

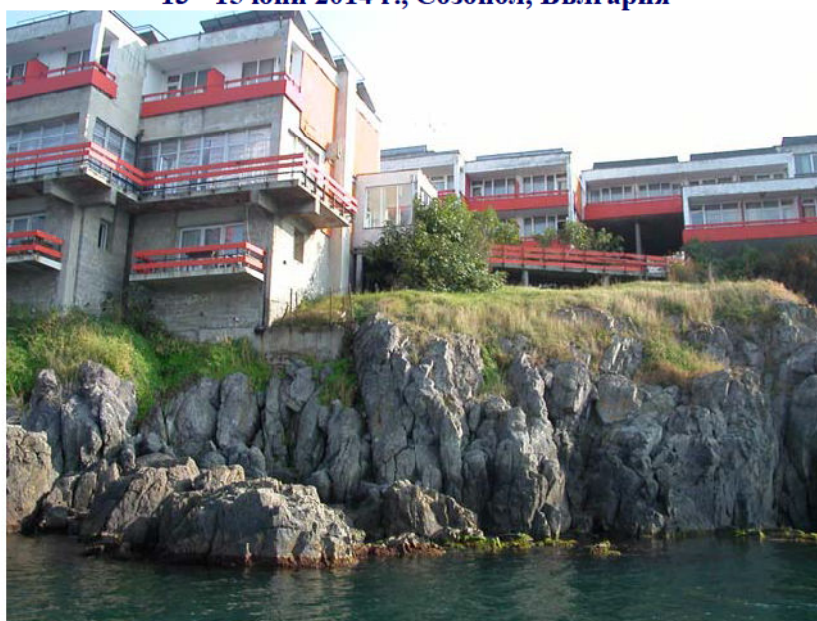


ISSN 1311-0829

# ГОДИШНИК НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ

## Том 64, книга 1, 2014

МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ АВТОМАТИКА'2014, ФА  
юбилей "40 ГОДИНИ ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА"  
13 - 15 юни 2014 г., Созопол, България



# PROCEEDINGS OF TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA

## Volume 64, Issue 1, 2014

INTERNATIONAL CONFERENCE AUTOMATICS'2014, FA  
Anniversary "40 YEARS FACULTY OF AUTOMATICS "  
June 13 - 15, 2014, 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. д-р Бончо БОНЕВ

проф. д-р Евелина ПЕНЧЕВА

проф. д-р Иво МАЛАКОВ

проф. д-р Младен ВЕЛЕВ

проф. д-р Огнян НАКОВ

### секретар-организатор

инж. Мария ДУХЛЕВА

## 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. Ph.D. Boncho BONEV

Prof. Ph.D. Evelina PENCHEVA

Prof. Ph.D. Ivo MALAKOV

Prof. Ph.D. Mladen VELEV

Prof. Ph.D. Ognyan NAKOV

### Organizing Secretary

Eng. Maria DUHLEVA

*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'2014

юбилей  
“40 ГОДИНИ ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА“

### МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ

## АВТОМАТИКА'2014, ФА

Созопол 13.06. - 15.06.2014

#### ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

*председател*

**Емил Николов** (BG)

*зам. председател*

**Годор Йонков** (BG)

*членове*

<b>Петко</b>	<b>Петков</b>	(BG)	<b>Снежана</b>	<b>Терзиева</b>	(BG)
<b>Снежана</b>	<b>Йорданова</b>	(BG)	<b>Хасан</b>	<b>Абуайса</b>	(FR)
<b>Валери</b>	<b>Младенов</b>	(BG)	<b>Даниел</b>	<b>Жоли</b>	(FR)
<b>Емил</b>	<b>Гарипов</b>	(BG)	<b>Жил</b>	<b>Гонкалвес</b>	(FR)
<b>Пламен</b>	<b>Цветков</b>	(BG)	<b>Иван</b>	<b>Калайков</b>	(SE)
<b>Живко</b>	<b>Георгиев</b>	(BG)	<b>Николай</b>	<b>Христов</b>	(FR)
<b>Михо</b>	<b>Михов</b>	(BG)	<b>Алена</b>	<b>Козакова</b>	(SK)
<b>Васил</b>	<b>Гълъбов</b>	(BG)	<b>Даница</b>	<b>Росинова</b>	(SK)

#### ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

*председател*

**Александър Ишев**

*зам. председател*

**Станислав Енев**

*членове*

**Симона Филипова-Петракиева**

**Евтим Йончев**

**Цоньо Славов**

**Антония Панделова**

#### ТЕХНИЧЕСКИ КОМИТЕТ

*координатор*

**Станислав Енев**

*системен администратор*

**Георги Ценов**

*организационен секретар*

**Мария Духлева**

# TECHNICAL UNIVERSITY - SOFIA FACULTY OF AUTOMATICS

Forum

„DAYS OF SCIENCE OF TU-SOFIA“ Sozopol'2014

Anniversary

“40 YEARS FACULTY OF AUTOMATICS“

INTERNATIONAL CONFERENCE

## AUTOMATICS'2014, FA

June 13 - 15, 2014, Sozopol, Bulgaria

### PROGRAM COMMITTEE

*chair of PC*

**Emil Nikolov** (BG)

*vice chair of PC*

**Todor Ionkov** (BG)

*members of PC*

<b>Petko</b>	<b>Petkov</b>	(BG)	<b>Snejana</b>	<b>Terzieva</b>	(BG)
<b>Snejana</b>	<b>Yordanova</b>	(BG)	<b>Hassane</b>	<b>Abouaïssa</b>	(FR)
<b>Valeri</b>	<b>Mladenov</b>	(BG)	<b>Daniel</b>	<b>Jolly</b>	(FR)
<b>Emil</b>	<b>Garipov</b>	(BG)	<b>Gilles</b>	<b>Gonçalves</b>	(FR)
<b>Plamen</b>	<b>Tzvetkov</b>	(BG)	<b>Ivan</b>	<b>Kalaykov</b>	(SE)
<b>Jivko</b>	<b>Georgiev</b>	(BG)	<b>Nicolai</b>	<b>Christov</b>	(FR)
<b>Mikho</b>	<b>Mikhov</b>	(BG)	<b>Alena</b>	<b>Kozáková</b>	(SK)
<b>Vasil</b>	<b>Galabov</b>	(BG)	<b>Danica</b>	<b>Rosinová</b>	(SK)

### ORGANIZING COMMITTEE

*chair of OC*

**Alexandar** **Ichtev**

*vice chair of OS*

**Stanislav** **Enev**

*members of OC*

**Simona** **Filipova-Petrakieva**

**Evtim** **Jonchev**

**Tsonio** **Slavov**

**Antonia** **Pandelova**

### TECHNICAL COMMITTEE

*coordinator*

**Stanislav** **Enev**

*system administrator*

**Georgi** **Tsenov**

*organizing secretary*

**Maria** **Duhleva**



## МЕТОДИКА ЗА ИЗБОР НА ПОДАВАТЕЛНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА ФРЕЗОВИ МАШИНИ

Марин Жилевски, Михо Михов

**Резюме:** В статията се описва една методика за избор на подавателни електрозадвижвания за фрезови машини с цифрово-програмно управление. Предложеният алгоритъм отчита специфичните особености на технологичния процес, обработвания материал, както и типа на използваната механична предавка. Представен е конкретен пример, илюстриращ практическото приложение на разработената методика. Проведените изследвания и получените резултати може да се използват при разработването на такива електрозадвижвания за изследвания клас металорежещи машини.

**Ключови думи:** подавателни задвижвания, избор на електрозадвижвания, фрезови машини.

## METHODOLOGY FOR SELECTION OF FEED DRIVES FOR MILLING MACHINES

Marin Zhilevski, Mikho Mikhov

**Abstract:** This paper describes a methodology for selection of feed electric drives for milling machines with digital program control. The offered algorithm renders an account of the specific features of the technological process, the processed material, as well as the type of the mechanical gear used. A concrete example has been presented, illustrating the practical application of this methodology. 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:** feed drives, selection of electric drives, milling machines

### 1. Въведение

Повишаването на техническото ниво на съвременните машини с цифрово-програмно управление (ЦПУ) зависи както от усъвършенстването на системите им за управление, така и от функционалните възможности на съответните задвижвания. В сравнение с останалите видове, електрозадвижванията притежават редица съществени предимства и в най-пълна степен отговарят на високите изисквания, които се предявяват към тях: широк диапазон на регулиране на скоростта; точност при възпроизвеждане на траекториите на движение; бързодействие; сигурност; икономичност; добри комуникационни способности; лесна ек-

сплоатационна поддръжка и други. Ролята на електрозадвижванията при машините с ЦПУ нараства все повече и понастоящем те влияят дори на конструкциите на самите задвижвани механизми и машини.

Задвижването на подавателните механизми е един от най-важните проблеми при машините с ЦПУ. Основните изисквания, на които трябва да отговарят електрозадвижванията на подавателните движения, може да се формулират по следния начин [1]: широк диапазон на регулиране на скоростта (например 10 000 : 1 и повече) при осигуряване на постоянен момент; добри динамични показатели, обезпечаващи необходимото бързодействие при пускане, спиране и реверсиране (например ускоряване до номиналната скорост за по-малко от 100 ÷ 150 ms); плавно регулиране на скоростта в двете посоки с възможност за работа в четирите квадранта на координатната система „скорост - момент“; равномерност на движението при ниските скорости; висока разрешаваща способност по път (например 1 ÷ 5  $\mu\text{m}$  и по-добра); индивидуално регулируемо задвижване по всяка координатна ос и други.

Някои варианти на подавателни електрозадвижвания са представени и изследвани в [2] - [4].

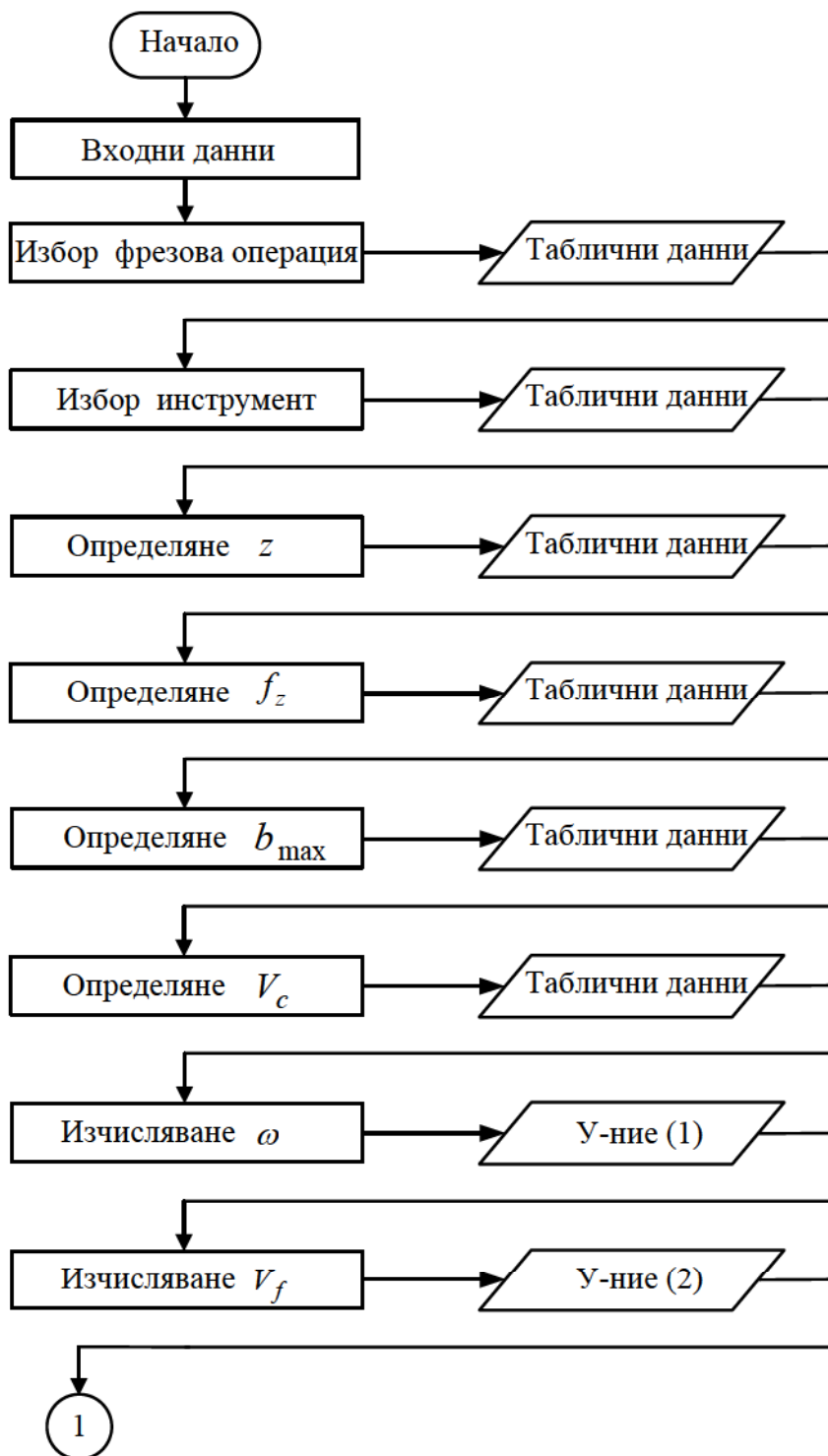
В тази статия са анализирани изискванията към подавателното електрозадвижване на един вид фрезови машини. При избора на подходящо електрозадвижване се вземат под внимание особеностите на процеса фрезоване, вида на обработвания материал, типа на механичната предавка и други съществени фактори.

## 2. Методика за избор на подходящо електрозадвижване

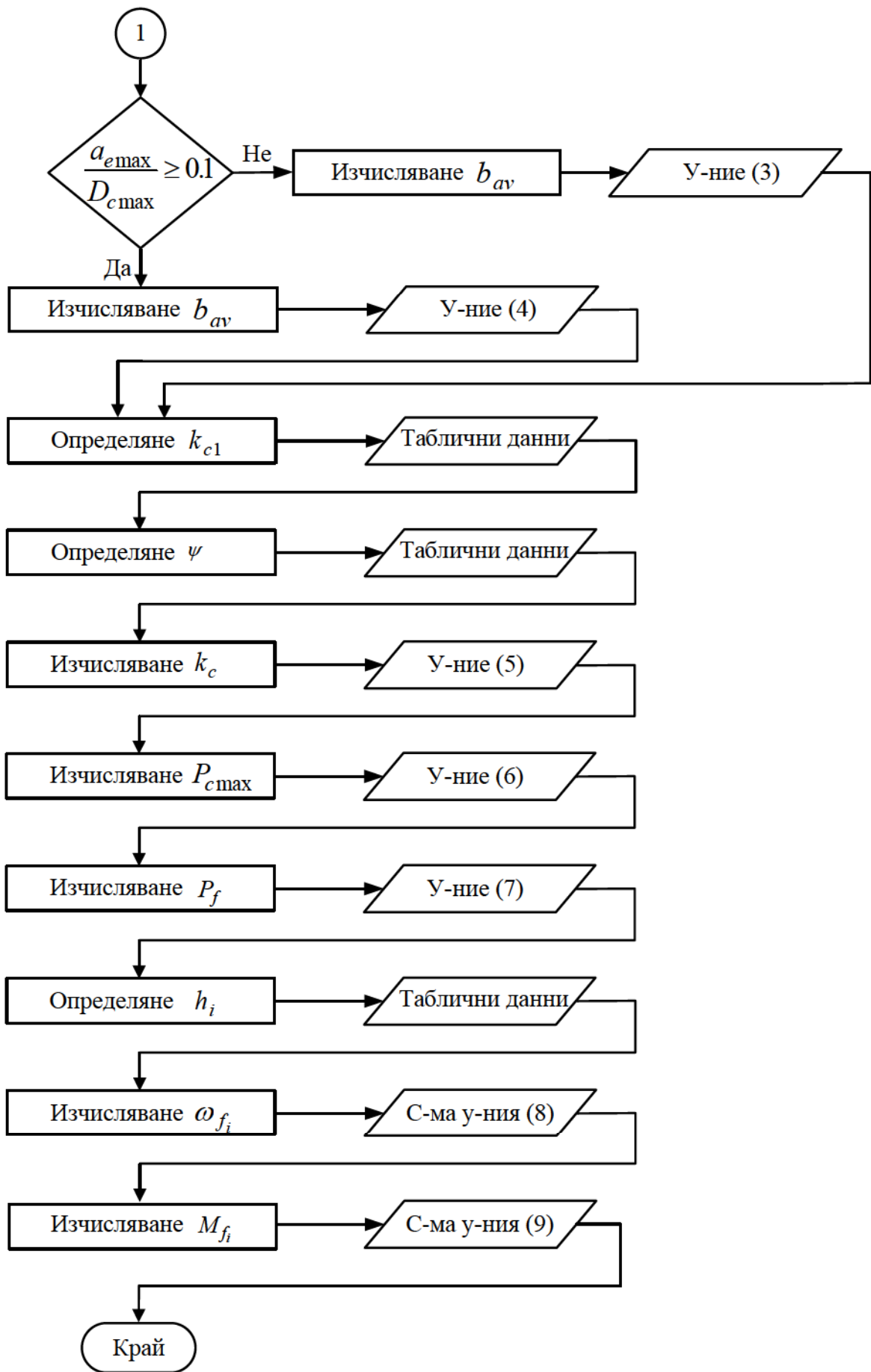
Разглежданите металообработващи машини се отнасят към машините с многокоординатни системи за електрозадвижване [5] - [7].

Блоковата схема на алгоритъма на разработената методика е представена на фиг.1, където използваните означения са следните:  $D_g$  -номинален диаметър на сачмено винтовата двойка;  $D_{c\text{max}}$  -максимален диаметър на фрезата, която може да се използва от машината;  $H_B$  -твърдост на обработвания материал по Бринел;  $\beta_c$  -ъгъл на работа на инструмента;  $a_{p\text{max}}$  -максимална дълбочина на рязане на инструмента;  $a_{e\text{max}}$  -максимална широчина на фрезоването;  $V_{\text{max}}$  -максимална скорост на движение на задвижвания механизъм;  $z$  -брой на зъбите на фрезовия инструмент;  $V_c$  -скорост на рязане;  $f_z$  -подаване за зъб на инструмента;  $b_{\text{max}}$  -максимална дебелина на стружката;  $\omega$  -скорост на шпиндела;  $V_f$  -скорост на подаване;  $b_{av}$  -средна дебелина на стружката;  $k_{c1}$  -нормирана относителна сила на рязане, зависеща от вида на материала;  $\psi$  -степенен показател, зависещ от вида на материала;  $k_c$  -относителна сила на рязане;  $P_{c\text{max}}$  -максимална мощност разпределена между подавателното електрозадвижване и електрозадвижването на шпиндела необходима да се извърши фрезоването;  $P_f$  -необходима мощност за подавателното електрозадвижване;  $h_i$  -номинални стъпки при зададен номинален диаметър на сачмено винтовата двойка;  $\omega_{f_i}$  -

скорост на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка;  $M_{f_i}$  -момент на търсеният двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка;  $i = 1 \div n$ , където  $n$  е броят на вариантите.



Фиг.1. Блокова схема на алгоритъма за избор на електрозадвижване.



Фиг. 1. Блокова схема на алгоритма за избор на електрозадвижване (продълж.).



Въведените входни данни са следните: директно куплиран двигател към задвижвания механизъм посредством сачмено винтова двойка; определяне на най-тежкия режим на обработка;  $D_g$ ;  $D_{c \max}$ ;  $H_B$ ;  $\beta_c$ ;  $a_{p \max}$ ;  $a_{e \max}$ ;  $V_{\max}$ .

Използваните в методиката таблични данни са взети от [8] - [10].

Скоростта на шпиндела се изчислява със следното уравнение [8]:

$$\omega = \frac{V_c \times 2}{D_{c \max}}. \quad (1)$$

Скоростта на подаване за търсения двигател при фрезозане се определя посредством израза [8]:

$$V_f = \frac{f_z \times \omega \times z}{2 \times \pi}. \quad (2)$$

Средната дебелина на стружката при условие, че  $\frac{a_{e \max}}{D_{c \max}} < 0.1$  се изчислява по следния начин [8]:

$$b_{av} = f_z \times \sqrt{\frac{a_{e \max}}{D_{c \max}}}. \quad (3)$$

Средната дебелина на стружката, когато отношението  $\frac{a_{e \max}}{D_{c \max}} \geq 0.1$  се определя по уравнението [8]:

$$b_{av} = \frac{\sin \beta_c \times 180 \times a_{e \max} \times f_z}{\pi \times D_{c \max} \times \arcsin \left( \frac{a_{e \max}}{D_{c \max}} \right)}. \quad (4)$$

Относителната сила на рязане за избрания материал се изчислява със следното уравнение [8]:

$$k_c = k_{c_1} \times b_{av}^{-\Psi}. \quad (5)$$

Мощността на рязане, която е необходима за да се извърши фрезозането в най-тежкия режим на работа за машината се изчислява със израза: [8]:

$$P_{c \max} = a_{p \max} \times a_{e \max} \times V_f \times k_c \times 10^6. \quad (6)$$

Тази мощност се разпределя върху шпиндела и търсеното подавателно задвижване. Необходимата мощност за подавателното електрозадвижване се изчислява с уравнението [11]:

$$P_f = (1 \div 5)\% \times P_{c \max} \cdot \quad (7)$$

Със следващата система уравнения се определя скоростта на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка  $h_i$  [10]:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{f_1} &= \frac{V_{\max} \times 2 \times \pi}{h_1} \\ \vdots \\ \omega_{f_n} &= \frac{V_{\max} \times 2 \times \pi}{h_n} \end{aligned} \right\} \cdot \quad (8)$$

Моментът на търсения двигател при различните стойности на скоростта се изчислява със следната система уравнения [10]:

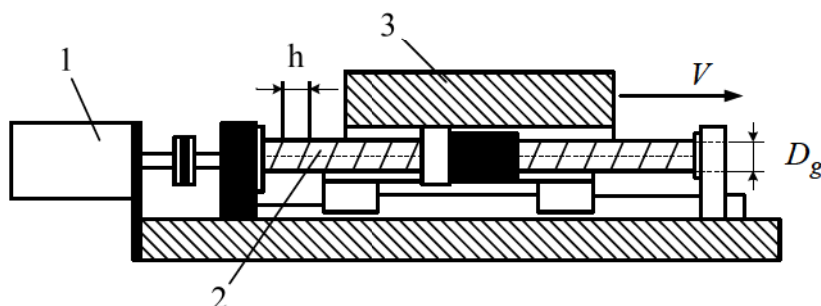
$$\left. \begin{aligned} M_{f_1} &= \frac{P_f}{\omega_{f_1}} \\ \vdots \\ M_{f_n} &= \frac{P_f}{\omega_{f_1}} \end{aligned} \right\} \cdot \quad (9)$$

### 3. Практическо приложение на разработената методика

Практическата реализация на едно подавателно електрозадвижване преминава през следните основни етапи:

1. Избор на вида на електрозадвижването.
2. Синтез на система за управление.
3. Анализ посредством моделиране и компютърно симулиране.
4. Експериментални изследвания.

На фиг.2. е представена схема, илюстрираща използваните съставни елементи в методиката за избор на електрозадвижване за една координатна ос. Използваните означения са следните: 1 -двигател, 2 -сачмено винтова двойка, 3 -зад-вижван механизъм,  $h$  -стъпка на сачмено винтовата двойка,  $D_g$  -диаметър на сачмено винтовата двойка.



Фиг.2. Съставни елементи при избора на подавателно електрозадвижване.

Като пример за използване на представената методика се разглежда избора на

електрозадвижване на подавателното движение на фрезова машина с челно фрезозване. Съответните резултати от изчисленията са отразени в табл.1.

Табл.1. Резултати от изчисленията.

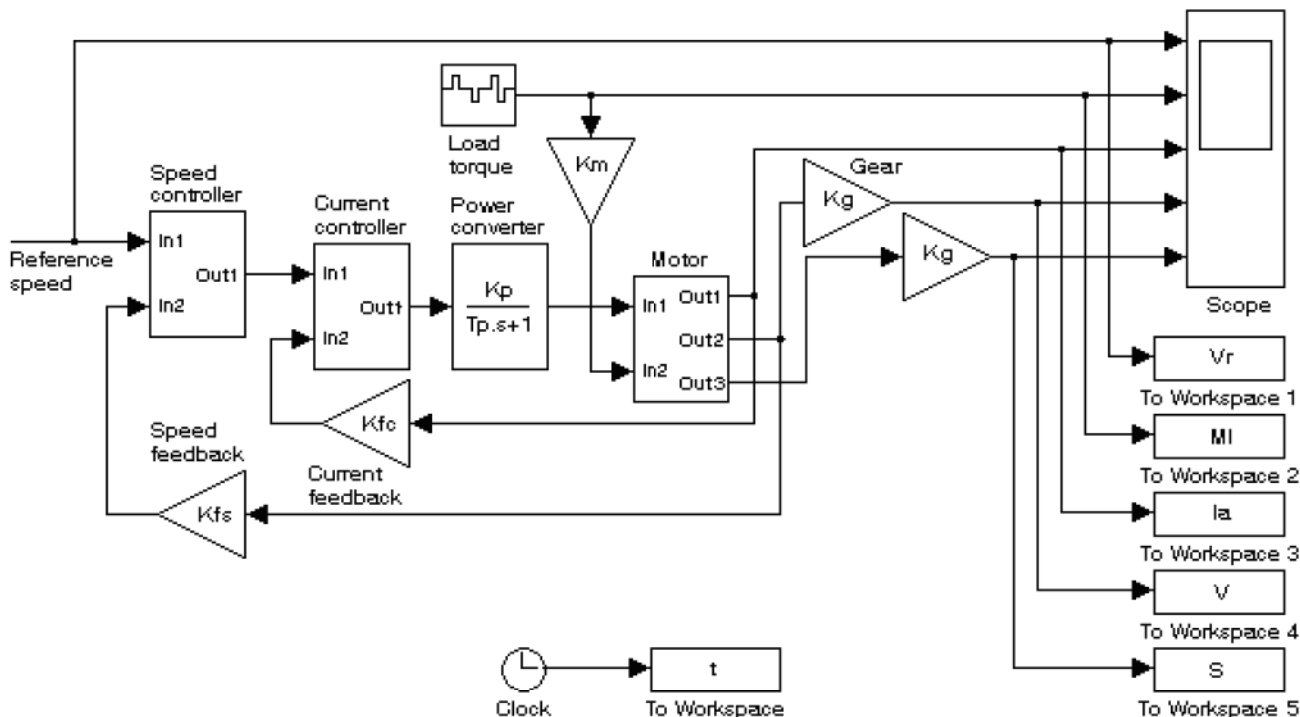
Стъпка	Операция	Резултат
1.	Избор на фрезова операция.	Челно фрезозване
2.	Избор на инструмент.	CoroMill 245
3.	Определя се $z$ .	8 зъба.
4.	Определя се $f_z$ .	0.00035 m
5.	Определя се $b_{\max}$ .	$\approx 0.00025$ m
6.	Определя се $V_c$ .	$\approx 2.75$ m/s
7.	Изчислява се $\omega$ .	$\approx 68.75$ rad/s
8.	Изчислява се $V_f$ .	$\approx 0.031$ m/s
9.	Изчислява се $a_{e\max}/D_{c\max}$ .	0.625
10.	Изчислява се $b_{av}$ .	$\approx 0.23$ mm
11.	Определя се $k_{c1}$ .	1700 MPa
12.	Определя се $\psi$ .	-0.25
13.	Изчислява се $k_c$ .	2454.8 MPa
14.	Изчислява се $P_{c\max}$ .	$\approx 11415$ W
15.	Изчислява се $P_f$ .	$\approx 570.75$ W
16.	Определя се $h_i$ , ( $i = 1 \div 4$ ).	$h_1 = 0.005$ m $h_2 = 0.01$ m $h_3 = 0.02$ m $h_4 = 0.04$ m
17.	Изчислява се $\omega_{f_i}$ , ( $i = 1 \div 4$ ).	$\omega_{f_1} \approx 418.88$ rad/s $\omega_{f_2} \approx 209.44$ rad/s $\omega_{f_3} \approx 104.72$ rad/s $\omega_{f_4} \approx 52.36$ rad/s
18.	Изчислява се $M_{f_i}$ , ( $i = 1 \div 4$ ).	$M_{f_1} \approx 1.36$ Nm $M_{f_2} \approx 2.72$ Nm $M_{f_3} \approx 5.44$ Nm $M_{f_4} \approx 10.88$ Nm

Въведените входни данни са следните: директно куплиран двигател, използващ сачмено винтова двойка,  $D_g = 0.04$  m ;  $D_{c\max} = 0.08$  m ; най-тежък режим на обработка - ниско легирана незакалена стомана,

$$H_B = 175 ; \beta_c = 45^\circ ; a_{p\max} = 0.003 \text{ m} ; a_{e\max} = 0.05 \text{ m} ; V_{\max} \approx 0.33 \text{ m/s.}$$

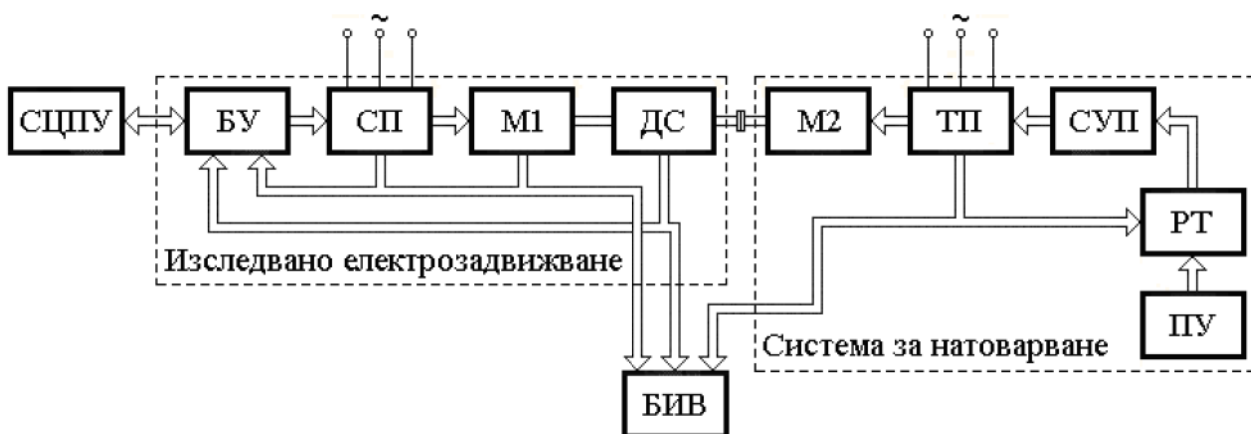
В резултат на направените изчисления е избран двигател за постоянен ток ЗР12.09 със следните параметри:  $M_f = 3.5 \text{ Nm}$ ,  $\omega_f = 209.34 \text{ rad/s}$ .

На фиг.3 е показана схемата на един от разработените модели за компютърно симулиране на подавателни електрозадвижвания, с които са изследвани различни варианти за настройка на регулиращите контури.



Фиг.3. Модел на подавателно електрозадвижване с двигател за постоянен ток.

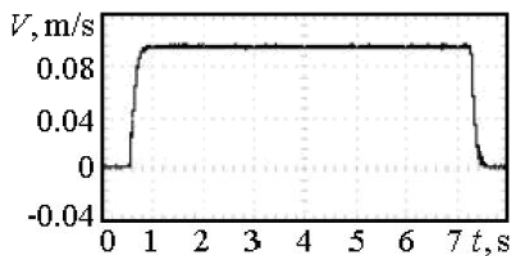
За провеждане на експериментални изследвания е разработен стенд за натоварване и изследване на електрозадвижвания, опростената блокова схема на който е представена на фиг.4.



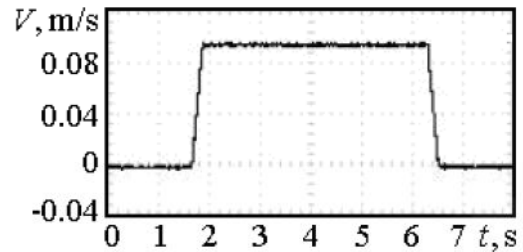
Фиг.4. Блокова схема на стенда за натоварване и изследване.

Изследвано електрозадвижване включва блок за управление БУ, силов преобразувател СП, управляван двигател М1, датчик на скорост ДС. Системата за натоварване осигурява регулиране на момент и включва следните блокове: пулт за

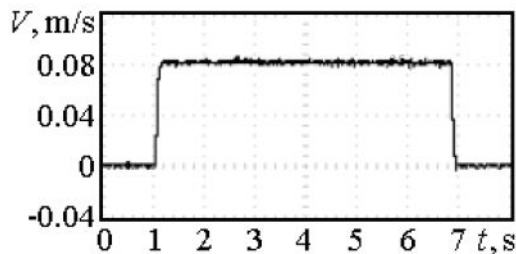
управление ПУ, регулатор на ток РТ, схема за управление на тиристорния преобразувател СУП, тиристорен преобразувател ТП, двигател за постоянен ток М2. Със СЦПУ е означена система за цифрово-програмно управление, а с БИВ – блок за измерване и визуализация.



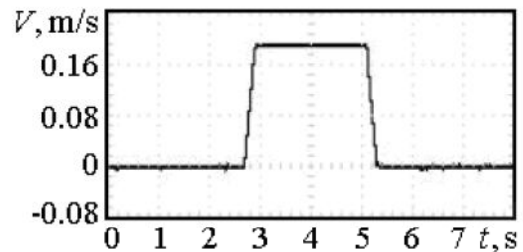
а)



б)



в)



г)

Фиг.5. Осцилограми на скоростта, получени при подавателни движения с различни задания и настройки на системата за управление.

Част от експериментално снетите траектории на движение при различни настройки на системата за управление на подавателното електрозадвижване, са представени на фиг.5.

#### 4. Заключение

Анализирани са изискванията към подавателните задвижвания на клас фрезови машини.

Предложена е методика за избор на подавателни електрозадвижвания за тези машини, удовлетворяващи съответните изисквания. Разработеният алгоритъм отчита влиянието на основните фактори, такива като специфичните особености на технологичния процес, вида на обработвания материал, типа използваната механична предавка и други.

Проведените изследвания и получените резултати от тях може да се използват при разработването на подавателни електрозадвижвания за разглеждания клас металообработващи машини.



## БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ – София-2013/2014 г. по Проект № 132ПД0038-08.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михов, М., *Системи за електрозадвижване*, Технически университет – София, София, 2011, ISBN 978-954-438-922-2.
- [2] Михов, М., М. Жилевски, Възможности за подобряване на показателите на позиционно електрозадвижване за фрезови машини, *Годишник на Технически университет - София*, т. 62, №. 2, 269-278, София, 2012, ISSN 1311-0829.
- [3] Mikhov, M., M. Zhilevski, Computer Simulation and Analysis of Two-coordinate Position Electric Drive Systems, *Proceedings of the International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies*, pp. 251-254, V. Tarnovo, 2012, ISBN 978-619-167-002-4.
- [4] 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.
- [5] Жилевски, М., Някои проблеми при модернизацията на един клас фрезови машини, *Годишник на Технически университет - София*, т. 63, №. 2, 99-106, София, 2013, ISSN 1311-0829.
- [6] Михов, М., М. Жилевски, Въвеждане на допълнителна координатна ос при клас металорежещи машини с цифрово-програмно управление, *Годишник на Технически университет - София*, т. 63, №. 2, 41-48, София, 2013, ISSN 1311-0829.
- [7] 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, Vrnjaska Banja, Serbia, 2012, ISBN 978-86-6075-037-4.
- [8] Sandvik Coromant, *Metalcutting Technical Guide: Turning, Milling, Drilling, Boring, Toolholding*, Sandvik, 2005.
- [9] Sandvik Coromant, *Tool Selection Guide, Selected Assortment in Turning-Milling-Drilling*, Sandvik, 1997.
- [10] Braitinger, H., *Elektrische Antriebstechnik*, АМК Arnold Müller, 2004.
- [11] Андонов, И., *Рязане на металите*, Софттрейд, София, 2001, ISBN 954-9725-52-9.

**Автори:** Марин Милков Жилевски, маг. инж., докторант, катедра „Автоматизация на електрозадвижванията“, Факултет Автоматика, Технически Университет - София, E-mail address: [electric\\_zhilevski@abv.bg](mailto:electric_zhilevski@abv.bg); Михо Рачев Михов, проф. д-р инж., катедра „Автоматизация на електрозадвижванията“, Факултет Автоматика, Технически Университет - София, E-mail address: [mikhov@tu-sofia.bg](mailto:mikhov@tu-sofia.bg)

**Постъпила** на 22.04.2014 г.

**Рецензент** проф. д-р Тодор Йонков