

**О.О. ЧЕПЕЛЮК, М.Г. ПАНТЕЛЯТ, Ю.С. ГРИЩУК, А.К. ЄЛОЄВ**

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКЦІЙНИХ КУХОННИХ ПЛИТ

Експериментальні дослідження є головним напрямком науково-дослідних робіт у напрямку вдосконалення конструктивних рішень і режимів експлуатації побутових індукційних плит, оскільки експерименти дозволяють отримати найбільш достовірні результати, які будуть також слугувати порівняльною базою для верифікації розроблених математичних моделей і чисельних алгоритмів комп'ютерного моделювання відповідних процесів і явищ в індукційних кухонних плитах і посуді, що нагрівається. У статті описано розроблений експериментальний стенд для дослідження теплових і енергетичних процесів у індукційних кухонних плитах і посуді, що нагрівається. Для створення експериментального стенду та проведення досліджень використовується обладнання, придбане кафедрою «Електричні апарати» НТУ «ХПІ» завдяки отриманому у 2016 р. гранту Фонду Олександра фон Гумбольдта (Alexander von Humboldt Stiftung, Німеччина) на суму 20 тисяч Євро. Експерименти розпочато з використанням індукційної кухонної плити VES electric V-HP6. Наразі стенд дозволяє виконувати наступні експериментальні дослідження:  вимірювання швидкості нагріву їжі (води) при використанні різних потужностей індукційної плити;  вимірювання температури робочої поверхні, цифрового дисплея та панелі керування індукційною плитою;  вимірювання показників електричної енергії, спожитої для нагріву їжі (води). Використовується наступне сучасне вимірювальне обладнання: двоканальний цифровий термометр з термопарами DT 1320, пірометр Flus IR-865U, цифровий мультиметр («струмові кліщі») DT 3352 та спеціалізоване програмне забезпечення до нього. Отримані та проаналізовані попередні результати експериментальних досліджень, встановлені особливості функціонування індукційних кухонних плит у залежності від потужності при нагріванні їжі.

**Ключові слова:** експериментальні дослідження, стенд, індукційна кухонна плита, вимірювальне обладнання.

**А.А. ЧЕПЕЛЮК, М.Г. ПАНТЕЛЯТ, Ю.С. ГРИЩУК, А.К. ЄЛОЄВ**

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ КУХОННЫХ ПЛИТ

Экспериментальные исследования являются основным направлением научно-исследовательских работ в области совершенствования конструктивных решений и режимов эксплуатации бытовых индукционных плит, поскольку эксперименты позволяют получить наиболее достоверные результаты, которые будут также служить сравнительной базой для верификации разработанных математических моделей и численных алгоритмов компьютерного моделирования соответствующих процессов и явлений в индукционных кухонных плитах и нагреваемой посуде. В статье описан разработанный экспериментальный стенд для исследования тепловых и энергетических процессов в индукционных кухонных плитах и нагреваемой посуде. Для создания экспериментального стенда и проведения исследований используется оборудование, приобретенное кафедрой «Электрические аппараты» НТУ «ХПИ» благодаря полученному в 2016 гранту Фонда Александра фон Гумбольдта (Alexander von Humboldt Stiftung, Германия) на сумму 20 000 Евро. Эксперименты начаты с использованием индукционной кухонной плиты VES electric V-HP6. В настоящее время стенд позволяет выполнять следующие экспериментальные исследования:  измерение скорости нагрева пищи (воды) при использовании различных мощностей индукционной плиты;  измерение температуры рабочей поверхности, цифрового дисплея и панели управления индукционной плитой;  измерение показателей электрической энергии, потребленной для нагрева пищи (воды). Используется следующее современное измерительное оборудование: двухканальный цифровой термометр с термопарами DT 1320, пирометр Flus IR-865U, цифровой мультиметр («токовые клещи») DT 3352 и специализированное программное обеспечение к нему. Получены и проанализированы предварительные результаты экспериментальных исследований, установлены особенности функционирования индукционных кухонных плит в зависимости от мощности при нагревании пищи.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, стенд, индукционная кухонная плита, измерительное оборудование.

**О.О. ЧЕПЕЛИУК, М.Г. ПАНТЕЛЯТ, Ю. С. ГРИЩУК, А.К. ЄЛОЄВ**

## AN EXPERIMENTAL STAND FOR INDUCTION COOKERS INVESTIGATIONS

Experimental investigations are the main direction of scientific research in the field of improving design solutions and operating modes of household induction cookers, since experiments provide the most reliable results, which will also serve as a comparative basis for verification of the developed mathematical models and numerical algorithms for computer modelling of the corresponding processes and phenomena in induction cookers and heated dishes. The paper describes a developed experimental stand for studying thermal and energy processes in induction cookers and heated dishes. To create an experimental stand and conduct research, equipment purchased by the Department of Electrical Apparatus of NTU "KhPI" thanks to a grant of 20,000 Euros provided by the Alexander von Humboldt Foundation (Alexander von Humboldt Stiftung, Germany) in 2016 is used. The experiments start using a VES electric V-HP6 induction cooker. Currently, the stand allows to perform the following experimental studies:  measurement of the heating rate of food (water) using various powers of the induction cooker;  temperature measurement of the working surface, digital display and control panel of the induction cooker;  measurement of indicators of electric energy consumed to heat food (water). The following modern measuring equipment is used: a two-channel digital thermometer with thermocouples DT 1320, a pyrometer Flus IR-865U, a digital multimeter ("current clamps") DT 3352 and specialized software for it. Preliminary results of experimental studies are obtained and analyzed, features of the functioning of induction cookers depending on power when heating food are determined.

**Keywords:** experimental investigations, stand, household induction cookers, measuring equipment.

**Вступ.** Індукційні кухонні плити все більш широко використовуються у сучасному побуті та у ресторанному виробництві, що робить актуальними задачі розрахункового й експериментального дослідження процесів і явищ, які мають місце при їх експлуатації, з метою визначення раціональних конструкцій і режимів роботи плит, а також аналізу поведінки обладнання та посуду, що нагрівається, в різноманітних умовах експлуатації [1, 2].

Нагадаємо, що індукційні плити являють собою відносно новий клас сучасної електропобутової техніки – кухонні електричні плити, які розігрівають металевий посуд вихровими струмами, які створюються електромагнітним полем частотою 20-100 кГц [1, 2]. Зовнішній вигляд сучасних індукційних плит різних виробників наведено на рис. 1, 2. Основні конструктивні елементи індукційної плити показані на рис. 2.

У роботах [1, 2] авторами розглянуто та проаналі-

© О.О. Чепелюк, М.Г. Пантелят, Ю.С. Грищук, А.К. Єлоєв, 2019

зовано сучасний стан розрахункового та експериментального дослідження процесів і конструкцій індукційних кухонних плит. На цій основі запропоновано перелік прикладних задач, розв'язання яких буде представляти практичний інтерес з точки зору вдосконалення конструктивних рішень і режимів експлуатації обладнання, що досліджується.

Автори вважають експериментальні дослідження головним напрямком виконання зазначених науково-дослідних робіт, оскільки експерименти дозволяють отримати найбільш достовірні результати, які крім того будуть слугувати порівняльною базою для верифікації розроблених математичних моделей і чисельних алгоритмів комп'ютерного моделювання відповідних процесів і явищ в індукційних кухонних плитах і посуді, що нагрівається.

**Мета роботи** – опис розробленого експериментального стенду для дослідження теплових і енергетичних процесів у індукційних кухонних плитах і посуді, що нагрівається, а також аналіз отриманих попередніх результатів експериментальних досліджень. Розподіл електромагнітного поля плити наразі не досліджується.

**Експериментальний стенд і обладнання, що використовується для проведення досліджень.** Для розробки експериментального стенду та проведення досліджень використовується обладнання, придбане кафедрою «Електричні апарати» НТУ «ХПІ» завдяки отриманому у 2016 р. гранту Фонду Александра фон Гумбольдта (Alexander von Humboldt Stiftung, Німеччина) на суму 20 тисяч Євро [3, 4].

Експерименти розпочато з використанням індукційної кухонної плити VES electric V-HP6 [5], зовнішній вигляд якої наведено на рис. 1.



Рис. 1 – Індукційна кухонна плита VES electric V-HP6

Розроблений стенд може бути використано для дослідження індукційних плит інших конструкцій (рис. 2) [2].

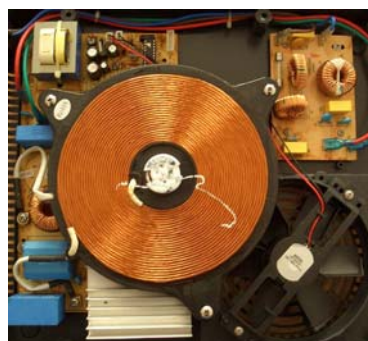


Рис. 2 – Сучасні індукційні кухонні плити різних виробників та їх основні конструктивні елементи

Наразі стенд дозволяє виконувати наступні експериментальні дослідження:

- вимірювання швидкості нагріву їжі (води) при використанні різних потужностей індукційної плити;
- вимірювання температури робочої поверхні, цифрового дисплея та панелі керування індукційною плитою;
- вимірювання показників електричної енергії, спожитої для нагріву їжі (води).

Відповідно до вищезазначеного переліку експериментів, використовується наступне сучасне вимірвальне обладнання:

- двоканальний цифровий термометр з термопарами DT 1320 [6] (рис. 3);
- пірометр Flus IR-865U [7] (рис. 4);
- цифровий мультиметр («струмові кліщі») DT 3352 [8] (рис. 5) та спеціалізоване програмне забезпечення до нього.

Технічні характеристики індукційної кухонної плити та вимірвального обладнання наведені за відповідними посиланнями [5-9]. В подальших дослідженнях можливе використання тепловізора [9] (рис. 6) та інших сучасних приладів. На відміну від пірометра, тепловізор використовується не для «точкового» вимірювання температури у різних точках електропобутового приладу, а для отримання цілісної картини розподілу температурного поля приладу електропобу-

тової техніки, що досліджується (ілюстративні приклади наведено на рис. 7, 8, відповідно).



Рис. 3 – Двоканальний цифровий термометр DT 1320



Рис. 4 – Пірометр Flus IR-865U



Рис. 7 – «Точкове» вимірювання температури електропобутового пристрою з використанням пірометра



Рис. 5 – Цифровий мультиметр DT 3352



Рис. 6 – Тепловізор Dali LT3-P

В якості приклада, в табл. 1 наведені технічні характеристики тепловізора DALI LT3-P [9].



Рис. 8 – Картина розподілу теплового поля електропобутового пристрою, отримана за допомогою тепловізора Dali LT3-P

#### **Попередні результати та їх аналіз.**

1. Виконано дослідження швидкості нагріву води (1 л води у спеціальній каструлі для індукційних кухонних плит) від початкової температури 20 °С до

температури кипіння  $100^{\circ}\text{C}$  при різних потужностях плити. Термопара цифрового термометра була занурена у каструлю із водою, що нагрівалась. Отримані результати узагальнено на рис. 9. Встановлено, що при невеликих потужностях плити нагрівання води (та, відповідно, їжі) до кипіння є неможливим. Причина цього явища – теплообмін з оточуючим середовищем (охолодження оточуючим прохолодним повітрям).

Вимірювання температури робочої поверхні, цифрового дисплея та панелі керування індукційною плитою виконано в наступному порядку: вода в ємності доводилась до температури  $96^{\circ}\text{C}$ , після чого за допомогою пірометра робились заміри температури робочої поверхні з кроком два сантиметри. Також вимірювались температури сенсорних кнопок панелі керування. Отримані результати наведено в табл. 2, 3. На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що індукційна плита безпечна та комфорт-

на у використанні з точки зору низької температури панелі керування (не перевищує  $28^{\circ}\text{C}$ ).

2. Експерименти з вимірювання показників електроенергії, спожитої плитою в процесі доведення 1 л води до кипіння (див. вище), включали в себе зняття показань цифрового мультиметра в часі при роботі індукційної плити. Отримані результати наведено в табл. 4. Вимірювали наступні величини: напруга мережі  $U$ , сила струму  $I$ , повна спожита потужність  $P$ , активна потужність  $Q$ , реактивна потужність  $S$ , коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$ . Аналіз отриманих результатів свідчить, що на відносно малих потужностях (до 1 кВт) індукційна плита працює в режимі періодичного включення індуктора. При великих потужностях (починаючи з 1 кВт) індуктор плити працює в постійному режимі для забезпечення достатньо швидкого нагріву посуду. Варто також відзначити, що під час роботи індуктора плити величина  $\cos\varphi$  становить майже 1, що може бути визвано тим, що у конструкції плити використано компенсатор реактивної потужності.

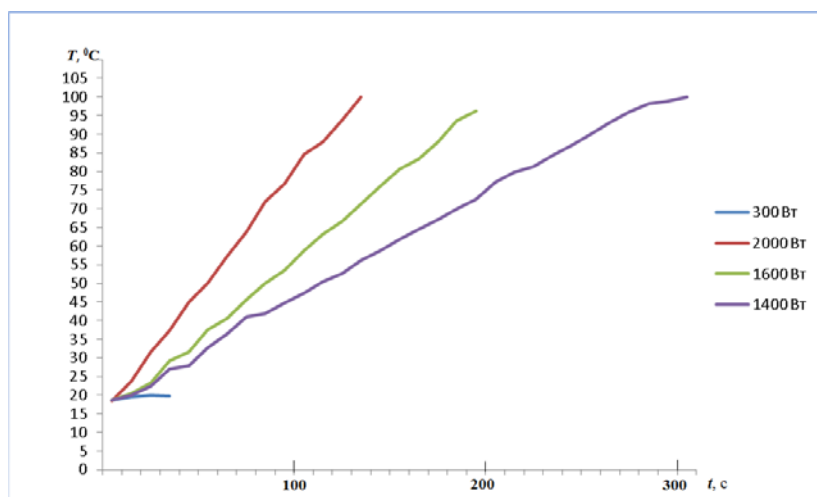


Рис. 9 – Нагрівання 1 л води до температури кипіння в залежності від потужності індукційної кухонної плити

Таблиця 1 – Технічні характеристики тепловізора DALI LT3-P

<b>Матриця</b>	
Тип детектора	FPA – матриця в фокальній площині - неохолоджуваний мікроболометр
Розмір матриці	160 x 120
<b>Налаштування зображення</b>	
Поле зору	$25^{\circ} \times 19^{\circ}$
Мінімальна фокусна відстань	0,1 м
Просторова роздільна здатність (миттєве поле зору)	2,72 мрад
Температурна чутливість	$\leq 0,06^{\circ}\text{C}$ при $30^{\circ}\text{C}$
Частота кадрів	50 / 60 Гц
Фокус	Ручне налаштування
Спектральна чутливість	8-14 мкм
Джерело видимого світла	вбудоване
<b>Візуалізація зображення</b>	
Рідкокристалічний екран	2,7" TFT рідкокристалічний кольоровий 640 x 480
Налаштування зображення	Ручне налаштування яскравості та підсилення
Кольорова палітра	11 палітр на вибір
<b>Вимірювання</b>	
Температурний діапазон	$-20^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ (може бути розширено до $650^{\circ}\text{C}$ )
Точність	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ або 2% від вимірюваного значення, що більше
Корекція вимірювання	Автоматична / ручна
Маркери	До 4 змінних точок, до 3 змінних областей (визначення мін, макс, та середнього значення температури), до 3 ліній, ізотерми, різниця температур

Перевищення температури	Сигналізація звукова, кольорова
Додаткові функції	Встановлення дати, часу, одиниць вимірювання температури, мови меню
Випромінювальна здатність	Змінна від 0,01 до 1
Корекція фонові теплової засвітки	Автоматична, залежно від введених даних
Корекція пропускну здатності атмосфери	Автоматична, залежно від введених даних відстані до об'єкта, температури та вологості
Пам'ять	2 Гб SD карта, максимум 16 Гб
Режим	Автоматичний, ручний – зберігання кожного окремого зображення, теплове та видиме зображення
Тепловізійне зображення	jpeg з даними вимірювань температури
Видиме зображення	jpeg
Голосові аотації	Вбудований мікрофон, до 60 с звуку до кожного теплового зображення
Лазерна указка	Клас II; 2,1 мВт; 635 нм (червоний); ІЕС 60285 – для живлення лазера
Акумулятори	Літій-йонні перезаряджувані акумулятори
Час роботи акумуляторів	3 години неперервних вимірювань
Зарядний пристрій	блок живлення - зарядний пристрій 12 В (опційно)
Енергозбереження	Автоматичне вимкнення, автоматичний режим сну
<b>Умови експлуатації</b>	
Температура експлуатації	-15 °С ~ +15 °С
Вологість	≤90% без конденсації
Температура зберігання	-25 °С ~ +60 °С
Клас захисту	IP54
Стійкість до навантажень	Струс 25Гц за протоколом ІЕС 68-2-29, вібрації 2 Гц за протоколом ІЕС 68-2-6
Падіння	Витримує падіння з висоти до 2 м
<b>Габаритні розміри та вага</b>	
Вага	0,98 кг
Габарити	230 x 105 x 245 мм
Тринога	1/4 □ -20-UNC
Тримач на рукоятку	Може бути встановлена з обох боків
<b>Інтерфейс</b>	
Роз'єм для SD-карти	Мікро-SD (TF)
Зовнішнє джерело живлення	Постійного струму
Відео вихід	так
USB	Міні-USB для передачі зображень

Таблиця 2 – Температура поверхні індукційної кухонної плити при тривалому режимі експлуатації

Відстань від центру робочої поверхні, см	0	2	4	6	8	10	12
Температура, °С	27,6	23,3	22,2	21,8	21,1	21,1	20,8

Таблиця 3 – Температура клавіш панелі керування індукційної кухонної плити

Призначення клавіші панелі керування	Температура клавіші панелі керування, °С
Напруга	20,9
Таймер	20,9
–	21,0
+	21,1
Функції	21,0
Вмикання	20,7

Таблиця 4 – Результати вимірювання показників спожитої електроенергії

Вимірювані величини	Потужність плити, кВт								
	0,3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
U, В	224,5	219	220	221	220	219,4	220,2	219,7	222
I, А	0,2	3,2	3,2	3,2	3,7	4,2	4,5	5	5,3
P, кВт	0,7	0,74	0,7	0,7	0,81	0,92	0,98	1,09	1,17
Q, кВА	0,72	0,74	0,7	0,7	0,81	0,92	0,99	1,07	1,17
S, кВА	0,29	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09
cosφ	0,98	0,989	0,988	0,988	0,995	0,993	0,995	0,996	1,00

**Висновки.** Розроблено експериментальний стенд для дослідження теплових і енергетичних процесів у індукційних кухонних плитах і посуді, що нагрівається. Отримані та проаналізовані попередні результати експериментальних досліджень, встановлені особливості функціонування індукційних кухонних плит у

залежності від потужності при нагріванні їжі.

#### Список літератури

- 1 Пантелєт М.Г., Гришук Ю.С., Чепелюк О.О., Єлоєв А.К. Стан і перспективи мультифізичного моделювання індукційних кухонних плит // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення



- електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2018. – № 32 (1308). – С. 87-92.
- 2 Panteljat M.G., Gryshhuk Ju.S., Chepeljuk O.O., Eloev A.K. Napryamky doslidzhen' indukciynnykh kuhonnykh plyt // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2019. – № 1. – С. 54-58.
  - 3 Клименко Б.В., Чепелюк О.О., Пантелят М.Г. Сучасна лабораторія – сучасна освіта: докорінне переобладнання навчальної лабораторії кафедри «Електричні апарати» НТУ «ХПІ» // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2019. – № 1. – С. 76-86.
  - 4 Panteljat M.G., Klymenko B.V. An equipment subsidy from the Alexander von Humboldt Foundation provided by the Federal Foreign Office of Germany – a great contribution to the advancement of science and learning and to international cooperation // Proceedings of the International Scientific Conference Humboldt-Kolleg "Limits of Knowledge". – June 2017, Cracow, Poland. – P. 276-285.
  - 5 [https://clatronic.com.ua/bytovaya-tehnika/melkaya/prigotovlenie/Induktsion.plityi/Induktsionnaya\\_plita\\_VES\\_V\\_HP6](https://clatronic.com.ua/bytovaya-tehnika/melkaya/prigotovlenie/Induktsion.plityi/Induktsionnaya_plita_VES_V_HP6).
  - 6 <https://gtest.com.ua/dt1320.html>.
  - 7 <https://gtest.com.ua/ir865u-pirometr.html>.
  - 8 <https://gtest.com.ua/dt3352.html>.
  - 9 <https://gtest.com.ua/dali-lt3.html>.
- perspektyvy mul'tyfizychnogo modeljuvannja indukciynnykh kuhonnykh plyt. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Problems of electrical machines and apparatus perfection. Theory and practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018. – No 32 (1308). – P. 87-92.
- 2 Panteljat M.G., Gryshhuk Ju.S., Chepeljuk O.O., Jelojev A.K. Napryamky doslidzhen' indukciynnykh kuhonnykh plyt. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Problems of electrical machines and apparatus perfection. Theory and practice. – Kharkiv: NTU "KhPI". – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019. – No 1. – С. 54-58.
  - 3 Klymenko B.V., Chepeljuk O.O., Panteljat M.G. Suchasna laboratorija – suchasna osvita: dokorinne pereobladnannja navchal'noi' laboratorii' kafedry «Elektrychni aparaty» NTU «HPI». Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Problems of electrical machines and apparatus perfection. Theory and practice. – Kharkiv: NTU "KhPI". – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019. – No 1. – С. 76-86.
  - 4 Panteljat M.G., Klymenko B.V. An equipment subsidy from the Alexander von Humboldt Foundation provided by the Federal Foreign Office of Germany – a great contribution to the advancement of science and learning and to international cooperation // Proceedings of the International Scientific Conference Humboldt-Kolleg "Limits of Knowledge". – June 2017, Cracow, Poland. – P. 276-285.
  - 5 [https://clatronic.com.ua/bytovaya-tehnika/melkaya/prigotovlenie/Induktsion.plityi/Induktsionnaya\\_plita\\_VES\\_V\\_HP6](https://clatronic.com.ua/bytovaya-tehnika/melkaya/prigotovlenie/Induktsion.plityi/Induktsionnaya_plita_VES_V_HP6).
  - 6 <https://gtest.com.ua/dt1320.html>.
  - 7 <https://gtest.com.ua/ir865u-pirometr.html>.
  - 8 <https://gtest.com.ua/dt3352.html>.
  - 9 <https://gtest.com.ua/dali-lt3.html>.

## References (transliterated)

- 1 Panteljat M.G., Gryshhuk Ju.S., Chepeljuk O.O., Jelojev A.K. Stan i

Надійшла (received) 05.10.19

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Чепелюк Олександр Олександрович (Чепелюк Александр Александрович, Chepelyuk Olexsandr Olexsandrovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4522-9821>; e-mail: chep1@i.ua.

**Пантелят Михайло Гарієвич (Пантелят Михаил Гарриевич, Panteljat Mikhail Garrievich)** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1357-2134>; e-mail: m150462@yahoo.com.

**Гришук Юрій Степанович (Гришук Юрий Степанович, Gryshchuk Yurii Stepanovych)** – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7427-5419>; e-mail: grischukkpi@ukr.net.

**Єлоєв Алан Казбекович (Елоев Алан Казбекович, Yeloiev Alan Kazbekovych)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант, кафедра електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: mau-ser98kar@gmail.com.