

№6
червень 2023

збірник наукових праць

ТЕХНІЧНА ТВОРЧІСТЬ

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ТЕХНІЧНА ТВОРЧІСТЬ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№6 червень 2023 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Збірник наукових праць «Технічна творчість»

Засновано в жовтні 2015р.

Виходить 2 рази на рік

Хмельницький 2023, №6

Технічна творчість: Збірник наукових праць./ Укл.: Скиба М.Є., Поліщук О.С., Романець Т.П. - Хмельницький: ХНУ, 2023. – № 6 - 45 с.

Редакційна колегія:

Голова:

Скиба М. Є. - д.т.н., проф. член-кореспондент НАПНУ

Співголова:

Радкевич В.О. - д.п.н., проф., член-кореспондент НАПНУ

Заступник голови:

Поліщук О.С. – д.т.н., проф.

Відповідальний секретар:

Романець Т.П. – к.т.н., доц.

Технічні редактори:

Горященко С.Л. –к.т.н., доц.

Лісевич С.П. – старший викладач

Члени редакційної колегії:

Бонек М. д.т.н. (Польща), Бромберек Ф. д.т.н. (Польща), Бурмістенков О.П. д.т.н., Гергель М. д.т.н. (Польща), Гордєєв А.І. д.т.н., Диха О.В. д.т.н., Драпак Г.М. к.т.н., Зацепкіна Н.М. д.т.н., Злотенко Б.М. д.т.н., Калда Г.С. д.т.н., Мазуркевич А. д.т.н. (Польща), Майдан П.С. к.т.н., Мартинюк А.В. к.т.н., Матушевський М. д.т.н. (Польща), Мілих В.І. д.т.н., Місяць В.П. д.т.н., Мусял Я. д.т.н. (Польща), Неймак В.С. к.т.н., Олександренко В.П. д.т.н., Орловський Б.В. д.т.н., Панасюк І.В. д.т.н., Пуць В.С. к.т.н., Синюк О.М. д.т.н., Смутко С.В. к.т.н., Снядковський М. д.т.н. (Польща), Танські Т. д.т.н. (Польща), Ткачук В.П. к.т.н., Троціковський Т. д.т.н. Польща, Чорний О.П. д.т.н.

**Рекомендовано до друку Рішенням Науково-технічної Ради
Хмельницького національного університету
Протокол № 7 від 27.06.2023 р.**

Наукові праці друкуються у авторській редакції

За достовірність фактів, назв та посилань на літературні джерела
відповідальність несуть автори

Адреса редакції Збірника наукових праць «Технічна творчість»:
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 5, м. Хмельницький, Україна, 29016
кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
<http://maees.khnu.km.ua/>
e-mail: maees1969@gmail.com

ЗМІСТ

1.	A. Polishchuk, O. Polishchuk, M. Skyba, S. Lisevich. USING GRAPHITE TO CREATE COMPOSITE MATERIALS FOR 3D PRINTING	4
2.	A. Polishchuk, O. Polishchuk, M. Skyba, M. Rubanka. DEPENDENCE OF THE FORM OF THE 3D PRINTER EXTRUDER SCREW FROM THE PROPERTIES OF THE POLYMER MATERIAL	5
3.	А. Єрій, Т. Романець. РОЗРОБКА СИСТЕМ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ РОЗМІЩЕНИХ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ШЛЯХАХ	7
4.	Паламарчук А.Ю., Майдан П.С. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ГОЛОВНОЇ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРОЄКТУ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	9
5.	Кулько В.М., Майдан П.С. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВИДІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ	11
6.	Огурок А.С., Майдан П.С. ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРІВ.....	13
7.	Костюк М.В., Майдан П.С. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛКТРОПРИВОДОМ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ.....	15
8.	Миклуш Р.М., Урбанюк Є.А., Милько В.В. ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ДОВГОМІРНИХ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК ВРАХУВАННЯМ ЖОРСТКОСТІ ЙОГО ВУЗЛІВ.....	17
9.	Кіт Д.С., Соколан К.С., Милько В.В. МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА МП-9С	19
10.	Мица В.В., Мовчанюк А. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВІРТУАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ОДЯГУ	21
11.	Пундик С. І., Кармаліта А. К. ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД З ЧПК НА КРОКОВИХ ДВИГУНАХ.....	23
12.	Пасічник А. М., Горященко С. Л. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ВІД НАВАНТАЖЕНЬ	25
13.	Вознюк М. А., Горященко С. Л. МОДЕЛЮВАННЯ СИНХРОННИХ КОНДЕНСАТОРІВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ	27
14.	Марчук Н. В., Горященко С. Л. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДА ДЛЯ ПОВІРКИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	30
15.	Рубанка М.М., Поліщук О.С., Демішонкова С.А. ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛІ З ВАЛОМ	32
16.	Рубанка М.М., Поліщук О.С., Демішонкова С.А. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ ЛАНЦЮГОВОЇ ПЕРЕДАЧІ	34
17.	Рубанка М.М., Манойленко О.П., Ставрुक С.В. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕСТАТАХ CNC В TOPSOLID SAM	36
18.	Смутко С.В., Підгайчук С.Я., Гопало Д. ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗУБЧАСТО-ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ	38
19.	Неймак В.С., Романець Т.П. РОЗРОБКА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛООВОГО СТАНУ СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРІВ ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ	40
20.	Тимошук О.Г. РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШОРСТКОСТІ СПРЯЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОБОЧОГО КОМПРЕСОРА	42

**USING GRAPHITE TO CREATE COMPOSITE MATERIALS FOR
3D PRINTING**

A. Polishchuk, O. Polishchuk, M. Skyba, S. Lisevich
Khmelnytskyi National University

Graphite powders are widely used in polymer composites, alone or in combination with reinforcing fibers, as well as in various inorganic fillers and mixtures, e.g. with mica, talc. Such composite materials with graphite include the properties of dry sliding, sealing (which are important in automotive and micro-mechanical spare parts and components).

Properties of graphite that contribute to its use in polymer composite materials:

- low coefficient friction by score scaly structures graphite in the composition composite, especially on external parts solid substances composite material (reduces friction);
- trend to formation films transition on connecting surface (helps decrease wear, in particular, when graphite used in production as dispersion on water basis);
- high thermal conductivity (decreases increase temperature under time friction);
- electrical conductivity (prevents accumulation static charge which may be a problem for some cases);
- chemically inert (used in combination with active substances and in aggressive one's environments);
- high thermal stability (at benefit use in conditions tall temperatures, for example, polyamide, where graphite composites they can be used up to 350 °C).

Composite materials with use graphite, they can be example polystyrene, polyamide, polyethylene, polypropylene and others.

In case use of polystyrene addition high purity large crystal graphite leads to to decrease friction and intensity wear and tear. In polyamide addition graphite lowers coefficient friction, but causes some magnification speed wear and tear With use graphite in the form of powder turns out better the result In case polyethylene low density and polypropylene, introduction graphite causes magnification friction and wear and tear, but data Indexes depend from of choice size particles.

It is believed that magnification wear and tear polymeric composite materials related to strength clutch on surface polymer and graphite, which depends from wetting powder. Also, it may depend from properties specific polymer, area surface powder graphite to him volume and chemical interaction surfaces. It's easier say, polystyrene shows strong connection surface graphite, then as polyolefins show weak connection. Interphase clutch increases with decrease size particles graphite.

Ago relatively thin powders graphite (95% < 15 μm) is recommended for thermoplastics. Thermoreactive polymers lot less sensitive to fillers and polymeric interactions. Also, they can be used and rougher powders graphite (as rule, 95% < 75 μm) depending from type polymer material. For thermoplastics, viscosity polymer melt with graphite in extrusion / forming, will also depend from size particles graphite, which should answer technologies. Area surface particles graphite also strongly affects on quality composite material. For example, excessive size particles graphite may bring to formation emptiness in finite one's composites, as a result desorption steaming hot melt.

As usually high purity graphite more it is desirable to to minimize wear and to improve properties composite materials, though this parameter may be not priority, in the presence abrasive fillers (fiberglass, carbon fibers, separate reinforcing components and additives).

Having analyzed the above, it was decided to use graphite powder as a filler for mixtures with polymer materials in the manufacture of products by the 3D printing method. The following grades of graphite will be used for experimental research: GL-1; GAK-1 and EUZ-M.

The use of graphite as a filler will make it possible to obtain new composite materials and mixtures with improved operational characteristics (strength, stiffness, heat resistance, etc.) for 3D printing.

UDC 678.05

Energy and resource saving technologies and equipment

**DEPENDENCE OF THE FORM OF THE 3D PRINTER EXTRUDER SCREW
FROM THE PROPERTIES OF THE POLYMER MATERIAL**

A. Polishchuk¹, O. Polishchuk¹, M. Skyba¹, M. Rubanka²

¹*Khmelnyskyi National University*

²*Kyiv National University of Technologies and Design*

One of the main methods of polymer processing is extrusion. Extrusion (from Late Latin extrusio - pushing out) is a technology for obtaining products by forcing a viscous molten material through a forming hole [1].

Screw extrusion is a continuous process in which there is a constant phase transformation of thermoplastic polymer material, starting from granules (crushed particles) of thermoplastic polymer to a viscous polymer melt. The main element is the screw (worm) of the extruder, which feeds the granules along the material cylinder. The polymer particles are then melted using external heaters and extruded from a nozzle attached to the material cylinder.

Extrusion processes are widely used in industries that seek to implement advanced solutions in the manufacture of finished products in the chemical, food, and pharmaceutical sectors. Films and sheets, pipes, hoses and profiled products of various cross-sections are produced by the extrusion method, thin-layer coatings are applied to paper, cardboard, fabrics, metal foil, metal wires and cables are covered with plastic insulation. The method is characterized by high productivity and continuity. Thanks to this, conditions arise for the automation of not only individual equipment, but also entire productions. In this regard, extruders are one of the most promising types of equipment for processing polymer materials.

Screw Extrusion Additive Manufacturing (SEAM) is a universal process of deposition of polymer material for 3D printing.

Nowadays, technologies of additive three-dimensional prototyping are constantly developing. One of the most popular 3D printing technologies is the FFF - Fused filament fabrication technology. [2]. A polymer thread with a diameter of 1.75 or 2.85 mm is used as a material for printers that work according to this technology. The cost of filament can be quite significant compared to the raw material from which it is made. Therefore, the direction of development for 3D printers of screw extruders, which use granulated thermoplastic polymers or crushed waste particles as material, is promising and relevant. Today, industrial enterprises do not manufacture screw extruders for 3D printers. There are several projects using screw extrusion in 3D printers. Therefore, the screws are not optimized for 3D printing conditions.

Screw extruders are divided into single-screw and multi-screw. A single-screw extruder is the most common type of equipment used in polymer processing enterprises. Its main advantages are: simple design, relatively low cost, strength and reliability, as well as a favorable ratio of performance and cost.

The screw of a conventional extruder for plasticizing the material has three geometrically different zones (Fig. 1).

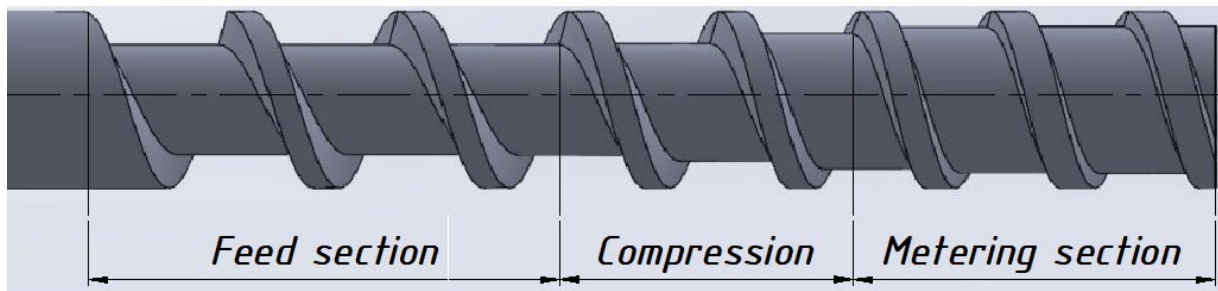


Fig. 1. The geometry of the screw of a conventional extruder

For a single-screw extruder, the main process parameters that determine the amount of molten polymer flow are: screw geometry, change in melt temperature, and screw rotation speed. These process parameters will also determine parameters such as torque and power consumed by the device.

In work [3], depending on the type of polymer materials being processed, screws are divided into 3 main groups:

- screws for polymers with a wide temperature range of plasticization (softening). Such augers have a slightly longer loading zone length compared to the compression and dosing zones. The lengths of the compression and dosing zones should be approximately the same. With different extrusion modes, it is extremely difficult to meet this requirement due to the fact that the length of the dosing zone strongly depends on the technological modes of processing certain types of polymer materials, and it is economically unprofitable to manufacture screws for each mode. This type of auger should ensure the degree of compression of the material and $i_{dc} = 2.0-3.5$;

- screws for materials with a wide range of softening temperatures and low thermal stability. The length of the material loading zone for them is similar to the screws of the previous group. The compression zone is slightly larger. There is no dosing zone in most cases. The degree of compression of the material is recommended and $i_{dc} = 1.5-2$;

- screws for highly crystalline materials. Such augers have an increased loading area compared to the loading area of the augers of the first group, a reduced compression area and a similar dosing area. They are characterized by the maximum degree of compression of the material and $i_{dc} = 3-4.5$.

Due to the fact that most polymer materials (PLA, ABS, PS, PC, etc.) used in 3D printing have a wide temperature range of plasticization, and crystalline plastics (PLA, PA, PE, PP, etc.) are not highly crystalline, the screw design of the first group was chosen for the 3D printer extruder [4].

References

1. Extrusion. [Electronic resource]. Access mode: <http://surl.li/mjkdd> .
2. Razumov-Fryzyuk E.A., Gurin D.V., Nikitin D.O., Strilets R.E., Blyznyuk D.S. Modeling screw extruder for FFF 3D printing . Radiotekhnika No. 209. 2022. P.206-214.
3. Technological equipment for the production of construction and polymer products - 1. Equipment for construction materials and products. Laboratory practicum on academic discipline [Electronic resource]: teaching . help _ / KPI named after Igor Sikorskyi; edited by: V. I. Sivetskyi , V. M. Kurylenko , I. I. Ivitskyi . - K.: KPI named after Igor Sikorskyi, 2018. – 45 p.
4. A. Masyuk , H. Kysil, V. Skorokhoda, D. Katruk , V. Levitsky Thermophysical properties of modified polylactide materials. A collection of scientific works based on the materials of the III (distance) International Scientific Conference " Advanced Polymer Materials and Technologies" Kyiv, KNUTD, April 14-15, 2020 - P.28-33.

**РОЗРОБКА СИСТЕМ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ РОЗМІЩЕНИХ НА
ЗАЛІЗНИЧНИХ ШЛЯХАХ**

А. Єрій, Т. Романець

Хмельницький національний університет

В сучасному світі, щорічне зростання попиту на електроенергії та необхідність в альтернативних джерелах енергії, все більше загострює потребу у використанні відновлювальних джерел енергії, зокрема енергії сонячного випромінювання. Під час проектування та побудови сонячних електростанцій (СЕС) виникає проблема пов'язана з використанням великої площі земельних ділянок необхідних для проведення сільськогосподарської діяльності, будівництва та створення природних екологічно недоторканих зон (заповідників).

Тому, завданням нашої роботи є пошук шляхів збільшення частки виробленої екологічно чистої сонячної енергії при використанні мінімальних площ суходолу необхідних для ведення різноманітних видів господарської діяльності.

Щорічно залізниця обслуговує понад 80% вантажних та 50% пасажирських перевезень. Річний обсяг споживання електроенергії для потреб "Укрзалізниці" складає 6 млрд кВт*год електроенергії, з яких 1 млрд кВт*год використовується для пасажирських перевезень. в Україні [3].

Нами запропоновано один із інноваційних методів побудов сонячних електростанцій шляхом розміщення активної частини СЕС поміж рельс залізничних шляхів. Що в свою чергу дозволить зменшити часку електроенергії споживану залізничним транспортом в загальній енергетичній системі країни. Довжина всіх залізничних шляхів в Україні складає більше 20 тисяч кілометрів, 45% з яких – електрифіковано [1].

Враховуючи ширину колій (рис. 1) та їхню загальну протяжність на території України визначаємо потенційну площу для прокладання сонячних панелей систем СЕС за формулою:

$$S_n = 20000000 \cdot A_p - 20000000 \cdot (A_p - A_n), \text{ м}^2 \quad (1)$$

де 20000000 - загальна довжина колій в Україні, м;

A_p - ширина колій в Україні, рівна 1.52 м;

A_n - максимально дозволена ширина сонячної панелі, обмежена шириною колісної пари локомотива [3], м.

Підставивши значення в формулу (1) отримуємо:

$$S_n = 20000000 \cdot 1.52 - 20000000 \cdot (1.52 - 1.4) = 28000000 \text{ м}^2.$$

Україна має сприятливе географічне розташування для розвитку фотоелектричної генерації електричної енергії. Згідно з картою інсоляції, приблизно на 80% території країни середній показник становить більше трьох одиниць. Для розрахунку приймаємо середній рівень сонячної інсоляції для України станом на 15 жовтня (середня тривалість сонячного дня впродовж року).

Враховуємо коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячних панелей та кут падіння сонячних променів отримуємо (в розрахунках приймаємо ККД для сонячних панелей складених з кремнієвих фотодіодів, зазвичай досягає до 20 %):

$$W_n = S_n \cdot I \cdot \eta_{\text{крем.п.}} \quad (2)$$

де $\eta_{\text{крем.п.}}$ - коефіцієнт корисної дії сонячних панелей;

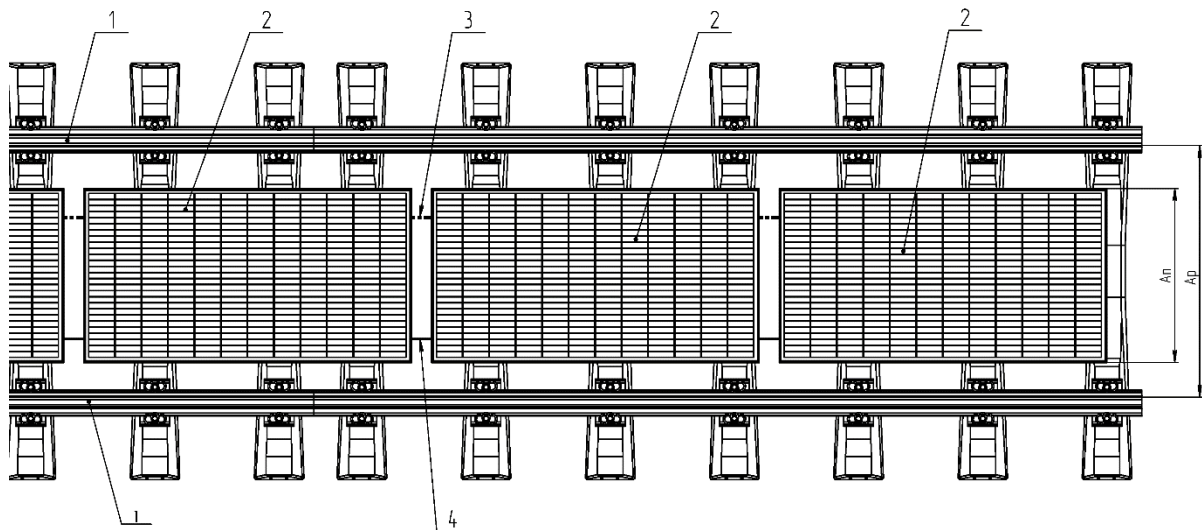
I – повна інтенсивність випромінювання на площину, Вт/м². Для України станом на 15 жовтня середнє значення складає 3,2084 [4], (кВт год/доб.)/м²;

S_n - потенційну площу для прокладання сонячних панелей.

Підставивши значення у формулу 2 отримуємо кількість потенційно згенерованої сонячної енергії за період часу - добу:

$$W_n = 28000000 \cdot 3,2084 \cdot 0,2 = 17967,04 \text{ кВт/доб.}$$

На рисунку 1 показано схему розміщення сонячних елементів на колях залізничних шляхів.



1 – рельс; 2 – сонячна панель; 3, 4 – кабельні з'єднання; A_n - ширина сонячної панелі; A_p - відстань між рельсами.

Рисунок 1 - Розміщення сонячних елементів на колях залізничних шляхів

Згідно поставленого завдання було запропоновано метод розміщення СЕС та розраховано потенційну кількість електричної енергії, що може бути згенерована шляхом використання даного принципу їх побудови для забезпечення живлення тягових та пасажирських потягів.

Висновки: використання запропонованої системи реалізації СЕС підвищує ефективність використання площі поверхні землі, та дозволяє заощадити на транспортуванні електричної енергії до джерел її споживання.

Перелік посилань

1. Залізничні шляхи [Електронний ресурс]/Режим доступу: [Залізничні шляхи – UkraineInvest](#) (дата звернення 07.06.2023).

2. ДСТУ EN 14033-4:2020 Залізничний транспорт. Залізничні колії. Машина для будівництва та обслуговування. Частина 4. Технічні вимоги до експлуатації, пересування та роботи на міській залізниці (EN 14033-4:2019, IDT).

3. РІЧНИЙ ЗВІТ АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ» [Електронний ресурс]/Режим доступу: https://portal.uz.gov.ua/wp-content/uploads/2020/12/Book_UZ_19_UA_FIN_web.pdf (дата звернення 07.06.2023).

УДК 621.311.21

Енерго-і ресурсозберігаючі технології та обладнання

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ГОЛОВНОЇ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРОЄКТУ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Паламарчук А.Ю.,
Майдан П.С.

Хмельницький національний університет

Наразі на гідроелектростанціях (ГЕС) виробляється близько двадцяти відсотків усієї електроенергії, що виробляється у світі. Загально відомо, що електроенергію на ГЕС отримують за рахунок перетворення механічної енергії водяних потоків. Нині ведеться, в основному, будівництво саме потужних ГЕС, оскільки питомі витрати малих за розміром ГЕС можуть значно перевищувати відповідні витрати у великих.

Первинними двигунами на ГЕС є саме гідротурбіни, які в свою чергу приводять в обертання синхронні гідрогенератори. Потужність електростанції визначається напором та величиною витрати води. Напір води створюється за допомогою греблі. Водний простір перед греблею носить назву верхній б'єф, а нижче греблі, відповідно, нижній б'єф. Саме різниця рівнів верхнього (РВБ) та нижнього б'єфа (РНБ) і буде визначати напір [1, 2].

В електричній частині ГЕС досить подібні до конструкцій конденсаційних електростанцій. Як і КЕС, гідроелектростанції зазвичай розташовуються далеко від центрів споживання, оскільки місце їх монтажу залежить здебільшого від природних умов. Тому електроенергія, що виробляється на ГЕС, видається лише на високих та надвисоких напругах. Відмінною характеристикою всіх конструкцій ГЕС є невелике споживання електроенергії на власні потреби (ВП).

Технологія виробництва електроенергії на ГЕС досить легка і проста в автоматизації. Пуск агрегату на ГЕС триває не більше однієї хвилини тому резерв потужності в загальній енергосистемі (ЕС) доцільно забезпечувати такими агрегатами.

ККД більшості конструкцій ГЕС становить близько 85-90%. Завдяки меншим експлуатаційним витратам собівартість електроенергії виробленої на ГЕС, як правило, у кілька разів нижча, ніж собівартість електроенергії виробленої на теплових електростанціях (ТЕС).

Багато ГЕС вмикають саме у піковій частині графіка навантаження, тому часто виконуються планові вмикання та вимикання, що потребує установку вимикачів на генераторній напрузі [2-4].

Нам необхідно організувати живлення споживачів на 110 кВ, представлених трьома незалежними лініями довжиною 40 км кожна, а крім того споживачів на генераторній напрузі (ГН) в 10 кВ із максимальною сумарною потужністю не більше 50 МВт. Базуючись на величині даної потужності, спроектуємо споживачів на ГН у вигляді десяти кабельних ліній потужністю по 5 МВт та відповідною довжиною в десять кілометрів.

Запропонуємо два варіанти виконання головної структурної схеми:

1. Усі генератори працюють на розподільчу установку (РУ) ГН, є трансформатори зв'язку від РУ ГН та відповідно РУ 110 кВ;
2. Два генератори працюють на РУ ГН, пов'язане з РУ 110 кВ за допомогою трансформатору зв'язку та один окремий генератор у блоці на РУ 110 кВ.

Вибір необхідних генераторів.

Відповідно до технічного завдання - загальна потужність гідрогенератору

становить 41,6 МВт у довідниковій літературі відповідає лише один із типових гідрогенераторів, а саме СВ-1030/120-68.

Технічні характеристики гідрогенератора, оберемо відповідно до довідникової літератури [2, 4].

Необхідно також врахувати і власні потреби (ВП) гідрогенератору. Для ГЕС потужністю менше ніж 200 МВт витрата на ВП становить на рівні 2-3% від загальної потужності всієї електростанції. Зробимо вибір відсотку витрат на ВП на рівні 2,5%.

Запропонуємо два варіанти виконання головної структурної схеми:

- Варіант №1 - усі гідрогенератори підключені на РУ ГН, є трансформатори зв'язку розташований між РУ ГН та РУ 110 кВ. У запропонованій схемі всі гідрогенератори підключені до ГРУ, від якого відходять два трансформатора зв'язку та, відповідно, лінії до споживачів. На відміну від другого варіанту виконання, де трансформатори різні, у даному варіанті виконання необхідно підібрати два абсолютно однакові трансформатори.

- Варіант №2 - два гідрогенератори працюють на РУ ГН, підключені до РУ 110 кВ за допомогою трансформатору зв'язку та один гідрогенератор у блоці на РУ 110 кВ. У даній схемі на ГРУ працюють два гідрогенератори, третій гідрогенератор розташований окремим блоком.

З довідкової літератури [5] з проектування електричних мереж оберемо потрібні типи трансформаторів та вкажемо тільки необхідні їх параметри, тобто ті які було використані для підбору трансформаторів (рівень напруги та повну потужність) та параметри, необхідні для розрахунку втрат електроенергії:

Для трансформатору Т1 виберемо двообмотковий трансформатор, але із розщепленою обмоткою НН – трансформатор типу ТРДЦН-63000/110/10. Відповідно, для трансформатору Т2 візьмемо схожий двообмотковий трансформатор типу ТДЦ-63000/110/10, оскільки в ряду потужностей трансформаторів в діапазоні між 40 та 63 МВА відсутні проміжні значення.

На проєкті ГЕС потужністю понад 60 МВт необхідно передбачити роздільне живлення для агрегатних та загальностанційних споживачів ВП через трансформатори малої потужності, а саме на рівні 30% від потужності ВП для агрегатних та 70% - для загальностанційних [1, 2].

Потужність ВП в даному проєкті ГЕС згідно із розрахунками наведеними вище дорівнює 3,9 МВА. Звідки - $S_{ВП\text{агр}} = 1,17 \text{ МВА}$ та $S_{ВП\text{заг}} = 2,73 \text{ МВА}$.

Використаємо ступінчасту схему електропостачання для ВП. Для цього будемо застосовувати РУ на 6 кВ для СН усієї електростанції, а потім живлення будемо подавати від нього агрегатні ВП на напрузі 380 В за допомогою трансформаторів. Для першого ступеня використаємо два трансформатори власних потреб (ТВП1 та ТВП2), обидва розраховані на повну потужність ВП електростанції, що забезпечує приховане резервування.

Оскільки потужність ВП знаходиться на рівні 3,9 МВА, тоді використаємо трансформатор типу ТМН-4000/10.

Агрегатні ВП, напруга яких знаходиться на рівні 0,4 кВ, буде підключатись через РУ 6 кВ за допомогою ТВП по 400 кВА кожен. Необхідно взяти по одному ТВП на кожен гідрогенератор (ТВП3, ТВП4 та ТВП5), а також забезпечити резервування агрегатних ВП, змонтувавши додатковий, резервний РТВП6. Для цих цілей використаємо трансформатори типу ТС3-400/10.

Перелік посилань

1. Самойленко Є.Г. Гідроенергетичне обладнання гідро- та гідроакмулюючих електростанцій. – Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2006. – 410 с.
2. Назаров Т.М. Гідроелектричні станції. Багатофакторні задачі. – К. : УМК ВО, 1992. – 104 с.
3. Золотухін В.І. Водноенергетичні розрахунки при проектуванні гідроелектростанцій / В.І. Золотухін, В.В. Лугаєв. – Рівне : НУВГП, 2005. – 204 с.

4. Самойленко Є.Г. Основи проектування гідроенергетичних вузлів : підручник. – Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2011. – 388 с.

5. В.В. Кирик. Електричні мережі та системи: підручник. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Вид-во «Політехніка», 2021.

УДК 621.316.925.1

Енерго-і ресурсозберігаючі технології та обладнання

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВИДІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ

Кулько В.М.,
Майдан П.С.

Хмельницький національний університет

Відомо, що на ТЕС виробляється близько $\frac{3}{4}$ всієї електроенергії, виробленої на планеті. Це пов'язане з тим, що органічне паливо присутнє майже в усіх районах планети; технічним прогресом на ТЕС, який дозволив спорудження електростанцій великої потужності; можливістю переміщення органічного палива на електростанцію із місця видобутку, якщо електростанція розташована поблизу споживачів електроенергії; можливістю використання не лише електричної енергії, а і відпрацьованого тепла робочого тіла та відпуску його споживачам.

Загально відомо, що єдина енергосистема (ЄЕС) України складається із восьми регіональних електроенергетичних систем - Північної, Дніпровської, Донбаської, Західної, Південно-Західної, Південної, Кримської та Центральної, які об'єднані системоутворюючими та міждержавними високовольтними лініями електропередач (ЛЕП).

Встановлена потужність електростанцій України (сумарна) – 53,8 ГВт, шести гідравлічних – 5,5 ГВт, (на превеликий жаль вже п'яти гідравлічних електростанцій) та п'яти атомних – 13,8 ГВт [1, 2].

У машинному залі такої ТЕС розташовано котел із водою. Під час згоряння органічного палива вода в котлі нагрівається до кількох сотень градусів та відбувається перетворення на пару. Отримана таким чином пара під тиском починає обертати лопаті турбіни, турбіна з іншого боку починає обертати генератор, який в свою чергу буде виробляти електричний струм [3].

Передача електроенергії від ТЕС за допомогою ЛЕП виконується за рівнів напруги в діапазоні 100-500 кВ, тобто таких, що значно перевищують рівень напруги на генераторі. Таке підвищення рівня напруги необхідне для якісної передачі електроенергії на досить великі відстані. Потім виконується зворотне зниження рівня напруги до рівня, який необхідний споживачеві, зазвичай 0,4 кВ. Перетворення рівнів напруги виконується на електричних підстанціях за допомогою використання трансформаторів. А тепла енергії у вигляді гарячої води транспортується із ТЕЦ теплотрасами, які змонтовані під землею для зниження тепловтрат [3, 4].

Ключовою особливістю ТЕЦ є те, що відпрацьовану в турбіні гарячу воду або пару потім застосовують для гарячого водопостачання та опалення комунальної та промислової сфер. ТЕЦ розташовують переважно у великих містах, оскільки ефективне транспортування пари або гарячої води через досить суттєві втрати тепла в трубах можливо на відстанях, які не перевищують 20-25 км. Крім того, для зниження теплових втрат, конструкції ТЕЦ необхідно доповнювати невеликими підстанціями, які мають розташовуватись недалеко від споживача. За всіх перерахованих недоліків ТЕЦ є спеціалізованими установками із комбінованого виробництва електро- та теплової енергії, у зв'язку з цим сумарний ККД для витрати палива підвищується до рівня 70-76% [3, 4, 5].

Серед конструкцій ТЕС найпоширенішими є теплові паротурбінні (ПТУ) ТЕС, на яких теплову енергію використовують для одержання у парогенераторі водяної пари

високого тиску, яка в свою чергу використовується для обертання ротора парової турбіни, що з'єднаний із ротором електричного генератора. Як паливо на такому типі ТЕС використовують органічне, а саме мазут, природний газ або вугілля.

ПТУ, що оснащені в якості приводу електрогенераторів конденсаційними турбінами та не використовують тепло відпрацьованої пари для постачання теплової енергії споживачам, носять назву конденсаційних електростанцій. ПТУ, оснащені теплофікаційними турбінами, які використовуються для транспортування теплової енергії відпрацьованої пари промисловим чи побутовим споживачам, носять назву ТЕЦ [4].

ТЕС які в якості приводу для електрогенератора використовують газові турбіни носять назву газотурбінних електростанцій (або ТЕС із ГТУ – із газотурбінною установкою), у камері згоряння ГТУ відбувається процес згоряння рідкого палива або газу; продукти згоряння із температурою в діапазоні 750-900°C надходять до газової турбіни, що в свою чергу обертає електрогенератор. ККД даних ТЕС із використанням ГТУ складає приблизно 30-33%, загальна потужність - до кількох сотень МВт. ГТУ зазвичай використовують для згладжування піків електричного навантаження [3, 4, 5].

ТЕС із парогазотурбінною установкою, що складається з двох агрегатів – паро- та газотурбінного, носить назву парогазової електростанції (або ТЕС із ПГУ, або просто - ПГУ). ККД даної установки може досягати 56-68%. ТЕС із використанням ГТУ або ПГУ можуть транспортувати теплову енергію зовнішнім споживачам, тобто працювати в режимі ТЕЦ [4].

Важливу роль серед теплових установок відіграють так звані конденсаційні електростанції (або КЕС). Паливо потрапляє у топку парового котла, що оснащений системою трубок, у яких циркулює спеціальна хімічно очищена вода. У паровому котлі вода нагрівається, відбувається випаровування, а утворена насичена пара нагрівається до температури рівня 450-600°C та під тиском в діапазоні 3-24 МПа транспортується через паропровід до парової турбіни. Загальні параметри отриманої пари повністю залежать від потужності встановлених агрегатів. Далі одна частина пари повністю використовується в турбіні для вироблення електроенергії в електричному генераторі та потім потрапляє у конденсаторну установку, а інша відбирається від проміжних ступенів парової турбіни і використовується для підігріву води для живлення в спеціальних підігрівачах. Конденсат за допомогою насосу через деаератор та насос живлення транспортується в парогенератор. Теплові конденсаційні електростанції мають досить невисокий ккд (на рівні 35-40%), оскільки більша частина отриманої енергії втрачається разом із топковими газами, що викидаються, і охолоджувальною водою конденсатора [3, 4, 5].

Було проаналізовано загальні відомості про види та конструкції теплових електростанцій, на основі якого буде виконано аналітичний розрахунок параметрів головної схеми електричних з'єднань для майбутнього проекту ТЕС, а саме вибрано основне обладнання та підібрано автотрансформатори зв'язку для проекту ТЕС

Перелік посилань

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року // Спец. випуск інформаційно-аналітичного бюлетеня. 23 березня 2006 р. – К.: Відомості Мінпаливенерго України. – 2006. – 144 с.
2. Україна: електроенергетика – Режим доступу:
<https://vue.gov.ua/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0:%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0>
3. Основи теплової енергетики: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. В. Борисенко, В. А. Пешко. – Електронні текстові дані (1 файл: 41,9 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 149 с.
4. Теплова енергетика - нові виклики часу / за заг. ред. П. Омеляновського, Й. Мисака; [упоряд. А. Акімов]. - Л: Українські технології, 2009. - 658 с. - ISBN 978-966-345-194-7.
5. Теплоелектроцентралі. Методика розрахунку проектних техніко-економічних показників теплових схем ТЕЦ: Учебний посібник до дипломного проекту студентів різних форм навчання за

УДК 621.316.925.1

Енерго-і ресурсозберігаючі технології та обладнання

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРІВ

Огурок А.С.,

Майдан П.С.

Хмельницький національний університет

Загально відомо, що електростанціями називаються установки або підприємства, робота яких призначена для виробництва електроенергії.

Електрична енергія знаходить суттєве застосування в усіх галузях господарства. Велике сприяння цьому дають наступні її властивості, такі як простота використання та універсальність, передача на великі відстані та можливість виробництва у великих кількостях промисловим способом.

Теплоелектроцентрально або ТЕЦ – установка або підприємство призначена для централізованого постачання промислових підприємств та міст не лише електроенергією, а і теплом [1, 2].

Під час проєктування та наступної експлуатації будь-якої електроенергетичної системи необхідно враховувати можливість виникнення в системі пошкоджень або ненормальних (аварійних) режимів роботи. Найнебезпечнішими та водночас найпоширенішими видами є так звані короткі замикання (або КЗ). Ненормальні режими роботи та пошкодження системи можуть призводити в свою чергу до виникнення аварій, під якими зазвичай розуміють вимушені порушення нормальної роботи всієї системи або лише частини.

Першопричини виникнення аварій можуть бути досить різними, але здебільшого є результатом своєчасно не виявлених та не виправлених дефектів устаткування, або ж незадовільних проєктування, монтажу та наступної експлуатації. Черговий технічний персонал не в змозі в потрібний час виявити виникнення КЗ, або пошкоджений елемент та передати сигнал на відключення його вимикачів. Тому електричні установки необхідно забезпечувати автоматично діючими пристроями, так званим - релейним захистом (РЗА) або запобіжниками, що захищають в тому числі і від виникнення КЗ [1-3].

Основним призначенням РЗА є автоматичне відключення пошкодженого устаткування від іншої, не пошкодженої частини системи за допомогою використання вимикачів. Важливість даного виду РЗА визначається тим, що без неї взагалі не можлива безперебійна робота електроенергетичних установок [4-9]я.

Генератори, на сучасному етапі розвитку промисловості, є достатньо складними та дороговартісними машинами. Тому до РЗА для генераторів висуваються підвищені вимоги за збільшення швидкодії, розрахункових видів пошкодження, зменшення або повного усунення мертвих зон.

До основних видів пошкодження генераторів відносять наступні:

- між фазні КЗ на статорній обмотці - найсуттєвіший вид ушкодження, оскільки супроводжується протіканням достатньо великих струмів і, як наслідок, значними ушкодженнями статорної обмотки та заліза;

- виникнення однофазного замикання на землю на статорній обмотці;

- виникнення виткових замикань на статорній обмотці;

- виникнення замикань між витками однієї фази на статорній обмотці;

- виникнення замикань на землю у двох точках роторного ланцюга;

- проходження в статорній обмотці струму, суттєво вищого за номінальний, обумовленого виникненням зовнішнього КЗ;
- проходження в статорній обмотці струму, що обумовлене симетричним перевантаженням.

Для захисту від виникнення багатозазних КЗ в статорній обмотці генератора монтується швидкодіючий подовжній диференціальний захист, що спрацьовує на відключення [7-14]. Мережі генераторної напруги підключені з ізольованою нейтраллю саме тому диференційний захист можливо монтувати на двох фазах. Проте в такому випадку не можливо забезпечити вимкнення генератора в разі виникнення подвійних замикань на землю (одне із замикань у мережі, інше може виникати на фазі генератора, що не оснащена диференціальним захистом). Тому в додаток до двофазного диференційного захисту необхідно передбачити РЗА від виникнення замикань на землю. Таким чином, з метою підвищення загальної надійності захисту генераторів устанолюємо трифазний диференційний захист.

Для забезпечення захисту генератора від виникнення однофазних замикань на землю в статорній обмотці будемо використовувемо блок-реле типу БРЕ1301 у виконанні ЗЗГ-12 .

Для захисту від виникнення виткових замикань буде використовуватись поперечний диференційний захист, що базується на порівнянні струмів двох паралельних гілок статора [4-9].

Для захисту кіл збудження (або ротора) генератора від виникнення замикання на землю буде застосовувати спеціальний РЗ; дія його базується на принципі роботи моста постійного струму, плечі якого становлять опори ланцюга збудження та спеціального потенціометра [4-9]. РЗ вмикається в роботу тільки в випадку виникнення стійкого замикання на землю в одній точці кола збудження та є захистом від виникнення повторного замикання на землю в колі збудження. РЗ буде використовуватись в одному комплекті на всю станцію, який буде переносним. У разі виникнення замикання на землю в одному місці кола збудження генератор може продовжувати виконувати роботу. У вимірювальному ланцюзі повинен бути змонтований максимальний струмовий захист, що діє на отриманий сигнал.

Для захисту статорної обмотки генератора від симетричного перевантаження необхідно змонтувати захист на реле РТВК із високим коефіцієнтом повернення, підключеним в одну з фаз вторинного кола трансформатора.

Фільтровий захист зворотної послідовності буде використовуватись для захисту генератора від виникнення зовнішніх КЗ та, крім того, для захисту генератора від впливу несиметричних перевантажень [4-9].

Перелік посилань

1. Основи теплової енергетики: концепт лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. В. Борисенко, В. А. Пешко. – Електронні текстові дані (1 файл: 41,9 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 149 с.
2. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання/Є.І. Бардик, М.П. Лукаш /К.: "Політехніка" НТУУ "КПІ" 2012. - 250 с.
3. Костишин, В.С. Електрична частина станцій та підстанцій: навч. посіб. /В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. - 243 с
4. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. - 533 с.
5. Яндульський О. С., Дмитренко О. О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. - 102 с.
6. Баженов В. М., Одегов М. М. Сучасні технології та методи побудови систем релейного захисту і автоматики в електроенергетиці - Режим доступу: web.kpi.kharkov.ua/avkib/uk/metodichnezabezpechennya/
7. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання / Говоров П.П. та ін. – К. 1996. – 350 с.

8. Баженов В. Н. Релейная защита элементов электрической сети с напряжениями 110...0,4 кВ: пособ. для практ. расчетов. Харьков: Планета-Принт, 2017. - 96 с.

9. Кідиба В. П., Шелепетень Т. М. Захист ліній електропередавання. Львів: Вид. Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. - 185 с.

УДК 681.5

Сучасні засоби автоматизації виробництва,
мехатроніка та робототехніка

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

Костюк М.В.,
Майдан П.С.

Хмельницький національний університет

Доцільне використання паливно-енергетичних та водних ресурсів, а також охорона довкілля загалом визначили напрямок розвитку систем тепло- та водопостачання. Під час проектування нових та модернізації існуючих систем водопостачання дедалі частіше передбачають розробку та створення систем безстічного водокористування, яка базується на замкнутих циклах. Головними енергетичними ланками систем водопостачання, що використовуються для забезпечення транспортування різних рідких речовин по водопроводах, звичайно є насосні станції.

Тому завданням нашої роботи є проектування системи автоматичного керування електроприводом насосної установки (НУ), наприклад, для системи гарячого водопостачання або насосної станції (НС) для гарячого водопостачання (для теплового пункту).

Загально відомо, що НУ щорічно витрачають близько 20% електроенергії, що виробляється в нашій енергосистемі. Нині більша частина НУ працюють в неекономічному режимі тому, що втрати електроенергії становлять близько 10-15%, а інколи можуть сягати 20-25% від електроенергії, що споживається.

Використання економічних способів регулювання, що базуються на регулюванні частоти обертання робочих коліс насоса, дає змогу значно знизити втрати електроенергії в НУ. У сучасних НУ регулювання частоти обертання робочих коліс насосів виконується за допомогою використання, так званого, автоматизованого електроприводу (АЕП).

Транспортування гарячої води по системі господарсько-побутового споживання та характер її розподілу, типу добових витрат, є нерівномірними та сильно залежать як від кількості жителів населеного пункту так і від ступеня благоустрою самих будівель.

У відкритих системах тепlopостачання житлових районів між централізованим тепловим пунктом та тепловими пунктами окремих будинків прокладають чотирирубну теплову мережу: два трубопроводи - подачі та циркуляційний, які використовуються для подачі води в систему гарячого водопостачання та два трубопроводи – знову ж, подачі та зворотний - для подачі теплоти в систему опалення окремих будинків.

Система автоматичного керування (САК) повинна працювати не лише у автоматичному, а і в ручному режимі. Під час використання системи в ручному режимі функція людини-оператора повинна полягати в ручній комутації насосів в залежності від напору речовини в мережі. Напір речовини в мережі в цьому режимі може контролюватися за давачами. Припустимо, що температура речовини в мережі буде контролюватись автоматично на центральному тепловому пункті.

Згідно з вимогами, що висувуються до НУ, вони повинні бути максимально автоматизовані та працювати без постійного надзору обслуговуючого персоналу, що чергує.

Виконання цієї вимоги можна досягти лише в випадку застосування системи автоматизованого керування. Таку систему доцільно побудувати з застосуванням програмованого контролера, у функції якого буде входити аналіз інформації про загальний стан об'єкта, що надходитиме із датчиків, і створення керівних впливів, а також передача інформації про перебіг робочого процесу на керуючу ЕОМ, що розташована на центральному диспетчерському пункті.

Вибір принципів керування НУ ми виконаємо на підставі вимог до системи автоматизації, що були описані вище. Відповідно до даних вимог було запропоновано структурну схему автоматизації установки, наведену на рисунку 1.

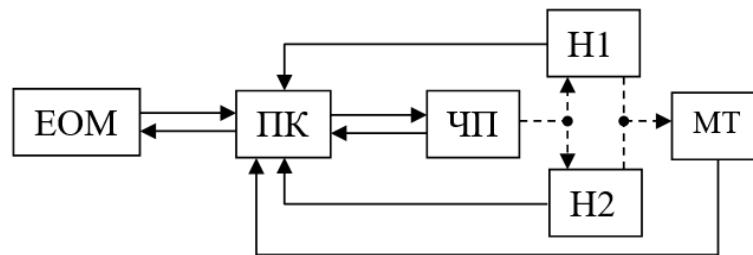


Рис. 1. Структурна схема автоматизації НУ:

ЕОМ – керуюча ЕОМ на диспетчерському пункті; ПК – програмований контролер НУ; ЧП – частотний перетворювач; Н1, Н2 – насоси №1 та №2 для НУ; МТ – мережевий трубопровід; —> - потік інформаційної взаємодії; - - - -> - потік фізичної взаємодії

Структурна схема складається із програмованого контролера (ПК) та керуючої ЕОМ, розташованою у центральному диспетчерському пункті (ЕОМ), частотного перетворювача із комутаційною апаратурою (ЧП), двох насосів (Н1 та Н2), мережевого трубопроводу (МТ).

На цій структурній схемі виконано умовний розподіл потоків інформації, а саме: від контролера до агрегатів НУ та навпаки, відповідно, вказано яку інформацію має отримувати контролер, а яку передавати далі.

У процесі роботи НУ необхідно виконати контроль наступних параметрів:

- величину напору в мережевому трубопроводі;
- витрати речовини через мережевий трубопровід;
- температуру речовини в мережевому трубопроводі.

Отже, на ПК повинна надходити інформація про величину витрати речовини, температуру речовини, напір у мережевому трубопроводі, стан ЧП та насосів (а саме електродвигунів насосів). ПК же, залежно від величини витрати через МТ, має подавати на ЧП сигнал завдання на стабілізацію величини напору на необхідному рівні. Розрахунок необхідної величини напору, в залежності від реальної величини витрати, виконується відповідно до характеристик мережі.

Проаналізувавши схему силових ланцюгів НУ ми робимо висновок, що для керування контакторами необхідно лише чотири дискретні вихідні сигнали. Для керування ЧП потрібно застосовувати лише один аналоговий вихідний сигнал (напруга завдання величини напору). Деяка кількість вихідних дискретних сигналів необхідна для організації сигналізації режимів роботи всієї установки. Для контролю стану контакторів необхідно чотири дискретних входи та ще два необхідно для контролю справності ЧП та контролю необхідності ввімкнення додаткового насоса. Також для опитування датчиків необхідно два аналогових входи.

Згідно поставленого завдання було розроблено структурну схему автоматизації роботи НУ, на основі якої буде підбрано необхідну кількість та тип модулів.

Перелік посилань

1. Насосні станції : інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. – Рівне: НУВГП, 2008. – 125 с.
2. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник / Т. О. Шевченко, Ю. В. Ярошенко, М. М. Яковенко, В. М. Беляєва ; Харків. нац. ун-т міськ. гос-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ, 2014. – 195 с.
3. Колотило М. І. Насоси, повітродувки, компресори : навч. посібник для вузів / М. І. Колотило – Харків : ХДТУБА, 1997. – 128 с.
4. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: «УкрНДВодоканалпроект», розробники: О. Оглобля, Г. Пархомович, О. Буланий та інш. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 280 с.

УДК 621.791

Технологія машинобудування

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ДОВГОМІРНИХ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ З ЧПК ВРАХУВАННЯМ ЖОРСТКОСТІ ЙОГО ВУЗЛІВ

Миклуш Р.М.,
Урбанюк Є.А.,
Милько В.В.

Хмельницький національний університет

Одним із головних напрямів технічного розвитку країни є перехід економіки на шлях інтенсивного зростання продуктивності праці, поліпшення точності і якості продукції. Автоматизація технологічних процесів дає відповідь на поставлені питання, а використання устаткування з числовим програмним керуванням (ЧПК), що забезпечує автоматичний процес оброблення, скорочення часу налагодження обладнання, можливість багатOVERSTATного обслуговування, підвищення якості продукції, продуктивності праці і поліпшення культури виробництва, є ефективним засобом такої автоматизації. В той же час обробка на токарних верстатах з ЧПК довгомірних деталей стикається із проблемою забезпечення точності форми і розмірів їх поверхонь, що виникає в тому числі і за рахунок можливих зміщень елементів технологічної системи верстат-інструмент-пристрій-деталь (ВПД), у даному випадку переднього і заднього центрів та супорта верстата, величина яких у свою чергу визначається податливістю вузлів верстата і діючими в напрямку цих деформацій зусиллями. Величини цих зміщень при переміщенні інструменту уздовж деталі залежать від розподілу сили різання P_y між переднім і заднім центром, у яких встановлено заготовка, та супортом верстата. Характер зміни цих деформацій представлений на рис. 1.

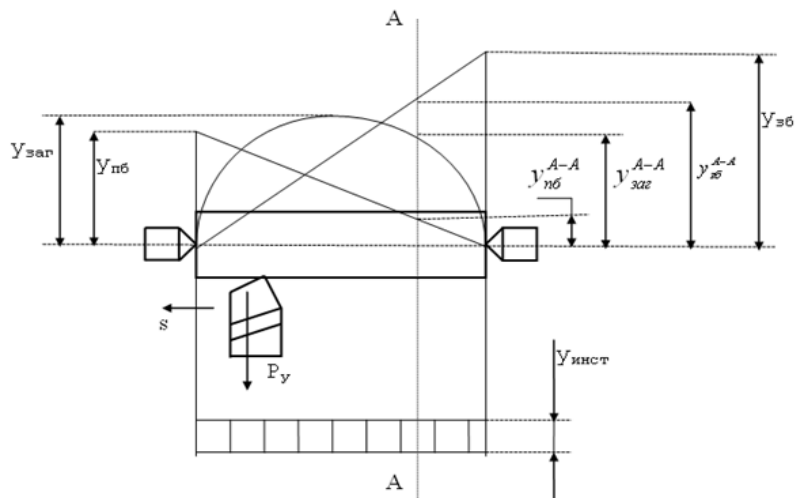


Рис. 1. Пружні деформації елементів технологічної системи при токарному обробленні в центрах

Якщо жорсткість елементів верстата висока, а жорсткість оброблюваної заготовки невисока (обточування довгого й тонкого вала на масивному верстаті), то деформації $y_{н.б.}$ і $y_{з.б.}$ будуть малими, а $y_{заг}$ значна в порівнянні із ними, то у результаті форма заготовки стає бочкоподібною (див. рис. 2, а). Навпаки, при обробленні масивної заготовки, що дає мінімальний прогин, на верстаті з низькою жорсткістю вузлів ($y_{н.б.}$ і $y_{з.б.}$ значні) форма деталі виходить корсетоподібною з найменшим діаметром посередині заготовки (див. рис. 2, б).

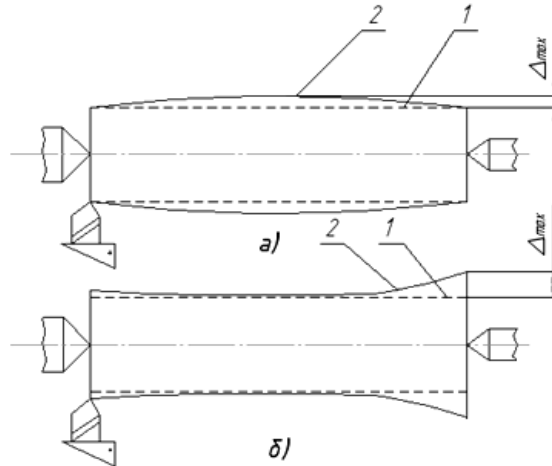


Рис. 2. Можливі варіанти відхилення від теоретичного профілю деталі:
1 – теоретичний профіль; 2 – дійсний профіль

Існує декілька відомих способів підвищення точності оброблення на металорізальних верстатах з ЧПК, серед яких варто відзначити:

- періодичне вимірювання відповідності траєкторій переміщення виконавчих органів верстата заданим і на підставі результатів цих вимірювань розрахунок таблиці корекції, що заноситься в систему ЧПК та використовується у подальшому для корекції положення виконавчих органів під час оброблення;
- використання приводів з пристроями малих переміщень, де в якості вимірювальної бази використовують еталонну поверхню, яка задає форму траєкторії руху інструменту.

До недоліків цих способів слід віднести залежність точності компенсації похибок від періоду між двома операціями вимірювання відповідності розмірів деталі заданим, неможливість компенсації пружних і теплових деформацій тощо.

Тому запропоновано використовувати систему автоматичного керування токарним верстатом з ЧПК із датчиком відстані, що вимірює відстань від необробленої поверхні виробу до бази інструмента, тобто, поточну глибину різання, пристроєм пам'яті, порівняльним пристроєм, датчиками положення рухомих вузлів верстата і приводом подачі, завдяки чому глибина різання підтримується рівною розрахунковому значенню для поточної точки поверхні виробу, яке міститься у пристрої пам'яті. На поверхню заготовки накладається умовна координатна сітка, крок якої залежить від потрібної точності компенсації та особливостей конкретного верстата. Датчик, що вимірює відстань від бази інструмента до необробленої поверхні виробу, тобто, глибину різання, встановлюють на верстаті безпосередньо біля інструмента. Результати вимірювань автоматично заносяться у пристрій пам'яті у вигляді тримірної дискретної моделі поверхні заготовки. При суміщенні отриманої моделі із завчасно підготовленою моделлю поверхні готового виробу відповідної структури отримують модель глибини різання як масив значень відстані між відповідними точками моделей поверхні заготовки і готового виробу. Після цієї операції інструмент повертають у робочий стан і починають оброблення. Під час оброблення результати вимірювань поточної глибини різання від датчика надходять

до порівняльного пристрою, де порівнюються з розрахунковим значенням для поточної точки, що взяте з моделі глибини різання, яка міститься у пристрої пам'яті. В результаті порівняння генерується сигнал корекції, який надходить до приводів подачі супорта верстата і забезпечує компенсацію розходження реальної поточної глибини різання з розрахунковим значенням для поточної точки координатної сітки.

Висновок: запропонованим способом можна зменшити вплив пружних деформацій елементів технологічної системи ВПД на точність розмірів і форми виробу до значення, співрозмірного із чутливістю датчика зворотного зв'язку, або, інакше кажучи, елементарного переміщення супорта верстата по обох координатах.

УДК 621.791

Технологія машинобудування

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА МП-9С

Кіт Д.С.,
Соколан К.С.,
Милько В.В.

Хмельницький національний університет

Прискорення технологічних процесів в машинобудуванні, скорочення витрат часу на обробку деталей, а в сукупності підвищення продуктивності із одночасним зменшенням собівартості готової продукції дає змогу конкурувати на ринку. Використання промислових роботів дозволяє вирішувати вищезазначені задачі, тому проблема модернізації конструкції промислових роботів наразі є актуальною задачею. Пневматичний промисловий маніпулятор МП-9С призначений для виконання та орієнтування деталей в автоматизованому технологічному процесі збирання, штампування. Даний промисловий робот має достатньо просту та надійну механічну частину, проте його керуюча система працює на основі пристрою управління ЕЦПУ - 6030, який призначений для управління маніпуляторами з позиціонуванням на упори та на даний час морально та технічно застаріла.

З метою модернізації системи керування промисловим роботом проведено аналіз сучасних існуючих рішень та розглянуто два сімейства контролерів AVR та PIC. В результаті було вирішено обрати мікроконтролери AVR оскільки він стійкіші до перешкод, надійніший в експлуатації, ніж мікроконтролери сімейства PIC, до того ж вони виконують один командний цикл за один такт проти одного циклу за чотири такти у PIC і, зрештою, мікроконтролери AVR мають більшу кількість методів адресації.

В якості системи керування стендом розглядалися три системи на базі платформи платформи Arduino, такі як Arduino UNO, Arduino LEONARDO, Arduino MEGA. Враховуючи характеристики цих апаратних платформ було зроблено вибір на користь Arduino Mega 2560, яка має найбільшу кількість цифрових входів/виходів, так само флеш-пам'ять, ОЗУ та енергонезалежну пам'ять.

Структурна схема управління промисловим маніпулятором МП-9С представлено на рис. 1.

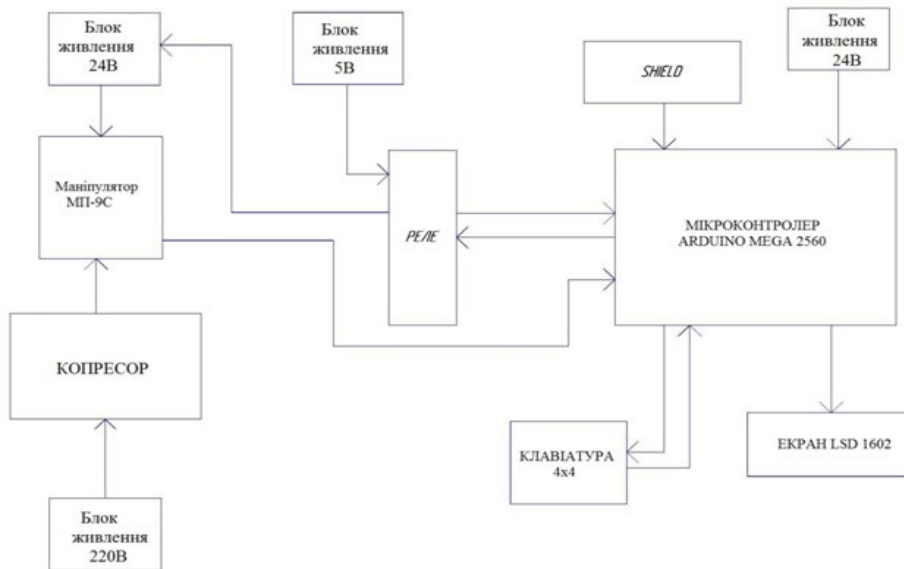


Рис. 1. Структурна схема управління пневматичним промисловим маніпулятором МП-9С

Принципова схема управління зображена на рис. 2.

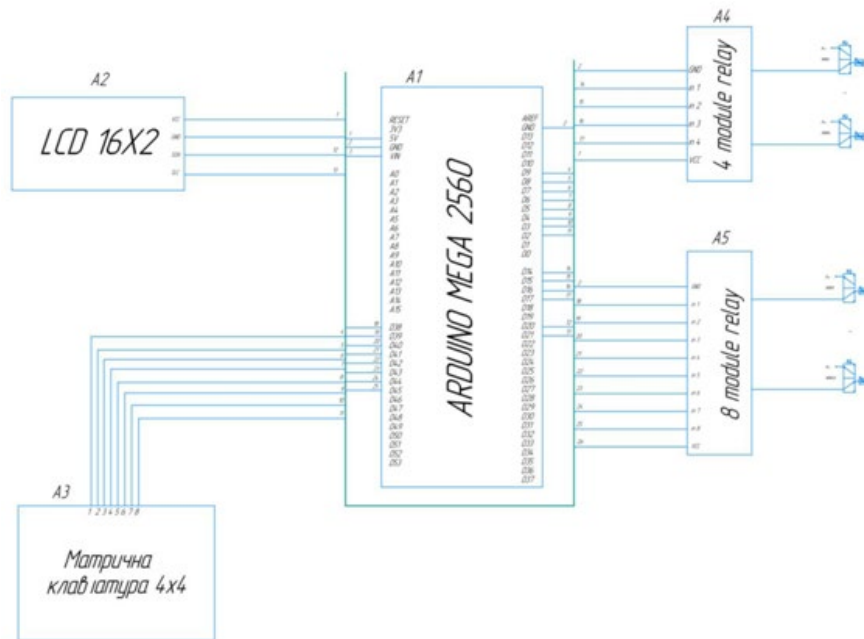


Рис. 2. Принципова схема управління пневматичним промисловим маніпулятором МП-9С

Виконання кожного кроку забезпечується контролем стану датчиків (кінцевих вимикачів). При переміщенні керованої ланки маніпулятора в крайню задану точку траєкторії, відповідний кінцевий вимикач замикається, на вході контролера з'являється керуючий сигнал, відбувається перехід до виконання наступної команди. Якщо сигнал кінцевого вимикача відсутній, виконання програми зупиняється. Вибір команди здійснюється оператором за допомогою матричної клавіатури. При натисканні на кнопку клавіатури виконується дія, або певний цикл, на екран виводиться вибрана дія.

Загальний вигляд шафи керування промисловим роботом МП-9С показано на рис. 3.

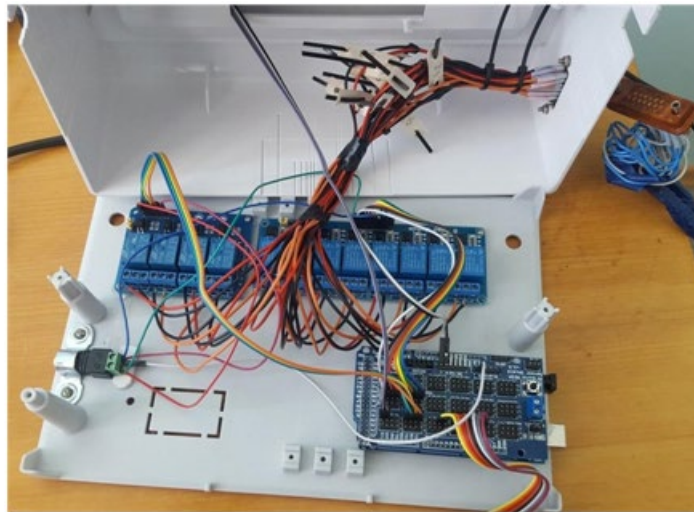


Рис. 3. Загальний вигляд шафи керування пневматичним промисловим маніпулятором МП-9С (кришку відкрито).

Висновок: використання сучасної елементної бази та систем керування дозволяє провести модернізацію морально та технічно застарілих промислових роботів, що дає змогу зекономити кошти та значно підвищити продуктивність без значних капіталовкладень.

УДК 687.016:004.9

Інформаційні технології проектування

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВІРТУАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ОДЯГУ

Вікторія МИЦА
Анастасія МОВЧАНЮК

Хмельницький національний університет

Вживання швейної промисловості на світовому ринку залежить від передових технологій, програмного забезпечення та навичок, які використовуються в проектуванні, виробничому процесі та постачанні галузі, починаючи від проектування до виробництва [1]. Стрімкий розвиток віртуальних показів та віртуальних магазинів свідчить про те, що актуальною проблемою стає дослідження програмного забезпечення процесів 3D дизайну одягу, що дозволить підвищити якість проектування в контексті віртуального простору та забезпечити доступ вітчизняних дизайнерів до світових ринків інтелектуальних послуг.

Щодня стає чіткіше та зрозуміліше, що головними перевагами використання штучного інтелекту на різних етапах проектування одягу є підвищення ефективності, економія коштів та зменшення відходів. Саме тому індустрія моди переживає грандіозний перехід в розрізі дизайну та створенні ескізів одягу. Значна частка професіоналів, модельєрів-любителів, практиків надають перевагу програмному забезпеченню для 3D дизайну одягу, оскільки воно допомагає їм бачити реалістичну версію своїх дизайнів у реальному часі [2, 3].

Однією з найпопулярніших програм для тривимірного дизайну одягу в індустрії моди є CLO. Дана програма має ряд переваг. Вона дозволяє точно візуалізувати тканину, оскільки має в наявності сотні готових дизайнів текстильних візерунків, які можна використати для власних дизайнерських ідей. Інші функції CLO включають пошиття та відстеження, набір тканин, аватар, перевірку придатності, анімацію Runway, 3D Garment Edit тощо. Важливою перевагою даного програмного забезпечення є можливість

демонструвати розроблені проекти клієнтам до того, як доведеться розкрити справжній одяг, отже економить час і гроші, витрачені на виготовлення зразків.

Для фізичних осіб доступна безкоштовна пробна версія протягом 30 днів. Для бізнес цілей вартість складає 50 доларів США на місяць, для студентів – 450 доларів США на рік.

Virtuality Fashion – програмне забезпечення для віртуального 3D прототипування одягу. Це потужний інтегрований онлайн-інструмент, призначений для залучення творчих користувачів за допомогою технології 3D-візуальної співпраці, від першого натхнення до перевірки продукту. Це хмарна платформа, яка об'єднує внутрішні команди, глобальні відділи та зовнішніх партнерів. Вона пропонує повний спектр затверджених дизайнів у повному поєднанні кольорів, тканин і розмірів. Virtuality Fashion робить розробку нових продуктів ефективною завдяки платформі для спільної роботи, розробленій спеціально для швидкого робочого процесу в індустрії моди. Програма дозволяє користувачам ділитися своїми творіннями з потенційними покупцями та негайно отримувати відгуки. Крім того, веб-сайт приймає будь-який формат файлів, включаючи зображення, ручні ескізи та візерунки.

Щоб отримати 3D віртуальний прототип для футболок, шортів і колготок (Basics), ціна починається від 99 доларів, а для сорочок, поло, штанів і легких суконь (Fast Fashion) ціна починається від 149 доларів. Для спеціального одягу та одягу для активного відпочинку ціна починається від 349 доларів.

Browzwear стимулює цифрову трансформацію в індустрії моди за допомогою віртуальних 3D-зразків продукції. Понад 400 компаній з виробництва одягу по всьому світу та їхні партнери з ланцюжка поставок вже використовують технологічні рішення Browzwear для швидшого та екологічного виведення продукції на ринок. За допомогою Browzwear команди дизайнерів, розробників продуктів, маркетологів та виробників можуть створювати, переглядати та обмінюватися продуктами у яскравому, точному 3D форматі, зменшуючи кількість необхідних ітерацій та шаблонів, а також оптимізуючи процеси. Browzwear дозволяє компаніям створювати реалістичні віртуальні зразки одягу та вносити в них зміни за лічені хвилини, що в кінцевому підсумку дозволяє компаніям виводити одяг на ринок задовго до його фактичного виробництва, скорочуючи при цьому використання ресурсів, відходи та витрати часу.

Єдиним недоліком цієї програми є те, що вона в основному доступна лише для корпоративних співробітників. Однак програма Indie Program для індивідуальних дизайнерів також доступна, але для того, щоб скористатися її послугами, потрібно подати заявку та бути прийнятим.

Tailornova – це веб-сервіс для 3D-дизайну одягу SaaS, який дозволяє автоматизувати дизайн, розробку та виробництво одягу на замовлення в один клік. Це скорочує ланцюжок поставок і зменшує тривалі терміни виконання замовлень, які наразі обмежують індустрію моди, допомагаючи знизити витрати і складність сучасної глобальної мережі поставок. Технологія Tailornova базується на параметричних і антропометричних алгоритмах побудови лекал і машинному навчанні. Доступна цифрова дошка для ескізів, на якій дизайнери можуть створювати свої проекти, а потім розміщувати їх на 3D-структурах, щоб перевірити наявність швів і підгонку. Вартість передплати 29 доларів США на користувача на місяць.

Програмне забезпечення для дизайну одягу TUKA3D зосереджується головним чином на ідеальній посадці одягу. Його програмне забезпечення 3D Fit дозволяє здійснювати сеанси підгонки на індивідуальних віртуальних моделях TUKA3D. Даний інструмент дозволяє оцінити вільність або щільність одягу за допомогою віртуального 3D-зразка п'ятьма візуальними способами, а саме: розтягуванням, утоком, викривленням, натисканням і просвічуванням. Щомісячна абонентська плата за TUKA3D становить 29 доларів США.

Danit Peleg – всесвітньо відома модельєрка, найбільш відома своєю революційною роботою в **3D-дизайні одягу**. Вона створила першу в світі куртку, надруковану на 3D-принтері, і була названа ВВС однією зі 100 успішних жінок за 2019 рік. У 2017 році Даніт запустила на своєму веб-сайті унікальну функцію, яка дозволяла клієнтам персоналізувати свій 3D-друкований одяг, а потім замовляти його. У 2020 році Даніт опублікувала на своєму веб-сайті цифрові файли одягу, які клієнти могли завантажити та роздрукувати на будь-якому 3D-принтері. Є можливість купувати 3D-одяг онлайн на веб-сайті Danit, а також записатися на курс 3D Printed Fashion за 289 доларів США. Хоча цей веб-сайт чудово підходить для тих, хто хоче дізнатися про **тривимірний одяг**, та він не пропонує багато можливостей для створення власних дизайнів.

Optitex вважається однією з найточніших програм 3D-дизайну одягу для фотореалістичного рендерингу та підгонки лекал. Деякі з її основних функцій включають в себе точне моделювання тканини, кольори, розміщення принтів, віртуальну карту натягу, інструмент багатониткового стібка, редактор аватарів і т.д. Компанія займається розробкою програмного забезпечення для 2D і 3D САПР, особливо для дизайну одягу, що робить її однією з найкращих програм для 3D-дизайну одягу.

Таким чином, світ тривимірного програмного забезпечення для дизайну одягу вражає не лише модельєрів, а й усіх пересічних споживачів. Хто знає, дуже ймовірно, що у майбутньому ми всі будемо створювати свій власний одяг і друкувати його за допомогою 3D-технологій.

Перелік посилань

1. Чернецька Л.В., Мица В.В. Автоматизація та робототехніка в швейній промисловості. Технічна творчість: Збірник наукових праць / Укл.: Скиба М.Є., Поліщук О.С., Романець Т.П. Хмельницький: ХНУ, 2022. – № 5 - с. 46-47.
2. Славінська А.Л. Інноваційні технології модульного проектування конструктивно- уніфікованих рядів стабільного асортименту / А.Л. Славінська, В.В. Мица // Індустрія моди. – 2021. - №2. - с. 34-42.
3. Славінська А. Дизайнерська компонента застосування зорових ілюзій у моделях сучасного одягу / А. Славінська, В. Мица. // Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного дизайну», м. Київ, 22 квітня 2021 року. Київ: КНУТД, 2021. у 2 томах. Том 1. - С 181-184.

УДК 621.9

Мехатроніка і робототехніка

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД З ЧПК НА КРОКОВИХ ДВИГУНАХ

Пундик С. І.,

Кармаліта А. К.

Хмельницький національний університет

В останні роки багато вузів більше схиляються до віртуальної форми виконання лабораторних робіт на персональних комп'ютерах, приміром, у таких пакетах як Matlab, Elcut. Цьому є ряд об'єктивних причин, таких як відсутність витрат на купівлю дорогих універсальних стендів, відсутність необхідності їх технічного обслуговування, безпека виконання лабораторних робіт, можливість застосування дистанційних форми навчання і ін. [1].

Методично неправильно повністю підміняти лабораторні роботи на реальних стендах віртуальними програмами. Комп'ютерні технології зобов'язані лише доповнювати і поглиблювати знання студентів про фізичні властивості та пристрої реальних об'єктів дослідження.

Усі навчальні стенди можуть використовуватися для підготовки фахівців по різних спеціальностях.

Майбутній фахівець може брати участь у розробці конструкторських варіантів різних навчальних верстатів, використовуючи свої знання по теорії механізмів і машин,

теоретичній механіці і опору матеріалів; брати участь у студентських конференціях, де виступає сам і слухає доповіді інших студентів; вникає в проблеми, зв'язані не тільки із проектуванням механічної частини верстатів, але й електроустаткування, електроніки і програмного забезпечення.

При використанні навчальних стендів можливі наступні форми участі студентів і опановування ними досвіду:

- спостереження, знайомство, вивчення, одержання знань, умінь, навичок;
- розробка варіантів для виготовлення;
- участь у виготовленні;
- пошук інформації про комплектуючі, про аналоги, наукові дослідження в літературі, каталогах, інтернеті, на виставках, на підприємствах;
- вивчення і застосування CAD/CAM систем;
- вивчення англійської мови;
- робота електронними каталогами, базами даних;
- вирішення дидактичних проблем;
- розв'язок організаційних, виробничих, науково-технічних, економічних проблем;
- вирішення проблем конструкції, технології, досягнення компромісів;
- оптимізація, оцінка, прийняття рішень;
- написання статей, інструкцій, посібників;
- знайомство із сучасним станом досліджуваних проблем, порівняння із закордонними рішеннями і зразками;
- розуміння конкретних взаємозв'язків теорії із практикою;
- допомога в організації виставок, проведенні семінарів;
- знайомство із суміжними спеціальностями;
- здобутку навичок самостійної роботи;
- вибір місця працевлаштування.

У наш час обладнання із числовим програмним керуванням (ЧПК) є важливим виробничим інструментом. Переваги верстатів зі ЧПК [2]:

- висока продуктивність, що об'єднується із гнучкістю. (можливість автоматично перенастроюватися);
- одночасна обробка багатьох площин (включаючи кріпильні отвори) виконується за одну установку;
- присутність пристрою автоматичної заміни інструмента (магазин з попередньо налаштованим інструментом);
- керування програмою дає можливість компенсувати спрацювання устаткування в процесі експлуатації. Причому здійснення такої компенсації можливо як у ручному режимі, так і в автоматичному.
- швидке переналаштовування на обробку різних деталей;
- можливість одержання поверхонь зі складною просторовою формою;
- відсутність впливу людського фактора, як наслідок збільшення стабільності якісних характеристик продукції.

Числове програмне керування тісно увійшло в життя кожного через побутові прилади. З появою 3D принтерів, практично кожний може собі дозволити домашній верстат зі ЧПК для дрібносерійного виробництва або хобі.

В умовах ринкової економіки основними вимогами до системи керування приводом, застосовуваної в обладнанні зі ЧПК, можна назвати максимальну простоту і надійність при мінімальних габаритах.

Системи приводів із кроковим двигуном більш компактні, достовірні і надійні, крім того вони прекрасно функціонують у несприятливих погодних умовах

Кроковий двигун - це електродвигун, що перетворює входні керуючі імпульси в механічне пересування. У порівнянні з іншими електричними машинами, він має рядом переваг [3]:

- можлива робота без зворотного зв'язку, це дозволяє спростити і здешевити систему керування;
- не накопичується помилка положення ротора;
- кроковий двигун керується дискретними сигналами, які добре об'єднуються з керуєчими системами цифрового виконання.

Підвищення продуктивності праці неможливо без застосування нових технологій і обладнання із числовим програмним керуванням. У зв'язку із цим необхідно підвищувати рівень знань випускників технічних спеціальностей в даній області, і для цього проводити не тільки теоретичні заняття, але й практичні, для чого актуально створювати спеціальні випробовувальні і демонстраційні стенди.

Практична значимість вирішення поставлених завдань даної роботи є нова конструкція лабораторного стенда для більш глибокого і наочного розуміння, принципів роботи крокового двигуна і системи числового програмного керування. Практичні знання, отримані в ході роботи на лабораторній установці, допоможуть молодим фахівцям швидко інтегруватися на робочому місці, і показати себе грамотними і перспективними працівниками в самі стислі строки.

Перелік посилань

1. Н.В.Онофрейчук Основи обробки та програмування на верстатах з числовим програмним керуванням : підруч. / Н.В.Онофрейчук. — Львів : Світ, 2019. — 352 с.
2. Муляр Ю. І., Дерібо О. В. Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 91 с.
3. А.І.Пятунін. САПР підготовки управляючих програм для верстатів з ЧПК. Курс лекцій. Електронний формат, 2006.

УДК 621.311

Економіка і енергозбереження

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ВІД НАВАНТАЖЕНЬ

Пасічник А. М.,
Горященко С. Л.

Хмельницький національний університет

Конструкція блоку теплового захисту, що пропонується представлена на рис.1. Конструкція розроблена у програмному середовищі SolidWorks. Пристрій складається з: корпусу 1; кришки 2; програмоване реле 3; теплові реле 4; автоматичні вимикачі 5, 6, 7; блоку додаткових контактів 8; блоку живлення 9; вентилятору охолодження 10; актуатор блокування кришки 11; Регулятор контролера 12; Індикатор фази 13; Індикатор 14 автоматики; Індикатор ручного керування 15; Аварійний Індикатор 16; Кнопка «стоп» 17; Кнопка «пуск» 18.

Пристрій працює наступним чином. Трьох фазна мережа підключається через автоматичні вимикачі 5,6,7. Асинхронний двигун до теплового реле 4. Програма керування, що представлена у Додатку А, записується до мікропроцесорного блоку керування 3 і керує електродвигуном за допомогою регулятора 12. Стан роботи відображається на індикаторах 14,15,16. Запуск та зупинка двигуна здійснюється кнопками «Пуск» і «Стоп».

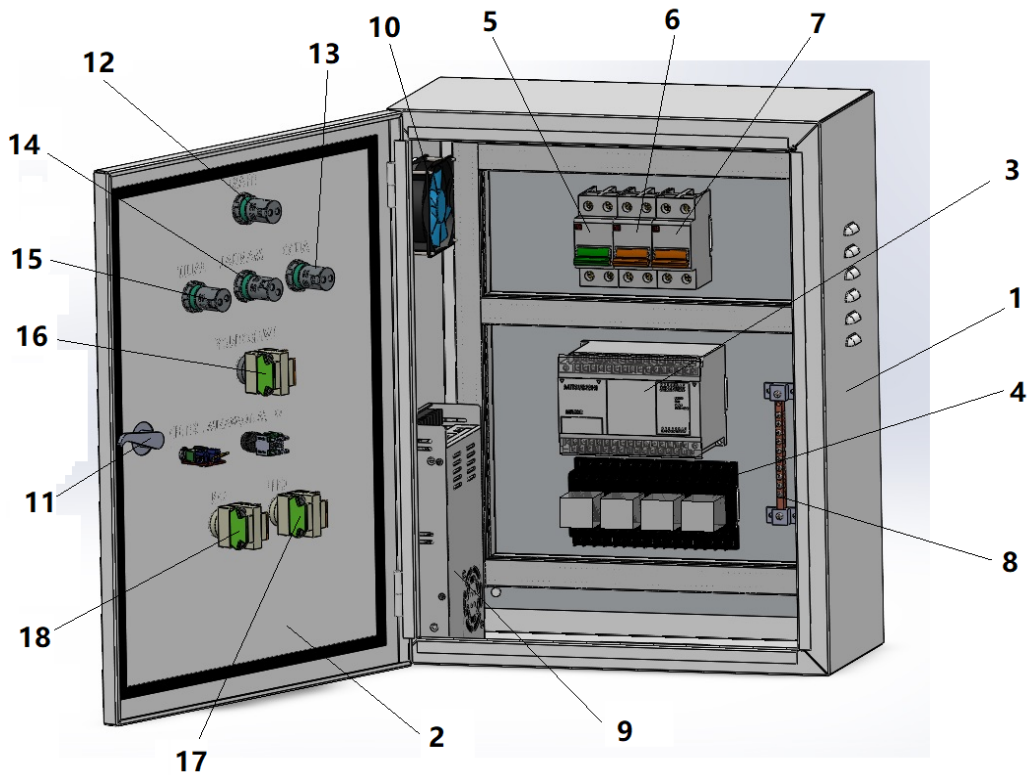


Рис. 1. Внутрішня будова конструкції пристрою для теплового захисту

На основі проведеного аналізу та розрахунків розроблено пристрій теплового захисту електродвигунів від перенавантажень на основі SIPROTEC 5 від Siemens. Пристрій призначено для узгодження функцій автоматичного керування, частотного регулювання, повного захисту та енергозбереження обладнання на лініях автоматизації промислових підприємств напругою живлення 3x220/380 В з трифазними асинхронними двигунами, насосами, вентиляторами, компресорами, підйомно-транспортним обладнанням, потужністю від 0,25 до 630 кВт. Отже у якості мікропроцесорного блок 3 обрано фірми Siemens SIPROTEC 5 (рис. 2), що встановлюються в комірках розподільчих пристроїв низької та високої напруги. Модульна конструкція пристрою забезпечує узгодженість і цілісність усіх функцій.

Цифрові багатофункціональні пристрої захисту і керування серії SIPROTEC 5 оснащені потужним мікропроцесором. Всі завдання, від вимірювання до видачі команд для керування вимикачем, виконуються в цифровому вигляді. Вимірювальні входи отримують сигнали від ТС і ТТ і адаптовані для внутрішньої обробки SIPROTEC 5. Всі функції SIPROTEC 5 обробляються мікропроцесорною системою.



Рис. 2. SIPROTEC 5

Виконуються наступні процеси: фільтрація і підготовка вимірних значень для обробки, безперервний моніторинг вимірних значень, моніторинг стану відключення відповідної захисної функції, запит порогових значень і налаштування міток часу, обробка сигналів логічних функцій управління, видача рішень про відключення вимикача і команд відключення, зберігання електричних значень з повідомлень про несправності і станів несправності, Управління операційною системою і такими функціями, як зберігання даних, годинник реального часу і т.д. SIPROTEC 5 отримує інформацію від системи та інших пристроїв через цифрові входи, наприклад, команди розподільного пристрою, сигнали про нові події і зміни в умовах енергосистеми.

Перелік посилань

1. Дудюк Д. Л., та ін.. Електричні вимірювання. Навчальний посібник – Львів: Афіша, 2003 – 272 с.
2. Інтелектуальне електронне пристрій АВВ диференціальної захисту шин REB 670. Керівництво по експлуатації продукту 1.1. редакція а. Дата випуску: березень 2007. – 58с.
3. Інтелектуальне електронне пристрій АВВ диференціальної лінії захисту RED 670. Керівництво по експлуатації продукту 1.1. редакція а. Дата випуску: березень 2007. – 92с.
4. АВВ Інтелектуальне електронне пристрій дистанційної захисту лінії REL 670. Керівництво до експлуатації продукту 1.1. редакція а. Дата випуску: березень 2007. – 91с.
5. АВВ Інтелектуальне електронне пристрій дистанційного захисту трансформатора. Керівництво по експлуатації. RET 670. Версія продукту 1.1. редакція а. Дата випуску: березень 2007. – 119с
6. Яндюльський О . С. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. С. Яндюльський, О. О. Дмитренко ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані . – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 103 с.
7. Колісник, М.О. Надійність програмних засобів мікропроцесорних пристроїв управління системою телекомунікації: навч. посібник / М.О. Колісник, І.В. Піскачова. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 167 с.
8. Пристрій для керування електродвигуном. Авторське свідоцтво №4618, кл. Н 02 Р 6/00, 2003. Авт.: Пасмурських О.О., Долженко В.В., Дубовський С.В.
9. Цифрові системи регулювання електроприводу з комбінованим керуванням. Автореф. дис. кандидата техн. наук 30.09.1999 Мінтус А.М. Донецький державний технічний університет Д., 1999 – 14с.
10. SIEMENS SIPROTEC 5 Пристрій підключення високої напруги 6MD 85/86 V6.00 і вище. Керівництво по експлуатації. C53000-G5056-C015-4.-1006с.
11. SIEMENS SIPROTEC 5 ДЗ, ДЗЛ, МТЗ для 3-х фазного відключення. 7SA82, 7SD82, 7SL82, 7SA84, 7SD84, 7SA86, 7SD86, 7SL86, 7SJ86. V6.00 і вище. Керівництво по експлуатації. C53000-G5056-C010-6.-1690с.
12. SIEMENS SIPROTEC 5 ДЗ, ДЗЛ 1- і 3-х фазне відключення вимикачів. 7SA87, 7SD87, 7SL87, 7VK87. V6.00 і вище. Керівництво по експлуатації. C53000-G5056-C011-6.-1682с.
13. SIEMENS SIPROTEC 5. МТЗ. 7SJ82/7SJ85. V6.00 і вище. Керівництво по експлуатації. C53000-G5056-C017-5.-1470с.
14. SIEMENS SIPROTEC 5. Захист електродвигуна 7SK82, 7SR85. V6.00 і вище. Керівництво по експлуатації. C53000-G5056-C024-3.-1454с
15. Полішук О. С. Моделювання частотного перетворювача в системі керування універсальною швейною машиною / О. С. Полішук, С. Л. Горященко, Є. О. Голінка // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2014. - № 2. - С. 138-142. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2014_2_29.

УДК 621.311

Економіка і енергозбереження

МОДЕЛЮВАННЯ СИНХРОННИХ КОНДЕНСАТОРІВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

Вознюк М. А.,

Горященко С. Л.

Хмельницький національний університет

Синхронні конденсатори (СК) — це в основному синхронний генератор лише з вихідною реактивною потужністю. На рисунку 1 показана принципова схема СК та його керування. Реактивна потужність, що обмінюється між СК та приєднаною

електромережею, визначається внутрішньою напругою, який пропорційний струму збудження. Змінюючи напругу збудження, можна змінювати вихідну реактивну потужність СК, щоб підтримувати напругу кінцевої шини.

У стаціонарному стані СК можна моделювати як кероване джерело напруги, яке підтримує постійну напругу шини до досягнення межі реактивної потужності. Для координації керування напругою часто вводять «падіння», яке регулює напругу шини з невеликим нахилом відносно реактивного струму. Після досягнення обмеження реактивної потужності СК можна моделювати як джерело струму. Обмеження струму зазвичай встановлюється реле захисту від надструму

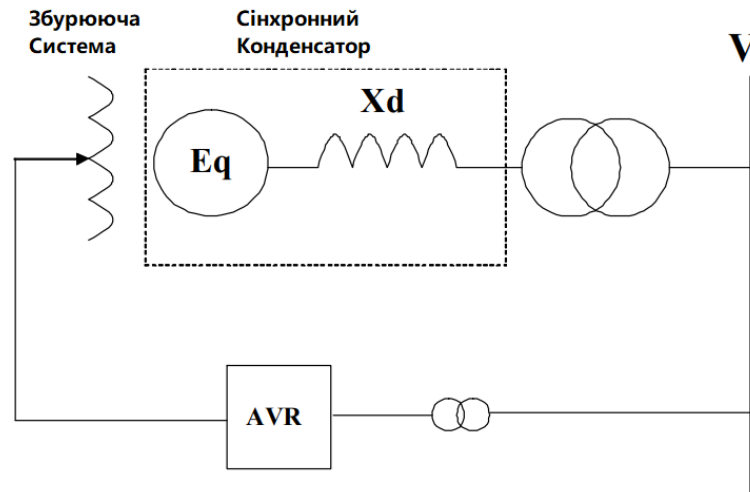


Рис. 1. Схема синхронного конденсатора та VI-характеристика

Це моделювання є доцільним у стабільному стані, оскільки реле спрацює SC, якщо він постійно працює з дуже великим струмом. Під час перехідного періоду обмеження струму, встановлене реле надструму, більше не діє. Це пояснюється тим, що реле максимального струму має затримку часу і не відключатиме пристрій протягом короткого перехідного періоду. Саме стеля збудження визначає потужність синхронного конденсатора під час перехідних процесів. У деяких випадках вихідна потужність синхронного конденсатора може бути значно вищою, ніж його номінальний показник у стаціонарному режимі. Вищезазначена філософія керування показана на рис. 2.2. Додатково це можна пояснити за допомогою еквівалентної схеми SC, підключеної до енергосистеми, як показано на рис. 2.3. Струм від SC до системної шини можна розрахувати як:

$$I = \frac{E_q - V}{X_d}, \quad (1)$$

$$I = \frac{V - V_s}{X_s}, \quad (2)$$

де E_q – напруга збудження;
 X_d – еквівалентний імпеданс;
 V_s – напруга системи;
 V – напруга на терміналах SC;
 X_s – імпеданс між SC і системою.

Основний принцип роботи СК полягає в підтримці напруги V кінцевої шини шляхом зміни E_q при зміні V_s . З (2) видно, що E_q буде збільшуватися, коли напруга системи V_s зменшується, і навпаки. Припустимо, що вихідною робочою точкою SC є А на рис. 2. Коли напруга системи зменшується, SC збільшить E_q і виведе більше реактивної потужності, перемістивши робочу точку в бік В. У точці В струм I_c є номінальним

ємнісним струмом, а також межею стаціонарного стану СК. Якщо напруга в системі продовжує збільшуватися, робоча точка переміститься до С, при якій струм буде більшим за I_{cs} . SC може працювати лише протягом короткого періоду в цій ситуації, тому що захист від надструму в кінцевому підсумку відключить його. Якщо системна напруга падає далі протягом короткого періоду часу, СК все ще може підтримувати напругу кінцевої шини, збільшуючи E_q до E_{qmax} у точці D. Ми позначаємо струм у цій точці як обмеження ємнісного перехідного струму I_{ct} . Поза D напруга збудження E_q більше не має місця для збільшення. Якщо напруга в системі все ще знижується, напруга на клемі V має зменшитися, щоб збалансувати рівняння (2), як у точці E. Знову ж таки, у будь-якій робочій точці за B, наприклад C, D або E, час, протягом якого СК може спрацювати визначається часом затримки захисту від надструму. Подібним чином можна проаналізувати поведінку СК при поглинанні реактивної потужності. На рис. 2 помічено, що межа перехідного струму СК може бути значно вищою, ніж межа струму в стаціонарному стані.

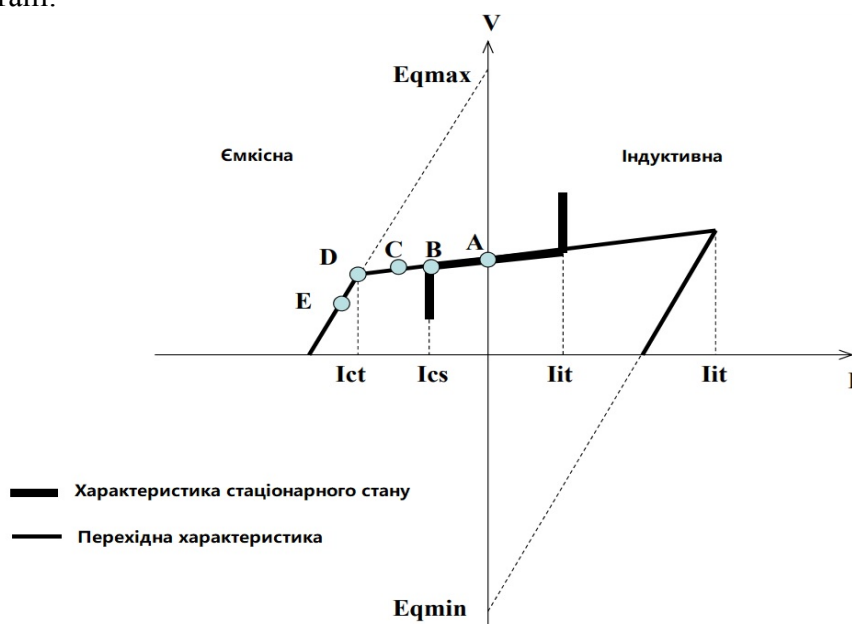


Рис. 2. Операція VI Характеристики SC

Перелік посилань

1. Левін М.С., Лещинська Т.Б. Особливості компенсації реактивної потужності в сільських мережах 0,3-8 кВ. Збірник наукових праць МГАУ ім. В.П. Горячкіна. Електрифікація, автоматизація та комп'ютеризація сільського господарства. М: 2000, С. 52-61
2. Статичні компенсатори. – Режим доступу: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/statichni-kompensatori-studopedija.php>
3. Середньозважений коефіцієнт потужності за час t (5) де i - відповідно витрата активної та реактивної потужності. – Режим доступу: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/serednozvazhenij-koefficient-potuzhnosti-za-chas-t.php>
4. Види отримання ємнісний потужності. Машинні компенсатори, синхронні електродвигуни, конденсаторні батареї і лінії електропередачі. – Режим доступу: http://ni.biz.ua/5/5_11/5_119709_vidi-polucheniya-embkostnoy-moshchnosti-mashinnie-kompensatori-sinhronnie-elektrodvigateli-kondensatornie-batarei-i-linii-elektroperedachi-kak-ispolzuyutsya-poluchennje-vidi-energii.html
5. Демов А. О., Демов О. Д., Войнаровський А. Ж., Паламарчук О. П. Особливості впровадження компенсуювальних установок у електричні мережі споживачів у сучасних економічних умовах. Енергетика та електрифікація. 2006. №2. С. 12-15.
6. Соломчак О. В. Методика вибору та порівняння варіантів компенсації реактивної потужності. Енергетика та електрифікація. 2004. №9. С. 23-27.

**РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДА ДЛЯ ПОВІРКИ ЛІЧИЛЬНИКІВ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**Марчук Н. В.,
Горященко С. Л.*Хмельницький національний університет*

Конструктивно стенд представляє собою прямокутну конструкцію на якому розміщена вертикальна панель приладів і панель закріплення лічильників, що повіряються, яка розроблялась з урахуванням [1, 2, 3].

На передній панелі стенда розміщені зліва три контрольні вольтметра, справа - три амперметри. Перші амперметр і вольтметр вимірюють напругу і струм фази А, другі фази В, треті фази С.

Під кожним контрольним амперметром розміщені штекерні перемикачі регулюємого струму. У верхній частині панелі розташовані 5 груп затискачів. Кожна група має маркування А,В,С,0, що відповідає порядку слідування фаз і 0 проводу кола напруги, і група затискачів з перемичками для увімкнення струмових кіл повіряємих лічильників.

Загальна конструкція показана на рис.1. Позиціями позначено: 1 – лічильник електроенергії, що повіряється; 2 – Табло значень повірки; 3 – блок живлення стенду; 4 – кнопка повірки; 5 – регулятор перемикачів режимів блока живлення; 6 - перемикач напруг; 7 – регулятор зміни фаз живлення; 8 – стіл; 9 – несучі напрямні елементи; 10 – елементи фіксації.

У лівій частині на блоці розташовані: частотомір, для контролю частоти напруги мережі. Перемикач 5 перемикає: S1-МЕРЕЖА, S2-НАПРУГА, S3-СТРУМ, Перемикач 6 - перемикач напруг: «ФАЗНА-ЛІНІЙНА» контрольних вольтметрів Перемикач 7 є перемикачем мережі напруги: 150, 300, 600 В..

Рядом з перемикачами розташовані зелена і червона сигнальні лампи.

Внизу зліва розташовані дві пари клем, на які подається напруга 220 В і вимикачі напруг фаз А,В,С, що мають відповідне кольорове маркування.

Регулятори напруги закріплені на алюмінієвій панелі мають спеціальні вирізи для вийманні регуляторів із стола стенда.

Правіше розміщені затискачі А,В,С,0 для підключення кіл напруги повіряємих приладів, затискачі з перемикачами, що призначені для розриву нульового проводу кола струму, і клеми з перемикачами, для увімкнення струмових кіл повіряємих приладів.

У верхній частині є фіксатори 9, що призначені для розміщення зразкових приладів. Для їх підключення є групи затискачів (по одній на кожну фазу). Два затискача кожної групи призначені для увімкнення в коло струму і дві пари – для увімкнення в коло напруги. До пари затискачів, що мають позначку UA або UB або UC, підведена фазна напруга. А до другої з позначенням U-напруга від перемикача схем.

Зліва від затискачів розміщений перемикач схем вимірювання, з права – перемикач семитруючих опорів.

Всередині стенда у блоці також розташовані підвищуючі, понижуючі, вольтодобавочні трансформатори і трансформатори струму, реле захисту, трансформатор, сигнальні лампи і блок симетруючих опорів. З тильної сторони стенда розташовані плавкі запобіжники, які одночасно виконують механічне блокування затискачами для під'єднання живлення і для приєднання фазорегулятора. Там же розташовані затискачі з перемичками для комутації струмових кіл при переході напруги з 220 на 380В. Це все розташовано у окремому блоці, які розмішені в середині стенда.

У зручному місці для оператора, розташовуються на направляючих кріплення для повіряємих приладів

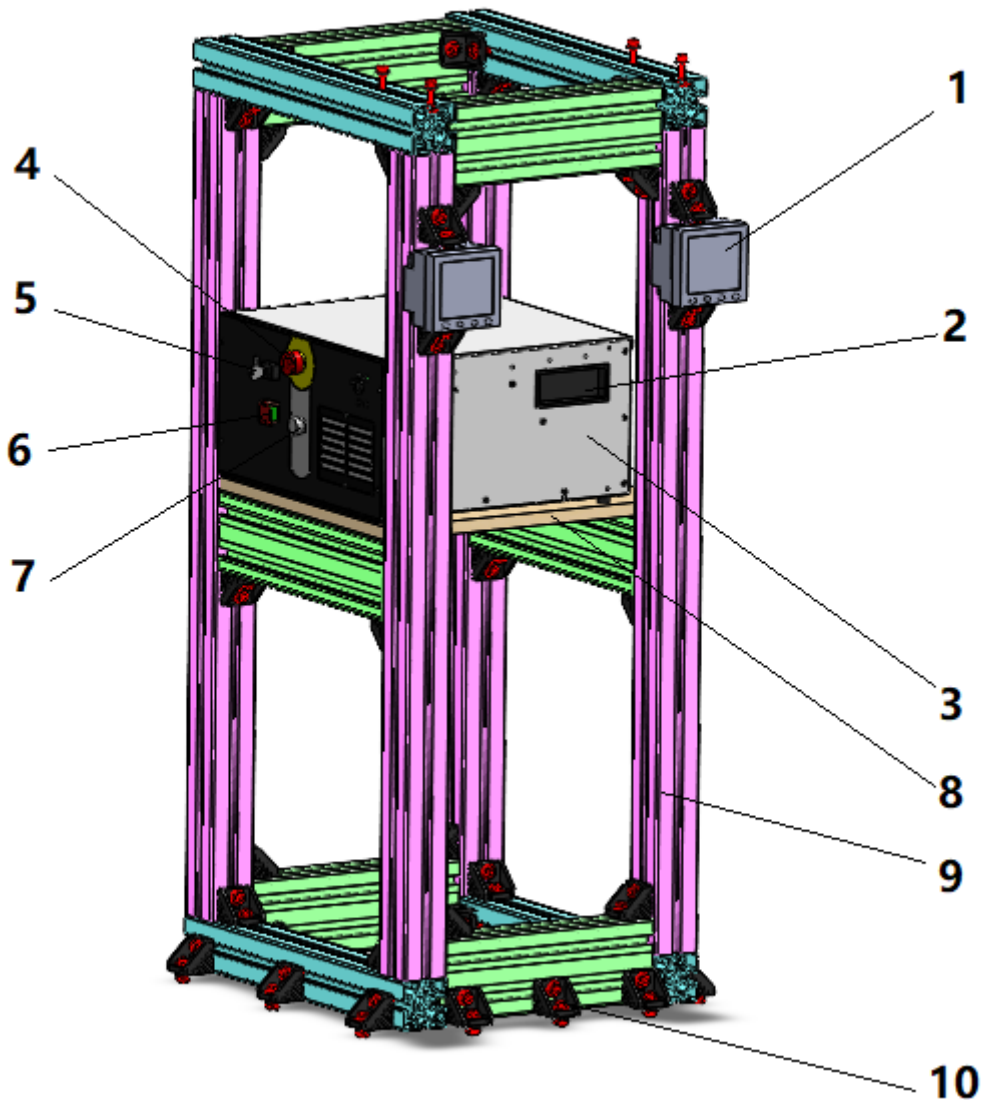


Рис. 1. Конструкція станда для повірки лічильників енергії

Перелік посилань

1. Дудюк Д. Л., та ін.. Електричні вимірювання. Навчальний посібник – Львів: Афіша, 2003 – 272 с.
2. Поліщук Є. С., Дорожовець М. М., Яцук В. О. та інші. Метрологія та вимірювання техніка: Підручник. Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.
3. Цюцюра В. Д., Цюцюра С. В. Метрологія та основи вимірювань. Навч. посіб. – К.: Знання – Прес, 2003. – 180 с. – (Вища освіта XXI століття).
4. Готра З. Ю., Матвиив В. И., Паскур П. П. Справочник регулировщика радиоэлектронной аппаратуры. – 2-е изд., перероб. – Львов: Каменер, 198. – 184 с.
5. Lu Zuliang. Discussion on field verification of electric energy meters. Electrical Measurement and Instrumentation, 2011, 48(1): 1-4.
6. Li Qian, Zhang Shuhan, Lu Yibiao, et al. Research on field verification technology of digital electric energy measurement system. Electrical Measurement and Instrumentation, 2010, 47(10): 25-28.
7. Zheng Wenlin, Zhang Li. Replacing low-voltage meters without power failure. China Electric Power Enterprise Management, 2011(10): 104

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛІ З ВАЛОМ

М. Рубанка¹,
О. Поліщук²,
С. Демішонкова¹

¹Київський національний університет технологій та дизайну

²Хмельницький національний університет

Аналіз відомих конструкцій з'єднання деталей машин з валами показує, що наявність на робочій поверхні вала та деталі пазів, необхідних для встановлення шпонки або шліців призводить до зниження надійності та довговічності роботи з'єднання [1-3]. Недоліком також є неможливість або складність регулювання положення деталі відносно вала (як осьового, так і кутового), що необхідно при налагодженні та експлуатації машин легкої промисловості, зокрема в'язальних машин [4-6].

Враховуючи доцільність підвищення ефективності та довговічності роботи машин легкої промисловості шляхом удосконалення конструкцій з'єднань їх деталей з валами, проблема розробки нових конструкцій з'єднань та вибору їх робочих параметрів, й надалі лишається актуальною для сучасного легкого машинобудування [7, 8].

Метою роботи є створення такої конструкції з'єднання деталі з валом, в якій введенням нових елементів та їх зв'язків забезпечилось би підвищення довговічності роботи з'єднання.

Були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії теоретичної механіки, деталей машин та опору матеріалів.

Враховуючи недоліки існуючих конструкцій з'єднань деталей з валами, авторами пропонується нова, більш досконала, конструкція з'єднання деталі з валом [9], що включає вал з робочою поверхнею та деталь, що має внутрішню поверхню, встановлену на валу, і додатково обладнане щонайменше двома циліндричними роликами, а внутрішня поверхня деталі має щонайменше два фігурні пази, причому циліндричні ролики встановлені на робочій поверхні вала і в фігурних пазах.

Додаткове введення щонайменше двох циліндричних роликів та виконання внутрішньої поверхні деталі з щонайменше двома фігурними пазами, причому циліндричні ролики встановлені на робочій поверхні вала і в фігурних пазах, дозволяє здійснити з'єднання деталі з валом без послаблення робочої поверхні вала, що забезпечує підвищення довговічності роботи з'єднання.

На рис. 1 представлено запропоновану конструкцію з'єднання деталі з валом.

З'єднання деталі з валом (рис. 1) містить вал 1 з робочою поверхнею 2, деталь 3 з внутрішньою поверхнею 4, встановлену на валу 1, та два, як приклад, циліндричні ролики 5, 6, встановлені на робочій поверхні 2 вала 1 у зоні внутрішньої поверхні деталі 3, причому у зоні внутрішньої поверхні деталі виконано два фігурні пази 7, 8, в яких і встановлені циліндричні ролики 5, 6. З'єднання деталі з валом здійснюється та працює таким чином. При нерухомому валу 1 на його робочу поверхню 2 надівається деталь 3. В фігурні пази 7, 8 внутрішньої поверхні 4 деталі 3 встановлюються циліндричні ролики 5, 6 та обмежувачі їх осьового зміщення (на рис. 1 не показані).

При обертанні вала 1 проти годинникової стрілки (згідно розрізу А-А) за рахунок сил тертя відбувається заклинювання циліндричних роликів 5, 6 в фігурних пазах 7, 8 відповідно, що зумовлює з'єднання вала 1 з деталлю 3 (ефект обгінної муфти). Виготовлення у зоні внутрішньої поверхні деталі фігурних пазів не являє собою технологічної проблеми і може бути здійснено ріжучим інструментом, наприклад, протяжкою.

Варто зазначити, що запропоноване з'єднання деталі з валом працює лише для нереверсивного режиму його роботи, що має місце в багатьох типах машин і механізмів, зокрема в машинах легкої промисловості.

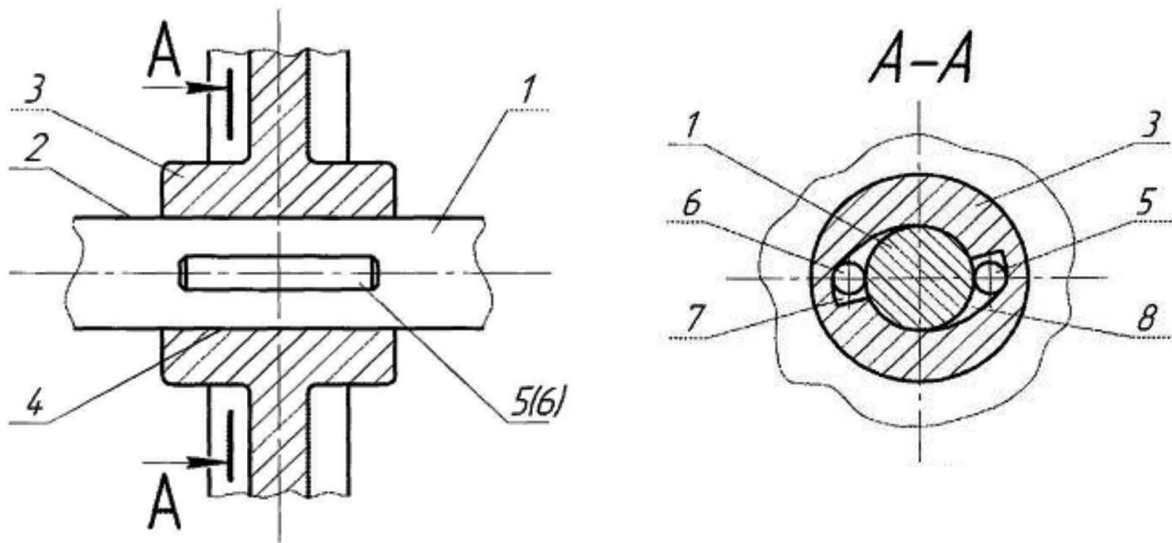


Рис. 1. З'єднання деталі з валом (запропонована конструкція):
1 – вал; 2 – робоча поверхня; 3 – деталь; 4 – внутрішня поверхня;
5, 6 – циліндричні ролики; 7, 8 – фігурні пази

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- запропонована авторами конструкція з'єднання деталі з валом працює та надійна в роботі;
- використання даного з'єднання деталі з валом завдяки усуненню послаблення деталей з'єднання пазами та концентрацій напружень в зоні з'єднання дозволяє підвищити довговічність та надійність роботи як самого з'єднання, так і машини в цілому, де воно використовується;
- запропонована конструкція з'єднання дозволяє спростити технологію виготовлення з'єднання деталі з валом, оскільки при цьому відпадає потреба в використанні спеціального високотехнологічного обладнання;
- нова конструкція з'єднання деталі з валом може бути використана як для машин легкого, так і загального машинобудування.

Перелік посилань

1. Зенкін М.А. Методи підвищення надійності та довговічності деталей та вузлів машин легкої промисловості : Підруч. для студ. спец. "Обладнання легкої промисловості та побутового обслуговування" / М.А. Зенкін, Б.Ф. Піпа. – К.: КНУТД, 2003. – 264 с.
2. Піпа Б.Ф. Деталі машин : підручник для студ. вищих навч. закладів / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – К. : КНУТД, 2011. – 358 с.
3. Піпа Б. Ф. Нові конструкції деталей, вузлів та механізмів машин / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – К. : КНУТД, 2006. – 322 с.
4. Хомяк О.М. З'єднання деталей машин : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. освіти / О. М. Хомяк, С. О. Ловейкіна. – К. : КНУТД, 2002. - 63 с.
5. Піпа Б.Ф. Динаміка механізмів в'язання круглов'язальних машин : монографія / Б. Ф. Піпа. – К. : КНУТД, 2008. – 416 с.
6. Піпа Б. Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Піпа Б. Ф., Хомяк О. М., Павленко Г. І. – К.: КНУТД, 2005. – 294 с.
7. Піпа Б. Ф. Безшпонкове з'єднання деталей механізмів машин легкої промисловості з валами [Текст] / Б. Ф. Піпа, А. І. Марченко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. - 2011. - № 2 (58). - С. 100-103.

8. Піпа Б. Ф. Безшпонкове з'єднання деталей передач з валами / Б. Ф. Піпа, В. В. Чабан // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. - 2011. - № 3. - С. 28-30.

9. Пат. 63768 Україна, МПК F16B 21/00 (2011.01). З'єднання деталі з валом / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, М. М. Рубанка ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201101471 ; заявл. 09.02.2011 ; опублік. 25.10.2011, Бюл. № 20. - 2 с.

УДК 677.055

Агроінженерія та галузеве машинобудування

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОТИ ЛАНЦЮГОВОЇ ПЕРЕДАЧІ

М. Рубанка¹,
О. Поліщук²,
С. Демішонкова¹,

¹Київський національний університет технологій та дизайну
²Хмельницький національний університет

При проектуванні технологічного обладнання, коли потрібно передати обертальний рух між паралельними валами при значних міжосьових відстанях, а використання зубчастих та пасових передач є неможливим, застосовують ланцюгові передачі [1].

Встановлено, що вільне розташування ланцюга між зірочками зумовлює під час роботи ланцюгової передачі його коливання. Коливання ланцюга спонукає виникненню додаткових динамічних навантажень, що призводить до зниження надійності та довговічності роботи ланцюгової передачі в цілому (динамічні навантаження збільшують зношення шарнірів ланцюга) [2-4].

Дана проблема може бути частково вирішена, якщо ланцюгову передачу що містить ведучу і ведену зірочки та ланцюг, що їх охоплює, додатково оснастити обмежувачем коливань та демпфером. У роботі [5] обмежувач коливань ланцюга виконаний у вигляді плоских направляючих, додатково обладнаний демпфером, нерухомою опорою та шарніром, з'єднаним з демпфером та нерухомою опорою, при цьому плоскі направляючі шарнірно з'єднані з демпфером. Однак, виконання напрямних плоскими зумовлює тертя ковзання ланцюга по напрямних, і, як наслідок, зношення ланцюга та зниження довговічності роботи ланцюгової передачі.

В основу досліджень поставлена задача розробити нову конструкцію ланцюгової передачі, в якій шляхом введення нових елементів та їх зв'язків, забезпечилось би підвищення надійності та довговічності роботи ланцюгової передачі.

Були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії теоретичної механіки, деталей машин та опору матеріалів.

Враховуючи недоліки існуючих конструкцій ланцюгових передач [3, 5], авторами пропонується конструкція ланцюгової передачі [6], що містить ведучу і ведену зірочки, ланцюг, що їх охоплює, обмежувач коливань ланцюга з напрямними, між якими розташований ланцюг, та демпфер, що з'єднаний з напрямними, причому, обмежувач коливань ланцюга додатково обладнаний роликами, встановленими в напрямні.

Додаткове обладнання обмежувача коливань ланцюга роликами, встановленими в напрямні, призводить до тертя кочення ланцюга по напрямних, що забезпечує підвищення надійності та довговічності роботи ланцюгової передачі.

На рис. 1 представлено кінематичну схему запропонованої ланцюгової передачі.

Ланцюгова передача містить ведучу 1 і ведену 2 зірочки, ланцюг 3, що їх охоплює, та обмежувач коливань ланцюга 4 з напрямними 5, між якими розташований ланцюг 3, та демпфером 6, з'єднаним шарнірно з напрямними 5. Демпфер 6 за допомогою шарніра 7 з'єднаний з нерухомою опорою 8. Обмежувач коливань ланцюга 4 обладнаний роликами 9, встановленими в напрямні 5 з можливістю обертання.

Ланцюгова передача працює таким чином. При вмиканні привода (на рис. 1 не показаний), в складі якого вона використовується, ведуча зірочка 1 починає обертатися і шляхом зачеплення її зубів з ланцюгом 3 приводить останній в рух. Рух ланцюга 3 шляхом зачеплення його з зубами веденої зірочки 2 приводить її в обертальний рух, приводячи таким чином в рух і ведений вал, на якому вона встановлена, та відповідний механізм машини (на рис. 1 не показані). Ведена - неробоча гілка ланцюга 3 знаходиться в напрямних 5 обмежувача коливань ланцюга 4. Можливі коливання ланцюга 3 (веденої - неробочої гілки ланцюга) гасяться демпфером 6, з'єднаним за допомогою шарніра 7 з нерухомою опорою 8, що приводить до зниження навантажень, які діють на ланцюг 3. Ланцюг 3, взаємодіючи з роликками 9, зумовлює їх обертання навколо своїх осей, що зменшує втрати тертя ланцюга і, таким чином, його зношення, забезпечуючи підвищення надійності та довговічності роботи ланцюгової передачі.

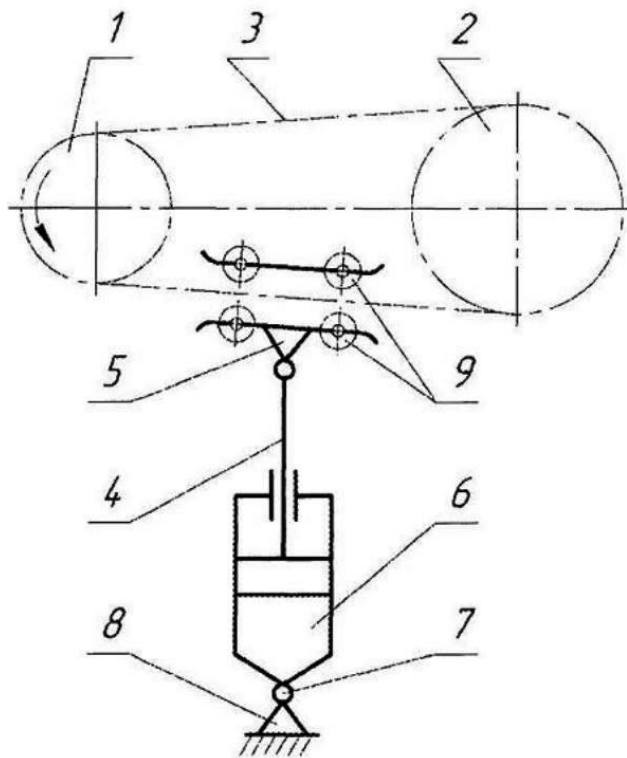


Рис. 1. Кінематична схема ланцюгової передачі: 1 – ведуча зірочка; 2 – ведена зірочка, 3 – ланцюг; 4 – обмежувач коливань ланцюга; 5 – напрямні; 6 – демпфер; 7 – шарнір; 8 – нерухома опора

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- використання запропонованої конструкції ланцюгової передачі в приводі машин дозволяє розширити асортимент ланцюгових передач та підвищити їх довговічність роботи;
- запропонована конструкція ланцюгової передачі може бути використана для проектування і розробки нових або удосконалення існуючих приводів машин галузі;

Перелік посилань

1. Олійник О. Ю. Підвищення довговічності роботи ланцюгової передачі / О. Ю. Олійник, М. М. Рубанка // Мехатронні системи: інновації та інжиніринг : тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 22 жовтня 2020 р. / відп. за вип. Г. І. Хімічева, В. М. Дворжак. – Київ : КНУТД, 2020. – С. 84-85.

2. Піпа Б.Ф. Деталі машин : підручник для студ. вищих навч. закладів / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – К. : КНУТД, 2011. – 358 с.
3. Хомяк О.М. Передачі : навчальний посібник / О.М. Хомяк, Б.Ф. Піпа. – К. : КНУТД, 2003. – 167 с.
4. Піпа Б. Ф. Нові конструкції деталей, вузлів та механізмів машин / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – К. : КНУТД, 2006. – 322 с.
5. Пат. 16536 Україна, МПК F16H 7/00 (2006). Ланцюгова передача / Б. Ф. Піпа, А. І. Тарасенко, А. І. Марченко, В. В. Чабан ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u200601451 ; заявл. 13.02.2006 ; опублік. 15.08.2006, Бюл. № 8. - 2 с.
6. Пат. 63309 Україна, МПК F16H 7/06 (2006.01). Ланцюгова передача / Б. Ф. Піпа, Г. І. Коньков, М. М. Рубанка ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201101560 ; заявл. 11.02.2011 ; опублік. 10.10.2011, Бюл. № 19. - 2 с.

УДК 658.512

Системи автоматизованого проектування та комп'ютерного моделювання

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ CNC В TOPSOLID CAM

М. Рубанка¹,
О. Манойленко¹,
С. Ставрук²

¹Київський національний університет технологій та дизайну
²Інженерна компанія «Технополіс»

Пріоритетними напрями розвитку машинобудівних підприємств в умовах четвертої промислової революції Industry 4.0 є підвищення продуктивності, якості та ефективності використання ресурсів шляхом збору, контролю та аналізу виробничої інформації в режимі реального часу. Основними засобами реалізації виступають оцифровка інформації, комп'ютеризація, автоматизація, організація та забезпечення виробничих процесів із залученням глобальних електронних мереж з урахуванням побажання клієнтів [1].

На сьогоднішній день важко уявити сучасний машинобудівний комплекс без використання систем автоматизованого проектування, таких як SolidWorks, CATIA, Creo, TopSolid тощо [2].

Завдяки впровадженню передових технологій та інновацій в області галузевого машинобудування французька компанія TOPSOLID SAS (раніше Missler Software), значно зміцнила свої позиції на світовому ринку серед розробників програмного забезпечення CAD/CAM/PDM. Програмне забезпечення TopSolid поєднує в собі надпотужні алгоритми розрахунку, комп'ютерне моделювання, матеріали, механіку, науку, інформаційні технології та ергономіку світового рівня [3].

Особливу увагу привертає спеціалізований модуль системи автоматизованого проектування TopSolid – TopSolid CAM, що представляє собою повністю інтегроване асоціативно-параметричне рішення CAD/CAM [4, 5].

Варто зазначити, що виняткова продуктивність TopSolid CAM досягається за рахунок:

- вбудованого, потужного, інтуїтивно-зрозумілого набору інструментів;
- параметричності та асоціативності;
- повної суміжності, можливості управління та редагування імпортованих даних;
- необмеженого управління робочим середовищем;
- широкого спектру технічних рішень механічної обробки деталей на верстатах CNC;
- можливості оптимізації виробництва;
- високого рівня симуляції, перевірки та візуалізації;
- керування життєвим циклом деталей;

- використання високопродуктивних постпроцесорів для генерування керуючих програм на верстатах CNC.

Програмний продукт TopSolid CAM, завдяки власній модульній структурі, можна вважати раціональним рішенням, що цілком відповідає сучасним вимогам малих і великих машинобудівних компаній світового рівня. Потужні постпроцесори TopSolid CAM сертифіковані виробниками металорізального обладнання та забезпечують оптимізовані виробничі витрати [6].

В TopSolid CAM реалізовано функція реалістичного моделювання траєкторії руху ріжучого інструменту та видалення матеріалу під час механічної обробки [6]. В процесі верифікації механічної обробки деталі користувач може здійснити перевірку на наявність зарізів, недорізів та будь-яких можливих колізій, та внести відповідні корективи.

На рис. 1 представлено алгоритм проектування технологій виготовлення деталей на верстатах CNC в TopSolid CAM. Розглянуто випадок фрезерної обробки деталі.

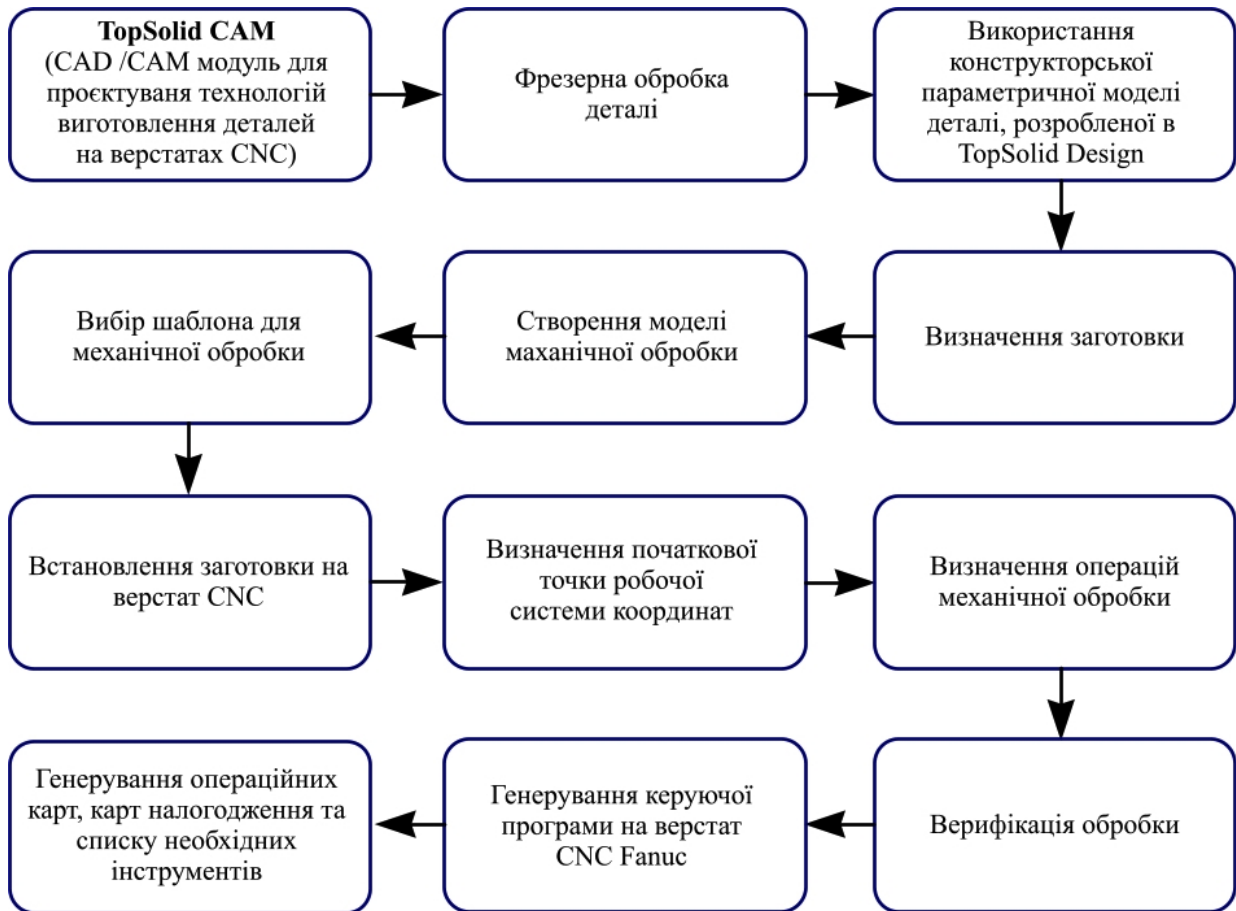


Рис. 1. Алгоритм проектування технологій виготовлення деталей на верстатах CNC в TopSolid CAM

Можливість автоматичного розпізнавання базових форм (отвори, пази, канавки, кишені тощо), технологічних елементів моделей створених в TopSolid, а також геометричних моделей, імпортованих з іншого програмного забезпечення CAD/CAM, дозволяє суттєво спростити та відповідно прискорити розроблення технологічного процесу виготовлення деталей на верстатах CNC. Топологічний аналіз створеної моделі скерує користувача на вибір раціональної стратегії механічної обробки.

Якщо по якимось причинам відбувається редагування оброблюваної конструкторської моделі, то відразу ж в автоматичному режимі вносяться відповідні зміни у всіх операціях механічної обробки деталі.

Перелік посилань

1. Berezin L. Innovative trends in industrial machinery engineering and education / L. Berezin, O. Oliinyk, M. M. Rubanka // Actual problems of modern science : monograph / edited by S. Matiukh, M. Skyba, J. Musial, O. Polishchuk. – Bydgoszcz, Poland : Bydgoszcz University of Science and Technology, 2021. – P. 538-548.
2. Рубанка М. М. Доцільність використання системи автоматизованого проектування TopSolid в інженерній практиці / М. М. Рубанка, О. П. Манойленко, С. В. Ставрук // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС - 2023) : матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернігів, 25-26 травня 2023 року. – У 2-х т. – Т. 1. – Чернігів : НУ "Чернігівська політехніка", 2023. – С. 164-165.
3. TopSolid SAS. URL: <https://www.tpolis.com/topsolid/about.php> (дата звернення 05.06.2023).
4. TopSolid'Cam. URL: <https://www.topsolid.com/en/products/topsolidcam> (дата звернення 05.06.2023).
5. TopSolid Cam. URL: <https://tpolis.com/topsolid/cam.php> (дата звернення 05.06.2023).
6. TopSolid Cam. URL: <http://www.ksimetro.com/TopSolid/TopSolid7/CAM/TopSolid7CAM.html> (дата звернення 07.06.2023).

УДК 62-231

Устаткування, машини і апарати

**ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ
УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗУБЧАСТО-ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ**

С. Смутко¹,
С. Підгайчук²,
Д. Гопало¹

¹*Хмельницький національний університет*

²*Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Богдана
Хмельницького*

Аналіз різноманітних механізмів показав широкі можливості використання зубчасто-важільних механізмів при перетворенні рівномірного обертового руху ведучої ланки в зворотно-поступальний, коливальний, нерівномірний обертовий або рух по складній замкненій траєкторії [1]. За допомогою зубчасто-важільних механізмів можливо отримати рух веденої ланки з наближеним вистоюванням, розміщеним різним чином в межах кінематичного циклу. Використання сателітних кривих планетарних механізмів у поєднанні з важільними механізмами дозволяють отримати широкий спектр траєкторій руху виконавчих органів.

Але використання сателітних кривих в механізмах робочих органів деяких технологічних машин, розміри переміщень яких лежать в межах 5-30 мм, пов'язано з рядом обмежень. Використання сателітних кривих відомих механізмів дозволяє отримати переміщення виконавчих органів не менше 50 мм, зменшення цієї межі веде за собою до зменшення геометричних параметрів зубчастих планетарних механізмів, що приводить до неможливості забезпечення технологічних зусиль, або до ускладнення важільної частини зубчасто-важільних механізмів. Розробка планетарних механізмів, які забезпечать необхідні розміри сателітних кривих, дозволить створити зубчасто-важільні механізми, траєкторії руху виконавчих органів яких задовольняють закони переміщення робочих органів необхідних розмірів.

Для вирішення задачі зменшення розмірів сателітних кривих, за умови забезпечення технологічних зусиль, потрібно шукати принципово нові конструктивні рішення зубчасто-важільних механізмів. При цьому потрібно прагнути простоти та малогабаритності машин при передачі руху в будь-якому напрямку без зниження точності передачі, що сприяло б універсалізації механізмів і машин. Тому на першому етапі вирішення поставленої задачі потрібно сформулювати принципи формування структури універсальних зубчасто-важільних механізмів робочих органів технологічних машин.

В зубчасто-важільних механізмах періодичним рухом вихідної ланки в якості початкової складової частини використовують трьохланкові зубчасто-важільні механізми [2], які складаються з двох зубчастих коліс, що входять в зачеплення, та ланки, яка забезпечує це зачеплення. При цьому вимагається, щоб точка на зубчатому колесі, яке не пов'язане зі стійкою і виконує складний рух, описувала плоску або просторову криву, близьку до заданої. В простому випадку в якості заданої може бути прийнята сферична крива, пряма лінія, або дуга кола. Таким чином на першому етапі проектування зубчасто-важільного механізму з періодичним рухом вихідної ланки стоїть завдання проектування плоского або просторового механізму планетарного типу для наближеного відтворення сфери, прямої лінії або дуги кола.

На другому етапі проектування зубчасто-важільних механізмів стоїть питання підбору геометричних параметрів механізму для відтворення вихідною ланкою заданої діаграми переміщень [2-4].

Аналіз літератури показав, що динамічні дослідження зубчасто-важільних механізмів стосуються окремих питань, які виникають при використанні згаданих механізмів в тих чи інших системах. В роботі [2] відмічено, що зубчасто-важільні механізми мають хороші динамічні характеристики в порівнянні з характеристиками інших видів періодичного руху, але які саме не конкретизується. Тому виникає потреба дослідити динамічні характеристики цих механізмів за аналогами і зробити висновки стосовно можливості їх застосування в механізмах робочих органів високошвидкісних технологічних машин.

Необхідність таких досліджень обумовлена тим, що використання зубчасто-важільних механізмів, зокрема важільних, веде до переходу від нижчих кінематичних пар до вищих.

Практика експлуатації механізмів, що мають вищі кінематичні пари показала обмеженість їх використання, що стосується швидкості. Таке твердження справедливе для більшості механізмів з вищими кінематичними парами – кулачкові механізми, фрикційні, храпові, мальтійські та ін.

Тому було доцільним розглянути певні моменти використання зубчасто-важільних механізмів приводу робочих органів високошвидкісних, які в першу чергу стосуються переходу від нижчих кінематичних пар (шарнірно-важільних механізмів), до вищих (зубчастої частини зубчасто-важільних механізмів).

В результаті аналізу методів досліджень та існуючих розробок з проектування зубчасто-важільних механізмів встановлені їх особливості, які дозволили визначити принципи формування структур універсальних зубчасто-важільних механізмів приводу робочих органів технологічних машин [1]:

1. На першому етапі проектування необхідно визначити структуру зубчасто-важільного механізму планетарного типу для відтворення сателітних кривих, що забезпечать необхідний закон руху вихідної ланки технологічних машин.

2. На другому етапі проектування - розробити структуру приєднаної важільної групи, за рахунок якої можливо отримати механізм, вихідна ланка якого відтворює задану діаграму переміщень робочих органів технологічних машин.

3. Етапи проектування механізму провести за умови забезпечення можливості відтворення різних діаграм переміщень робочих органів шляхом мінімальних змін геометричних параметрів при збереженні структури зубчасто-важільного механізму.

Перелік посилань

1. Розробка принципів формування структури універсальних зубчасто-важільних механізмів / С.Смутко, С. Підгайчук, В. Онофрійчук, Т. Романець. // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2023. – №2. – С. 289–293.

2. Карелин В. С. Проектирование рычажных и зубчато-рычажных механизмов: Справочник / В. С. Карелин. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.

3. Артоболовский И. И. Механизмы в современной технике: Справочное пособие. В 7 томах. Т. 4: Зубчатые механизмы.. В 7 томах. Т. 4: Зубчатые механизмы. / И. И. Артоболовский. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 529 с. – (2)

4. Ткаченко В. А. Планетарные механизмы (оптимальное проектирование) / В. А. Ткаченко. — Харьков : ХАИ, 2003. — 446 с.

УДК 697

Устаткування, машини і апарати

РОЗРОБКА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛОВОГО СТАНУ СТЕНДУ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРІВ ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

Неймак В.С.,
Романець Т.П.

Хмельницький національний університет

Техніка гарантійного ремонту відрізняється від післягарантійного. Так, при гарантійному ремонті зламани окремі частини, включно холодильний агрегат в цілому, замінюють на нові, в той час як при післягарантійному ремонті їх ремонтують і залишають для роботи. Перше диктується міркуванням відновлення працездатності холодильника зі зберіганням його повноцінних товарних показників, відповідних новому виробу. Друге диктується технічною доцільністю подальшого використання зламаної окремої частини шляхом її відновлення, а також економічної вигоди такого ремонту для власника холодильника. Це особливо відноситься до ремонту холодильного агрегату, котрий немає роз'ємних сполучень є змінною частиною холодильника в цілому.

Заміна такої коштовної змінної частини при платному ремонті на нову може бути технічно оправдано і економічно вигідно лише в крайніх випадках, коли в зламаному холодильному агрегаті стан кількох окремих дорогих вузлів двигун, компресор, випаровувач все одно потребує заміни.

Ремонт холодильників по своїй складності, а також умовам виконання потребує розділити на три види: ремонт доступний в умовах експлуатації. ремонт в майстерні-ательє, ремонт в майстерні капітального ремонту [1]. Якісний ремонт холодильних агрегатів в майстерні в значній мірі визначається наявністю в ній необхідного обладнання, пристосувань, приладів і інструментів, а також забезпечення запасних матеріалів..

Враховуючи відносно невеликі виробничі потужності ремонтних майстерень, а також велике різноманіття моделей холодильних агрегатів, які ремонтуються, обладнання майстерень може істотно відрізнитися по своїй конструкції і продуктивності від обладнання, яке використовується на підприємствах, виробляючих холодильні агрегати. Однак, це не знижує вимог до технічних операцій, які виконуються, на цьому обладнанні [2, 3].

Терморегулятори перевіряються на стенді в умовах реальних (низьких) температур. Важливі швидкості змін температури робочої рідини у ванні. В середині стенда присутнє джерело тепла – мотор-компресор холодильного агрегату. Тому для оцінки поведінки температури робочої рідини у ванні необхідно розробити динамічну теплову модель стенду.

На рисунку 1 наведена розрахункова схема теплових процесів у стенді.

У заштрихованому прямокутнику умовно показана робоча рідина з тепловими параметрами: температурою t°_B , масою m_B , питомою теплоємністю C_B . Ця рідина нагрівається двома тепловими потоками із відповідними потужностями через теплоізоляційні стінки від повітря середини стенда - $Q_{СТВ}$; через поверхню контакту рідини із повітрям, що оточує сам стенд - $Q_{АВ}$.

Зниження температури рідини забезпечується відбором тепла потужністю Q_0 випарником холодильного агрегату стенда.

Перші два теплових потоки – потоки теплопередачі, які визначаються різницями температур поверхонь та матеріалів стінок: коефіцієнтами тепловіддачі α_i , величинами самих поверхонь F_i , коефіцієнтами теплопровідності матеріалів λ_i , товщина ми матеріалів δ_i , питомими теплоємностями матеріалів C_{Ti} , їх загальними масами m_{Ti} . Враховуємо тільки тепловий опір(відповідно і характеристики) матеріалу теплоізоляції стінки ванни.

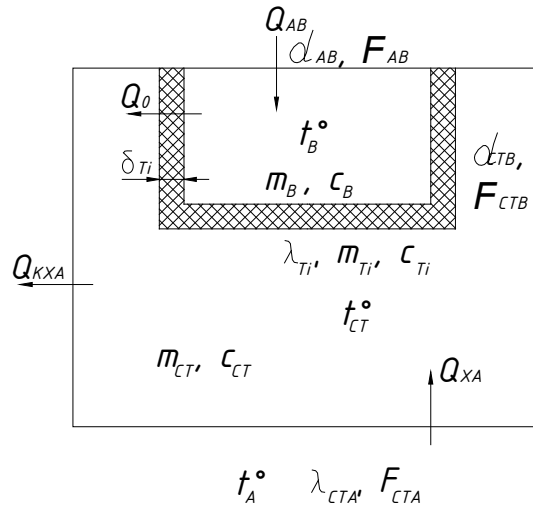


Рис. 1. Розрахункова схема теплових процесів у стенді

Температура повітря всередині стенда $t^{\circ}CT$ має бути вище за температуру $t^{\circ}A$ зовні стенду, тому що всередині стенда присутній холодильний агрегат із його гарячим мотор-компресором і певна частина потужностей, що споживаються холодильним агрегатом із мережі йде на нагрів повітря всередині стенду. Тому тепловий стан цього повітря також враховано у розрахунковій схемі.

Електричний ланцюг, складений з електричних елементів, ідентичний конструкції, що моделюється, за своєю поведінкою відносно узагальнених перемінних називається схемою заміщення. Ця схема і досліджується на комп'ютері.

Всі елементи конструкції різної фізичної природи представляються електричними елементами (компонентами). Полюси (виводи) компонент, які мають однаковий потенціал відносно системи відліку (бази), об'єднуються в один вузол. Цьому вузлу дається номер або назва.

Представлення у вигляді ланцюга неоднорідної по фізичному складі системи, засновано на виділенні типових компонент. Дякуючи ідентичності властивостям різної форми енергії число цих компонент у всій різноманітності реальних систем невелике, кожна має чіткий фізичний зміст, і від проектувальника не вимагається спеціальних знань для побудови схем заміщення.

Схема заміщення теплових процесів показана на рисунку 2.

В схемі присутні чотири електричні ємності, кожна із яких представляє теплоємності теплових об'єктів величиною:

$$C_i = c_i \cdot m_s, \quad (1)$$

де c_i - питома теплоємність, Дж/(кг·град);

m_s - маса об'єкта, кг.

Відповідно позначено:

С0 – теплоємність випарника;

СВ – теплоємність рідини у ванні;

СТІ – теплоємність матеріалу теплоізоляції;

ССТ – теплоємність повітря у стенді.

Стабільність температури навколо стенду завдається джерелом надійної напруги ЕТА. Обираємо значення цієї напруги(температури) максимальним для помірно холодного клімату (22°C).

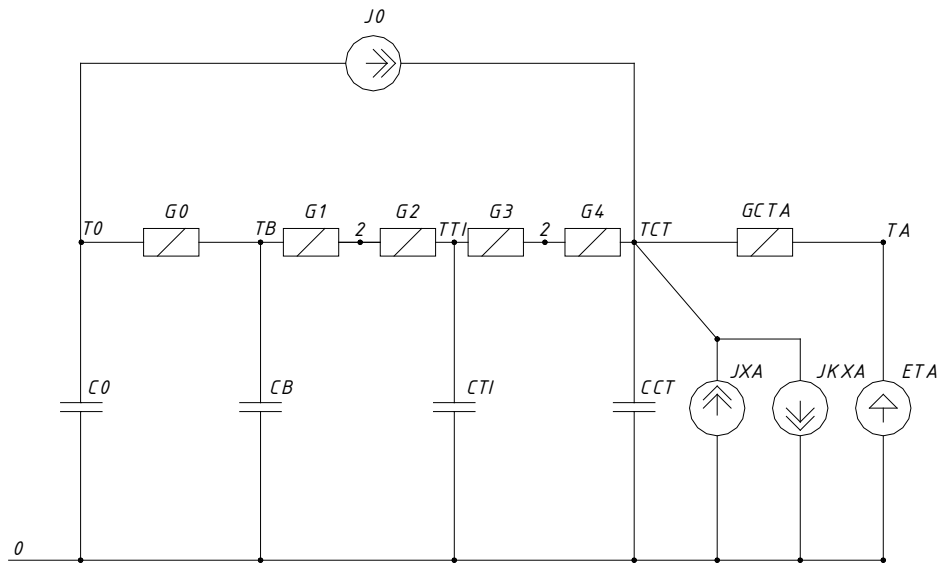


Рис. 2. Схема заміщення теплових процесів

Теплові потоки, що зв'язують стенд із зовнішнім середовищем завдаємо джерелами струму: холодопродуктивність холодильного агрегату – джерелом J0, потужність нагрівання повітря стенду – джерелом JXA.

Теплові характеристики елементів теплопередачі завдаємо провідностями (на схемі - елементи із першою літерою G).

В подальшому планується проведення досліджень даної моделі. Динамічна модель має показати зміни деяких фізичних величин, в нашому випадку – температур та теплових потоків, у часі. Найбільш важливим для нас є терміни охолодження та нагрівання рідини у ванні. Вони повинні бути такої величини, щоб ми встигли зафіксувати температури вмикання та вимикання всіх терморегуляторів, що перевіряються.

Перелік посилань

1. Доссат Р.Дж. Основи холодильної техніки. Пер. з англ. – Х.: Легка і харчова промисленность, 1984 – 520 с.
2. Dmitriyev V.I., Pisarenko V.E. Determination of optimum refrigerant charge for domestic refrigerator unit. // International J.Refrig.-2014.-№7.-P.178-180.
3. Mattarolo L. Valutazione delle perdite di exerdia negli impianti frigoriferi// I.C.Freddo.-V.37.-№1.-P.3-9.

УДК 621.81

Устаткування, машини і апарати

**РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ
ХАРАКТЕРИСТИК ШОРСТКОСТІ СПРЯЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНЕВИХ
УЩІЛЬНЕНЬ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОБОЧОГО КОМПРЕСОРА**

Тимошук О.Г.,
Хмельницький національний університет, Україна

Розроблено та досліджено універсальний метод визначення характеристик шорсткості спряжених поверхонь поршневих ущільнень (в робочому стані експлуатації системи) за експериментально визначеною тривалістю натікання газу.

Для цього необхідно провести два заміри тривалості натікання газового середовища в поршневому ущільненні. Нехай в першому випадку тиск газу на вході ущільнюючого елементу становить $p_{e,1}$ при тривалості натікання t_1 , а в другому при тискові газу на вході $p_{e,2}$ тривалість натікання дорівнює t_2 . Всі розглянуті характеристики процесу натікання в обох випадках повинні бути однакові. Характеристики шорсткості поверхні поршня Ra, q визначаються з системи рівнянь:

$$\begin{cases} t(Ra, q, p_{e,1}) - t_1 = 0 \\ t(Ra, q, p_{e,2}) - t_2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Алгоритм розпізнавання характеристик шорсткості спряжених поверхонь поршневих ущільнень виглядає наступним чином.

Задаються такі умови проведення діагностичних досліджень:

- 1) модуль пружності поршня E_p ;
- 2) коефіцієнт Пуассона поршня μ_p ;
- 3) коефіцієнт формули І.І. Новикова, що враховує властивості матеріалу поршня k_N ;
- 4) діаметральні розміри поршня:
 - зовнішній діаметр до зборки d' ;
 - внутрішній діаметр d_i ;
- 5) ширина ущільнюючої поверхні b ;
- 6) внутрішній діаметр циліндра до зборки d'_c ;
- 7) динамічна в'язкість газу η_B ;
- 8) молярна маса газу μ ;
- 9) ефективний діаметр молекули газу d_m ;
- 10) абсолютна температура газу T ;
- 11) густина газу при нормальних умовах ρ_0 ;
- 12) тиск газу при нормальних умовах p_0 ;
- 13) тиск газу всередині поршня p_h ;
- 14) тиск газу на вході ущільнюючого елементу p_{e1}, p_{e2} ;
- 15) час натікання t_1, t_2 в камеру об'ємом W ;
- 16) початковий тиск газу в камері p_a ;
- 17) кінцевий тиск газу в камері p_s ;
- 18) фізичні константи:
 - молярна газова стала R ;
 - стала Больцмана k .

Розрахунок проводиться в такій послідовності:

- 1) Спектральні моменти $m_0(Ra), m_2(q)$ та питома площа шорсткої поверхні $S(q)$.
- 2) Номінальний контактний тиск в ущільненні $\sigma_n(p, p_e, q)$.
- 3) Довжина вільного пробігу $\bar{\lambda}(p, p_e)$, середня швидкість молекул газу V_g та середній тиск газу в ущільненні.

4) Еквівалентний діаметр щілинних каналів:

- еквівалентний діаметр $d_F(Ra, p, p_e, q)$, знайдений на підставі площі щілини;

- еквівалентний діаметр $d_P(Ra, p, p_e, q)$, знайдений на підставі периметру щілини;

- зведений еквівалентний діаметр $d_{екв}(Ra, p, p_e, q)$.

5) Величина натікання:

а) в'язкісний режим $Q_B(Ra, p, p_e, q)$;

б) молекулярний режим $Q_M(Ra, p, p_e, q)$;

с) перехідний режим $Q_U(Ra, p, p_e, q)$.

- Загальний випадок, коли режим натікання газу в ущільненні визначається за критерієм Кнудсена:

$$Q(Ra, p, p_e, q) = \begin{cases} Q_M(Ra, p, p_e, q), & k_r(Ra, p, p_e, q) > 1; \\ Q_B(Ra, p, p_e, q), & k_r(Ra, p, p_e, q) < 0,01; \\ Q_U(Ra, p, p_e, q), & 0,01 \leq k_r(Ra, p, p_e, q) \leq 1. \end{cases}, \quad (2)$$

де

$$k_r(Ra, p, p_e, q) = \bar{\lambda}(p, p_e) / d_{екв}(Ra, p, p_e, q). \quad (3)$$

6) Тривалість натікання газу $t(Ra, q, p_e)$.

7) Характеристики шорсткості Ra, q , знайдені з системи рівнянь (1).

В результаті досліджень на друк виводяться середньоарифметичне відхилення точок профілю Ra та градієнт поверхні q .

За наведеним алгоритмом розрахунків працює розроблена нами програма *Rauheit*, створена на базі *Mathcad*.

Перелік посилань

1. Тимошук О.Г. Розробка методів розрахунку та експериментального дослідження герметичності беззмашувальних циліндро-поршневих ущільнень: Дис. канд. техн. наук. - Хмельницький, 2003. - 386 с.

Збірник наукових праць

ТЕХНІЧНА ТВОРЧІСТЬ

Відповідальний за випуск:
д.т.н., проф. Поліщук О.С.

Здано до друку 21. 06. 2023 р.
Гарнітура: Times New Roman, Arial. Умовн. друк. арк. 4,7