



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ СТРУКТУРНИ И
ИНВЕСТИЦИОННИ ФОНДОВЕ



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

VI INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE

30 MAY - 2 JUNE 2018

**ENGINEERING. TECHNOLOGIES.
EDUCATION. SECURITY**

ISSN 2535-0315 (Print)
ISSN 3535-0323 (Online)

2018

PROCEEDINGS

VOLUME II
TECHNICS AND TECHNOLOGIES
INFORMATION TECHNOLOGIES, NATURAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ORGANIZERS

**SCIENTIFIC - TECHNICAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERING
VASIL LEVSKI NATIONAL MILITARY UNIVERSITY**

**УЧАСТИЕТО НА ПРЕПОДАВАТЕЛИ ОТ НАЦИОНАЛНИЯ
ВОЕНЕН УНИВЕРСИТЕТ СЕ ФИНАНСИРА ПО ПРОЕКТА.**

Проект BG05M2OP001-2.009-0001 „Подкрепа за развитие на човешките ресурси и научно-изследователския потенциал на Национален военен университет „Васил Левски“ за утвърждаването му като съвременен център на знанието“

Проектът е финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж 2014–2020“, съфинансирана от Европейския съюз чрез Европейския социален фонд.

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

**TECHNICS. TECHNOLOGIES.
EDUCATION. SAFETY. '18**

PROCEEDINGS

YEAR II, ISSUE 2 (5), SOFIA, BULGARIA 2018

VOLUME 2

TECHNICS AND TECHNOLOGIES

**INFORMATION TECHNOLOGIES,
NATURAL AND MATHEMATICAL
SCIENCES**

30.5-02.06.2018

VELIKO TARNOVO

Publisher: Scientific technical union of mechanical engineering
“Industry-4.0”

ISSN 2535-0315(Print),
ISSN 2535-0323 (Online)

МЕТОДИКА ЗА ИЗБОР НА ПОДАВАТЕЛНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА СТРУГОВИ МАШИНИ

METHODOLOGY FOR SELECTION OF FEED DRIVES FOR TURNING MACHINES

СПОСОБ ВЫБОРА ПРИВОДОВ ПОДАЧИ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

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

Abstract: This paper describes a methodology for selection of feed electric drives for turning 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. Concrete examples have 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: TURNING MACHINES, FEED ELECTRIC DRIVE, SELECTION OF FEED DRIVES

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; бърздействие; сигурност; икономичност; добри комуникационни способности; лесна експлоатационна 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.

Подавателните електрозадвижвания при струговите машини се използват за позициониране на режещия инструмент на желаното място и участват в процеса на машинна обработка. По тази причина, тяхната позиционна точност и скорост влияят съществено върху качеството и производителността на метало-режещите машини [2]. Към тези задвижвания се предявяват високи изисквания, които може се формулират по следния начин [1, 3]:

- широк диапазон на регулиране на скоростта;
- добри динамични показатели;
- плавно регулиране на скоростта в двете посоки;
- точност при зададени траекториите на движение;
- осигуряване на необходимият въртящ момент;
- сигурност;
- икономичност.

Машина от разглеждания клас на струговите машини е представена в [4].

В тази статия са анализирани изискванията към подавателното електрозадвижване на един вид стругови машини с ЦПУ. При избора на подходящо електрозадвижване се вземат под внимание особеностите на процеса струговане, вида на обработвания материал, типа на механичната предавка и други съществени фактори. Изследвани са варианти с двигатели за постоянен и променлив ток. Проведени са експериментални изследвания. Резултати от проведените теоретични и експериментални изследвания могат да бъдат използвани при разработването на машини от разглеждания клас.

2. Методика за избор на електрозадвижване

Разглежданите металообработващи машини се отнасят към машините с двукоординатни подавателни електрозадвижвания. Разработването на подходящо електрозадвижване за съответната координатна ос се осъществява в следната последовател-

ност:

1. Създаване на методика за избор на базата на поставените изисквания към задвижването, като се отчитат особеностите на процеса струговане, 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 електрозадвижване с отчитане на каталожните данни от фирми производители.

4. Съставяне на модел 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.

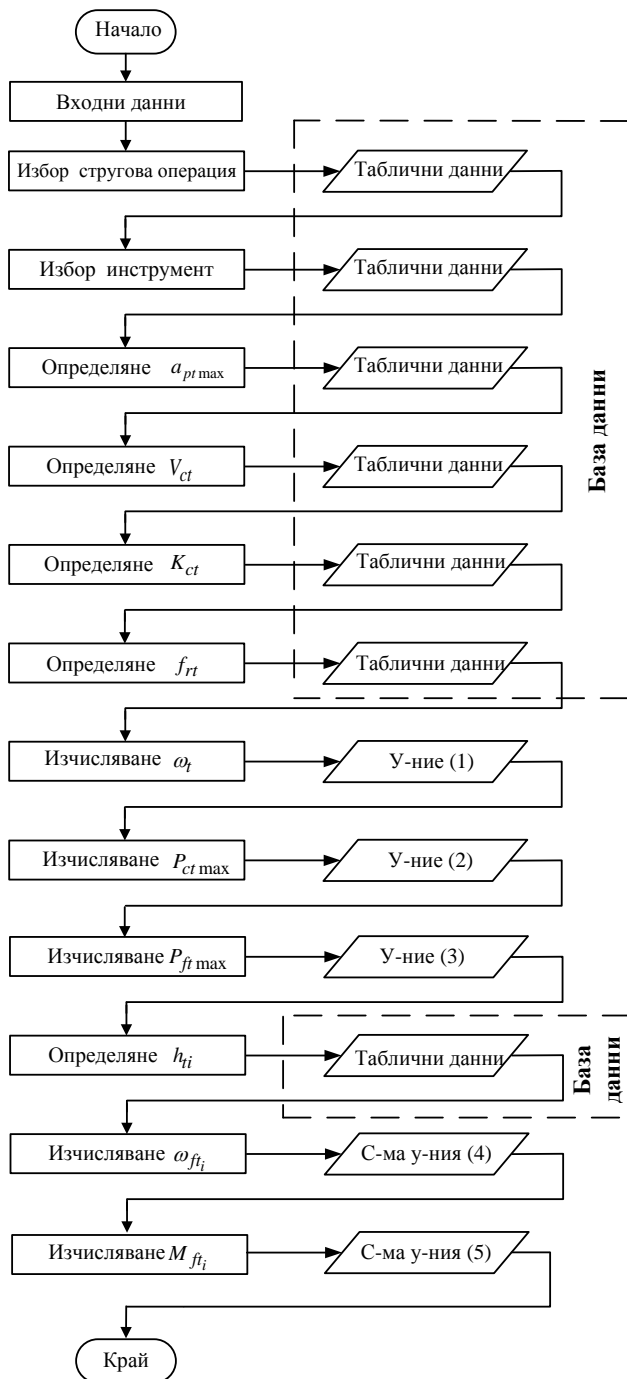
9. Подробни експериментални изследвания в съответните динамични и статични режими на работа за оценка на действителните показатели.

Блоквата схема на алгоритъма на разработената методика е представена на фиг. 1, където означенията са следните: $D_{mt \max}$ – максимален диаметър на детайла, който може да обработван от струговата машина; D_{gt} – номинален диаметър на механичната предавка, реализирана чрез сачмено винтова двойка; H_B – твърдост на обработвания материал по Бринел; $a_{pt \max}$ – максимална дълбочина на рязане на инструмента; $V_{t \max}$ – максимална скорост на движение на задвижвания механизъм; V_{ct} – скорост на рязане; ω_t – скорост на шпиндела; f_{rt} – подаване за радиан; K_{ct} – специфична сила на рязане; η – коефициент на струговата машина; $P_{ct \max}$ – максимална мощност, разпределена между подавателното електрозадвижване и електрозадвижването на шпиндела, необходима за извършване на струговата обработка; $P_{ft \max}$ – максимална необходима мощност за подавателното електрозадвижване; H_{ti} – номинални стъпки при зададен номинален диаметър на сачмено винтовата двойка; ω_{fi} – скорост на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка; M_{fi} – 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 [5, 6].

Представената методика се отнася за избор на подавателно електрозадвижение на линейни координатни оси, такива каквито са x и z за разглеждания клас стругови машини.

Като входни данни се задават: максимален диаметър на детайла, който може да обработван от струговата машина - $D_{mt \max}$; механичната предавка, реализирана със сачмено винтова двойка; най-тежкия режим на стругова обработка; параметрите D_{gt} , H_B , $a_{pt \max}$, η и $V_t \max$.



Фиг. 1. Блокова схема на алгоритъма за избор на подавателно електрозадвижение за стругови машини.

Скоростта на шпиндела се изчислява по следното уравнение [7]:

$$(1) \quad \omega_t = \frac{V_{ct} \times 2}{D_{mt \max}}$$

Скоростта на подаване на задвижвания механизъм при стругова операция се определя от израза [7]:

$$(2) \quad P_{ct \max} = \frac{a_{pt \max} \times f_{rt} \times V_{ct} \times K_{ct} \times 10^6 \times 2 \times \pi}{\eta}$$

Необходимата мощност за подавателното електрозадвижение на линейна координатна ос се изчислява по уравнението [8]:

$$(3) \quad P_{ft \max} = (1 \div 5)\% \times P_{ct \max}$$

Със следващата система уравнения се определя скоростта на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка [9]:

$$(4) \quad \left. \begin{aligned} \omega_{f1} &= \frac{V_t \max \times 2 \times \pi}{h_{f1}} \\ &\vdots \\ \omega_{fn} &= \frac{V_t \max \times 2 \times \pi}{h_{fn}} \end{aligned} \right\}$$

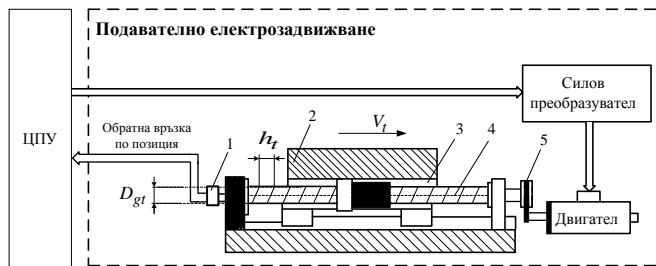
Моментът на двигателя при различните стойности на скоростта се изчислява със системата уравнения [9].

$$(5) \quad \left. \begin{aligned} M_{f1} &= \frac{P_{ft \max}}{\omega_{f1}} \\ &\vdots \\ M_{fn} &= \frac{P_{ft \max}}{\omega_{fn}} \end{aligned} \right\}$$

3. Практическо приложение на методиката

При практическото прилагане на методиката за конкретна стругова машина се отчитат вида на струговата 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 работната маса.

На фиг. 2 е представена схема, илюстрираща използваните съставни елементи в методиката за избор на линейно подавателно електрозадвижение за една координатна ос. Използваните означения са следните: ЦПУ – система за цифрово-програмно управление; 1- датчик на път; 2 – задвижван механизъм; 3 – направляващи; 4 – сачмено винтова двойка; 5 – куплиране между двигателя и сачмено винтовата двойка; h_f – стъпка на сачмено винтовата двойка, D_{gt} – диаметър на сачмено винтовата двойка; V_t – скорост на движение на задвижвания механизъм.



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

Като примери за използване на представената методика се разглежда избора на подавателно електрозадвижване на стругова машина при работа на грубо струговане 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 следните параметри: механична предавка, реализирана със сачмено винтова двойка; $D_{gt} = 0.032$ m; максимален диаметър на детайла, който може да обработван от струговата машина - $D_{mt\max} = 0.300$ m; $\eta = 0.85$; най-тежки режими на механична обработка – алуминиева сплав и ниско легирана стомана; $V_{t\max} \approx 0.33$ m/s.

Изчисленията, които са извършени по представената методика са с еднакви входни данни за материали с различна твърдост, с цел сравняване и анализ на получените резултати.

Табл. 1. Резултати от изчисленията.

Стъпка	Операция	Чугун	Ниско-легирана стомана
1.	Определя се H_B .	130	180
2.	Избор на стругова операция.	Грубо струговане	Грубо струговане
3.	Избор на инструмент.	CoroTurn	CoroTurn
4.	Определя се $a_{pt\max}$.	0.002 m	0.002 m
5.	Определя се V_{ct} .	5 m/s	4.25 m/s
6.	Определя се K_{ct} .	950	2100
7.	Определя се f_{rt} .	$\approx 4.7 \times 10^{-5}$ m/s	$\approx 4.7 \times 10^{-5}$ m/s
8.	Изчислява се ω_t .	≈ 33.33 rad/s	≈ 28.33 rad/s
9.	Изчислява се $P_{ct\max}$.	≈ 2804 W	≈ 5268.6 W
10.	Изчислява се $P_{ft\max}$.	≈ 140.2 W	≈ 263.4 W
11.	Определя се h_{ti} , ($i = 1 \div 3$).	$h_1 = 0.005$ m $h_2 = 0.01$ m $h_3 = 0.02$ m	$h_1 = 0.005$ m $h_2 = 0.01$ m $h_3 = 0.02$ m
12.	Изчислява се ω_{fi} , ($i = 1 \div 3$).	$\omega_{f1} \approx 414.48$ rad/s $\omega_{f2} \approx 207.24$ rad/s $\omega_{f3} \approx 103.62$ rad/s	$\omega_{f1} \approx 414.48$ rad/s $\omega_{f2} \approx 207.24$ rad/s $\omega_{f3} \approx 103.62$ rad/s
13.	Изчислява се M_{fii} , ($i = 1 \div 3$).	$M_{f1} \approx 0.34$ Nm $M_{f2} \approx 0.68$ Nm $M_{f3} \approx 1.36$ Nm	$M_{f1} \approx 0.64$ Nm $M_{f2} \approx 1.28$ Nm $M_{f3} \approx 2.56$ Nm

След пресмятане по разработената методика, със системите уравнения (6) и (7) са изчислени и съответните номинални стойности на момента на двигателя, за зададените във входните данни материали с различна твърдост:

- при обработка на сив чугун:

$$(6) \quad \begin{cases} M_{f1nom} \approx 1.1 \times M_{f1} \approx 0.374 \text{ Nm}; \\ M_{f2nom} \approx 1.1 \times M_{f2} \approx 0.748 \text{ Nm}; \\ M_{f3nom} \approx 1.1 \times M_{f3} \approx 1.496 \text{ Nm}. \end{cases}$$

- при обработка на ниско-легирана стомана:

$$(7) \quad \begin{cases} M_{f1nom} \approx 1.1 \times M_{f1} \approx 0.7 \text{ Nm}; \\ M_{f2nom} \approx 1.1 \times M_{f2} \approx 1.4 \text{ Nm}; \\ M_{f3nom} \approx 1.1 \times M_{f3} \approx 2.8 \text{ Nm}. \end{cases}$$

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

Табл. 2. Някои резултати от избора на електрозадвижване.

При обработка на чугун е избрано подавателно електрозадвижване със синхронен двигател със следните параметри [10,11, 12]: - сачмено винтова двойка с диаметър 0.032 m и стъпка 0.005 m; - синхронен двигател модел DTS-3-10 със следните номинални данни: $M_{fnom} = 2.4$ Nm, $\omega_{fnom} = 418.68$ rad/s с включен енкодер - тип резолвер за обратна връзка; - силов преобразувател модел KW2.
При обработка на ниско легирана стомана е избрано постояннооток електрозадвижване със следните параметри [12, 13, 14]: - сачмено винтова двойка с диаметър 0.032 m и стъпка 0.02 m; - постояннооток двигател модел 3P112.09 със следните номинални данни: $M_{fnom} = 3.5$ Nm, $\omega_{fnom} = 209.34$ rad/s; - силов преобразувател модел SA -12; - енкодер – тип фоторастеров преобразувател модел 7 L с резолюция 2500 импулса/об.;

4. Експериментални изследвания

За провеждане на експерименталните изследвания и предварителна настройка на позиционни електрозадвижвания е разработен стенд, оборудван с необходимите уреди за измерване и визуализация, даден на фиг. 3.



Фиг. 3. Настройка на подавателно електрозадвижване.

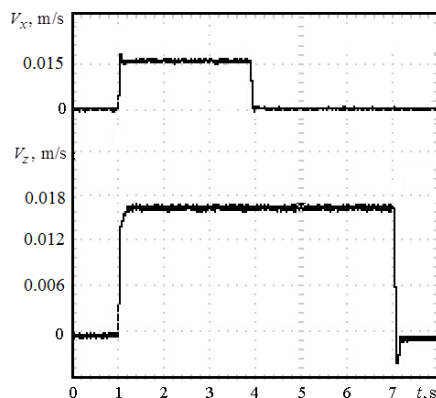
На базата на формулираните изисквания, разработената методика, избраните и внедрени постояннооток и променливотокови електрозадвижвания в струговата машина от разглеждания клас, са извършени и подробни експериментални изследвания при различни настройки на регулаторите и режими на работа. На следващите фигури са представени част от получените резултати.

На фиг. 4 и 5 са представени някои осцилограми на внедре-

ните подавателни постояннотокови електрозадвигвания в стругова машина от разглеждания клас. На фиг. 4 резултатите са получени при зададено преместване от 0.1 m за x и z координатни оси. Характерна особеност за струговите машини е тяхната работа в диаметър за координатна ос x , тоест при задание от 0.1 m преместване, реалното изместване е 0.05 m. Избраните механични предавки са сачмено-винтови двойки с коефициенти:

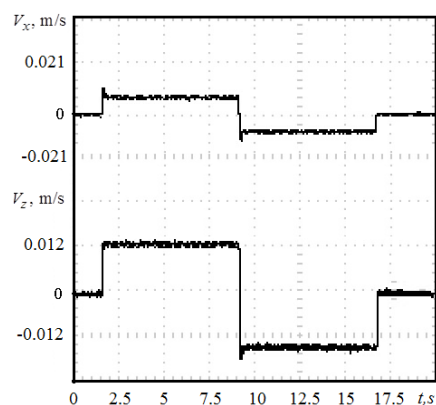
$$- K_{\text{мнх}} = 5 \text{ mm/rev} \approx 0.8 \times 10^{-3} \text{ m/rad} ;$$

$$- K_{\text{мнз}} = 10 \text{ mm/rev} \approx 1.6 \times 10^{-3} \text{ m/rad} .$$



Фиг. 4. Осцилограми на електрозадвигвания с ДПТ при преместване от 0.1 m за x и z координатни оси.

На фиг.5 са дадени осцилограми на движение по двете координатни оси при премествания в едната посока, директен реверс в другата и спиране в начално състояние.



Фиг. 5. Осцилограми на електрозадвигвания с ДПТ при премествания в едната посока, директен реверс и спиране.

5. Заключение

Анализирани са изискванията към подавателните задвиж-

вания на клас стругови машини с цифрово- програмно управление.

Предложена е методика за избор на подавателни електрозадвигвания 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 електрозадвигвания за разглеждания клас металообработващи машини.

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] Михов, М., *Системи за електрозадвигване*, Технически университет – София, София, 2011, ISBN 978-954-438-922-2.
- [2] 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.
- [3] Kiel, E., *Drive Solutions*, Springer, 2008, ISBN 978-3-540-76704-6.
- [4] Жилевски, М., Основни проблеми при струговите машини с ЦПУ, *Технически колеж - Ловеч*, 132-136, 2017, ISSN 2535-079X.
- [5] DIN 69051-3: Werkzeugmaschinen; Kugelgewindetriebe; Abnahmebedingungen und Abnahmeprüfungen, 1998.
- [6] DIN69051-4: Kugelgewindetriebe–Berechnung der statischen und dynamischen Tragzahl sowie der Lebensdauer, Entwurf April 1989.
- [7] Sandvik Coromant, *Metalcutting Technical Guide: Turning, Milling, Drilling, Boring, Toolholding*, Sandvik, 2005.
- [8] Андонов, И., *Рязане на метали*, Софттрейд, София, 2001, ISBN 954-9725-52-9.
- [9] Braitinger, H., *Elektrische Antriebstechnik*, AMK Arnold Müller, 2004.
- [10] AMKASYN, Servo Drives KE/KW, *AMK Catalogue*, 2014.
- [11] DYNASYN, Servo Motors DT and DP, *AMK Catalogue*, 2014.
- [12] Precision Ball Screw Assemblies, *Rexroth Bosch Group, Catalogue*, 2009.
- [13] SERVOMOTORS, *GAMA MOTORS Catalogue*, 2014.
- [14] <http://www.zgpu-group.com/archives/category/sensors>.