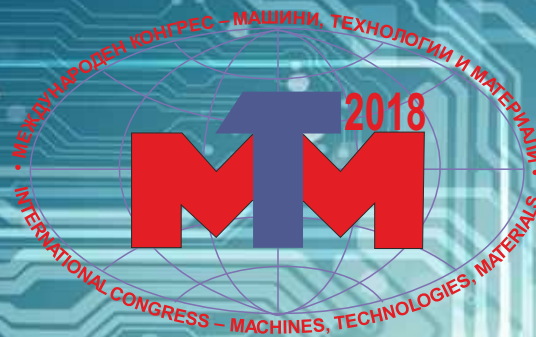


XV INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONGRESS

SUMMER SESSION

12 - 15.09.2018, VARNA, BULGARIA



**MACHINES
TECHNOLOGIES
MATERIALS 2018**

PROCEEDINGS

VOLUME II

MACHINES

INDUSTRIAL INFORMATICS &

MATHEMATICAL MODELING

MANAGEMENT

ISSN 2535-0021 (Print)

ISSN 2535-003X (Online)

**ORGANIZER
SCIENTIFIC-TECHNICAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERING
BULGARIA**

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
MACHINES. TECHNOLOGIES. MATERIALS

12-15.09.2018, VARNA, BULGARIA

PROCEEDINGS

YEAR II, ISSUE 2 (9), SOFIA, BULGARIA 2018

VOLUME II
MACHINES
INDUSTRIAL INFORMATIC & MATHEMATICAL MODELING
MANAGEMENT

ISSN 2535-0021 (PRINT)
ISSN 2535-003X (ONLINE)

PUBLISHER:

**SCIENTIFIC TECHNICAL UNION OF MECHANICAL
ENGINEERING**

108, Rakovski Str., 1000 Sofia, Bulgaria
tel. (+359 2) 987 72 90,
tel./fax (+359 2) 986 22 40,
office@mtmcongress.com
www.mtmcongress.com

ИЗБОР НА ПОДАВАТЕЛНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА ПРОБИВНИ МАШИНИ С ЦИФРОВО- ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

SELECTION OF FEED DRIVES FOR DRILLING MACHINES WITH DIGITAL PROGRAM CONTROL

ВЫБОРА ПРИВодОВ ПОДАЧИ ДЛЯ ПРОБИВНЫХ МАШИИ С ЦИФРОВЫМ-ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Гл. ас. д-р инж. Жилевски М.,
Технически университет – София, България
E-mail: mzhilevski@tu-sofia.bg,

Abstract: This paper describes the selection of feed electric drives for drilling machines with digital program control. The offered methodology renders an account of the specific features of the technological process, the processed material, as well as the type of the mechanical gear used. Concrete examples have been presented, illustrating the practical application of this algorithm. The research held as well as the results obtained can be used in the development of such electric drives for the studied class of machine tools.

KEYWORDS: DRILLING MACHINES, FEED ELECTRIC DRIVE, DC AND AC MOTORS

1. Въведение

Пробивните машини се използват за механична обработка на различни видове отвори: глухи и светли, цилиндрични и профилни, гладки, стъпални, резбови и други детайли с произволна геометрия [1]. Те обикновено се съвместяват с фрезовите, като са изградени от три или повече подавателни, главно и спомагателни задвижвания.

За задвижване на координатните оси и шпиндела в металообработващите машини се използват постояннотокови и променливотокови електрозадвижвания в зависимост от изискванията, които се поставят [2, 3, 4, 5]. Системата за цифрово-програмно управление (СЦПУ) е широко използвана за управление на допълнителните спомагателни подсистеми в металообработващите машини. Това става с помощта на разработени ладер диаграми, които се въвежда в програмируемия логически контролер. Разработката на ладер диаграмите в металорежещите машини се осъществява по определен алгоритъм, представен в [6].

Подавателните електрозадвижвания при пробивните машини, както и при фрезовите се използват за позициониране на инструмента и детайла на желаното място и участват в процеса на машинна обработка [2, 3, 4]. По тази причина, тяхната позиционна точност и скорост влияят съществено върху качеството и производителността на металорежещите машини [7].

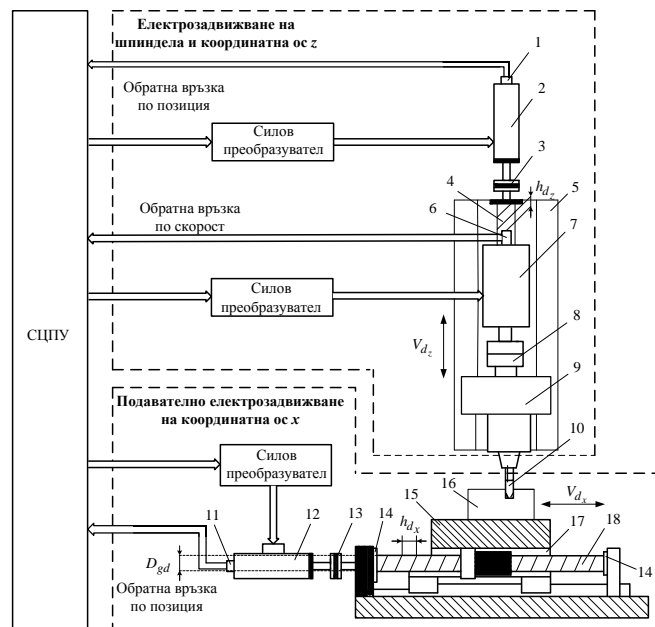
В тази статия са анализирани изискванията към електрозадвижванията на един вид пробивни машини с ЦПУ. Разработена е методика за избор на подавателни електрозадвижвания, като се вземат под внимание особеностите на процеса пробиване, вида на обработвания материал, типа на механичната предавка и други съществени фактори. Проведени са експериментални изследвания на внедрената система за електрозадвижване. Резултатите от проведените теоретични и експериментални изследвания могат да бъдат използвани при разработването на такива машини от разглеждания клас.

2. Изисквания към електрозадвижванията

Разглежданите металообработващи машини се отнасят към машините с многокоординатни електрозадвижвания. Те са изградени от три подавателни оси - x , y и z ; шпиндел; и спомагателни подсистеми, с които се осигурява правилната работа и се увеличава експлоатационният живот на машината.

На фиг. 1 са покани основните елементи при пробивните машини, като означенията са: СЦПУ – система за цифрово-програмно управление; 1- датчик на път на координатна ос z ; 2- двигател на координатна ос z ; 3 – кулиране между двигателя и сачмено винтовата двойка на координатна ос z ; 4 – сачмено винтова двойка на координатна ос z ; 5 – направляващи на координатна ос z ; 6- датчик на скорост на електрозадвижването на

шпиндела; 7 – двигател на шпиндела; 8 – кулиране между двигателя на шпиндела и скоростната кутия; 9 – скоростна кутия на шпиндела; 10 - пробивен инструмент; 11 - датчик на път на координатна ос x ; 12- двигател на координатна ос x ; 13 – кулиране между двигателя и сачмено винтовата двойка на координатна ос x ; 14 – прецизни лагери на координатна ос x ; 15 – задвижван механизъм; 16 – обработван детайл; 17 – направляващи на координатна ос x ; 18 – сачмено винтова двойка на координатна ос x ; h_{dx} , h_{dz} – стъпки на сачмено винтовата двойка съответно по координатните оси x и z ; D_{gd_x} – диаметър на сачмено винтовата двойка на координатна ос x ; V_{dx} и V_{dz} – скорост на движение на задвижвания механизъм съответно по координатните оси x и z .



Фиг. 1. Основни елементи на пробивните машини.

Изискванията към подавателните електрозадвижвания може да се формулират по следния начин [1, 8]: широк диапазон на регулиране на скоростта; добри динамични показатели; плавно регулиране на скоростта в двете посоки; висока разрешаваща способност по път; точност при зададени траекториите на движение; бързодействие; сигурност; икономичност; добри комуникационни способности; лесна експлоатационна поддръжка; осигуряване на необходимият постоянен въртящ момент за преодоляване на триенето и работните сили по време

на обработка; възможност за позициониране на малки стъпки – $1 \div 2 \mu\text{m}$ и по-малко; възможност за работа в четирите квадранта; малки електрически и механични времеконстанти.

Изискванията към главните електрозадвижения на пробивните машини могат да се обобщят по следния начин [1, 8]: висока точност при въртене; компактност; двузонно регулиране на скоростта; висока максимална скорост; висока и постоянна регулируема мощност; висока товароносимост; висока динамика; широк диапазон на скоростта поне 1:1000; възможност за ориентирано спиране с точност до десети и стотни от градуса.

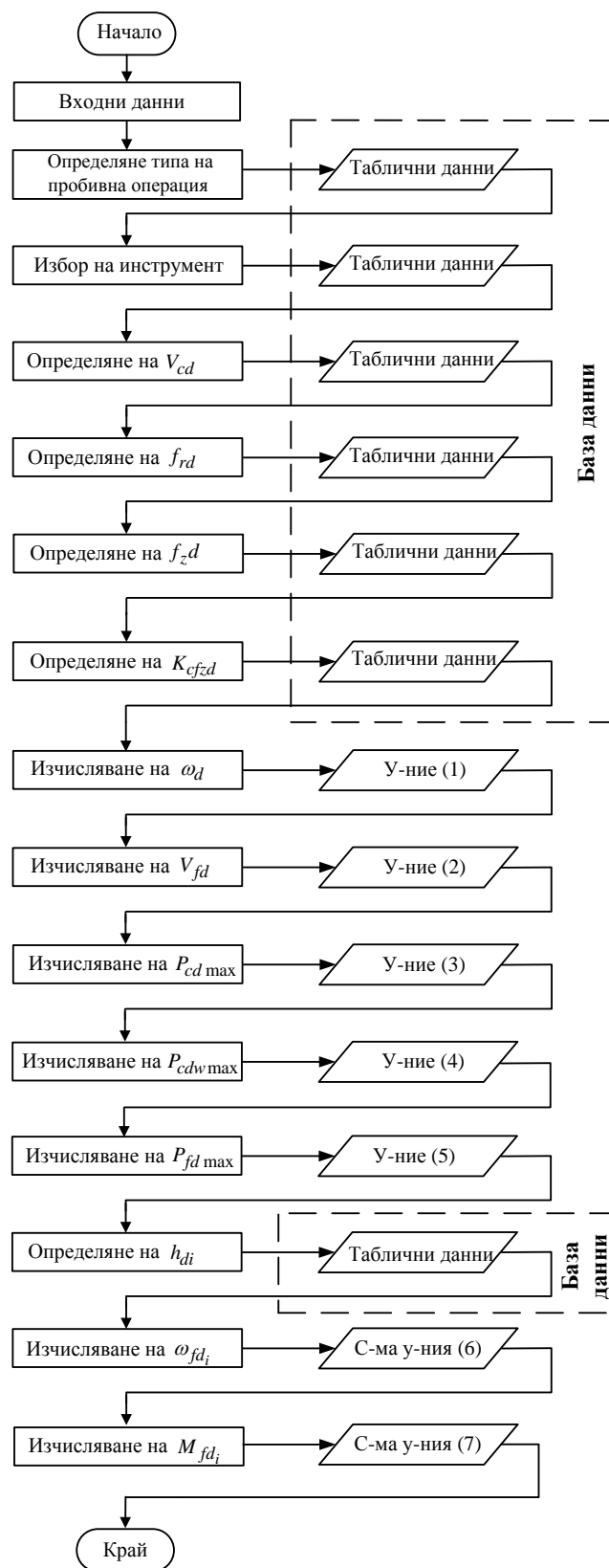
Изискванията към спомагателните електрозадвижения са свързани с: повишаване на експлоатационния живот; надеждността на работа и подобряване работата на цялата машина.

3. Методика за избор на електрозадвижане

Разработването на подходящо електрозадвижане за съответната координатна ос, както и при други класове металообработващи машини се осъществява в следната последователност: 1. Създаване на методика за избор на базата на поставените изисквания към задвижването, като се отчитат особеностите на процеса пробиване, вида на обработвания материал, параметрите на използваните инструменти и типа на механичните предавки. 2. Провеждане на съответните изчислителни процедури по методиката. 3. Извършване на технико-икономически анализ на възможните варианти, за електрозадвижане с отчитане на каталожните данни от фирми производители. 4. Съставяне на модели на електрозадвижването за компютърно симулиране. 5. Разработване на стенд за експериментални изследвания. 6. Експериментално уточняване на параметрите, необходими за моделирането. 7. Оптимизация и настройка на регулиращите контури. 8. Провеждане на изследвания посредством компютърно симулиране при различни настройки, задаващи и смущаващи въздействия. 9. Подробни експериментални изследвания в съответните динамични и статични режими на работа за оценка на действителните показатели.

Блоквата схема на методиката за избор на подавателно електрозадвижане на пробивни машини е представена на фиг. 2, където означенията са следните: D_{gd} – номинален диаметър на механичната предавка, реализирана чрез сачмено винтова двойка; $D_{cd\max}$ – максимален диаметър на инструмента, който може да бъде използван от машината; H_B – твърдост на обработвания материал по Бринел; $V_{d\max}$ – максимална скорост на движение на задвижвания механизъм; V_{cd} – скорост на рязане; ω_d – скорост на шпиндела; V_{fd} – скорост на подаване при пробиване; f_{rd} – подаване за радиан; f_{zd} – подаване за зъб на инструмента; z – брой на зъбите на инструмента; K_{cfzd} – специфична сила на рязане при подаване за зъб на инструмента; η_d – коефициент на пробивната машина; $P_{cd\max}$ – максимална мощност, разпределена между подавателното електрозадвижане и електрозадвижването на шпиндела, необходима за извършване на пробивната обработка без отчитане на износването на инструмента; $P_{cdw\max}$ – максимална мощност, разпределена между подавателното електрозадвижане и електрозадвижването на шпиндела, с отчитане на износването на инструмента; $P_{fd\max}$ – максимална необходима мощност за подавателното електрозадвижане; h_{di} – номинални стъпки при зададен номинален диаметър на сачмено винтовата двойка; ω_{fdi} – скорост на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка; M_{fdi} – момент на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка; $i = 1 \div n$, където n е броят на вариантите.

В предложената методика е използвана сачмено винтова двойка като механична предавка със зададен диаметър на винта. Проектирането и изчисляването на СВД е описано в ISO/DIN стандартите [9, 10].



Фиг. 2. Блоквата схема на алгоритъма за избор на подавателно електрозадвижане за пробивни машини.

Представената методика се отнася за избор на подавателно електрозадвижане на линейни координатни оси, такива каквито са x , y и z за разглежданите пробивни машини.

Като входни данни се задават: максимален диаметър на

инструмента, който може да използван от пробивната машина - $D_{cd\max}$; механичната предавка, реализирана със сачмено винтова двойка; най-тежкия режим на пробивна обработка; параметрите D_{gd} , H_B , η_d и $V_{d\max}$.

Скоростта на шпиндела се изчислява по следното уравнение [11]:

$$(1) \quad \omega_d = \frac{V_{cd} \times 2}{D_{cd\max}}$$

Скоростта на подаване при пробиване се изчислява по следното уравнение [11]:

$$(2) \quad V_{fd} = f_{rd} \times \omega_d$$

Максималната мощност при пробивна операция без отчитане на износването на инструмента се определя от израза [11]:

$$(3) \quad P_{cd\max} = \frac{D_{cd} \times f_{rd} \times V_{cd} \times K_{cfzd} \times \pi \times 10^6}{2\eta_d}$$

Максималната мощност при пробивна операция с отчитането на износването на инструмента се определя от израза [11]:

$$(4) \quad P_{cdw\max} = (1.1 \div 1.3) \times P_{cd\max}$$

Необходимата мощност за подавателното електрозадвигване на линейната координатна ос се изчислява по уравнението [12]:

$$(5) \quad P_{fd\max} = (1 \div 5)\% \times P_{cdw\max}$$

Със следващата система уравнения се определя скоростта на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка [13]:

$$(6) \quad \left. \begin{aligned} \omega_{fd1} &= \frac{V_{d\max} \times 2 \times \pi}{h_{d1}} \\ \vdots \\ \omega_{fdn} &= \frac{V_{d\max} \times 2 \times \pi}{h_{dn}} \end{aligned} \right\}$$

Моментът на двигателя при различните стойности на скоростта се изчислява със системата уравнения [13].

$$(7) \quad \left. \begin{aligned} M_{fd1} &= \frac{P_{fd\max}}{\omega_{fd1}} \\ \vdots \\ M_{fdn} &= \frac{P_{fd\max}}{\omega_{fdn}} \end{aligned} \right\}$$

3. Практическо приложение на методиката

При практическото прилагане на методиката за конкретна пробивна машина се отчитат типа на пробивната операция, особеностите на технологичния процес, параметрите на използвания инструмент, материала, осигуряващ най-тежкия режим на механична обработка, използваната механична предавка и максималната скорост на движение на задвижвания механизъм.

Като примери за използване на представената методика се разглежда избора на подавателно електрозадвигване на пробивни машини със среден диаметър на отворите за материали с различна твърдост. Съответните резултати от изчисленията са отразени в табл. 1.

След пресмятане по разработената методика, избраният

двигател трябва да бъде с номинална стойност на момента поне с 10 % по-голяма от получената, за да бъде компенсирано допустимото износване във времето, като този процент се уточнява експериментално.

Въведените входни данни са със следните параметри: механична предавка, реализирана със сачмено винтова двойка; $D_{gd} = 0.04$ m; максимален диаметър на инструмента, който може да използван от пробивната машина - $D_{cd\max} = 0.03$ m; $\eta_d = 0.85$; най-тежки режими на механична обработка – алуминиева сплав и ниско легирана стомана; $V_{d\max} \approx 0.5$ m/s.

Изчисленията, които са извършени по представената методика са с еднакви входни данни за материали с различна твърдост.

Табл. 1. Резултати от изчисленията.

Стъпка	Операция	Алуминиева сплав	Ниско-легирана стомана
1.	Определя се H_B .	60	150
2.	Избор на тип пробивна операция.	Със среден диаметър на отворите	Със среден диаметър на отворите
3.	Избор на инструмент.	CoroDrill 880	CoroDrill 880
4.	Определя се V_{cd} .	≈ 3.83 m/s	≈ 3.16 m/s
5.	Определя се f_{rd} .	1.9×10^{-5} m/rad	1.59×10^{-5} m/rad
6.	Определя се f_{zd} .	0.4×10^{-3} m/z	0.4×10^{-3} m/z
7.	Определя се K_{cfzd} .	500 MPa	2100 MPa
8.	Изчислява се ω_d .	≈ 255.56 rad/s	≈ 210.67 rad/s
9.	Изчислява се V_{fd} .	$\approx 4.85 \times 10^{-3}$ m/s	$\approx 3.34 \times 10^{-3}$ m/s
10.	Изчислява се $P_{cd\max}$.	≈ 2016.16 W	≈ 5846.63 W
11.	Изчислява се $P_{cdw\max}$.	≈ 2419.32 W	≈ 7015.96 W
12.	Изчислява се $P_{fd\max}$.	≈ 120.96 W	≈ 350.8 W
13.	Определя се h_{di} , ($i = 1 \div 4$).	$h_{d1} = 0.005$ m $h_{d2} = 0.01$ m $h_{d3} = 0.02$ m $h_{d4} = 0.04$ m	$h_{d1} = 0.005$ m $h_{d2} = 0.01$ m $h_{d3} = 0.02$ m $h_{d4} = 0.04$ m
14.	Изчислява се ω_{fdi} , ($i = 1 \div 3$).	$\omega_{fd1} \approx 628$ rad/s $\omega_{fd2} \approx 314$ rad/s $\omega_{fd3} \approx 157$ rad/s $\omega_{fd4} \approx 78.5$ rad/s	$\omega_{fd1} \approx 628$ rad/s $\omega_{fd2} \approx 314$ rad/s $\omega_{fd3} \approx 157$ rad/s $\omega_{fd4} \approx 78.5$ rad/s
15.	Изчислява се M_{fdi} , ($i = 1 \div 3$).	$M_{fd1} \approx 0.193$ Nm $M_{fd2} \approx 0.385$ Nm $M_{fd3} \approx 0.77$ Nm $M_{fd4} \approx 1.54$ Nm	$M_{fd1} \approx 0.56$ Nm $M_{fd2} \approx 1.12$ Nm $M_{fd3} \approx 2.24$ Nm $M_{fd4} \approx 4.48$ Nm

След пресмятане по разработената методика, със системите уравнения (8) и (9) са изчислени и съответните номинални стойности на момента на двигателя, за зададените във входните данни материали с различна твърдост:

- при обработка на алуминиева сплав:

$$(8) \quad \begin{cases} M_{fd1nom} \approx 1.1 \times M_{fd1} \approx 0.21 \text{ Nm}; \\ M_{fd2nom} \approx 1.1 \times M_{fd2} \approx 0.42 \text{ Nm}; \\ M_{fd3nom} \approx 1.1 \times M_{fd3} \approx 0.85 \text{ Nm}; \\ M_{fd4nom} \approx 1.1 \times M_{fd4} \approx 1.69 \text{ Nm}. \end{cases}$$

- при обработка на ниско-легирана стомана:

$$(9) \quad \begin{cases} M_{fd1nom} \approx 1.1 \times M_{fd1} \approx 0.62 \text{ Nm}; \\ M_{fd2nom} \approx 1.1 \times M_{fd2} \approx 1.23 \text{ Nm}; \\ M_{fd3nom} \approx 1.1 \times M_{fd3} \approx 2.46 \text{ Nm}; \\ M_{fd4nom} \approx 1.1 \times M_{fd4} \approx 4.93 \text{ Nm}. \end{cases}$$

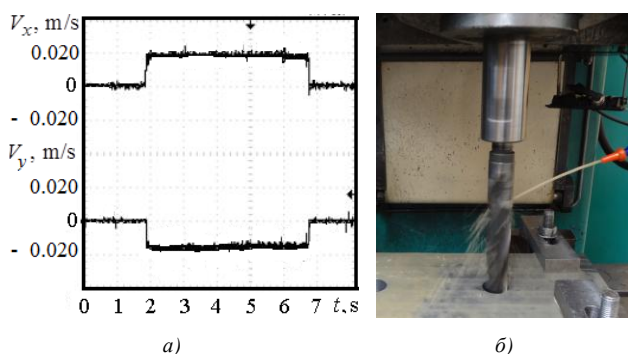
След извършените пресмятания за двата материала и отчитане на допустимото износване във времето, са избрани електрозадвижвания с постояннотоков и синхронен двигател, като някои от получените резултати са представени в табл. 2.

Табл. 2. Някои резултати от избора на електрозадвижване.

При обработка на алуминиева сплав е избрано подавателно електрозадвижване със синхронен двигател с параметри [14, 15, 16]: - сачмено винтова двойка с диаметър 0.04 m и стъпка 0.02 m; - синхронен двигател модел DT5-3-10 със следните номинални данни: $M_{fnom} = 2.4 \text{ Nm}$, $\omega_{fnom} = 418.68 \text{ rad/s}$ с включен енкодер - тип резолвер за обратна връзка; - силов преобразувател модел KW2.
При обработка на ниско легирана стомана е избрано постояннотоково електрозадвижване със следните параметри [16, 17, 18]: - сачмено винтова двойка с диаметър 0.04 m и стъпка 0.04 m; - постояннотоков двигател модел ЗР112.18 със следните номинални данни: $M_{fnom} = 7 \text{ Nm}$, $\omega_{fnom} = 209.34 \text{ rad/s}$; - силов преобразувател модел SA -12; - енкодер – тип фоторастеров преобразувател модел 7 L с резолюция 2500 импулса/об.

4. Експериментални изследвания

На базата на формулираните изисквания и разработената методика, са избрани и внедрени постояннотокови електрозадвижвания по координатни оси и шпиндела в пробивна машина от разглеждания клас.



Фиг. 3. Практическа реализация.

На фиг. 3а са представени осцилограми, получени при премествания в положителна посока по ос x и отрицателна по координата y . На фиг. 3б е представен процесът на пробиване при машина от разглеждания клас.

5. Заключение

Анализирани са изискванията към задвижванията на пробивните машини с цифрово- програмно управление.

Предложена е методика за избор на подавателни електро-

задвижвания за тези машини, удовлетворяващи съответните изисквания. Разработеният алгоритъм отчита специфичните особености на технологичния процес, вида на обработвания материал, типа използваната механична предавка и други. Практическото приложение на методиката е представено с пресмятане за материали с различна твърдост.

Проведените изследвания и получените резултати от тях може да се използват при разработването на подавателни електрозадвижвания за разглеждания клас машини с цифрово- програмно управление.

Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Научноизследователски проект „Перспективни ръководители“ на ТУ – София № 181ПР0003-08/2018.

Литература

[1] Попов, Г., *Металорежещи машини, част I: Приложимост, устройство и управление, Книга втора*, Технически университет – София, София, 2010, ISBN 978-954-438-766-2.

[2] Mikhov M., M. Zhilevski, Performance Improvement of a Type of Milling Machines, *Proceedings of the International Conference “Research and Development in Mechanical Industry”*, Vol. 1, pp. 218-227, Kopaonik, Serbia, 2013, ISBN 978-86-6075-042-8.

[3] Mikhov M., M. Zhilevski, Analysis of a Multi-Coordinate Drive System Aiming at Performance Improvement, *Proceedings of the International Conference “Research and Development in Mechanical Industry”*, Vol. 2, pp. 1102-1107, Vrnjacka Banja, Serbia, 2012, ISBN 978-86-6075-037-4.

[4] Жилевски М., М. Михов, Изследване на подавателни електрозадвижвания за клас металорежещи машини, *Научни известия на HTC по машиностроене*, №. 8, 105-108, 2016, ISSN 1310-3946.

[5] Zhilevski, M., M. Mikhov, Study of Two-Coordinate Electric Drives of Turning Machines, *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 5, Issue 6, pp. 29-34, 2018, ISSN: 2394-3661.

[6] Жилевска, М., Модернизация на клас фрезови машини, *Технически университет – Габрово*, Дисертация, 2017.

[7] Altintas, Y., A. Verl, C. Brecher, L. Uriarte, G. Pritschow, Machine Tool Feed Drives, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 60, No. 2, pp. 779 -796, 2011, ISSN: 0007-8506.

[8] Михов, М., *Системи за електрозадвижване*, Технически университет – София, София, 2011, ISBN 978-954-438-922-2.

[9] DIN 69051-3: Werkzeugmaschinen; Kugelgewindetriebe; Abnahmebedingungen und Abnahmeprüfungen, 1998.

[10] DIN69051-4: Kugelgewindetriebe–Berechnung der statischen und dynamischen Tragzahl sowie der Lebensdauer, Entwurf April 1989.

[11] Sandvik Coromant, *Metalcutting Technical Guide: Turning, Milling, Drilling, Boring, Toolholding*, Sandvik, 2005.

[12] Андонов, И., *Рязане на метали*, Софттрейд, София, 2001, ISBN 954-9725-52-9.

[13] Braittinger, H., *Elektrische Antriebstechnik*, AMK Arnold Müller, 2004.

[14] AMKASYN, Servo Drives KE/KW, *AMK Catalogue*, 2014.

[15] DYNASYN, Servo Motors DT and DP, *AMK Catalogue*, 2014.

[16] Precision Ball Screw Assemblies, *Rexroth Bosch Group, Catalogue*, 2009.

[17] SERVOMOTORS, *GAMA MOTORS Catalogue*, 2014.

[18] <http://www.zgpu-group.com/archives/category/sensors>.