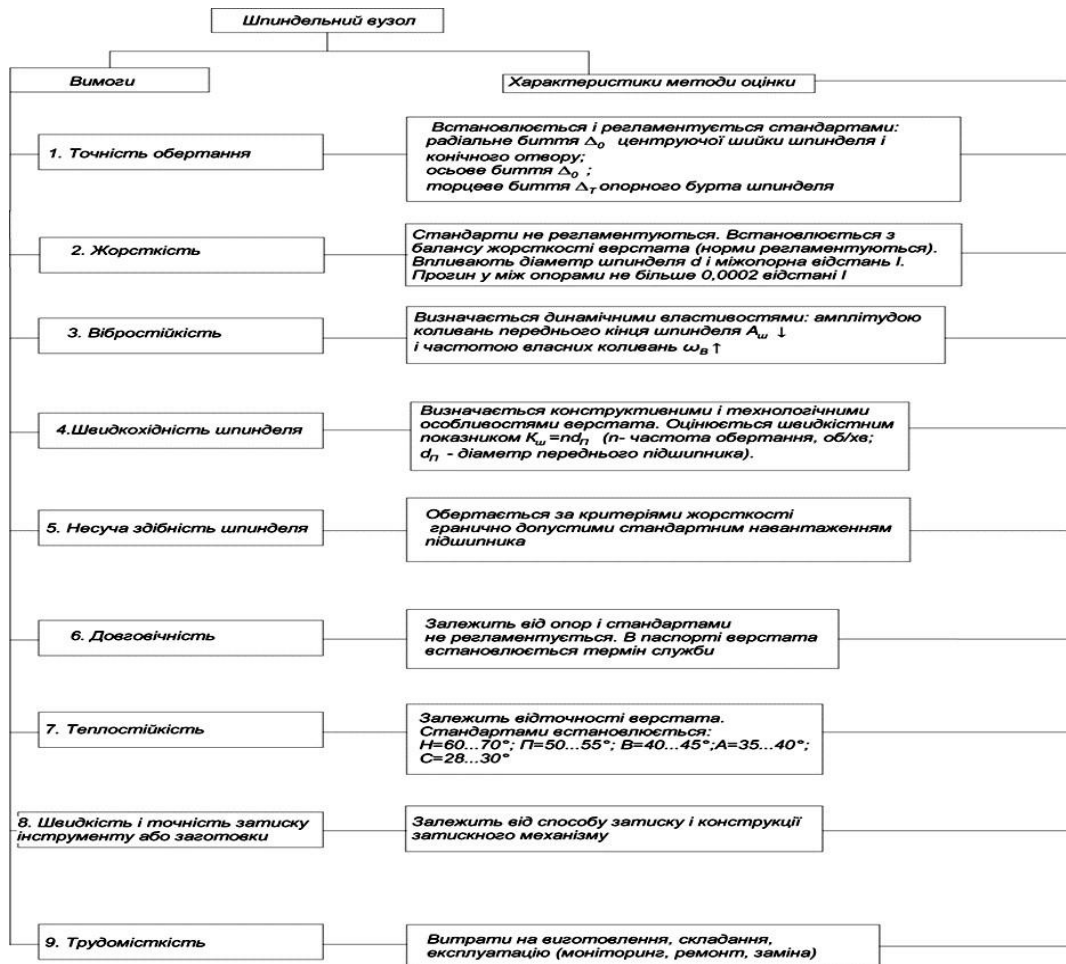


Рисунок 2 – Основні вимоги, характеристики і методи оцінки шпиндельних вузлів

Складна суміщена система типу „М-Ш”

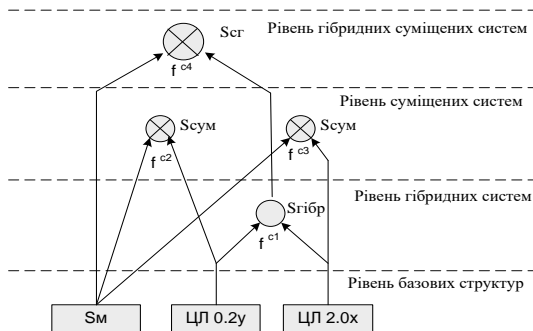


Рисунок 3 – Модель утворення складної суміщеної системи типу «М-Ш»

Для розробки морфологічної множини моделей виберемо функціональні ознаки, які розкладемо на три групи у відповідності до модульного принципу [11]: модуль приводу обертального головного руху (табл. 1), модуль приводу поступального руху (подач) (табл. 2), модуль затискного механізму (табл. 3).

В морфологічній моделях (табл. 1–3) з роботи В. Ф. Шинкаренка [12] взяті первинні джерела поля і, зокрема, електромагнітного поля: ЦЛ – циліндричне; КН – конічне; ТП – тороїдальне плоске; ТЦ – тороїдальне циліндричне.

Таким чином запропонована модель дає загальну кількість шпиндельних вузлів і мото-шпинделів,

серед яких є багато до сих пір невідомих:

$$N_{\text{шв}} = N_{\text{ш}} \cdot N_3 \cdot N_{\text{п}} = 680882825600 \quad (1)$$

З астрономічної кількості варіантів вибір найкращих визначається переважно експертними методами в умовах неповної інформації [13], конкретними умовами, цільовою функцією і технічними обмеженнями [6, 7].

Випробування синтезованого і виготовленого самодіючого мотор-шпинделя (рис. 4) на жорсткість [14], які проводилися відповідно до рекомендацій ГОСТ 370-93 «Верстата вертикально-свердлильні». Норми точності і жорсткості та ГОСТ 9726-89 «Станки фрезерные вертикальные с крестовым столом. Терминология. Основные размеры. Нормы точности и жесткости», показали його працездатність і конкурентоспроможність.

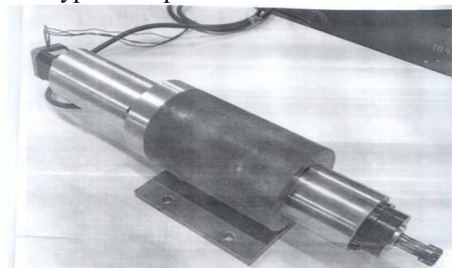


Рисунок 4 – Модульна конструкція самодіючого М-Ш горизонтального виконання

Таблиця 1 – Морфологічна модель конструктивних схем модуля приводу обертового руху

1. Джерело енергії	2. Первинне джерело поля (ПДП)	Шпindel (ротор)			
		Опори			
		3. Кількість	4. Вид	5. Радіальної фіксації	6. Осьової фіксації
1.1. Електрика	2.1. ЦЛ	3.1.1	4.1. Кочення	5.1. Одна радіальна	6.1. Одна осьова
1.2. Рідина	2.2. КН	3.2.2	4.2. Рідинні	5.2. Дві радіальні	6.2. Дві осьові
1.3. Повітря	2.3. ТП	3.3.>2	4.3. Повітряні (газові)	5.3. Три радіальні	6.3. Одна радіально-упорна
1.4. Комбінація	2.4. ТЦ		4.4. Магнітні	5.4. Одна радіально - упорна	6.4. Дві радіально-упорні
			4.5. Комбіновані		6.5. Немає
7. Між шпинделями		8. 3 ПДП	9. Геометрична вісь	10.1. Паралельно	11.1. Фланцеве
7.1. Немає		8.1. Співвісно через муфту	9.1. Горизонтальна	10.2. Перпендикулярно	11.2. На лапах
7.2. Електро-магнітне поле		8.2. Всередині (вбудований)	9.2. Вертикальна	10.3. Під кутом	11.3. В кронштейн
7.3. Механічний		8.3. Через механічну передачу	9.3. Нахилена		11.4. З одним охоплюючим статором
			9.4. Горизонтально - вертикальна		

Таблиця 2 – Морфологічна модель конструктивних схем модуля подач (приводу поступального руху)

12. Джерело енергії	13. ПДП	14. Вид перетворювача руху	Напрявні	
			15. Розташування	16. Виконання
1.1. Електрика	13.1. ЦЛ	14.1. Гвинтовання пара ковзання	15.1. Паралельно в одній площині з віссю шпинделя	16.1. Кочення на кульках
1.2. Рідина	13.2. ПЛ в одному напрямку	14.2. Гвинтова пара кочення	15.2. Співвісно позаду шпинделя	16.2. Кочення на роликах
1.3. Повітря	13.3. ПЛ в двох напрямках	14.3. Зубчато-рейкова передача	15.3. Співвісно всередині шпинделя	16.3. Ковзання на штангах
1.4. Комбінація		14.4. Немає	15.4. Виконане в іншій площині	16.4. Ковзання в пазах (або отворі)

Таблиця 3 – Морфологічна модель конструктивних схем модуля затискного механізму

Затискний патрон		Привод затиску		
17. Тип	18. Поверхня базування	19. Джерело енергії	20. ПДП	21. Вид перетворювання енергії (сили)
17.1. Пружний	18.1. Конічна	19.1. Електричне	20.1. ЦЛ	21.1. Гвинтова ковзання
17.2. Спиральний	18.2. Дві конічні	19.2. Біологічне (від руки)	20.2. ПЛ	21.2. Кульково-гвинтова пара
17.3. Клинові	18.3. Конічна і торець	19.3. Гідролічне		21.3. Зубчата передача
17.4. Важіль	18.4. Конічна і циліндрична	19.4. Повітряне		

В іншому синтезованому ШІВ з самодіючим М-Ш усунені механічні передачі (рис. 5).

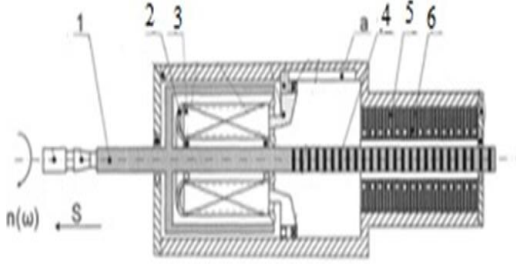


Рисунок 5 – Варіант конкурентоздатного рішення по патенту України № 882880

ВИСНОВКИ. Морфологічні моделі дозволяють систематизувати досить великий обсяг знань про морфологію в компактному вигляді, дають можливість формалізувати процес упорядкування множини варіантів, розміщених в моделі. Якість морфологічної моделі багато в чому визначає остаточний результат пошуку рішення проблеми. Розробка морфологічних моделей є початковим етапом морфологічних досліджень - морфологічним аналізом, метою якого є класифікації досліджуваного об'єкта або множини об'єктів з наступним переходом до морфологічного синтезу [7].

Вперше побудована інтегрована модель для схемо-параметричного синтезу шпиндельних вузлів з використанням різних джерел і перетворювачів енергії у вигляді морфологічної множини з трьох морфологічних моделей конструктивних схем модулів: приводу головного руху; приводу подач (поступального руху); затискного механізму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шпиндельные узлы станков. Б. С. Воскобойников, М.И. Гречиков, Г. И. Гуськова. Издательство «ИТО», 09/2012, www.itonews.ru/archive/2012/120840.pdf.
2. Прецизійні шпиндельні вузли на опорах кочення: (Теорія і практика). Ю. М. Данильченко, Ю. М. Кузнецов; Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Т.;К.: Економічна думка, 2003. 342 с.
3. Шинкаренко В. Ф., Гайдаенко Ю. В. Генетические принципы структурообразования гибридных электромеханических систем. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Вип. 3/2010 (62). Ч. 2. С.47–50.
4. Yuriy Kuznietsov, Vasiliy Shinkarenko. The Genetic approach is the key to innovative Synthesis of

complicated Technical Systems. *Journal of the Technical University at Plovdiv, Bulgaria Fundamental Sciences and Applications/* Volume 16, book 2, 2011. P.p. 15 – 33.

5. Shinkarenko V. The operability analysis of spindle-motor hybrid electromechanical systems/ Y. Kuznietsov, V. Shinkarenko, I. Gaidaienko, K. Oliinyk / 13 th Anniversary International scientific Conference «Unitech'13», 22 – 23 November 2013. Gabrovo, Bulgaria. Vol. III, 2013. Pp. 268 – 272.

6. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании)/А.И. Половинкин, Н.К. Бобков, Т. Я. Буш и др.: под ред. А.И. Половинкина. М.Радио и связь. 334 с.

7. Кузнецов Ю. Н., Морфологический синтез станков и их механизмов: Монография. А. Г. Хамуйела Жоаким, Т. О. Хамуйела. Под ред. Кузнецова Ю. Н. К.: ООО «Гнозис», 2012. 416 с.

8. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества. Учеб. пособие для студентов втузов. М.: Машиностроение, 1988. 386 с.

9. Кузнецов Ю. М., Дмитрієв Д. О., Русанов С. А., Півень С. М. Багаторівневий системно-морфологічний підхід і модульний принцип проектування технологічного обладнання. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2015. № 4. С. 41–47.

10. Yuriy Kuznietsov, Vasiliy Shinkarenko. The Genetic programs of complex evolution systems (Part 1)/ 11th Anniversary International Scientific conference “Unitech’11”, 18-19 November 2011. Gabrovo, Bulgaria. Vol. 1. Pp. 33–43.

11. Kuzniecowa J., Stepanienkov A., Olejnik J. Modulowe podejście do projektowania frezarek stolowych sterowanych numerycznie. *Kwartalnik 19 zeszyty naukowe politechniki Rzeszowskiej (Mechanika)*, Rzeszyw (Polska). 2012. № 84. С. 51–60.

12. Шинкаренко В. Ф. Основы теории эволюции электромеханических систем. К.: Наукова думка, 2002. 288 с.

13. Блюмберг В. А., Глушенко В. Ф. Какое решение лучше?: Метод расстановки приоритетов. Л.: Лениздат, 1982. 160 с.

14. Кузнецов Ю. М., Хамуйела Ж. А. Герра, Олійник К. О. Жорсткісні характеристики самодіючого мотор-шпинделя для верстатів з ЧПК. «Машиностроение и техносфера XXI века». Сборник трудов XX международной научно-технической конференции в г. Севастополь 16-21 сентября 2013 г. В 3-х Томах. Донецк: ДонНТУ, 2013.Т2. С. 44–52.

THE SYNTHESIS OF A SPINDLE UNIT BASED ON A MOTOR-SPINDLE USING A SYSTEMIC MORPHOLOGICAL APPROACH

K. Oliinyk

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
prosp. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

Purpose. Motor-spindles belong to a special class of complex dynamic systems of natural and natural-anthropogenic origin, which can produce both translational and rotational motion, and represent a variety of developing species. Such systems are used in metalworking complexes, lathes, milling, drilling, grinding, multi-purpose and other machines. In modern designs of spindle units rolling bearings, hydrostatic, hydrodynamic, gas-static (aerostatic), gas-dynamic

(aerodynamic), magnetic bearings and their combinations (hybrids) are used, for example, gas-magnetic (gas-static bearings with a magnetic suspension that allows providing rotational frequencies) up to 10-20 thousand rpm, and in drilling and milling and grinding up to 100-200 thousand rpm and above. With the further development of technology in the machine-building industry, motor-spindles began to appear, which are able to realize the movement of the feed by means of gears and couplings, using pneumatic systems. They are also able to realize the movement in using hydraulic systems and screw gears. **Methodology.** It is proposed to systematize a large amount of knowledge about morphology in a compact form, to formalize the process of ordering many options placed in the model, to build an integrated model for circuit-parametric synthesis of spindle assemblies using different energy sources and converters in the form of morphological set. **Findings.** Taking into account the options for the implementation of morphological features, we obtain a morphological model. **Originality.** To develop a morphological model, functional features were selected, which are systematized and divided into three groups in accordance with the modular principle. **Practical value.** The results of genetic analysis of known types of motor-spindles of the studied class were used to organize its identified representatives on the basis of genetic traits. If the genetic synthesis allows finding new structures of motor-spindles and spindle assemblies on their basis, it will be expedient to use system-morphological approach.

Key words: motor-spindle, electromechanical drive, system-morphological approach, synthesized, main motion drive.

REFERENCES

1. Voskoboynikov, B. S. Shpindel'nye uzly stankov [Spindle units of machines] / B. S. Voskoboynikov, M.I. Grechikov, G. I. Gus'kova. Izdatel'stvo «ITO», 09/2012, www.itonews.ru/archive/2012/120840.pdf.
2. Danil'chenko, Yu. M. (2003), Precizijni shpindel'ni vuzli na oporah kochennya: (Teoriya i praktika) [Precision spindle assemblies on rolling bearings: (Theory and practice)] / Yu.M. Danil'chenko, Yu.M. Kuznecov; Ternopil's'kij derzhavnij tekhnichnij universitet im. Ivana Pulyuya, Nacional'nij tekhnichnij universitet Ukraïni «Kiïvs'kij politekhnichnij institut», Kyiv, *Ekonomichna dumka*, 342 p.
3. Shinkarenko, V. F., Gajdaenko, Yu. V. (2011), Geneticheskie principy strukturoobrazovaniya gibridnyh elektromekhanicheskikh sistem. [Genetic principles of structure formation of hybrid electromechanical systems.] *Visnyk KDU im. M. Ostrohradskoho*. Iss 3/ (62). part. 2. pp. 47-50.
4. Kuznietsov, Yu., Shinkarenko, V. (2011), The Genetic approach is the key to innovative Synthesis of complicated Technical Systems. *Journal of the Technical University at Plovdiv, Bulgaria Fundamental Sciences and Applications*, Vol. 16, book 2. pp. 15 – 33.
5. Shinkarenko, V. The operability analysis of spindle-motor hybrid electromechanical systems/ Yu. Kuznietsov, V. Shinkarenko, I. Gaidaienko, K. Oliinyk / 13 th Anniversary International scientific Conference «Unitech'13», 22 – 23 November 2013. Gabrovo, Bulgaria. Vol. 3, 2013. pp. 268 – 272.
6. Avtomatizaciya poiskovogo konstruirovaniya (iskusstvennyj intellekt v mashinnom proektirovanii) [Search design automation (artificial intelligence in machine design)] / A. I. Polovinkin, N. K. Bobkov, T. Ya. Bush i dr.: pod red. A. I. Polovinkina. Moskow, *Radio i sviaz*. 334 p.
7. Kuznietsov, Yu. N. (2012), Morfologicheskij sintez stankov i ih mekhanizmov: Monografiya [Morphological synthesis of machines and their mechanisms: Monograph] / A. G. Hamujela ZHoakim, T. O. Hamujela / Pod red. Kuznecova Yu.N. Kyiv, OOO «Gnozis». 416 p.
8. Polovinkin, A. I. (1988), Osnovy inzhenerenogo tvorchestva. Ucheb. posobie dlya studentov vtuzov [Fundamentals of engineering creativity. Textbook for university students] Moskow, *Mashinostroenie*, 386 p.
9. Kuznietsov, Yu. M., Dmitriev, D. O., Rusanov, S. A., Piven, S. M. (2015), [Multilevel system-morphological approach and modular principle of technological equipment design] // Bagatori`vnevij sistemno-morfologi`chnij pi`dkhi`d i` modul`nij princip proektuvannya tekhnologi`chnogo obladnannya // *Vi`snik Khersons`kogo naczi`onal`nogo tekhnichnogo uni`versitetu* . no. 4. pp. 41-47.
10. Kuznietsov, Yu., Shinkarenko, V. The Genetic programs of complex evolution systems (Part 1)/ 11th Anniversary International Scientific conference “Unitech’11”, 18-19 November 2011. Gabrovo, Bulgaria. Vol. 1. pp. 33 – 43.
11. Kuznietsov, Yu. (2012), Modulowe podejscie do projektowania frezarek stolowych sterowanych numerycznie [Modular approach to designing numerically controlled table milling machines]/ K. Olejnik, A. Stepanenko// Kwartalnik 19 zeszyty naukowe politechniki Rzeszowskiej (Mechanika), Rzeszyw (Polska). No. 84. pp. 51–60.
12. Shinkarenko, V. F. (2002), Osnovy teorii evoliutsii elektromekhanichnyh system. [Fundamentals of the theory of evolution of electromechanical systems], Kyiv, *Naukova dumka*, pp. 288.
13. Blyumberg, V. A., Glushchenko, V. F. (1982), Kakoe reshenie luchshe?: Metod rasstanovki prioritetov. [Which solution is better?: Method of prioritization] – Leninhrad. 160 p.
14. Kuznietsov, Yu. M., Hamujela, Zh. A., Gerra, Olijnik, K. O. Zhorstkistni harakterystyky samodiiuchoho motor-shpindelia dlia verstativ z CHPK. “Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka” [Rigid characteristics of the amateur motor spindle for CNC machines. "Mechanical engineering and technosphere of the XXI century"] // Sbornik trudov HKH mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii v g. Sevastopol 16-21 sentyabrya 2013 g. v 3-h Tomah. Donetsk, DonNTU.T.2. pp. 44 – 52.

Стаття надійшла 02.10.2020.