

**30** ТЕХНИЧЕСКИ КОЛЕЖ  
ГОДИНИ ЛОВЕЧ

---



НАУЧНА  
КОНФЕРЕНЦИЯ

**СБОРНИК ДОКЛАДИ**

**TechCo**  
ЛОВЕЧ

---

**17 юли 2020**

*Конференцията се провежда с финансовата подкрепа на:*



**ВОСС Аутомотив България ЕООД – с. Баховица, обл. Ловеч**

**ТЕХНИЧЕСКИ КОЛЕЖ – ЛОВЕЧ**  
**НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**TechCo – Lovech 2020**

**СБОРНИК ДОКЛАДИ**

Формат: 70/100/16  
Печатни коли: 13.75

Печат: Университетско издателство “Васил Априлов” – Габрово

**ISSN 2535-079X**

## ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

### **ПРЕДСЕДАТЕЛ:**

доц. д-р инж. Пенчо Пенчев  
Директор на ТК – Ловеч

### **ЧЛЕНОВЕ:**

Венцислав Христов – Зам. Кмет Община Ловеч  
Петър Михайлов – студент, ТК-Ловеч

### **ТЕХНИЧЕСКИ СЕКРЕТАР:**

инж. Теменуга Пенкова

## ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

### **ПРЕДСЕДАТЕЛ:**

проф. дмн Стоян Капралов

### **ЧЛЕНОВЕ:**

доц. д-р инж. Пламен Цанков  
Зам.ректор НИР на ТУ-Габрово  
доц. д-р инж. Никола Драганов  
доц. д-р инж. Боян Стойчев  
доц. д-р Диана Изворска  
доц. д-р инж. Христо Недев  
доц. д-р инж. Христо Тодоров  
доц. д-р инж. Драгомир Чантов  
доц. д-р инж. Валентина Кукенска  
доц. д-р Добрин Ганчев  
доц. д-р инж. Йосиф Митев  
гл. ас. д-р инж. Милко Дочев  
гл. ас. д-р инж. Стефан Стойчев

### **Научен секретар:**

гл. ас. д-р инж. Мадлена Жилевска

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА КОНСУМАЦИЯ НА КЛАС ВЕРТИКАЛНИ ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ С ЦПУ

### STUDY OF THE ENERGY CONSUMPTION OF A CLASS OF MACHINING CENTER WITH CNC

**Marin Zhilevski**

*Technical of University of Sofia*

#### **Abstract**

*In this article the basic requirements for the machine tools are formulated. The generalized block diagram of the drive system for vertical machining center with CNC is shown. This system is the main energy consumer in the machine tools. The possibilities for calculating the energy consumption of the studied class of vertical machining centers are described and some guidelines for its reduction are defined.*

**Keywords:** vertical center; drives, CNC.

#### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Обработващите центри са сред най-широко използваните в практиката металообработващи машини. Използват се предимно за обработка на призматично-корпусни детайли чрез автоматична смяна на инструмента. Те изпълняват операциите: фрезование на повърхнини с произволни контури, както и обработване на отвори - пробиване, разстъргване, zenкерование, райберование, нарязване на резби. Цялостното обработване на детайла при едно установяване върху машината води до повишаване на нейната точност и производителност [1, 2, 3, 4, 5].

Наличието на система за цифрово-програмно управление (ЦПУ) дава следните предимства: позволява обработване на сложни профилни повърхнини чрез контурно фрезование по три оси; дава възможност за обработка с голям набор автоматично сменящи се инструменти; при наличие на палетни станции може да се извърши бърза смяна на детайла [1, 6].

Все по-високите изисквания по отношение на точността, производителността, гъвкавостта, диапазона на регулиране

и енергийната ефективност от една страна, както и бързото развитие на елементарната база от друга, налагат постоянно подобряване на използваните системи за задвижване и на средствата за тяхното предварително програмиране, симулиране и изследване [7, 8].

При модернизация на клас вертикални обработващи центри са въведени две допълнителни въртящи се оси, устройствата за твърдо ъглово позициониране на детайла и такова за обработка на шпонкови канали. Една машина от изследвания клас е дадена в [9].

Основните елементи, които изграждат вертикалните центри са електрозадвиженията, които обслужват координатните оси, шпиндела и другите спомагателни системи.

Търсенето на оптимална енергийна консумация е един от основните критерии, който се поставя при проектирането и разработването на машините и задвиженията в различни сфери на промишлеността [10, 11].

В статията са формулирани основните изисквания към металорежещите маши-

ни с ЦПУ и е показана обобщена блокова схема на системата за задвижване, която е основния енергиен консуматор. Описани са възможностите за изчисляване на енергийната консумация на изследвания клас вертикални обработващи центри и са формулирани някои насоки за нейното намаляване. Представените изследвания и получените резултати могат да се използват при проектирането и разработването на вертикални обработващи центри с ЦПУ.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Основните изисквания към вертикалните центри с ЦПУ може да се обобщят по следния начин: точност, производителност, сигурност, икономичност, оптимална енергийната консумация, обработка на детайлите с определена гладкост, автоматизация на технологичния процес и режими на работа и други.

На фиг. 1 е представена обобщена блокова схема на системата за задвижване на металорежещите машини с ЦПУ и в частност на вертикалните центри. Тази система е основният енергиен консуматор в машините.



Фиг. 1. Обобщена блокова схема на системата за задвижване.

Подавателните задвижвания се използват за позициониране на детайла и инструмента, като за изследвания клас вертикални центри включват линейните координати  $x$ ,  $y$  и  $z$ , както и въртящите се оси  $a$  и  $s$ .

Главното движение или шпиндела участва в процеса на механична обработ-

ка, като това електрозадвижване е с най-висока степен на консумация на енергия.

Спомагателните задвижвания включват системите за: автоматична смяна на инструментите; охлаждащата; дозиращата; хидравличната и устройството за твърдо ъглово позициониране на детайла.

Енергийната консумация във металорежещите машини и в частност на обработващите центри може да се раздели на постоянна и променлива. Постоянната консумация на енергия се определя за периода, в който машината е включена, независимо, дали се извършва механична обработка, като тя е значително по-малка от променливата. Постоянната консумация зависи от внедрените главни и подавателни задвижвания, както и от тяхната оптимална настройка, използването на компенсации при вертикалните оси [12], разработени ладер диаграми и други фактори.

Променливата консумация на енергия зависи от обработвания детайл, типа механична обработка, режими на рязане, материал, брой използвани инструменти, необходимост от охлаждане и други.

Общата изразходвана енергия за обработващия център от изследвания клас ( $E_{vc}$ ) се определя със следното уравнение [13]:

$$(1) \quad E_{vc} = E_{sp} + E_{feeds} + E_{tool} + E_{hyd} + E_{cool} + E_{dos} + E_{cnc} + E_{dfp}$$

където  $E_{sp}$ ,  $E_{feeds}$ ,  $E_{tool}$ ,  $E_{hyd}$ ,  $E_{cool}$ ,  $E_{dos}$ ,  $E_{dfp}$ ,  $E_{cnc}$  са съответно необходимите енергии за: главното движение; подавателните оси; системата за смяна на инструментите; хидравличната система; охлаждащата система; дозиращата система; системата за цифрово-програмното управление; допълнително въведеното устройство за твърдото ъглово позициониране на детайла.

Необходимата енергия за главното движение или шпиндела се разпределя

на две части при оптимална настройка на електрозадвижването [13]:

$$(2) \quad E_{sp} = E_m + E_c ,$$

където  $E_m$  - необходима енергия за механичната предавка,  $E_c$  - необходима енергия за извършване на съответната обработка.

Изследвания клас машини дава възможност за извършване на процесите: пробиване, разстъргване, фрезование, зенкерование, райберование, нарязване на резби и щосване. Методики за изчисляване на мощностите на рязане при различните видове обработки са дадени в [14, 15].

Необходимата енергия за подавателните задвижвания зависи при оптимална настройка и компенсация на вертикалните оси, се изчислява с уравнение [13]:

$$(3) \quad E_{feeds} = \sum_{i=1}^m \int_{t_{fsi}}^{t_{fe_i}} P_i \cdot dt ,$$

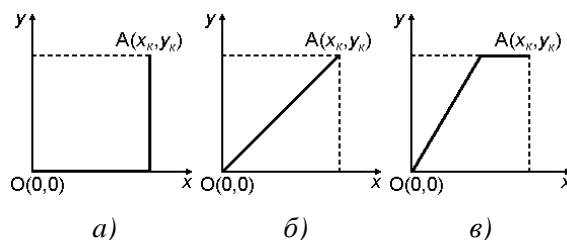
където  $P_i$ ,  $t_{fsi}$ ,  $t_{fe_i}$  са съответно мощността, началното и крайното време на работа за  $i$ -та ос.

Мощността на подавателните движения при обработка на реален детайл се разделя на две части: движение на бърз ход (при позициониране) и движение при отнемане на материал. За намаляване на времето за позициониране и респективно консумираната енергия, се прилагат следните алгоритми, дадени на фиг. 2, където използваните означения са следните:  $O(0, 0)$  – начална точка;  $A(x_k, y_k)$  – крайна точка на зададения позиционен цикъл.

На фиг. 2а е показана траектория, която се получава при последователно движение по координатни оси  $x$  и  $y$ . Общото време за позициониране е сума от времената за движение по двете оси:

$$(4) \quad t_n = t_{nx} + t_{ny} ,$$

където:  $t_{nx}$  е времето за движение по координатната ос  $x$ ;  $t_{ny}$  – времето за движение по координатната ос  $y$ .



**Фиг. 2.** Алгоритми за позициониране при подавателните задвижвания.

На фиг. 2б е дадена траектория, която се получава при едновременно движение по двете координатни оси, като времето за позициониране е следното:

$$(5) \quad t_n = t_{nx} = t_{ny} .$$

На фиг. 2в е представена траектория, която се получава при комбинирано движение по двете координатни оси. Ако двете задвижвания работят с еднакви скорости, общото време за позициониране е равно на времето, което е необходимо на задвижването с по-голямото зададено преместване:

$$(6) \quad t_n = t_{nx} .$$

Енергията за извършване на механичната обработка ( $E_{c_{spf}}$ , [kWh]), може да се определи с уравнение [16]:

$$(7) \quad E_{c_{spf}} = \frac{P_c \times t_c \times 6}{100} ,$$

където  $P_c$  - мощност на рязане в зависимост от обработката, като тя се разпределя между подавателното и главното движение;  $t_c$  - време на рязане.

Автоматичната смяна на инструментите и хидравличната система са взаимосвързани за изследвания клас вертикални центри, като подробно описание на механичната система, принцип на ра-

бота и предложени управления са дадени в [17].

Необходимата енергия на двигателя за завъртане на инструменталния магазин се определя с уравнение [13]:

$$(8) \quad E_{tool} = P_{tool} \times t_{tool},$$

където  $P_{tool}$  - мощност на двигателя за системата за смяна на инструменти, която е постоянна величина;  $t_{tool}$  - време за достигане между зададената и реалната позиция.

Необходимата енергия за хидравличната система при избор на инструмент се определя с уравнение:

$$(9) \quad E_{hyd} = P_{hyd} \times (t_{tool} + 1s),$$

където  $P_{hyd}$  - мощност на двигателя за хидравличната система, която е постоянна величина.

С разработена ладер диаграма е намалена енергийната консумация на инструменталния магазин чрез:

- активиране на хидравличната система само при реално завъртане на инструменталния магазин;

- търсене на най-краткия път за достигане на зададената позиция.

Необходимата енергия за охлаждащата система се изчислява с израза [13]:

$$(10) \quad E_{cool} = P_{cool} \times t_{cool},$$

където  $P_{cool}$  и  $t_{cool}$  са съответно мощността на помпата за охлаждане, която е постоянна величина, времето на работа на помпата.

Системата за дозаторно мазане се използва за мазане на направляващите с масло през определен интервал от време, като тя е автоматизирана чрез разработена ладер диаграма. Необходимата енергия за тази система се определя със следното уравнение:

$$(11) \quad E_{dos} = P_{dos} \times t_{dos},$$

където  $P_{dos}$  и  $t_{dos}$  са съответно мощността на помпата за дозаторно мазане, която е постоянна величина и времето на работа на помпата, определено от разработената ладер диаграма.

Консумираната енергия от системата за ЦПУ е значително по-ниска в сравнение с другите системи и не оказва съществено влияние върху общата консумирана енергия на машината.

Необходимата енергия на двигателя за завъртане на устройството за твърдо ъглово позициониране на детайла се изчислява с уравнение:

$$(12) \quad E_{dfp} = P_{dfp} \times t_{dfp},$$

където  $P_{dfp}$  - мощност на двигателя за завъртане на устройството за твърдо ъглово позициониране на детайла, която е постоянна величина;  $t_{dfp}$  - време за достигане между зададената и реалната позиция, като завъртането е в една посока.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия са формулирани изискванията към металорежещите машини с ЦПУ. Представена е обобщена блокова схема на системата за задвижване като основен енергиен консуматор. Описани са възможностите за изчисляване на задвижванията, които изграждат клас вертикални обработващи центри.

Посочени са някои възможности за намаляване на енергийната консумация на машината.

Проведените изследвания и получените резултати могат да се използват при проектирането, разработването и изчисляването на енергийната консумация на обработващи центри с ЦПУ.

## Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Научноизследователски проект „Перспективни ръководители“ на Технически университет – София № 201ПР0003-08/2020.

## 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] Колева, С., Замфиров, И., Енчев, М., Метод за зъбофрезование на цилиндрични колела с прави зъби на център МЦ032, „*Механика на машините*”, 2009, брой 80, стр. 76-79, ISSN 0861-9727.
- [3] Колева, С., Енчев, М., Машиностроителното производство у нас – белези, изисквания, ефективност, *Научни Трудове на Русенския университет*, Русе, 2015.
- [4] <https://www.engineering-review.bg/bg/obrabotvashti-centri/2/1768/>
- [5] C. Obrea, M. Pascu, L. Mihaila, and M. Funaru, “Design of an automatic tool changer system for milling machining centers,” *Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23rd International DAAAM Symposium*, Volume 23, No. 1, pp. 1139-1142, 2012.
- [6] Жилевска, М., М. Дочев, А. Хинова, Основни направления при проектирането на металорежещи машини с ЦПУ, *International Scientific Conference: Engineering. Technologies. Education. Security*, Vol. 1, Issue 1(7), pp. 40-42, 2019, ISSN 2535-0315.
- [7] Михов, М., *Системи за електрозадвигване*, Технически университет – София, София, 2011, ISBN 978-954-438-922-2.
- [8] Bratovanov, N., Robot Modeling, Motion Simulation and Off-line Programming Based on SolidWorks API. *The Third IEEE International Conference on Robotic Computing*, pp. 574-579, 2019.
- [9] Zhilevski, M., Increasing of the Opportunities for a Class of Machine Tools with Digital Program Control, *International Scientific Journal “Machines. Technologies. Materials.”*, Vol. 13, Issue 12, pp. 538-541, 2019, ISSN 1313-0226.
- [10] Дочев, М., Стойчев, С., Ефективност от използване на честотно-регулируемо задвижване на шевни машини, *UNITEX 2008 –ТУ Габрово*, том 2, стр.192-194;
- [11] Спиоров, Д., Дочев, М., Мониторинг система за определяне на енергийните характеристики на инверторно електрозадвигване с еднофазен колекторен двигател, *UNITEX 2015 , ТУ – Габрово*, 20-21, 2015, т.1 , стр.124-128, ISSN 1313-230-X.
- [12] Жилевски, М., М. Михов, Подавателно електрозадвигване за шпиндела на фрезови машини, *Научни известия на НТС по машиностроене*, т. 23, №. 3, 50-53, 2015, ISSN 1310-396.
- [13] He, Y., F. Liu, T. Wu, F. Zhong, B. Peng Analysis and estimation of energy consumption for numerical machining, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, DOI: 10.1177/0954405411417673, 2012.
- [14] Zhilevski, M., Mikhov M., Optimization of the Drive System Choice for a Class of Drilling Machines, *EJECE, European Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 2, Issue 6, pp. 12-16, 2018, ISSN: 2506-9853, DOI: <http://dx.doi.org/10.24018/ejece.2018.2.6.42>.
- [15] Zhilevski, M., M. Mikhov, T., Optimal selection of feed electric drives for boring machines, *8th International Scientific Conference “TechSys 2019” - Engineering, Technologies and Systems, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 618, 2019, ISSN: 1757-8981, doi:10.1088/1757-899X/618/1/012003.
- [16] Tao, P., X. Xu, Energy-efficient machining systems: A critical review, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI: 10.1007/s00170-014-5756-0, 2014.
- [17] Жилевски, М., Управление на система за избор на инструменти при клас металорежещи машини, *Годишник на Технически университет - София*, т. 69, №. 3, 9-16, София, 2019, ISSN 1311-0829.