



ISSN 1311-0829

ГОДИШНИК НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ

том 69, книга 2, 2019

МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ АВТОМАТИКА'2019, ФА
ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА
31.05-3.06.2019, Созопол, България



PROCEEDINGS OF TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA

Volume 69, Issue 2, 2019

INTERNATIONAL CONFERENCE AUTOMATICS'2019, FA
FACULTY OF AUTOMATICS
31.05-3.06.2019, Sozopol, Bulgaria

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

главен редактор

проф. дТН Емил НИКОЛОВ

зам. главен редактор

проф. дТН Елена ШОЙКОВА

членове

проф. дТН Георги ПОПОВ

проф. дТН Иван КОРОБКО

проф. дФН Иван УЗУНОВ

проф. дТН Иван ЯЧЕВ

проф. дТН Кети ПЕЕВА

проф. дТН Ганчо БОЖИЛОВ

проф. дТН Евелина ПЕНЧЕВА

проф. д.и.н. Младен ВЕЛЕВ

проф. д-р Бончо БОНЕВ

проф. д-р Иво МАЛАКОВ

проф. д-р Огнян НАКОВ

секретар-организатор

инж. Мая СТОЙЧЕВА

EDITORIAL BOARD

Editor -in -Chief

Prof. D.Sc. Emil NIKOLOV

Editor -in -Vice -Chief

Prof. D.Sc. Elena SHOYKOVA

Editors

Prof. D.Sc. Georgi POPOV

Prof. D.Sc. Ivan KOROBKO

Prof. D.Sc. Ivan UZUNOV

Prof. D.Sc. Ivan YACHEV

Prof. D.Sc. Keti PEEVA

Prof. D.Sc. Gantcho BOJILOV

Prof. D.Sc. Evelina PENCHEVA

Prof. D.Sc. Mladen VELEV

Prof. Ph.D. Boncho BONEV

Prof. Ph.D. Ivo MALAKOV

Prof. Ph.D. Ognyan NAKOV

Organizing Secretary

Eng. Maya STOYCHEVA

Технически университет-София
София 1000, бул. "Кл. Охридски" 8
България <http://tu-sofia.bg>

Technical University of Sofia
Sofia, 1000, boul. Kliment Ohridski 8
Bulgaria <http://tu-sofia.bg>



© Технически Университет-София
© Technical University of Sofia
All rights reserved

ISSN 1311-0829

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА

форум

„ДНИ НА НАУКАТА НА ТУ-СОФИЯ“ Созопол'2019

МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ

АВТОМАТИКА'2019, ФА

Созопол 31.05-3.06.2019

ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

почетен председател

проф. д-р Емил Николов (BG)

председател

доц. д-р Нина Николова (BG)

членове

проф. д-р	Петко Петков	(BG), проф. д-р	Хасан Абуайса	(FR)
проф. д-р	Тодор Йонков	(BG), проф. д-р	Даниел Жоли	(FR)
проф. д-р	Снежана Йорданова	(BG), проф. д-р	Жил Гонкалвес	(FR)
проф. д-р	Валери Младенов	(BG), проф. д-р	Николай Христов	(FR)
проф. д-р	Емил Гарипов	(BG), проф. д-р	Стефан Козак	(SK)
проф. д-р	Пламен Цветков	(BG), проф. д-р	Алена Козакова	(SK)
проф. д-р	Живко Георгиев	(BG), проф. д-р	Даница Росинова	(SK)
проф. д-р	Михо Михов	(BG), доц. д-р	Снежана Терзиева	(BG)
доц. д-р	Васил Гълъбов	(BG), доц. д-р	Теофана Пулева	(BG)

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

председател

доц. д-р Владислав Славов

зам. председател

гл. ас. д-р Антония Панделова

членове

гл. ас. д-р Владимир Христов

доц. д-р Станислав Енев

ТЕХНИЧЕСКИ КОМИТЕТ

координатор

гл. ас. д-р Антония Панделова

системен администратор

гл. ас. д-р Александър Маринчев

организационен секретар

инж. маг. Мая Стойчева

TECHNICAL UNIVERSITY - SOFIA

FACULTY OF AUTOMATICS

Forum

„DAYS OF SCIENCE OF TU-SOFIA“ Sozopol'2019

FACULTY OF AUTOMATICS

INTERNATIONAL CONFERENCE

AUTOMATICS'2019, FA

31.05-3.06.2019, Sozopol, Bulgaria

PROGRAM COMMITTEE

honorable chair of PC

Prof. DSc Emil Nikolov (BG)

chair of PC

Assoc. Prof. PhD Nina Nikolova (BG)

members of PC

Prof.	DSc	Petko	Petkov	(BG),	Prof.	DSc	Hassane	Abouaïssa	(FR)
Prof.	PhD	Todor	Ionkov	(BG),	Prof.	DSc	Daniel	Jolly	(FR)
Prof.	DSc	Snejana	Yordanova	(BG),	Prof.	DSc	Gilles	Gonçalves	(FR)
Prof.	PhD	Valeri	Mladenov	(BG),	Prof.	DSc	Nicolai	Christov	(FR)
Prof.	PhD	Emil	Garipov	(BG),	Prof.	DSc	Stefan	Kozak	(SK)
Prof.	PhD	Plamen	Tzvetkov	(BG),	Prof.	DSc	Alena	Kozáková	(SK)
Prof.	PhD	Jivko	Georgiev	(BG),	Prof.	DSc	Danica	Rosinova	(SK)
Prof.	PhD	Mikho	Mikhov	(BG),	Assoc.Prof.	PhD	Snejana	Terzieva	(BG)
Assoc.Prof.	PhD	Vasil	Galabov	(BG)	Assoc.Prof.	PhD	Teofana	Puleva	(BG)

ORGANIZING COMMITTEE

chair of OC

Assoc. Prof. PhD Vladislav Slavov

vice chair of OS

Assist. Prof. PhD Antonia Pandelova

members of OC

Assist. Prof. PhD Vladimir Hristov

Assoc. Prof. PhD Stanislav Enev

TECHNICAL COMMITTEE

coordinator

Assist. Prof. PhD Antonia Pandelova

system administrator

Assist. Prof. PhD Alexandar Marinchev

organizing secretary

Emg. Mag. Maya Stoycheva

СЪГЛАСУВАНЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯТА ПРИ ПРОБИВНИ МАШИНИ С ЦИФРОВО-ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Марин Жилевски

Резюме: В статията се описва алгоритъм за съгласуване на внедрената система за електрозадвижване на клас пробивни машини с цифрово-програмно управление. На базата на специализиран софтуер е разработен геометричен модел на обработвания детайл, генерирана е траекторията на използвания инструмент, формиран е необходимия код за машината и получената програма е въведена в машината за изпълнение. Представен е конкретен пример, илюстриращ практическото приложение на предложения алгоритъм. Проведените изследвания и получените резултати може да се използват при модернизацията на разглеждания клас металообработващи машини.

Ключови думи: пробивни машини, геометричен модел, съгласуване на задвижвания

COORDINATION OF THE DRIVES IN DRILLING MACHINES WITH DIGITAL PROGRAM CONTROL

Marin Zhilevski

Abstract: An algorithm for coordination of the implemented electric drive system in a class of drilling machines with digital program control has been described in this paper. Based on specialized software a geometrical model of the processed workpiece has been developed, trajectory of the used tool has been generated, the necessary code for the machine has been formed and the developed program has been input into the machine for execution. Actual example has been presented illustrating the practical implementation of the offered algorithm. Studies carried out and the results obtained can be used in modernization of the considered class of machine tools.

Keywords: drilling machines, geometrical model, coordination of drives

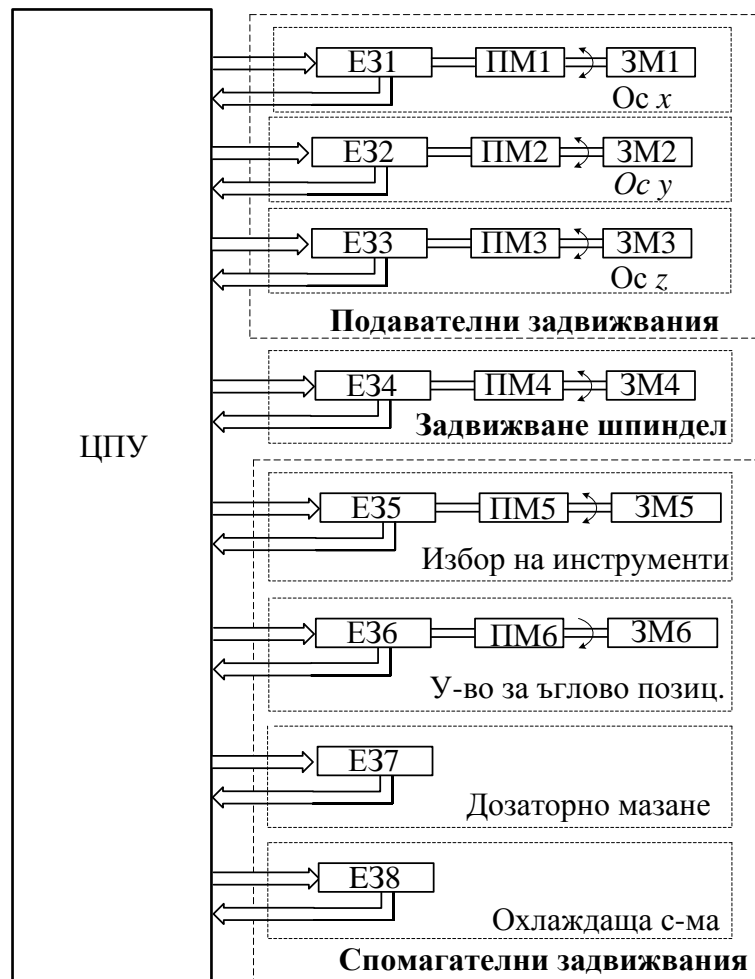
1. ВЪВЕДЕНИЕ

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

За задвижване на координатните оси и шпиндела се използват постояннотокови и променливотокови електрозадвижвания [2, 3, 4, 5]. Системата за цифрово-програмно управление (СЦПУ) е широко използвана за управление на допълни-

телните спомагателни подсистеми. Това става с помощта на разработени ладер диаграми, които се въвежда в програмируемия логически контролер. Разработката на ладер диаграмите в се осъществява по определен алгоритъм, представен в [6].

При модернизацията на клас пробивни машини се въвежда устройство за ъглово позициониране на детайла. Целта е да се увеличат производителността и функционалните възможности на машините, да се осигури възможност за обработка на детайли със значително по-сложна геометрична форма и да бъде осигурен значително по-евтин вариант от въртящите се маси.



Фиг.1. Блокова схема на многокоординатната система за електрозадвижване.

Блоковата схема на системата за електрозадвижване за разглеждания клас пробивни машини е представена на фиг.1, където използваните означения са: ЦПУ – устройство за цифрово-програмно управление; E31 – електрозадвижване на координатната ос x; E32 – електрозадвижване на координатната ос y; E33 – електрозадвижване на координатната ос z; E34 – електрозадвижване на шпиндела; E35 – електрозадвижване свързано с избора на инструменти; E36 – електрозадвижване на устройството за ъглово позициониране на детайла; E37 – електрозадвижване на подсистемата на дозаторно мазане; E38 – електрозадвижване на охлаждащата система; ПМ1 ÷ ПМ6 – предавателни механизми на съответните електрозадвижвания; ЗМ1 ÷ ЗМ6 – задвижвани механизми.

При практическото използване на пробивните машини от съществено значение е да бъде извършено прецизно съгласуване на изчислената и внедрена система за електрозадвижване.

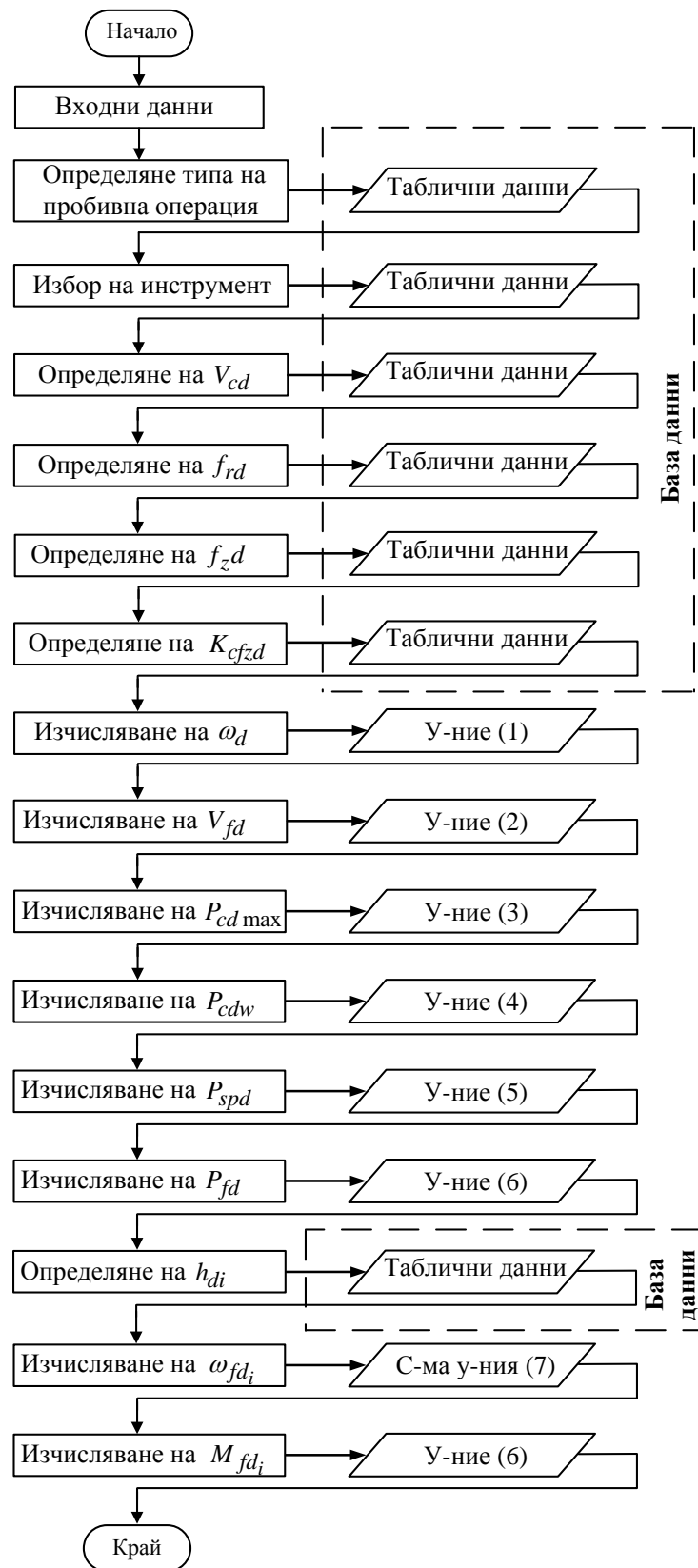
Основните изисквания, които трябва да бъдат отчетени при разработването на алгоритъма за съгласуване на задвижванията са следните: проверка на използваната многокоординатна система за електрозадвижване за възможността за механична обработка на зададения детайл; осигуряване на максимално бързодействие с използване на подходящи движения и алгоритми; отчитане на работните ходове на машината; избор на инструмент и скорост на рязане.

2. ИЗБОР НА СИСТЕМА ЗА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ

Блоковата схема на алгоритъма за избор на подавателно и главно електрозадвижвания за пробивни машини е представена на фиг. 2. Използваните означения са следните: D_{gd} – номинален диаметър на механичната предавка, реализирана със 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 електрозадвижване и електрозадвижването на шпиндела, необходима за извършване на пробивната обработка без отчитане на износването на инструмента; P_{cdw} – мощност, разпределена между подавателното електрозадвижване и електрозадвижването на шпиндела, с отчитане на износването на инструмента; P_{fd} – необходима мощност за подавателното електрозадвижване; P_{spd} – необходима мощност за главното електрозадвижване; h_{di} – номинални стъпки при зададен номинален диаметър на сачмено винтовата двойка; ω_{fd_i} – скорост на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка; M_{fd_i} – момент на търсеният 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 [7, 8].

Като входни данни се задават: $D_{cd \max}$; механичната предавка, реализирана със сачмено винтова двойка; най-тежкия режим на пробивна обработка; параметрите D_{gd} , H_B , η_d и $V_{d \max}$.



Фиг.2. Блокова схема на алгоритъма за избор на електрозадвижвания.

Скоростта на шпиндела се изчислява със следното уравнение [9]:

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

Скоростта на подаване при пробиване се изчислява по уравнението [9]:

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

Максималната мощност при пробивна операция без отчитане на износването на инструмента се определя от израза [9]:

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

Максималната мощност при пробивна операция с отчитането на износването на инструмента се определя от следния израз [9]:

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

Необходимата мощност за подавателното електрозадвижване на линейната координатна ос се изчислява по уравнението [10]:

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

Необходимата мощност за главното електрозадвижване се изчислява от израза [10]:

$$P_{spd} = (95 \div 99)\% \times P_{cdw}. \quad (6)$$

Със следващата система уравнения се определя скоростта на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка [11]:

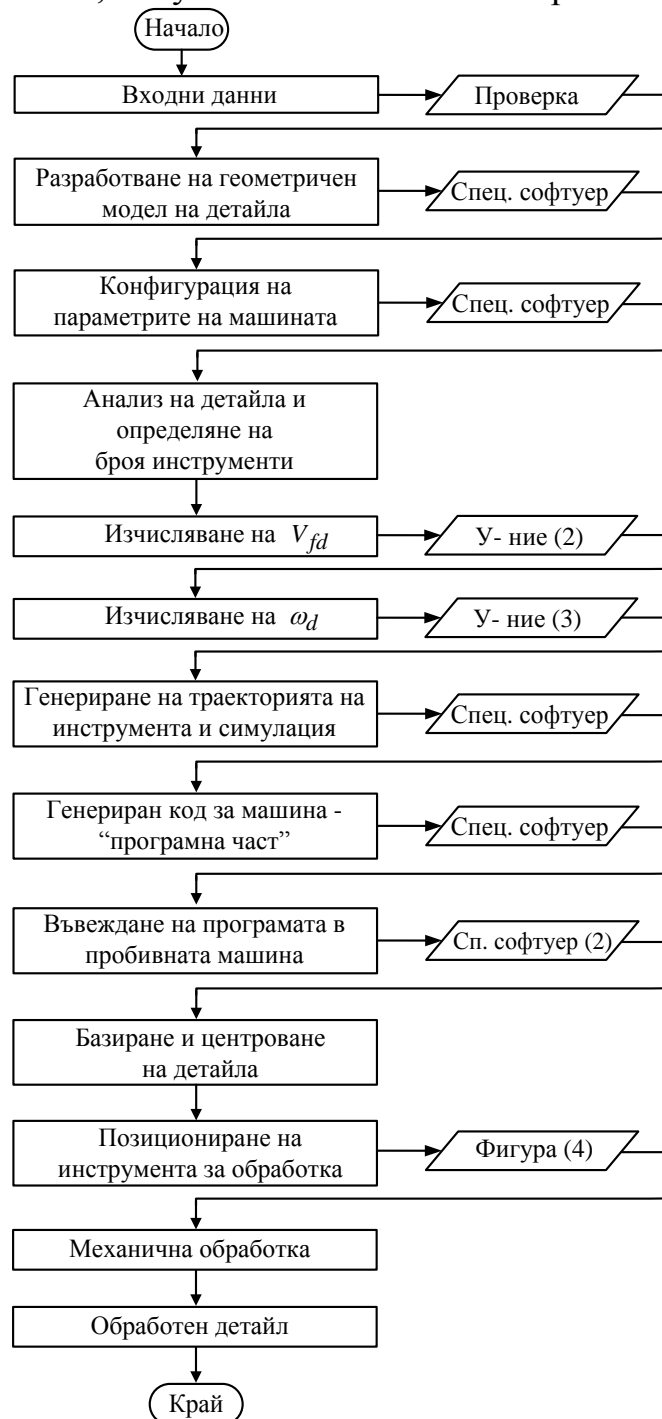
$$\left. \begin{aligned} \omega_{fd_1} &= \frac{V_{d \max} \times 2 \times \pi}{h_{d1}} \\ \vdots \\ \omega_{fd_n} &= \frac{V_{d \max} \times 2 \times \pi}{h_{dn}} \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Моментът на двигателя при различните стойности на скоростта се изчислява със системата уравнения [11].

$$\left. \begin{aligned} M_{fd_1} &= \frac{P_{fd \max}}{\omega_{fd_1}} \\ \vdots \\ M_{fd_n} &= \frac{P_{fd \max}}{\omega_{fd_n}} \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

3. ОСОБЕНОСТИ НА АЛГОРИТЪМА ЗА СЪГЛАСУВАНЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯТА

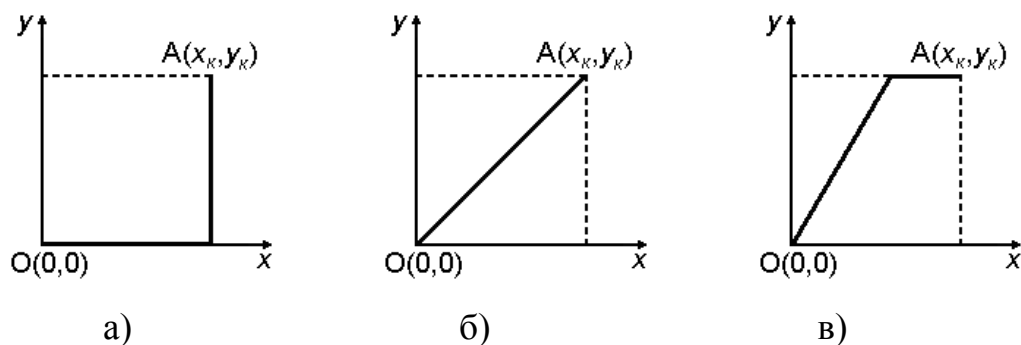
Блокова схема на разработения алгоритъм е представена на фиг.3. Като входни данни се въвеждат: вид механична обработка и тип на материала; данни свързани с детайла – габаритни размери и диаметър на отворите; параметри на инструментите, които ще извършва механичната обработка. След въвеждане на входните данни се извършва проверка на параметрите на машината по следната последователност: отчитат се работните ходове спрямо габаритните размери на обработвания детайл; сравняват се параметрите на внедрената система за електрозадвижване с изчислената, получена на базата на алгоритъма от фиг.2.



Фиг.3. Блокова схема на алгоритъма за съгласуване на задвижванията.

Използваните в алгоритъма специализирани софтуерни продукти се отнасят до: разработване на геометричен модел на детайла; генериране траекторията на инструмента и „програмната част“ на машината; въвеждане в металообработващата машина.

След изчисляване на необходимите параметри, следващата стъпка от алгоритъма е базирането, центроването на детайла и съобразяване с координатите на машината.



Фиг.4. Движение при различни алгоритми за позиционно управление.

Позиционирането на детайла и инструмента се осъществява посредством подходящи алгоритми за двукоординатно позиционно управление [5], представени на фиг.4, с което се обезпечават изискваните показатели точност, бързодействие и производителност.

Последната стъпка от разработеният алгоритъм е извършването на механичната обработка и получаване на обработения детайл.

4. ПРАКТИЧЕСКО ПРИЛОЖЕНИЕ НА АЛГОРИТЪМА

Практическото приложение на алгоритъма от фиг.3, е илюстрирано посредством разработване на детайл с практическо приложение.

Въведените входни данни са следните: вид обработван материал – алуминиева сплав; данни свързани с детайла: габаритни размери – 0.185 m x 0.520 m x 0.003 m; диаметри на отворите - \varnothing 0.032 m , \varnothing 0.042 m , \varnothing 0.084 m , \varnothing 0.016 m , \varnothing 0.030 m , \varnothing 0.06 m; вид механична обработка – пробиване; диаметри на инструментите участващи в разработването на пулта (D_c) – \varnothing 0.003.2 m, \varnothing 0.004.2 m, \varnothing 0.008 m, \varnothing 0.008.4 m, \varnothing 0.0016 m.

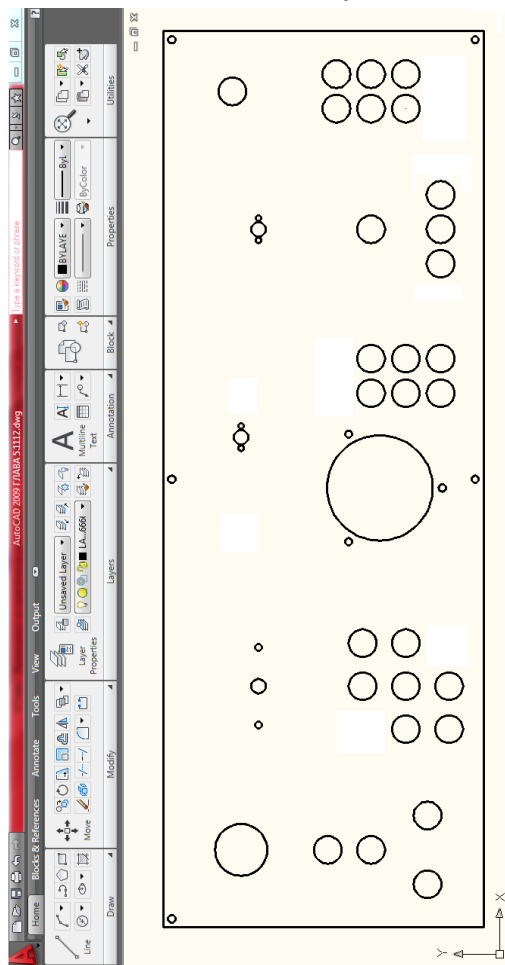
След извършена пресмятания на базата на методиката от фиг.2, са избрани електрозадвижвания със следните номинални параметри на двигателите: $M_f = 3.5 \text{ Nm}$, $\omega_f = 209.34 \text{ rad/s}$ – за подавателните електрозадвижвания; $P_{nom} = 6 \text{ kW}$, $\omega_f = 209.34 \text{ rad/s}$ – за главното електрозадвижване.

Следващата стъпка от представения алгоритъм е разработването на геометричен модел на детайла, представен на фиг. 5a чрез използване на специализиран софтуер – в случая AUTOCAD 2009.

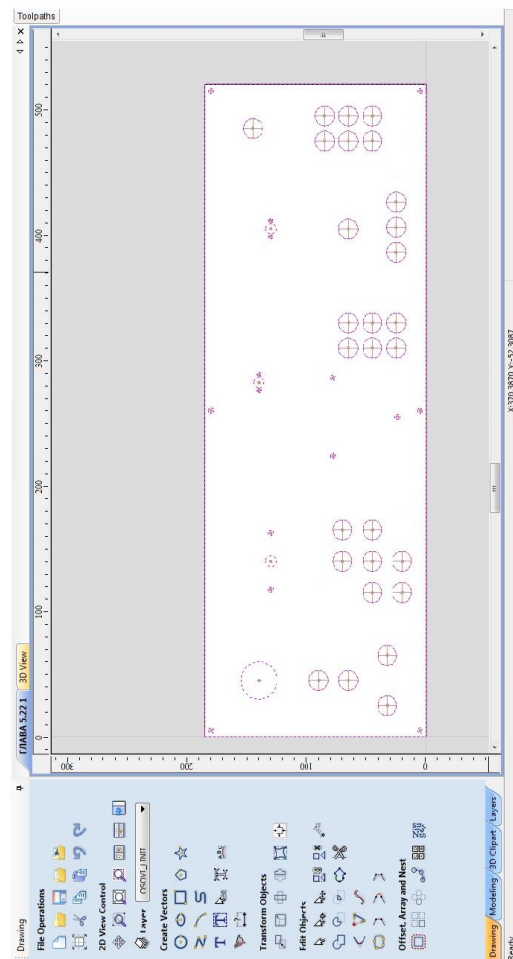
Генерирането на коректна „програмна част“ за машината изисква изчисляване на скоростите на шпиндела и подаването при различните диаметри. При пробиването с диаметър \varnothing 0.016 m са изчислени:

- скоростта на шпиндела: $\omega_d = \frac{V_{cd} \times 2}{D_{cd \max}} \approx 204 \text{ rad/s}$;

- скоростта на подаване: $V_{fd} = f_{rd} \times \omega_d \approx 4.44 \text{ m/s}$.



a)



б)

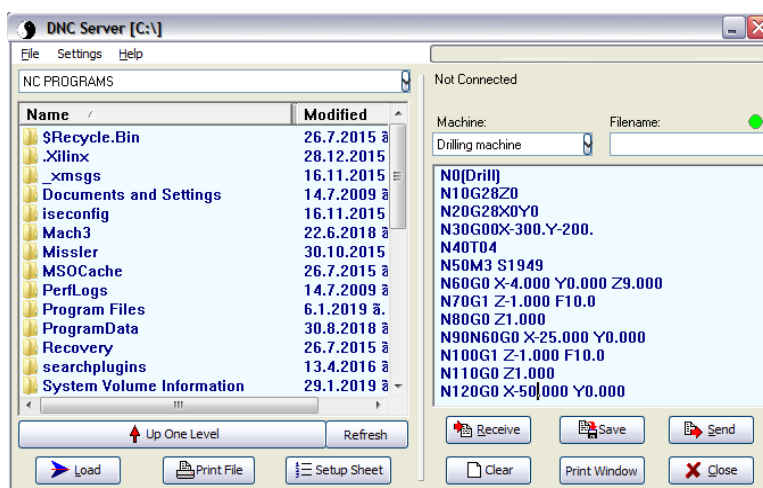
Фиг.5. Геометричен модел на детайла и траектория на инструмента.

Разработения в AUTOCAD модел се въвежда в специализиран софтуер- ASPIRE VECTRIC, за да бъде генериране траекторията на инструмента. Преминава през следните етапи: задават се вида на обработвания материал и габаритните му размери; вида на операцията и параметрите на инструмента; избира се желания контур, който ще се обработва; задава се команда за генериране на траектория на инструмента; генериране на траектория на инструмента, показана на фиг. 5б с червена линия.

След извършване на необходимите стъпки, програмата ASPIRE VECTRIC генерира необходимия код за обработка на машинен език, наречен „програмна част“, който описва траекторията на инструмента и има следния вид:

```
N0G90
N10T04
N20M3 S1949
N30G0 X-4.000 Y0.000 Z9.000
N40G1 Z-1.000 F10.0
N50G0 Z1.000
```

На фиг.6 е представен специализиран софтуер, чрез който генерираната програмна част се въвежда в паметта на машината.



Фиг.6. Въвеждане на „програмната част“ чрез специализиран софтуер.

След въвеждане на програмата в машината, се извършват последователно етапите на базиране, центроване на детайла и последвалата механична обработка до получаване на зададения контур.



Фиг.7. Обработен „Пулт за управление“ за машина от разглеждания клас.

Обработеният детайл е „пулт за управление“, внедрен в машина от разглеждания клас, като той е показан на фиг.7 с монтирани върху него необходимите бутони, галетни превключватели и импулсен генератор.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формулирани са изискванията, които трябва да бъдат отчетени при съгласуване на електрозадвижванията на пробивни машини с ЦПУ.

Показана е методика за избор на подавателни и главни електрозадвижвания за разглеждания клас машини.

Предложен е алгоритъм за координиране на съответните задвижвания, при който се отчитат специфичните особености на технологичния процес, вида на обработвания материал, параметрите на използвания инструмент, механичната предавка и други фактори. На базата на специализиран софтуер се разработва геометричен модел на обработвания детайл, генерира се траекторията на инст-

румента, формира се необходимия код за машината и получената програма се въвежда в машината за изпълнение.

Представен е пример като практическо приложение на разработения алгоритъм с обработка на конкретен детайл.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Научноизследователски проект „Перспективни ръководители“ на ТУ – София № 191ПР0002-08/2019.

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 НТС 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] DIN 69051-3: Werkzeugmaschinen; Kugelgewindetriebe; Abnahmebedingungen und Abnahmeprüfungen, 1998.
- [8] DIN69051-4: Kugelgewindetriebe–Berechnung der statischen und dynamischen Tragzahl sowie der Lebensdauer, Entwurf April 1989.
- [9] Sandvik Coromant, *Metalcutting Technical Guide: Turning, Milling, Drilling, Boring, Toolholding*, Sandvik, 2005.
- [10] Андонов, И., *Рязане на металите*, Софттрейд, София, 2001, ISBN 954-9725-52-9.
- [11] Braitinger, H., *Elektrische Antriebstechnik*, AMK Arnold Müller, 2004.

Автор: Марин Милков Жилевски, гл. ас. д-р инж., катедра „Автоматизация на електрозадвижванията“, Факултет Автоматика, Технически университет-София, E-mail address: mzhilevski@abv.bg

Постъпила на 04.04.2019 г.

Рецензент: проф. д-р Михо Михов