

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМ ТРЕКЕРОМ В УМОВАХ КАМ'ЯНЕЦЬ- ПОДІЛЬСЬКОЇ ФЕС

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

Наведений авторами спосіб підвищення ефективності системи керування сонячним трекером вказує на використання сонячного трекера на статичних системах сонячних станцій. Основним елементом керування є ESP32 та основним приводом є моторредуктор NMRV 150

**Ключові слова:** сонячний трекер, моторредуктор, сонячний модуль.

### *Abstract*

The method given by the authors to improve the efficiency of the solar tracker control system indicates the use of the solar tracker on static systems of solar stations. The main control element is the ESP32 and the main drive is the NMRV 150 gear motor

**Keywords:** solar tracker, motor reducer, solar module..

### **Вступ**

На ФЕС «Кам'янець-Подільська» сонячні модулі закріплені по схемі горизонтально розташованих панелей з кутом нахилу 45°. Металоконструкція складається з двох основних частин (рис. 2.1) опорна стійка та рама кріплення панелей. Опорна стійка виготовлена з металевого швелера шириною 400мм. Рама кріплення складається з аналогічного швелера. З'єднуються частини між собою за допомогою болтових з'єднань.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд існуючої конструкції

Використовуються сонячні модулі Longi Solar lr6 60 290. Характеристики модулів наведені в таблиці 2.1  
Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сонячного модуля Longi Solar lr6-60 290

Назва	Величина
Максимальна потужність, Вт	290
Напруга при максимальній потужності, В	31,7
Струм при максимальній потужності, А	9,15
ККД, %	не менш 17,7
Межі робочої температури, С°	-40 – 85
Маса, кг	18,2
Розміри, мм	1650x991x40
Тип модулів	монокристал

## 2.2 Опис конструкції трекера

Для проектування доцільно використати одновісний горизонтальний трекер. Тип монтажу панелей вибраний аналогічний побудованому на станції – дворядна конструкція з урахуванням відстані між панелями для зменшення впливу затінення одним рядом іншого. Рама з сонячними модулями (рис. 2.2.) буде закріплена на валу з додатковими амортизаторами для компенсації вітрових навантажень та зменшення навантаження на поворотний механізм.

Для початкового положення панелей потрібно розрахувати стандартний кут нахилу панелей. Найдоцільніше розрахувати кут нахилу для літнього сезону, оскільки в цей сезон більше безхмарних днів. Для Кам'янець-Подільського району широта дорівнює 48.4°.

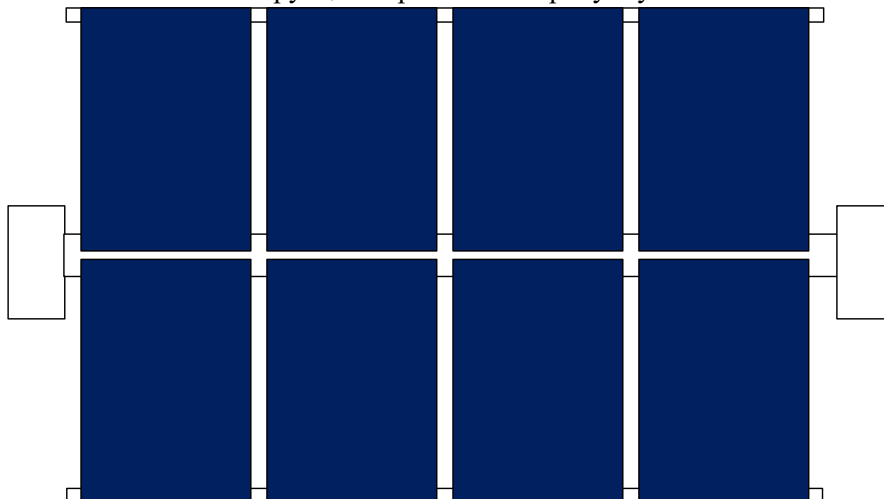
Кут нахилу для регіону:

$$\alpha = (\text{Ш} + (\text{Ш} - 22,5)) / 2, \quad (2.1)$$

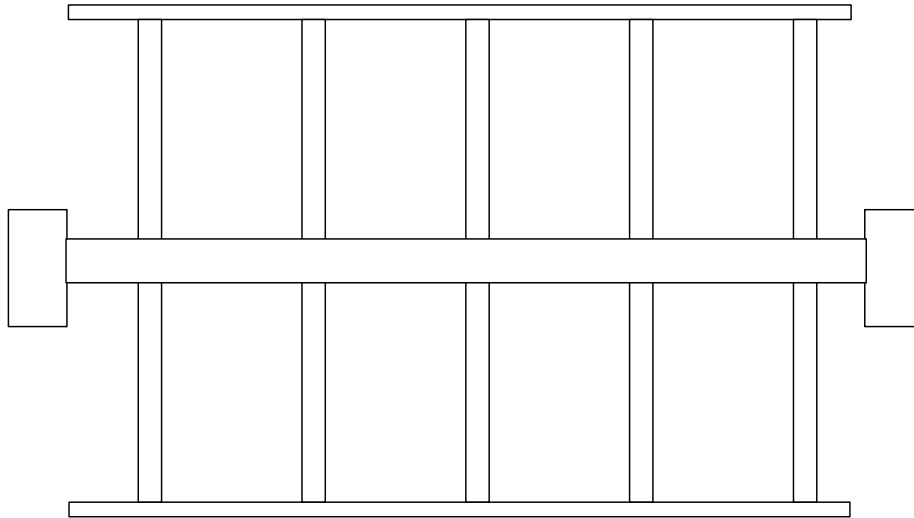
де Ш – широта регіону для якого розраховується кут нахилу,

$$\alpha = (48,4 + (48,4 - 22,5)) / 2 = 37,15^\circ.$$

Конструкція системи трекера буде побудована на базі побудованої конструкції. Для приводу буде використовуватись дві стійки – основна та опорна. На основній опорі буде змонтований моторедуктор черв'ячного типу, кріплення приводного вала, блок керування приводним моторедуктором. Опорна стійка буде використовуватись для утримання вала, а також зміни кута приводного вала під місцевість. Два приводних вала будуть з'єднуватись між собою за допомогою карданної передачі. Зовнішній вигляд конструкції зображений на рисунку 2.2



a)



б)

Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд конструкції зверху а) з змонтованими модулями; б) без модулів  
 Основна (керуюча) стійка буде виглядати таким чином (рис. 2.3) знизу в спеціальному прямику буде розміщений двигун з редуктором який за допомогою ланцюгової передачі буде передавати рух на вал який закріплений зверху стійки. Вал закріплений в спеціальному опорному підшипнику. Сам вал складається з двох частин – гнучкої та основної частини, для компенсації нерівностей рельєфу. Опорна стійка містить в собі лише опорний підшипник. Кінематична схема даного приводу показана на рисунку

2.4

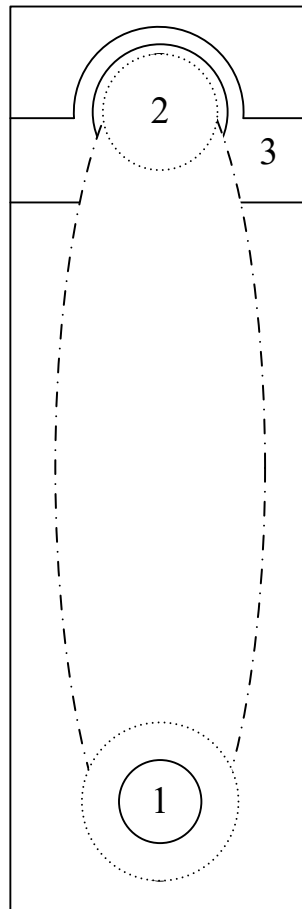


Рисунок 2.3 – Схематичне зображення керуючої стійки.

На схемі зображено: 1 – вихідний вал двигуна, 2 – приводний вал, 3 – опорний підшипник. Опорна стійка має аналогічну конструкцію але використовує лише опорний підшипник та розділяє секції.

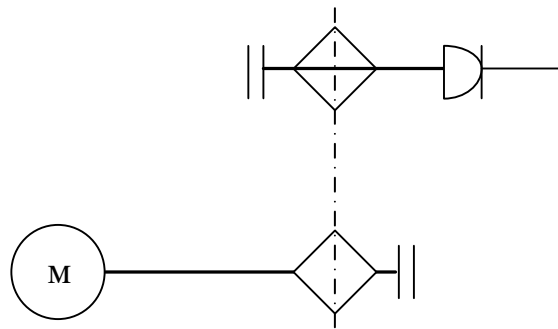


Рисунок 2.4 – Кінематична схема

### 2.3 Розрахунок приводного двигуна

Для вибору приводного двигуна потрібно розрахувати масо-габаритні характеристики двигуна.

Проведемо розрахунок приблизної ваги всієї конструкції та привести її до валу двигуна.

Для розрахунку ваги використаємо такі данні: вага 1 панелі – 18,2, вага валу довжиною 4 м. за даними [] становить 146 кг, вага рамки кріплення панелей – 95,1 кг. Сумарна вага однієї секції ряду дорівнює:

$$m = (m_p \cdot 8) + m_k + m_v \quad (2.2)$$

де  $m$  – вага всієї конструкції;

$m_p$  – вага панелі;

$m_v$  – вага валу;

$m_k$  – вага рамки кріплення.

$$m = (18,2 \cdot 8) + 95,1 + 146 = 387(\text{кг})$$

Наведену сумарну вагу можна використати для визначення приведенного моменту до валу двигуна та розрахунку потужність двигуна. Для цього потрібно розрахувати силу тертя та силу вітрового навантаження.

Сила тертя:

$$F_T = m \cdot 9,8 \cdot k_T, \quad (2.2)$$

де  $m$  – маса всієї конструкції;

$k_T$  – коефіцієнт тертя ( $k_T=0,015$ ):

$$F_T = 987 \cdot 9,8 \cdot 0,015 = 57(\text{Н}).$$

Вітрове навантаження:

$$F_v = S \cdot p, \quad (2.3)$$

де  $S$  – площа конструкції;

$p$  – вітровий тиск ( $p=60$  Па):

$$F_v = 10,7 \cdot 60 = 639,6(\text{Н}).$$

Приведений момент до валу двигуна:

$$M_c = \frac{(F_t + F_v) \cdot d}{\eta \cdot i}, \quad (2.4)$$

де  $d$  – діаметр валу;

$\eta$  – ККД редуктора ( $\eta=0,7$ ):

$i$  – передаточне число редуктора ( $i=80$ ):

$$M_c = \frac{(57+640) \cdot 0,2}{0,7 \cdot 80} = 2,49(\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Потужність приводного двигуна:

$$P_c = \frac{k \cdot M_c \cdot n \cdot 0.1047}{1000}, \quad (2.5)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу ( $k=1,1 \dots 1,3$ );  
 $n$  – номінальна швидкість двигуна ( $n=1420$  об/хв):

$$P_c = \frac{1.2 \cdot 2.49 \cdot 1400 \cdot 0.1047}{1000} = 0.44 \text{ (кВт)}.$$

Згідно розрахунків, для приведення в дію однієї секції сонячних модулів необхідний мотор-редуктор з крутним моментом не менше 2.5Нм та потужністю не менш 0.5 кВт.

Розрахунок вище був проведений для однієї секції модулів. Оскільки ряди можуть мати від 2 до 25 секцій (в залежності від довжини ряду) було прийнято рішення встановлювати приводний двигун на кожну 10-ту секцію для здешевлення конструкції та для зменшення навантаження на вал. Для цього потрібно всі значення помножити на 10, тому остаточний результат буде виглядати так:

Приведений крутний момент – 25 Нм

Потужність двигуна – 5 кВт

#### 2.4 Вибір двигуна електропривода поворотного механізму

Приводний двигун вибирається за потужністю та швидкістю обертання:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq \omega_{\text{роз}}, \end{cases} \quad (2.23)$$

де  $P_{\text{дв.н}}$  - номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$P_{\text{роз}}$  - розрахункова потужність приводного двигуна, кВт;

$\omega_{\text{дв.н}}$  - номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с-1;

$\omega_{\text{роз}}$  – розрахункова кутова швидкість, с-1.

Відповідно до результатів проведених розрахунків електропривода та техніко-економічного обґрунтування в якості двигуна візьмемо двигун з КЗ ротором. АД з КЗ ротором має такі властивості як простота конструкції і використання, а також відносно невисоку ціну серед інших двигунів. Недоліком електродвигунів з КЗ ротором є великий пусковий струм. З розвитком силової схемотехніки для керування роботи почали використовувати перетворювачі частоти, які значно покращили його характеристики роботи і зробили найбільш популярним в електроприводі серед всіх існуючих двигунів. Повертаючись до особливості роботи трекара, час за який Сонце проходить свою траєкторію впродовж дня є досить тривалим, тому необхідність у великих швидкостях повороту панелей відпадає. Натомість необхідно забезпечити деякий момент для повороту конструкції. Взнявши до уваги цю особливість роботи трекара з'являється необхідність у використанні та виборі редуктора. Тому рекомендується взяти і замінити двигун з КЗ ротором на мотор-редуктор. Простота його конструкції і монтажу дозволяє витратити мінімум коштів і часу на вибір і встановлення редуктора окремо від двигуна.

Мотор-редуктор – механізм який поєднує в собі особливості мотора і редуктора, перетворюючи електричну енергію в механічну (рисунок 2.3). Даний пристрій використовується там де потрібна значна механічна потужність при невеликих розмірах.



Рисунок 2.5 – Мотор-редуктор

Виділяють три основні типи використовуваної передачі: планетарні, циліндричні, черв'ячні. Планетарні. Відрізняються надійністю і довгим терміном служби. Мають найвищий показник ККД. Циліндричні. Мають високий ККД і можливість змінювати передаточне число. Можливість передачі великої потужності.

Черв'ячні. Низький показник ККД відносно інших передач. Безшумні на великих швидкостях. Мають властивість самогальмування.

Коротко описавши дані передачі можемо вибрати якого типу буде редуктор. Великою перевагою черв'ячної передачі є неможливість передачі обертового руху від черв'ячного колеса до черв'яка. Дана властивість дозволяє вирішити проблему прокручування конструкції під впливом вітрового навантаження.

Виберемо NMRV 150 з черв'ячним типом редуктора та двигуном з КЗ ротором .Двигун типу АІР112М4 з потужністю 5,5 кВт та номінальною швидкістю 1300 об/хв виконує умову (2.23). Характеристики обраного мотор-редуктора наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики мотор-редуктора NMRV 150

Назва	Величина
Тип двигуна	АІР112
Номінальна потужність Р <sub>дв.н</sub> , кВт	5,5
Номінальна кутова швидкість п <sub>дв.н</sub> , об/хв	1300
Співвідношення моментів М <sub>п</sub> /М <sub>н</sub>	1.8
Співвідношення моментів М <sub>max</sub> /М <sub>н</sub>	2
Тип редуктора	Черв'ячний
Номінальна кутова швидкість на виході валу п <sub>р.н</sub> , об/хв	24
Номінальний момент на виході валу М, Н·м	221
Маса мотор-редуктора m, кг	22

## 2.5 Вибір перетворювача частоти

Частотний перетворювач – пристрій, що перетворює вхідну синусоїдальну напругу фіксованої амплітуди та частоти у вихідну напругу змінної амплітуди та частоти. Пристрій призначений для живлення трифазних асинхронних двигунів і керування їх режимами роботи. Його основна функція в системі ПЧ-АД – регулювання швидкості. Окрім цього, частотний перетворювач забезпечує плавний пуск і гальмування приводного двигуна, його реверсування, а також реалізує різноманітні захисти.

У сучасних перетворювачах частоти формування вихідної напруги здійснюється шляхом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) випрямленої напруги в інверторі. При цьому інвертор не тільки змінює частоту вихідної напруги, але і регулює її середнє значення, що дозволяє відмовитись від керованого випрямляча і використовувати більш простий не керований діодний випрямляч (рисунок 2.5) [12].

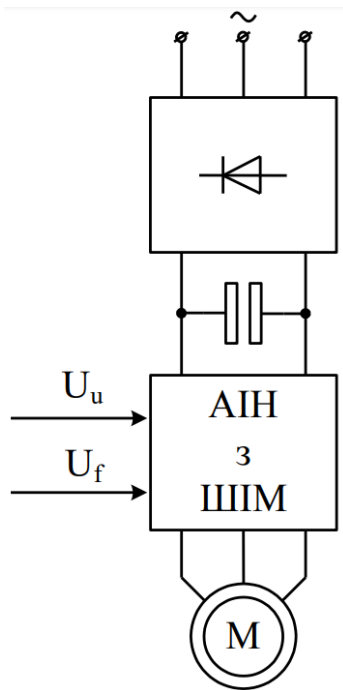


Рисунок 2.6 – Блок-схема перетворювача частоти

Принцип роботи інвертора з ШІМ зображено на рисунку 2.6. Період синусоїдального сигналу розбивається на інтервали часу тривалістю  $\Delta t$  (не менше як на 24 інтервали). На кожному інтервалі створюються два різнополярних імпульси тривалістю  $\Delta t_1$  та  $\Delta t_2$ . Якщо тривалість позитивного і негативного імпульсів однакова, то середнє значення напруги на інтервалі  $\Delta t$  дорівнює нулю. В іншому випадку отримують позитивну або негативну вихідну напругу, пропорційну модулю різниці тривалостей цих імпульсів. Якщо один з імпульсів має нульову тривалість, отримують максимальну середню напругу, яка дорівнює  $U_d$  [12].

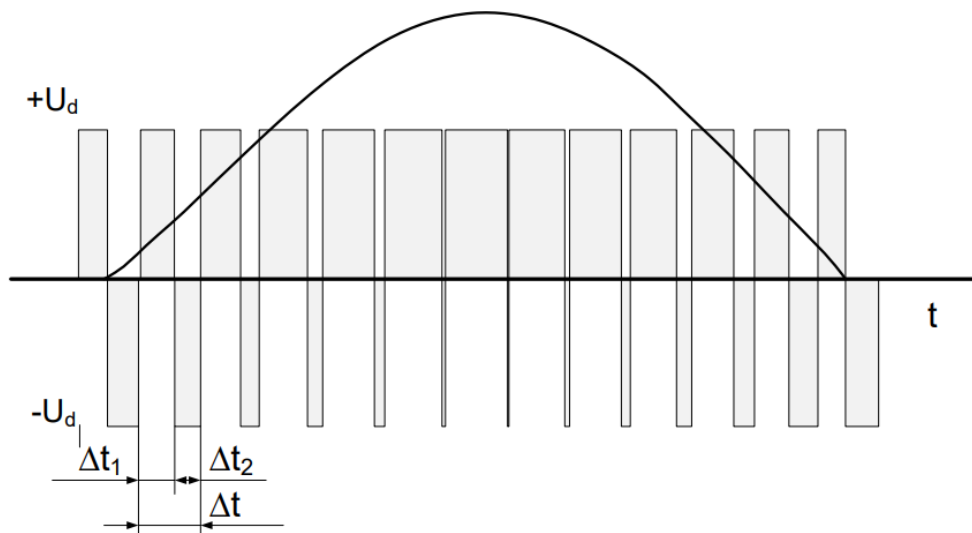


Рисунок 2.7 – Вихідна напруга з інвертора з ШІМ

Для вибору перетворювача частоти потрібно щоб виконувалася наступна умова:

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq P_{\text{дв.сп}}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq I_{\text{дв.н}}, \end{cases} \quad (2.30)$$

де  $P_{\text{дв.сп}}$  – споживана приводним двигуном потужність в номінальному режимі, кВт;  
 $I_{\text{дв.н}}$  – номінальний струм приводного двигуна, А.

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (2.31)$$

де  $k$  - коефіцієнт спотворення струму на вході перетворювача ( $k=0,95$ ).

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{0,95 \cdot 750}{0,7} = 1018 \text{ (Вт)}.$$

Струм ПЧ повинен бути більшим за номінальний струм приводного двигуна. Струм нашого двигуна становить 2.43 А тому беремо довільний перетворювач, струм якого більший за дане значення. Виходячи з умови (2.30), обираємо перетворювач частоти VLT 2800 1.1кВт 3-ф/380 [13]. Паспортні дані перетворювача частоти наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Паспортні дані перетворювача частоти

Тип перетворювача частоти	VLT 2800 1.1кВт 3-ф/380
Номінальна потужність РПЧ, кВт	1,1
Пусковий струм ППЧ.пуск, А	4,8
Вихідний струм ППЧ, А	3
Номінальний коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,98
Номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{дв.н}}$ , %	90
Напруга мережі, В	3 АС 380÷480 ± 10%
Частота мережі, Гц	47÷63
Максимальна частота на виході, Гц	1000
Кількість/Тип аналогових входів	2(1:1-10V; 1:0(4)-20mA )
Кількість дискретних входів	6
Кількість релейних виходів	1
Перевантажувальна здатність ЛПЧ	1,5

Обраний нами перетворювач зображений на рисунку 2.5. Окрім параметрів наведених в таблиці (3.6) має ще ряд деяких особливостей: скалярний та векторний (без енкодера) режим управління, лінійний закон керування  $U/f$ , квадратний закон керування  $U/f^2$ , базова панель програмування LCP 2, наявність ЕМС фільтра та гальмівного модуля,





Рисунок 2.8 – Частотний перетворювач VLT 2800

### Висновок

В цьому розділі було виконано розрахунок та вибір приводного двигуна та редуктора для електромеханічної системи. Здійснено опис проектованої конструкції. Вибрано частотний перетворювач.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вовк О. Ю. Пристрій вимірювання ковзання асинхронного електродвигуна / О. Ю. Вовк, С. О. Квітка // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - 2013. - Вип. 13, т. 2. - С. 136-140. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptdau\\_2013\\_13\\_2\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptdau_2013_13_2_23)
2. О. П. Чорний, Ю. В. Зачепа, В. К. Титюк, О. А. Чорна. Моніторинг і діагностика електромеханічних об'єктів : навчальний посібник. – Кременчук : ЧП Щербатых А. В., 2019. – 122 с.
3. В. В. Кухарчук, Елементи теорії керування динамічними параметрами електричних машин: Монографія, Вінниця: Університет-Вінниця, 1998, 125 с.
4. Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Володарський С.Т., Грабко В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / [В.В.Кухарчук, В.Ю.Кучерук, С.Т.Володарський, В.В.Грабко] – Херсон: Олді-плюс, 2013. -538с.
5. В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький, Вимірювання параметрів обертального руху електромеханічних перетворювачів енергії в перехідному режимі роботи: Монографія, Вінниця: УНІВЕРСУМВінниця, 2018, 155 с.
6. В. В. Кухарчук, В. С. Голодюк, Інструмент для динамічних вимірювань параметрів обертального руху електричних машин у перехідних режимах роботи, Інтегровані інтелектуальні роботизовані комплекси, ІРТК-2021 13-а Міжнародна науково-практична конференція, Київ, Україна, 18-19 травня 2021 р., с. 87.
7. Vasyl Kukharchuk , Oleksandr Vasilevskyi , Volodymyr Holodiuk. Results of study of quantization and discretization error of digital tachometers with encoder // АСТА ІМЕКО ISSN: 2221-870X June 2023, Volume 12, Number 2, 1 - 6 АСТА ІМЕКО | [www.imeko.org](http://www.imeko.org) June 2023 | Volume 12 | Number 2 | - P.1-6 .
8. В. В. Кухарчук, Основи метрології та електричних вимірювань, Конспект лекцій. Частина II: Вінниця: ВНТУ, 2020, 155 с.
9. В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Аналіз динамічних властивостей тахометричних перетворювачів, Технічна електродинаміка, 2000, Частина 1, с. 103-107.
10. В. Ю. Кучерук, В. В. Кухарчук, Аналіз і практична реалізація мікропроцесорного засобу вимірювання кутової швидкості обертання електричних машин, Вісник ВПІ, 1995, No 2, с. 12-16.
11. В. В. Кухарчук, В. С. Голодюк, Результати досліджень похибки квантування та дискретизації цифрових тахометрів з енкадером, Інтегровані інтелектуальні роботизовані комплекси (ІРТК2022), 15-та Міжнародна науково-практична конференція 17-18 травня 2022 р., Київ, Україна, К.: НАУ, 2022, 241 с. (збірник тез), с. 98-100
12. V. V. Kukharchuk, S. V. Pavlov, V. S. Holodiuk, V. E. Kryvonosov, K. Skorupski, A. Mussabekova, G. Karnakova Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors. Sensors 2022, 22, 271. DOI: 10.3390/s22010271

13. V. V. Kukharchuk, V. F. Hraniak, S. Sh. Katsyv, V. S. Holodiuk, Torque measuring channels: dynamic and static metrological characteristics, *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 10(3), 2020, pp. 82–85. DOI: 10.35784/iapgos.2080

Бабій Сергій Миколайович – к.т.н. доц. кафедри КЕМСК, Вінницький національний технічний університет.

Лубко Дмитро Романович – студент групи ЕПА-22М, факультет ФЕЕЕМ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dlubko69@gmail.com .

Науковий керівник: Бабій Сергій Миколайович – к.т.н. доц. кафедри КЕМСК, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Babiy Serhii Mykolayovych - Ph.D. Assoc. Department of KEMSK, Vinnytsia National Technical University.

Lubko Dmytro Romanovych - student of the EPA-22M group, FEEEM faculty, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dlubko69@gmail.com.

Scientific supervisor: Babii Serhii Mykolayovych - Ph.D. Assoc. Department of KEMSK, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.