

М.Г. ПАНТЕЛЯТ, Ю.С. ГРИЩУК, А.А. ЧЕПЕЛЮК, А.К. ЕЛОЕВ

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНДУКЦИОННЫХ КУХОННЫХ ПЛИТ

Широкое использование в современном быту и в ресторанном производстве индукционных кухонных плит делает актуальными задачи расчетного и экспериментального исследования процессов и явлений, имеющих место при их эксплуатации. Представляет интерес составление перечня прикладных задач исследования процессов и конструкций индукционных кухонных плит, решение которых будет представлять интерес с точки зрения совершенствования конструктивных решений и режимов эксплуатации исследуемого оборудования. Обзор литературных источников показал, что авторы исследований индукционных кухонных плит обошли вниманием несколько важных прикладных задач, а именно: – исследование теплового состояния индукционной кухонной плиты в случае выхода из строя ее вентилятора; – исследование распределения электромагнитного поля плиты, а также процессов нагрева посуды и индуктора плиты в следующих ситуациях: нагреваемая посуда расположена не по центру индуктора индукционной кухонной плиты, а смещена и частично занимает часть поверхности плиты, не занятой индуктором; используется посуда меньшего диаметра, чем диаметр индуктора; – исследование процессов в индукционных кухонных плитах и посуде, нагреваемой на разных частотах поля в диапазоне 20-100 кГц; – сравнение распределения электромагнитного поля плиты и теплового поля посуды в случаях наличия и отсутствия магнитопровода в конструкции плиты, а также сравнение процессов при использовании магнитопровода, изготовленного из различных магнитных материалов. Решение указанных задач предлагается выполнять методами компьютерного моделирования мультифизических электромагнитных и тепловых процессов, а также экспериментально.

Ключевые слова: индукционная плита, обзор литературных источников, выход из строя вентилятора, расположение посуды на плите, частоты поля плиты, наличие и материалы магнитопровода, компьютерное моделирование, эксперименты.

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

НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ІНДУКЦІЙНИХ КУХОННИХ ПЛИТ

Широке використання у сучасному побуті та у ресторанному виробництві індукційних кухонних плит робить актуальними задачі розрахункового й експериментального дослідження процесів і явищ, що мають місце при їх експлуатації. Представляє інтерес укладання переліку прикладних задач дослідження процесів і конструкцій індукційних кухонних плит, розв'язання яких буде представляти інтерес з точки зору вдосконалення конструктивних рішень і режимів експлуатації обладнання, що досліджується. Огляд літературних джерел показав, що автори досліджень індукційних кухонних плит обійшли увагою декілька важливих прикладних задач, а саме: – дослідження теплового стану індукційної кухонної плити у випадку виходу з ладу її вентилятора; – дослідження розподілу електромагнітного поля плити, а також процесів нагріву посуду й індуктора плити у наступних ситуаціях: посуд, що нагрівається, розташовано не по центру індуктора індукційної кухонної плити, а зміщено та частково займає частину поверхні плити, що не зайнята індуктором; використовується посуд меншого діаметра, ніж діаметр індуктора; – дослідження процесів у індукційних кухонних плитах і посуді, що нагрівається, на різних частотах поля в діапазоні 20-100 кГц; – порівняння розподілу електромагнітного поля плити та теплового поля посуду у випадках наявності та відсутності магнітопроводу в конструкції плити, а також порівняння процесів при використанні магнітопроводу, виготовленого з різноманітних магнітних матеріалів. Розв'язання зазначених задач пропонується виконувати методами комп'ютерного моделювання мультифізичних електромагнітних і теплових процесів, а також експериментально.

Ключові слова: індукційна кухонна плита, огляд літературних джерел, вихід з ладу вентилятора, розташування посуду на плиті, частоти поля плити, наявність та матеріали магнітопроводу, комп'ютерне моделювання, експерименти.

M.H. PANTELIAT, Yu.S. HRYSHCHUK, O.O. CHEPELIUK, A.K. YELOIEV

DIRECTIONS OF RESEARCHES OF INDUCTION KITCHEN PLATES

Introduction. The widespread use in modern life and in the restaurant production of induction cookers makes relevant the problem of computational and experimental study of the processes and phenomena that occur during their operation. It is of interest to compile a list of applied research problems of the processes and designs of induction cookers, the solution of which will be of interest from the point of view of improving the design solutions and operating modes of the investigated equipment. A review of literary sources showed that the authors of research on induction cookers ignored several important applied problems, namely: – study of the thermal state of the induction cooker in case of failure of its fan; – study of the distribution of the electromagnetic field of the cooker, as well as the processes of heating the dishes and the inductor of the cooker in the following situations: the heated dishes are not located in the center of the inductor of the induction cooker, but are partially offset and occupy part of the surface of the cooker not occupied by the inductor; dishes of smaller diameter than the diameter of the inductor are used; – study of processes in induction cookers and dishes heated at different field frequencies in the range of 20-100 kHz; – comparison of the distribution of the electromagnetic field of the cooker and the thermal field of the dishes in cases of the presence and absence of a magnetic core in the design of the plate, as well as a comparison of the processes when using a magnetic core made of various magnetic materials. The solution of these problems is proposed to perform using computer simulation of multiphysical electromagnetic and thermal processes, as well as experimentally.

Key words: induction cooker, review of literary sources, failure of the fan, location of cookware on the cooker, frequency of the field board, presence and materials of the magnetic circuit, computer simulation, experiments.

Вступ. Все більш широке використання у сучасному побуті та у ресторанному виробництві індукційних кухонних плит [1] робить актуальними задачі розрахункового й експериментального дослідження процесів і явищ, що 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.

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].

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

Зовнішній вигляд сучасних індукційних плит різних виробників наведено на рис. 1. Основні конструктивні елементи індукційної плити показані на рис. 2.

Представляє інтерес укладання переліку прикладних задач розрахункового та експериментального дослідження процесів і конструкцій індукційних кухонних плит, розв'язання яких буде представляти практичний інтерес з точки зору вдосконалення конструктивних рішень і режимів експлуатації обладнання, що досліджується. Отже, **мета роботи** – визначення напрямків комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень індукційних кухонних плит для отримання результатів, цікавих з практичної точки зору.



Рис. 1. Сучасні індукційні кухонні плити.

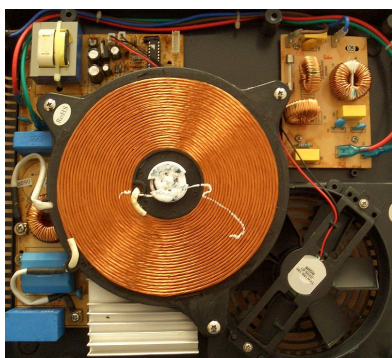


Рис. 2. Індукційна кухонна плита у розібраному стані.

Огляд літературних джерел. У роботах [1-7] розроблено методики аналітичного розрахунку та проектування індукторів індукційних кухонних плит, а також запропоновано методи комп'ютерного моделювання мультифізичних процесів і явищ, що мають місце в процесі експлуатації обладнання.

У вітчизняній науково-технічній літературі наразі не знайдено робіт, присвячених визначенню напрямків розрахункових і експериментальних досліджень

індукційних кухонних плит, що представляють практичний інтерес. Розглянемо інформацію, що наведена у закордонних виданнях.

У роботах [8-10] виконані розрахункові та експериментальні дослідження електромагнітних процесів у запропонованій авторами новій конструкції індуктора плити – з двома концентричними котушками та концентраторами електромагнітного поля. Виконано значний обсяг досліджень, детально проаналізовано отримані результати. Недоліками робіт є відсутність аналізу теплових процесів у конструкції, що розглядається, а також, що найголовніше, розроблені методики не використано для вдосконалення конструктивних рішень і режимів експлуатації найбільш поширених конструкцій індукційних кухонних плит, які наразі продаються у магазинах побутової техніки та досить широко використовуються використання у сучасному побуті та у ресторанному виробництві (див. рис. 2).

Робота [11] присвячена розв'язанню актуальної задачі зниження зовнішнього електромагнітного поля індукційної кухонної плити й електромагнітних сил, що діють на індуктор плити. Однак робота має здебільшого суто теоретичний характер, реальні конструкції індукційних кухонних плит не досліджуються.

Крім того, суттєвими недоліками використаної методики є розв'язання рівнянь електромагнітного поля у магнітостатичному наближенні (тобто знехтування вихровими струмами в першу чергу у посуді, що нагрівається), а також знехтування реальними магнітними властивостями матеріалів плити та посуду (всі матеріали вважаються немагнітними). Це не дозволяє отримати уяву про реальні процеси, що мають місце в процесі експлуатації індукційної кухонної плити.

Автори роботи [12] досліджують розподіл амплітудних значень щільності вихрових струмів і теплових втрат у запропонованій конструкції індукційної кухонної плити з індуктором у вигляді спіралі. Як і у [8-10], розробки авторів не використовуються для вдосконалення конструкцій і режимів роботи найбільш поширених сучасних моделей індукційних кухонних плит. У роботі не зроблено наступний логічний крок – комп'ютерне моделювання теплового стану індуктора та посуду, що нагрівається.

Робота [13] присвячена розв'язанню задачі електромагнітної сумісності стосовно сучасного побутового обладнання з частотою електромагнітних коливань до 100 кГц, у тому числі побутових індукційних плит. Конкретні конструкції і режими роботи індукційних плит не досліджуються.

У статті [14] досліджується запропонована авторами конструкція індукційної кухонної плити з індуктором, оптимізованим з використанням наведеної в роботі методики. Метою оптимізації є визначення геометричних параметрів індуктора, які забезпечують відносно рівномірний розподіл температури посуду, що нагрівається. Мета роботи (отримання рівномірного теплового поля посуду) є насправді важливою, але досягається вона за рахунок суттєвого ускладнення конструкції індуктора плити. Крім того, суттєвим недоліком роботи є розв'язання саме стаціонарного рівняння теплопровідності, в той час як температура посуду в процесі нагрівання суттєво змінюється не лише

у просторі, а також у часі, що теж повинно бути враховано.

В роботі [15] метод скінчених елементів використовується для комп'ютерного моделювання розподілу тривимірного електромагнітного поля запропонованої конструкції індукційної кухонної плити з індуктором досить складної конструкції. У порівнянні з традиційною конструкцією індуктора, запропонований авторами варіант дозволяє отримати більш рівномірний розподіл електромагнітного та теплового полів посуду, що нагрівається. В той же час, різноманітні режими та особливості експлуатації плити (частота струму в індукторі, процеси охолодження індуктора, матеріали та форма посуду, та ін.) у роботі не досліджені.

У статті [16] метод скінчених елементів використано для комп'ютерного аналізу зв'язаних тривимірних електромагнітного та нестационарного теплового полів у запропонованій авторами конструкції індукційної кухонної плити з дуже складним індуктором з 9 ідентичними прямокутними котушками. Порівняння отриманих результатів з розподілом електромагнітного і теплового поля традиційної плити не наведено.

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що огляд літературних джерел, головним чином закордонних [8-16], показав, що автори розрахункових і експериментальних досліджень індукційних кухонних плит обійшли увагою декілька цікавих із суто наукової точки зору і, найголовніше, важливих для практики конструювання й експлуатації обладнання прикладних задач, наведених нижче.

Актуальність даної роботи полягає у формулюванні не розв'язаних у літературі задач розрахункового та експериментального дослідження процесів і конструкцій індукційних кухонних плит, що буде представляти практичний інтерес з точки зору вдосконалення конструктивних рішень і режимів експлуатації обладнання, що досліджується.

Пропозиції щодо напрямків розрахункових і експериментальних досліджень.

1. Дослідження теплового стану індукційної кухонної плити у випадку виходу з ладу її вентилятора.

Вентилятор (див. рис. 1 – внизу справа) є важливим конструктивним елементом індукційної кухонної плити, необхідним для охолодження індуктора та радіатора електроніки плити. Приклади конструкцій вентиляторів (напряга і струм живлення – 18 В постійного струму, 0,16 А) наведено на рис. 3. Електродвигун і електричний привід вентилятора зображено на рис. 4.



Рис. 3. Вентилятори індукційних кухонних плит.



Рис. 4. Електродвигун і електричний привід вентилятора індукційної кухонної плити.

У разі виходу вентилятора з ладу припиниться потік повітря, спрямованого на індуктор плити для його охолодження, що призведе до дуже швидкого перегріву мідного індуктора. Отже, представляє значний інтерес задача дослідження розподілу у просторі та у часі теплового поля індукційної кухонної плити не тільки в процесі її експлуатації з нормально функціонуючим вентилятором, а також у випадках повної зупинки вентилятора та при його обертанні зі зниженою швидкістю.

Розв'язання задачі повинне в першу чергу виконуватися методами комп'ютерного моделювання мультифізичних (зв'язаних) електромагнітних і теплових процесів у індукційних кухонних плитах [2, 5]. При цьому, процес конвективного теплообміну при різних швидкостях обертання вентилятору описується відповідними коефіцієнтами теплообміну поверхні індуктора з повітрям при вимушеній конвекції, а при нерухомому вентиляторі – коефіцієнтами теплообміну з повітрям при природній конвекції. Експериментальні дослідження з використанням відповідного обладнання для реєстрації температури (тепловізор, пірометр, термопари) можливі у суттєво обмеженому обсязі у зв'язку із можливістю виходу плити з ладу в процесі проведення експериментів.

2. Дослідження розподілу електромагнітного поля плити, а також процесів нагріву посуду й індуктора плити у наступних ситуаціях:

2.1. Посуд, що нагрівається, розташовано не по центру індуктора (тобто «конфорки») індукційної кухонної плити, а зміщено та частково займає частину поверхні плити, що не зайнята індуктором.

2.2. Використовується посуд меншого діаметра, ніж діаметр індуктора («конфорки»).

У вказаних ситуаціях, які з достатньо великою вірогідністю можуть мати місце на кухнях житлових приміщень та ресторанів, можна очікувати зростання рівня зовнішнього електромагнітного поля індукційної кухонної плити, а також досить суттєвого уповільнення процесу нагріву посуду з їжею.

Запропонована задача дослідження теплового стану посуду та плити може бути розв'язана як методами комп'ютерного моделювання мультифізичних процесів [2, 5], так і експериментально. Доцільно виконати розрахункові та експериментальні дослідження при різному розташуванні посуду на плиті, різних значен-

нях діаметрів індуктору та посуду, та ін. Цікавим видається також порівняння отриманих результатів розрахунків і вимірювань.

Задача дослідження електромагнітного поля плити повинна бути розв'язана в першу чергу чисельно [3, 6]. Експериментальні дослідження можливі лише при наявності відповідної вимірювальної апаратури.

3. Дослідження мультифізичних електромагнітних і теплових процесів у індукційних кухонних плитах і посуді, що нагрівається, на різних частотах поля в діапазоні 20-100 кГц.

Метою досліджень є визначення раціональної частоти електромагнітного поля при нагріванні посуду з різними геометричними параметрами (в першу чергу, з різною товщиною днища), а також виготовленого з різноманітних матеріалів. Дослідження доцільно виконувати в першу чергу методами комп'ютерного моделювання. Експериментальні дослідження стануть можливими у випадку, якщо буде знайдено шлях «примусового» регулювання частоти електромагнітних коливань поля індуктора плити.

4. Порівняння розподілу електромагнітного поля плити та теплового поля посуду у випадках наявності та відсутності магнітопроводу в конструкції плити, а також порівняння процесів при використанні магнітопроводу, виготовленого з різноманітних магнітних матеріалів.

Як і у п. 2, задача дослідження електромагнітного поля плити повинна бути розв'язана в першу чергу чисельно [3, 6]. В якості вихідної інформації задається основна крива намагнічування відповідних магнітних матеріалів. Експериментальні дослідження можливі лише при наявності відповідної вимірювальної апаратури. Задача дослідження теплового стану посуду та плити може бути розв'язана як методами комп'ютерного моделювання мультифізичних процесів [2, 5], так і експериментально.

Висновки. Запропоновано перелік прикладних задач розрахункового та експериментального дослідження процесів і конструкцій індукційних кухонних плит, розв'язання яких представляє практичний інтерес з точки зору вдосконалення конструктивних рішень і режимів експлуатації обладнання, що досліджується.

Список літератури

1. Пантелія М.Г., Гуренцов Ю.В., Трофімов А.В. Методика розрахунку індукторів індукційних кухонних плит // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 20 (1063). – С. 13-24.
2. Пантелія 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.
3. Пантелія М.Г., Гуренцов Ю.В. Методика комп'ютерного моделювання методом скінчених елементів розподілу електромагнітного поля індукційної кухонної плити // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 16-24.
4. Пантелія М.Г., Трофімов А.В. Методика скінченоелементного аналізу теплового стану індукційної кухонної плити та посуду, що нагрівається // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – № 13 (1122). – С. 36-44.

5. Пантелія М.Г., Трофімов А.В. Методика мультифізичного аналізу електромагнітних і теплових процесів в індукційній кухонній плиті та посуді, що нагрівається // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – № 42 (1151). – С. 3-7.
6. Пантелія М.Г., Гуренцов Ю.В. Скінченоелементний аналіз розподілу електромагнітного поля індукційної кухонної плити // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2016. – № 32 (1204). – С. 32-36.
7. Пантелія М.Г., Єлоєв А.К. Скінченоелементний аналіз розподілу температурного поля посуду, що нагрівається на індукційній кухонній плиті // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2017. – № 34 (1256). – С. 26-28.
8. Carretero C., Lucia O., Acero J., Bordio J.M., Alonso R. Passive network equivalent of an induction system for domestic cookers application based on FEA tool simulation // Proceedings of the 26th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). – 6-11 March 2011, Fort Worth, Texas, USA. – 2011. – P. 1753-1758.
9. Carretero C., Lucia O., Acero J., Bordio J.M. FEA tool based model of partly coupled coils used in domestic induction cookers // Proceedings of the 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2011). – 7-10 November 2011, Melbourne, Victoria, Australia. – 2011. – P. 2533-2538.
10. Carretero C., Lucia O., Acero J., Bordio J.M. Computational modeling of two partly coupled coils supplied by a double half-bridge resonant inverter for induction heating appliances // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2013. – v. 60, No. 8. – P. 3092-3105.
11. Hosseini S.H., Kashtiban A.M., Alizadeh G. Particle swarm optimization and finite-element based approach for induction heating cooker design // Proceedings of the SICE-ICASE International Joint Conference. – 18-21 October 2006, Busan, Korea. – 2006. – P. 4624-4627.
12. Hediehloo M., Akhbari M. New approach in design of planar coil of induction cooker based on skin and proximity effect analysis // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). – 10-13 February 2009, Churchill, Victoria, Australia. – 2009. – P. 1100-1105.
13. Yamazaki K., Kawamoto T., Fujinami H., Shigemitsu T. Equivalent dipole moment method to characterize magnetic field generated by electric appliances: extension to intermediate frequencies of up to 100 kHz // IEEE Transactions on Electro-magnetic Compatibility. – 2004. – v. 46, No. 1. – P. 115-120.
14. Jin-Kyu Byun, Kyung Choi, Hee-Suce Roh, Song-yop Hahn. Optimal design procedure for a practical induction heating cooker appliances // IEEE Transactions on Magnetics. – 2000. – v. 36, No. 4. – P. 1390-1393.
15. Meng L.C., Cheng K.W.E., Chan K.W. Heating performance improvement and field study of the induction cooker // Proceedings of the 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA). – 20-22 May 2009, Hong Kong. – 2009. – P. 313-317.
16. Meng L.C., Cheng K.W.E., Luk P.C.K. Field analysis of an induction cooker with square 9-coil system by applying diverse exciting pattern // Proceedings of the 6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012). – 27-29 March 2012, Bristol, United Kingdom. – 2012. – P. 1-5.

References (transliterated)

1. Panteliat M.H., Hurentsov Yu.V., Trofimov A.V. Metodyka rozrakhunku induktoriv induktsiynykh kukhonnykh plyt. Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka. – Kh.: NTU "KhPI", 2014. No 20 (1063). P. 13-24.
2. Panteliat M.H., Hryshchuk Yu.S., Chepeliuk O.O., Yeloev A.K. Stan i perspektyvy multyfizychnoho modeliuvannia induktsiynykh kukhonnykh plyt. Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka. – Kh.: NTU "KhPI", 2018. No 32 (1308). P. 87-92.
3. Panteliat M.H., Hurentsov Yu.V. Metodyka komp'uternoho modeliuvannia metodom skinchenykh elementiv rozpodilu elektromagnitnoho polia induktsiinoi kukhonnoi plyty. Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i

- aparativ. Teoriia i praktyka. – Kh.: NTU "KhPI", 2014. No 41 (1084). P. 16-24.
4. Panteliat M.H., Trofimov A.V. Metodyka skinchenoele–mentnoho analizu teplovoho stanu induktsiinoi kukhonnii plyty ta posudu, shcho nahrivaietsia. Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka. – Kh.: NTU "KhPI", 2015. No 13 (1122). P. 36-44.
 5. Panteliat M.H., Trofimov A.V. Metodyka multyfizychnoho analizu elektromahnitnykh i teplovykh protsesiv v induktsiinoi kukhonnii plyty ta posudi, shcho nahrivaietsia. Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka. Kharkov: NTU "KhPI", 2015. No 42 (1151). P. 3-7.
 6. Panteliat M.H., Hurentsov Yu.V. Skinchenoelementnyi analiz rozpodilu elektromahnitnoho polia induktsiinoi kukhonnii plyty. Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka. Kharkov: NTU "KhPI", 2016. No 32 (1204). P. 32-36.
 7. Panteliat M.H., Yeloviev A.K. Skinchenoelementnyi analiz rozpodilu temperaturnoho polia posudu, shcho nahrivaietsia na induktsiinoi kukhonnii plyty. Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka. Kharkov: NTU "KhPI", 2017. No 34 (1256). P. 26-28.
 8. Carretero C., Lucia O., Acero J., Bordio J.M., Alonso R. Passive network equivalent of an induction system for domestic cookers application based on FEA tool simulation. Proceedings of the 26th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). – 6-11 March 2011, Fort Worth, Texas, USA. – 2011. – P. 1753-1758.
 9. Carretero C., Lucia O., Acero J., Bordio J.M. FEA tool based model of partly coupled coils used in domestic induction cookers. Proceedings of the 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2011). – 7-10 November 2011, Melbourne, Victoria, Australia. – 2011. – P. 2533-2538.
 10. Carretero C., Lucia O., Acero J., Bordio J.M. Computational modeling of two partly coupled coils supplied by a double half-bridge resonant inverter for induction heating appliances. IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2013. – v. 60, No. 8. – P. 3092-3105.
 11. Hosseini S.H., Kashtiban A.M., Alizadeh G. Particle swarm optimization and finite-element based approach for induction heating cooker design. Proceedings of the SICE-ICASE International Joint Conference. – 18-21 October 2006, Busan, Korea. – 2006. – P. 4624-4627.
 12. Hediehloo M., Akhbari M. New approach in design of planar coil of induction cooker based on skin and proximity effect analysis. Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). – 10-13 February 2009, Churchill, Victoria, Australia. – 2009. – P. 1100-1105.
 13. Yamazaki K., Kawamoto T., Fujinami H., Shigemitsu T. Equivalent dipole moment method to characterize magnetic field generated by electric appliances: extension to intermediate frequencies of up to 100 kHz. IEEE Transactions on Electro-magnetic Compatibility. – 2004. – v. 46, No. 1. – P. 115-120.
 14. Jin-Kyu Byun, Kyung Choi, Hee-Suce Roh, Song-yop Hahn. Optimal design procedure for a practical induction heating cooker appliances. IEEE Transactions on Magnetics. – 2000. – v. 36, No. 4. – P. 1390-1393.
 15. Meng L.C., Cheng K.W.E., Chan K.W. Heating performance improvement and field study of the induction cooker. Proceedings of the 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA). – 20-22 May 2009, Hong Kong. – 2009. – P. 313-317.
 16. Meng L.C., Cheng K.W.E., Luk P.C.K. Field analysis of an induction cooker with square 9-coil system by applying diverse exciting pattern. Proceedings of the 6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012). – 27-29 March 2012, Bristol, United Kingdom. – 2012. – P. 1-5.

Поступила (received) 11.02.19

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Пантеліят Михайло Гарієвич (Пантеліят Михаил Гаррієвич, Panteliat Mikhail Garrievich) – кандидат технічних 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, Hryshchuk 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: grischuk-kri@ukr.net.

Чепелюк Олександр Олександрович (Чепелюк Александр Александрович, Chepelyuk Oleksandr Oleksandrovych) – 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: chepl@i.ua.

Слоєв Алан Казбекович (Слоєв Алан Казбекович, Yeloviev Alan Kazbekovich) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант, кафедра електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: mauser98kar@gmail.com.