

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

маг. инж. Янита Стоянова Славова

МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА БИТОВИ ЕЛЕКТРОТЕРМИЧНИ УРЕДИ ЗА ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА ИМ

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен “доктор”**

**по докторска програма „Електротехнологии и нанотехнологии в
електротехниката“ към професионално направление 5.2.
Електротехника, електроника и автоматика**

**Научен ръководител:
доц. д-р инж. Мария Иванова Маринова**

Рецензенти:

1.
2.

Варна, 2020

Дисертационният труд е обсъден на2020г. в катедра “Електротехника и електротехнологии” на катедрен съвет, съгласно заповед на Ректора на ТУ-Варна №/..... и насочен за защита.

Докторантът работи в катедра “Електротехника и електротехнологии”.

Автор: маг. инж. Янита Стоянова Славова

Заглавие: Математическо моделиране на битови електротермични уреди за оценка на ефективността им

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

маг. инж. Янита Стоянова Славова

**МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА
БИТОВИ ЕЛЕКТРОТЕРМИЧНИ УРЕДИ ЗА
ОЦЕНКА НА ЕФЕКТИВНОСТТА ИМ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен “доктор”**

Варна, 2020

Дисертационният труд е в обем от 191 страници, включително 139 фигури, 37 таблици, и 6 приложения, оформени в 6 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 175 заглавия, от които 150 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои наГ. ОТ.....Ч. В.....на открито заседание на жури, сформирано със заповед на Ректора № / Г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересувашите се в Докторантския център, стая 318 НУК.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА:

В съвременния бит основно място заемат домакинските електроуреди. Изискванията към тях са различни и в най-общия случай противоречиви, но като цяло, през последните години, се утвърждават тенденциите за разработване на икономични, екологично чисти, с максимален коефициент на полезно действие, възможност за вграждане в произволен интериор и съвременен дизайн, електроуреди. Битовите електроуреди внасят комфорт и уют във всеки дом, но те са и основните консуматори на електроенергия. Известно е, че в бита освен отоплението най-голяма е консумацията на електрическа енергия и при приготвянето на храна. Затова и въпросът за енергийната ефективност на електротермичните битови уреди е изключително актуален. Поставената основна цел енергийната ефективност на крайното потребление да се увеличи с 20% до 2020г., както и развитието на енергийноэффективните услуги определя актуалността на проблематиката. Икономията на електроенергията е проблем не само на отделния потребител, но и световен, обусловен от една страна от голямото потребление, а от друга – от криза в производството. Затова и въпроса за разработване и внедряване в практиката на икономични съоръжения е с международен приоритет.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Целта на настоящата дисертация е да се моделира влиянието на експлоатационните фактори върху работата на електротермичните уреди за бита, за оценка на ефективността им.

За постигане на тази цел е необходимо да се решат следните задачи:

- 1. Определяне на факторите, влияещи върху ефективността на електротермичните уреди за бита и изследване на влиянието им върху коефициента на полезно действие на тези уреди.**
- 2. Теоретично и експериментално изследване на влиянието на експлоатационните фактори върху разпределението на топлинното поле и загубите при експлоатацията на електротермичните уреди за бита.**
- 3. Моделиране на влиянието на експлоатационните фактори върху енергоефективността на електротермичните уреди за бита с цел извеждане на адекватна математическа зависимост за анализ и предлагане на решения с практическа насоченост за повишаване на енергийната им ефективност.**

ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Обект на изследването са електротермични уреди за приготвяне на храна, а именно – за повърхностно нагряване – електродомакински нагревателни плочи (пирокерамична нагревателна плоча и индукционен котлон) и за обемно нагряване – електрическа фурна.

На тези електротермични уреди за бита са проведени експериментални изследвания за оценка на влиянието на експлоатационните фактори върху ефективността им.

ПРЕДМЕТ И МЯСТО НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Предмет на изследването е влиянието на експлоатационните фактори върху енергоефективността на електротермични уреди за бита.

Експерименталните, теоретичните и симулационните изследвания в дисертационния труд са проведени в Технически университет – гр. Варна.

МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

За решаване на поставените задачи и постигане на целта са използвани:

- експериментални изследвания в лабораторни условия;
- теоретични изследвания, основани на математическо моделиране;
- теоретични изследвания, основани на компютърни симулации;
- съпоставяне на теоретичните и експериментални изследвания за сравнителен анализ, количествена оценка и достоверността на моделирането по отношение на основните положения в дисертационния труд.

НАУЧНА И ПРАКТИЧЕСКА НОВОСТ

1. Проведени са експериментални изследвания за влиянието експлоатационните фактори върху коефициента на полезно действие на електротермични уреди за приготвяне на храна.

2. Разработена е методика и е изведена зависимостта за определяне на коефициента на полезно действие на електрическа фурна.

3. Моделирани са процесите на работа на електротермичните уреди за бита, като са разработени следните теоретични модели:

- стационарни модели на перокерамичен плот – при работа на празен ход и при натоварване - в програмна среда FEMM 4.2;

- стационарен модел за предварително загряване на празна фурна при конвективен режим на нагряване - в програмна среда FEMM 4.2;

- динамични модели на електрическата фурна (в програмна среда на COMSOL Multiphysics), като изследването е проведено при два режима на работа – при конвективен режим на нагряване и при нагряване само с нагревателя „грил”. Теоретичните изследвания при тези два режима са разгледани в две насоки : при предварително загряване на празна фурна и при натоварване на електрическата фурна.

4. Разработени са модели на базата на статистическа регресия за оценка на влиянието на експлоатационните фактори върху енергоефективността на електротермичните уреди за бита, като са съставени на базата на:

-пълнен факторен експеримент за:

- пирокерамичен плот - от типа на 2⁵, броя на планираните експерименти е 32, като са проведени по три пъти;
- индукционен котлон - от типа на 2⁴.

-ортогонално – централно композиционен план за електрическа фурна – общия брой опити е 43.

5.Разработени са и специални режими на работа на електротермичните уреди за бита, свързани с търсенето на рационално от практическа гледна точка, решение по отношение на експлоатационни им параметри за да се намери оптималният им КПД.

РЕАЛИЗАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Към настоящия момент няма вънряване на резултатите, но са проведени разговори със специалисти от практиката за приложение на постигнатите резултати в методиките им за изследване, както и за приложение на препоръките за повишаване на енергийната ефективност на произвежданите от тях електротермичните уреди за бита.

АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

По темата на дисертационния труд основните резултати от изследванията са докладвани и публикувани в следните международни и национални форуми с международно участие и издания:

- **Рецензирани национални конференции с международно участие:**
 - II international congress on MEEMI, 7-9 October, 2005, Varna, Bulgaria
 - International scientific conference UNITECH, 2007, Gabrovo, Bulgaria
 - XIII International conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA, 2011, Varna, Bulgaria
 - III международен научен конгрес „Науката и образованието в бъдещето“ - 50 години ТУ – Варна, 2012, Варна, България
 - Юбилейна научна международна конференция „50 години катедра ЕТЕТ“, 2013, Варна, България
 - 16th International conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA, 2019, Varna, Bulgaria - реферирана в SCOPUS.
- **Рецензирани научни издания в страната:**
 - Годишник на Техническия университет във Варна, 2009.
 - Годишник на Техническия университет във Варна, 2011.
 - Списание Електротехника и електроника (E+E), 2017

До момента е известно едно цитиране (което не е самоцитиране) от статия реферирана в SCOPUS.

СТРУКТУРА И ОБЕМ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Дисертационният труд е с обем от 191 страници, включително 139 фигури, 37 таблици, списък на използваната литература от 175 заглавия, от които 150 на латиница и 6 приложения. Основният текст е изложен на 157 страници и се състои от съдържание, увод, списък на използваните съкращения, шест глави, заключение на получените резултати, библиография и списък на публикациите по темата на дисертационния труд.

В автореферата са приети означения на фигурите и формулите, съответстващи на тези от дисертацията.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ЕЛЕКТРОТЕРМИЧНИ УРЕДИ ЗА БИТА

В първа глава са разгледани състоянието и тенденциите в развитието на електротермичните уреди за приготвяне на храна, като са разделени на два вида според начина на нагряване - за повърхностно нагряване – електродомакински нагревателни плочи (пирокерамична нагревателна плоча и индукционен котлон) и за обемно нагряване – електрическа фурна. Обърнато е внимание на конструктивните им особености, техническите им показатели и е направен анализ на съществуващото им състояние.

1.4.Изводи от направения литературен обзор

1.Съществуват тенденции насочени към по-нататъшно усъвършенстване на електротермичните уреди за бита и към подобряване на техническите показатели с цел оптимизиране и икономия на електрическа енергия.

2.Съществува енергиен етикет за електрическа фурна по отношение на консумация на електрическа енергия, но липсва такъв за ЕНП.

3.Съществува начин за определяне на КПД на електрически нагревателни плочи, но липсва методика за определянето на такъв за електрическа фурна.

4.Липсват конкретни изследвания относно факторите влияещи върху ефективността на електротермични уреди за бита.

На базата на анализа и изводите са формирани целта и основните задачи на дисертационния труд.

ГЛАВА 2. ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ЕЛЕКТРОТЕРМИЧНИ УРЕДИ ЗА БИТА

В настоящата глава е решена задача номер 1 от дисертационния труд. Всяка техническа система, която консумира електрическа енергия, се нуждае от изследване и технически анализ в резултат на който да се направи оценка до колко е ефективно използването на енергията, за да изпълни своите полезни функции - производство на продукция, осигуряване на комфорт или предоставянето на полезни услуги на човека. Общеизвестно е, че коефициента на полезно действие (КПД) се явява най-удобен и най универсален показател

за ефективното функциониране на електротермичните уреди за бита.

Енергийната ефективност на подобни уреди за бита може да се дефинира с техния коефициент на полезно действие. Или:

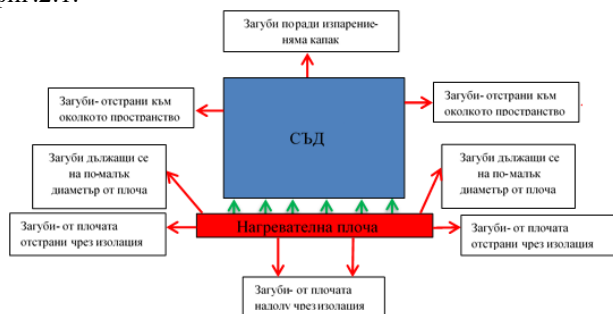
$$\eta = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{общо}}} \cdot 100[\%] \quad (2-1)$$

където: $Q_{\text{общо}}$ – общото количество консумирана енергия, J , $Q_{\text{пол}}$ – пълната топлинна енергия, необходима за готвене, J ;

Пълното количество топлинна енергия включва освен полезната енергия и загубите които възникват в електротермичните уреди за бита в процеса на тяхната работа. В тази връзка загубите, които могат да възникнат в електрическите фурни могат да бъдат:

- топлинни загуби към околното пространство;
- загуби в отделните части на конструкцията;
- загуби от неефективно използване- на работното пространство.
- загуби от неподходящ режим на използване на електросъоръжението.

Загубите които могат да възникнат при употребата на ЕНП са показани на фиг.2.1.



Фиг.2.1. Пренос на топлина (зелени стрелки) и възможни топлинни загуби (червени стрелки) от нагревателната плочата и съда

Анализирайки всичко това се оказва, че КПД реално зависи както от параметрите на товара (т.е. параметрите на съда и обработвания продукт), така и от масата и вида на вложените материали, коефициентите на топлопренасяне, конвекция и лъчение, топлинните капацитети, околната повърхност, инсталирана мощност и др.

От изложеното следва, че най – общо факторите които влияят съществено върху ефективността на ЕТУ за бита могат да се групират в четири основни групи – конструктивни, качествени, енергийни и експлоатационни.

Експлоатационни фактори - показани са фиг.2.3. Те могат да се разделят на няколко основни подгрупи, а именно:

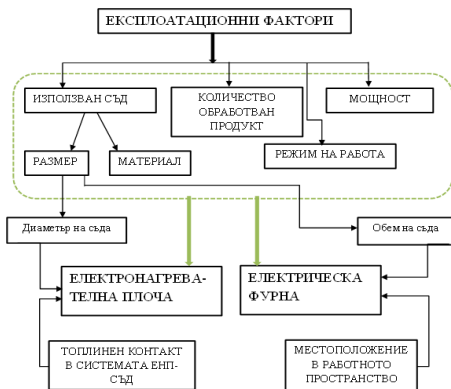
-режима на работа на устройството – на празен ход или на натоварване (продължителен, прекъснато-продължителен, повторно-кратковременен или по избор);

-количество обработван продукт;

-мощност – пълна или по избор;

-използван съд за приготвяне на продукцията – зависи от размерите и материала от който е изработен;

-местоположението на съда при експлоатацията на устройството;



Фиг.2.3. Експлоатационни фактори влияещи върху КПД на електротермични уреди за бита

Таблица.2.1. Размери на съдовете за готвене и количеството вода

Диаметър на съда за готвене, [mm]	Обща височина на съда, [mm]	Количество вода, [dm ³]	
		стандартно	максимално
145	105	0,7	2,0
180	110	1,0	2,5
220	120	1,5	3,0

Експлоатационните фактори са с разнообразен характер и тяхното съчетаване помежду им може да е по-различни начини, което не винаги съвпада с тези определени от техническите характеристики на ЕТУ. Например при експлоатацията на ЕНП в домакинствата рядко количеството нагрявана продукция съвпада със стандартното количество вода съобразно действащите стандарти, както и размерите на използваните съдове - не винаги отговарят на диаметъра на ЕНП. Това налага конкретизиране на съдове който ще се използват по отношение на размер и вместимост – показани са в таблица 2.1.

На базата на проведеното изследване могат да се направят следните изводи:

1. Конкретизиран е основният параметър определящ ефективността на ЕТУ за приготвяне на храна – коефициента на полезно действие.

2. Фиксирани са основните експлоатационни фактори, влияещи върху големината на КПД, а оттам и върху ефективната работа на ЕТУ за приготвяне на храна.

3. Всеки един от факторите е детайлизиран, с цел по-нататъшно анализиране за получаване на резултати, които да позволят постигане на по добра експлоатационна ефективност на ЕТУ за приготвяне на храна.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ НА ЕСПЛОТАЦИОННИТЕ ФАКТОРИ ВЪРХУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ДОМАКИНСКИ ПЛОЧИ

В настоящата глава са решени задачи с номера 1 и 2 от дисертационния труд. Зависимостта, по която може да се изчисли КПД – η е:

$$\eta = \frac{G_{cp} \cdot T}{E \cdot K} \cdot 100 = 20,5 \cdot \frac{G}{E} \cdot 100, [\%] \quad (3-1)$$

където:

K - е корекционен коефициент - $K=3,6.103 \text{ J}\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$;

G – маса на алуминиевия блок, kg,

C_p – специфична топлиемост на алуминиевия блок - $C_p = 922 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;

T – превишаване на температурата – 80K;

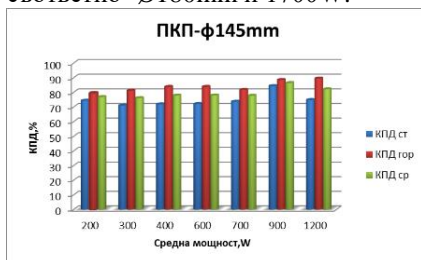
E - консумирана енергия, Wh.

3.1. Експериментално определяне на КПД на пирокерамични електродомакински плочи

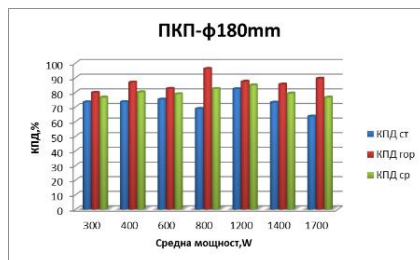
За провеждане на изпитването се използва стандартен алуминиев блок, който се нагрява до достигане температурно превишение от 80K. Изчислява се $\eta_{ст}$ - КПД от студено състояние и $\eta_{гор}$ - КПД от горещо състояние.

$$\eta_{ср} = (\eta_{ст} + \eta_{гор}) / 2 \quad (3-2)$$

С цел определяне на коефициентът на полезно действие се провеждат опити на пирокерамичен плот на фирма ZANUSSI модел 'ZKL64X', един от най-често използваният в домакинствата. Плотът има четири нагревателни зони, като две са с диаметър $\varnothing 145\text{mm}$ и мощност по 1200W, а другите две съответно- $\varnothing 180\text{mm}$ и 1700W.



Фиг.3.2. Зависимост на КПД от степента на регулатора на мощност за нагревателна зона $\varnothing 145$ mm на пирокерамичен плот ZANUSSI модел 'ZKL64X'.



Фиг.3.3. Зависимост на КПД от степента на регулатора на мощност за нагревателна зона $\varnothing 180$ mm на пирокерамичен плот ZANUSSI модел 'ZKL64X'.

3.1.1. Експериментално изследване на влиянието на диаметъра на използвания съд върху КПД на пирокерамични електродомакински плочи – при различен диаметър на нагревателната зона

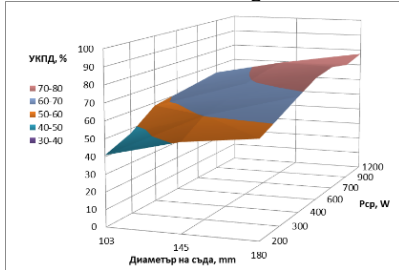
Изпитването се провежда като върху нагревателната повърхност е поставен съд, предварително напълнен със студена вода. За провеждане на изпитването се нагрява определено количество вода (таблица.3.2), което трябва да съответства на стойностите, посочени в стандарта. Този вид стандартен експеримент позволява да се разработят и нестандартни варианти, свързани с експлоатацията на плота. За целта са планирани и проведени експериментални изследвания за оценка на влиянието на диаметъра на използвания съд, различен от стандартния диаметър, върху КПД на пирокерамичният плот - но със стандартно количество нагрявана течност. Този КПД се приема като условен (УКПД). УКПД се определя съгласно методиката от БДС, но не отговаря на посочените там стандартни изисквания.

Таблица.3.2.

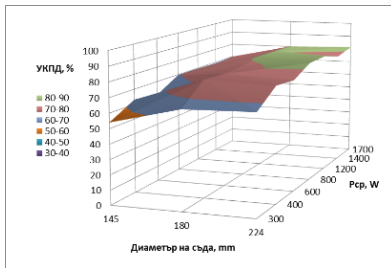
Номинален диаметър [mm]	Количество вода [dm ³]	Маса на алум.блок [kg]
145	0,7	3,85
180	1,0	5,66
220	1,5	8,65

В тази връзка от значение е да се изследва промяната на УКПД в зависимост от промяната на количеството нагрявана течност. Привеждането на данните става по следната формула:

$$\eta = 116 \cdot \frac{G}{E} \cdot 100, [\%] \quad (3-3)$$



Фиг.3.4. Зависимост на условия КПД от диаметра на съда за нагревателна зона Ø145 mm на пирокерамичен плот ZANUSSI модел 'ZKL64X', стандартно количество нагрявана течност 0,7 dm³.



Фиг.3.5. Зависимост на условия КПД от диаметра на съда за нагревателна зона Ø180mm на пирокерамичен плот ZANUSSI модел 'ZKL64X', стандартно количество нагрявана течност 1,0 dm³.

Проведени са и експерименталните изследвания за да се оцени влиянието на количеството нагрявана течност и местоположението на използваният съд върху КПД на пирокерамични електродомакински плочи.

3.1.4.Изводи

1.С увеличаване на диаметра на съда за нагревателна зона Ø145 mm с 24 %, условият КПД намалява с 7,65% за P₂=1200 W, а за P₁=300 W намалява с 17,12%, а за нагревателната зона Ø180 mm с 24 % по-голям съд от стандартния диаметър, условият КПД намалява с 2,64 % - за P₁=300 W и с 1,2 % за P₂=1700 W.

2.С намаляване на диаметра на съда с 29 % при зона Ø145mm, условият КПД намалява с 31,25% - за P₁=300 W и с 25,84 % за P₂=1200 W, а за нагревателна зона Ø180 mm - с намаляване на диаметра с 20 %, условият КПД намалява с 12,5 % - за P₁=300 W и с 15 % - за P₂=1700 W.

3.С увеличаване на количеството нагрявана течност при нагревателна зона Ø145 mm, условият КПД се увеличава средно с 5,16 % за P₃=400 W, а

при $P_2=1200\text{ W}$ – с 13,2 %. За зона $\varnothing 180\text{ mm}$, условният КПД се увеличава средно 5,48 % за $P_1=300\text{ W}$, а за $P_2=1700\text{ W}$ се увеличава с 10,1%.

4. С намаляване на количеството нагрявана течност при нагревателна зона $\varnothing 145\text{ mm}$, условният КПД се намалява с 2,6 % за $P_3=400\text{ W}$, а при $P_2=1200\text{ W}$ – с 8,47%. За зона $\varnothing 180\text{ mm}$, условният КПД се намалява 14,88% за $P_1=300\text{ W}$, а за $P_2=1700\text{ W}$ се намалява с 6,87%.

5. За нагревателна зона $\varnothing 180\text{ mm}$ КПД се изменя приблизително с 9,5% - от 300 W (min) до 1700 W (max), а за $\varnothing 145\text{ mm}$ – с 22,5% от 200 W (min) до 1200 W (max).

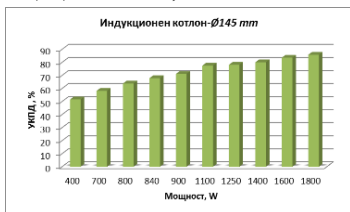
6. Най – високия КПД се получава при $\varnothing 180\text{ mm}$ – 84,79%, за средна мощност 1200 W и за $\varnothing 145\text{ mm}$ – 86,44% при средна мощност 900 W.

3.2. Експериментално определяне на КПД на индукционен котлон

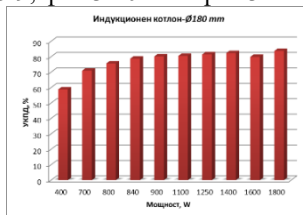
Експерименталните изследвания за определяне на КПД на индукционен котлон (ИК) са проведени като се отчита особеността им, а именно, че те работят със специални съдове и диаметърът на нагревателната зона съответства на диаметъра на съда поставен върху индукционния котлон. Изчисляването на условния коефициент на полезно действие (УКПД) става по следната формула:

$$\eta = 92,91 \cdot \frac{G}{E} \cdot 100, [\%] \quad (3-4)$$

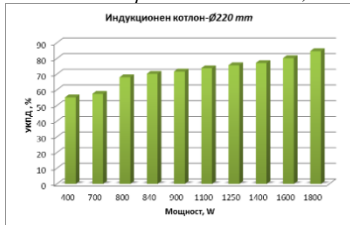
За оценка влиянието на мощността върху КПД на индукционен котлон модел 'ALASKA IC 1800' са проведени и експериментални изследвания при стандартни диаметри на съда (респ. на нагревателната зона) - $\varnothing 145\text{ mm}$, $\varnothing 180\text{ mm}$ и $\varnothing 220\text{ mm}$, при съответното стандартно количество нагрявана течност - $0,7\text{ dm}^3$, $1,0\text{ dm}^3$ и $1,5\text{ dm}^3$ са показани на фиг.3.9, фиг.3.10 и на фиг.3.11.



Фиг.3.9. Зависимост на условния КПД от мощността за нагревателна зона $\varnothing 145\text{ mm}$, на индукционен котлон модел 'ALASKA IC1800', при съответното стандартно количество нагрявана течност- $0,7\text{ dm}^3$.



Фиг.3.10. Зависимост на условния КПД от мощността за нагревателна зона $\varnothing 180\text{ mm}$ на индукционен котлон модел 'ALASKA IC1800', при съответното стандартно количество нагрявана течност- $1,0\text{ dm}^3$.



Фиг.3.11. Зависимост на условния КПД от мощността за нагревателна зона $\varnothing 220\text{ mm}$ на индукционен котлон модел 'ALASKA IC1800', при стандартно количество нагрявана течност- $1,5\text{ dm}^3$.

Проведени са и експерименталните изследвания за да се оцени влиянието

на диаметъра на съда (респ. диаметъра на нагревателната зона), количеството нагривана течност и местоположението на използваният съд върху КПД на индукционен котлон.

3.2.4.Изводи

1.С увеличаване на количеството нагривана течност (от стандартното) при нагревателна зона Ø145 mm, условният КПД се увеличава средно с 4 % за 1800 W, при 1250 W – с 7,2 %, а при 840 W – с 12 %. При нагревателна зона с диаметър Ø180 mm, условният КПД се увеличава средно с 5,7 % за 1800 W, 1250 W и 400 W. А за Ø220 mm, условният КПД се увеличава средно с 1 % за 1800 W, при 1250 W – с 4 %, при 840W – с 7 %, а при 400 W – с 6 %.

2.С намаляване на количеството нагривана течност (от стандартното) при нагревателна зона Ø145 mm, условният КПД намалява средно с 1 % за 1800 W, а при 1250 W – с 5,5 %. При нагревателна зона с диаметър Ø220 mm, условният КПД се намалява с 12 %.

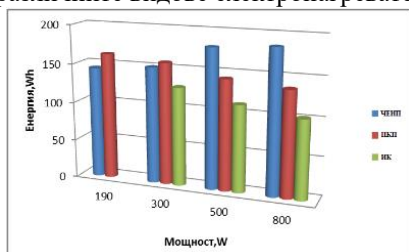
3.С увеличаване на диаметъра на съда (от стандартният) за нагревателна зона Ø145 mm с 24 %, условният КПД намалява с 12,5 %, а с намаляване на диаметъра на съда с 29 % при зона Ø220 mm – се увеличава 6,2 % (за количество нагривана течност 1 dm³ и 1800 W).

4.Оптималният режим на работа – (максималния УКПД) за индукционен котлон ALASKA IC 1800 С е 96,3 % при диаметър на нагревателната зона (диаметър на съда) Ø145mm, с мощност 1800 W и количество нагривана вода 1 dm³.

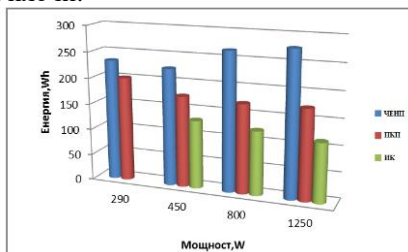
5.Най – високият КПД се получава при нагревна зона Ø145 mm – 85,81%. За нагревните зони с Ø220 mm и Ø180 mm е съответно 84,66% и 83,8%, като всичките са за мощност 1800 W – при съответното стандартно количество течност.

3.3. Сравнителен анализ за оценка на влиянието на експлоатационните параметри върху енергийната ефективност на електронагревателни плочи

От направените експериментални изследвания за електронагревателни плочи - пирокерамични и индукционни, и базирайки се на данни за стойностите на КПД на ЧЕНП от литературата, могат да се съпоставят различните видове електронагревателни плочи.

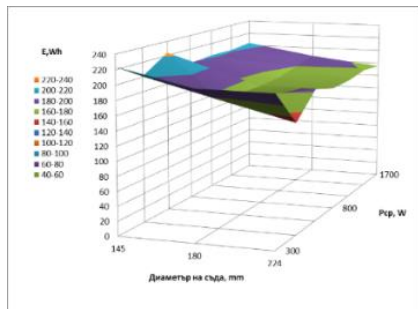


Фиг.3.19. Зависимост на изразходваната енергия от мощността на нагревателната



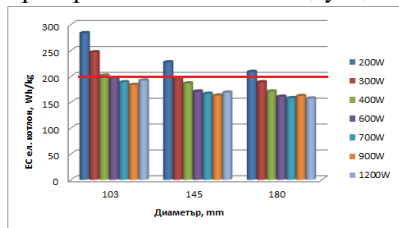
Фиг.3.20. Зависимост на изразходваната енергия от мощността на нагревателната

зона за $\varnothing 145$ mm.

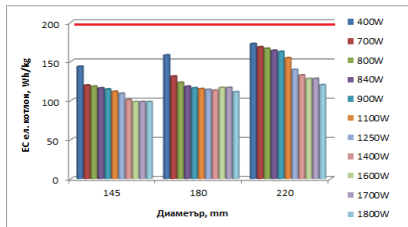


Фиг.3.25. Зависимост на изразходваната енергия от диаметъра на съда за нагревателна зона $\varnothing 180$ mm на пирокерамичен плот, стандартно количество нагривана течност $1,0 \text{ dm}^3$.

Изчислен е индекса на енергийна ефективност - ЕСел. котлон, според директива Европейският съюз, като графично е показано именението му в зависимост от диаметъра на използвания съд, за стандартно количество нагривана течност на фиг.3.27, фиг.3.28 и фиг. 3.29 - за пирокерамичният плот и индукционният котлон.

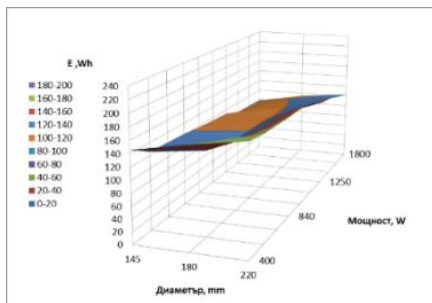


Фиг.3.27. Зависимост на ЕСел.котлон енергия от диаметъра на съда за нагревателна зона $\varnothing 145$ mm на пирокерамичен плот, стандартно количество нагривана течност $0,7 \text{ dm}^3$.

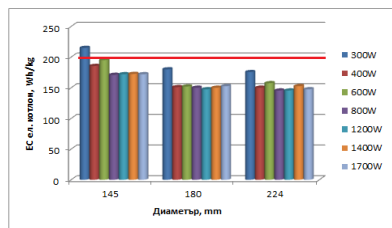


Оценено и влиянието на количеството нагривана течност. За целта освен със стандартното количество течност, което е $0,7 \text{ dm}^3$ за ЕНП $\varnothing 145$ mm и $1,0 \text{ dm}^3$ за $\varnothing 180$ mm, са проведени и експерименти с $0,5 \text{ dm}^3$, $1,0 \text{ dm}^3$, $1,5 \text{ dm}^3$ и

зона за $\varnothing 180$ mm.



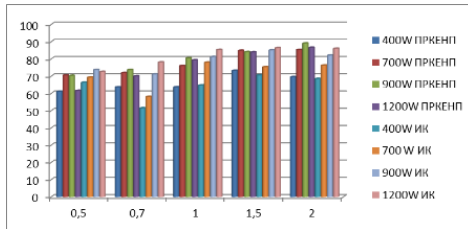
Фиг.3.26. Зависимост на изразходваната енергия от диаметъра на нагревателна зона (респективно на съда) при количеството нагривана течност $1,0 \text{ dm}^3$ на индукционен котлон



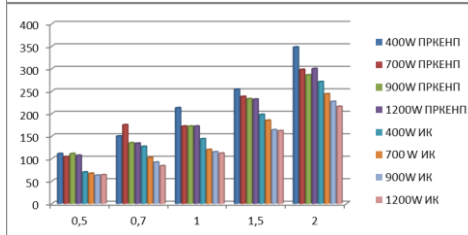
Фиг.3.28. Зависимост на ЕСел.котлон от диаметъра на съда за нагревателна зона $\varnothing 180$ mm на пирокерамичен плот, стандартно количество нагривана течност $1,0 \text{ dm}^3$.

Фиг.3.29. Зависимост на ЕСел.котлон от диаметъра на нагревателна зона (респ. на съда) при количеството нагривана течност $1,0 \text{ dm}^3$ на индукционен котлон, при

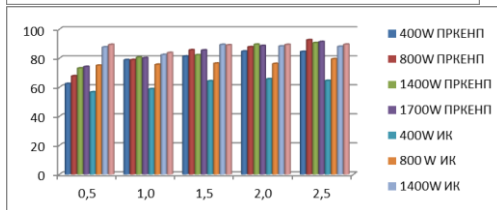
2,0 dm³ вода за ЕНП Ø145 mm, както и с 0,5 dm³, 1,5 dm³, 2,0 dm³ и 2,5 dm³ – за ЕНП Ø180 mm.



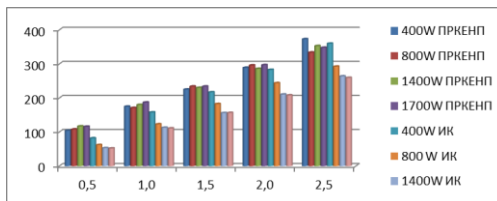
Фиг.3.30. Зависимост на условия КПД от количество нагрявана течност при различна мощност, за нагревателна зона Ø145 mm, за стандартен диаметър на съда.



Фиг.3.31. Зависимост на изразходваната енергия от количество нагрявана течност при различна мощност, за нагревателна зона Ø145 mm, за стандартен диаметър на съда.

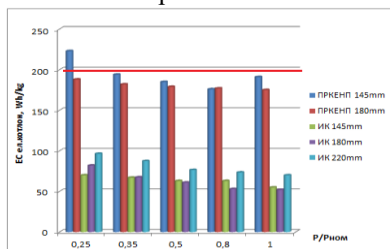


Фиг.3.32. Зависимост на условия КПД от количество нагрявана течност при различна мощност, за нагревателна зона Ø180 mm, за стандартен диаметър на съда.

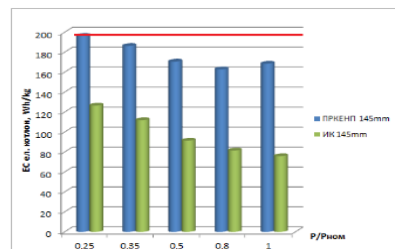


Фиг.3.33. Зависимост на изразходваната енергия от количество нагрявана течност при различна мощност, за нагревателна зона Ø180 mm, за стандартен диаметър на съда.

Оценен е и индекса за енергийна ефективност- ЕСел.котлон за всички разглеждани нагревателни зони спрямо относителната им мощност и различни количество нагрявана течност.

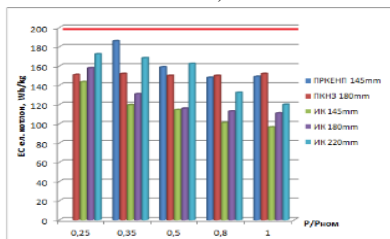


Фиг.3.34. ЕС ел. котлон спрямо относителната мощност при различни диаметри на нагревателни зони, стандартен

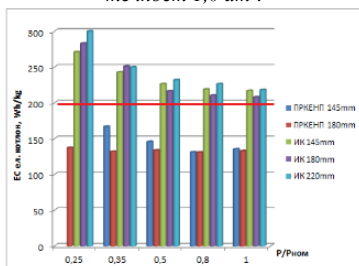


Фиг.3.34. ЕС ел. котлон спрямо относителната мощност при различни диаметри на нагревателни зони, стандартен

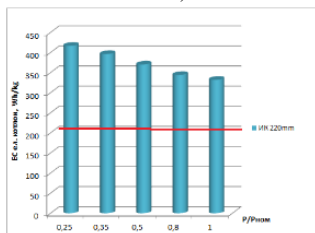
диаметър на съда, за количество нагрявана течност $0,5 \text{ dm}^3$.



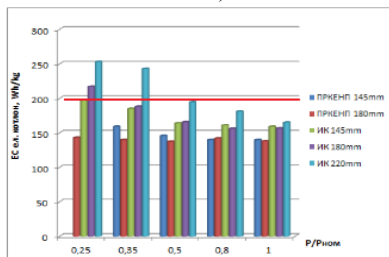
Фиг.3.36. ЕС ел. котлон спрямо относителната мощност при различни диаметри на нагревателни зони, стандартен диаметър на съда, за количество нагрявана течност $1,0 \text{ dm}^3$.



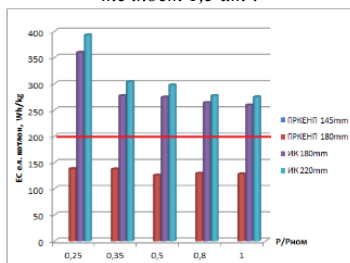
Фиг.3.38. ЕС ел. котлон спрямо относителната мощност при различни диаметри на нагревателни зони, стандартен диаметър на съда, за количество нагрявана течност $2,0 \text{ dm}^3$.



диаметър на съда, за количество нагрявана течност $0,5 \text{ dm}^3$.



Фиг.3.37. ЕС ел. котлон спрямо относителната мощност при различни диаметри на нагревателни зони, стандартен диаметър на съда, за количество нагрявана течност $1,5 \text{ dm}^3$.



Фиг.3.39. ЕС ел. котлон спрямо относителната мощност при различни диаметри на нагревателни зони, стандартен диаметър на съда, за количество нагрявана течност $2,5 \text{ dm}^3$.

Фиг.3.40. ЕС ел. котлон спрямо относителната мощност при индукционен котлон за диаметър на нагревателна зона (респ. на съда) $\varnothing 220 \text{ mm}$ и количество нагрявана течност 3 dm^3 .

3.4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Енергията която е необходима за нагряването на стандартно количество вода при прегряване 80°C е най – малка при използването на индукционен котлон- за всички нагревателни зони. При използването на пирокерамична нагревателна зона изразходваната енергия се увеличава с 33,3%-за нагревателна зона $\varnothing 145 \text{ mm}$ и 52%- нагревателна зона $\varnothing 180 \text{ mm}$. А при ЧЕНП нараства с 81,3%-за нагревателна зона $\varnothing 145 \text{ mm}$, 143%-нагревателна зона $\varnothing 180 \text{ mm}$ и 50%-за нагревателна зона $\varnothing 220 \text{ mm}$.

2. Изразходваната енергия при използването на пирокерамична нагревателна зона е по-ниска с 36% за нагревателна зона Ø145 mm и с 60% за нагревателна зона Ø180 mm спрямо използването на ЧЕНП.

3. КПД на индукционният котлон за нагревателна зона Ø145 mm е по-голям средно с около 28% от КПД на ЧЕНП, и по-голям средно с около 3% от КПД на пирокерамичният плот.

4. КПД на индукционният котлон за нагревателна зона Ø180 mm е по-голям средно с около 25% от КПД на ЧЕНП, и средно с 7% повече от КПД на пирокерамичният плот.

5. КПД на индукционният котлон за нагревателна зона Ø220 mm е по-голям средно с около 23% от КПД на ЧЕНП.

6. С увеличаване на диаметъра на съда (респективно на нагревателната зона) за нагревателна зона Ø145 mm с 24 %, условният КПД за ИК намалява с 12,5 % (за количество нагривана течност 1,0 dm³ и 1800 W), а за ПКП намалява с 4,6 % - за P1=300 W и с 0,3 % за P2=500 W. За нагревателната зона Ø180 mm с 24 % по-голям съд от стандартния диаметър, условният КПД за ПКП намалява с 1,6 % - за P1=300 W и с 7 % за P2=1250 W.

С увеличаване на диаметъра на съда за нагревателна зона Ø145 mm с 24 %, индекса на енергийна ефективност ЕС ел.котлон се изменя средно с около 4,5 % при мощности над 0,5.Рном за пирокерамична нагревателна зона (за останалите стават по-големи от граничната му стойност). За нагревателната зона Ø180 mm с 24 % по-голям съд- ЕС ел.котлон се изменя средно с около 1,5 % при мощности над 0,5.Рном.

7. С намаляване на диаметъра на съда с 29 % при зона Ø145mm, условният КПД на ПКП се увеличава с 15,5%, 12 % и с 0,5%- съответно за мощности 300 W, 500 W и 800 W. Увеличаването на условния КПД се запазва и при ИК при зона Ø220 mm – се увеличава 6,2 % (за количество нагривана течност 1,0 dm³ и 1800 W).

С намаляване на диаметъра на съда с 29 % при зона Ø145mm, индекса на енергийна ефективност ЕС ел.котлон се изменя с около 13,5% при мощности над 0,5.Рном, а за нагревателната зона Ø180 mm с около 14,5%.

За разлика от ПКЕНП за индукционния котлон при изменението на диаметъра на съда (респективно на нагревателната зона) при всички мощности индекса на енергийна ефективност ЕС ел.котлон е под граничната стойност (195Wh/kg). С увеличаване на диаметъра на съда с 24 %- ЕС ел.котлон се изменя средно с 8% при P=1800W, а с намаляване на диаметъра на съда с 29 %- ЕС ел.котлон се изменя средно с 11% при P=1800W.

8. С увеличаване на количеството нагривана течност при нагревателна зона Ø145 mm, условният КПД на индукционният котлон се увеличава средно с 4 % за 1800 W, при 1200 W – с 7,2 %, а при 840 W – с 12 %. При нагревателна зона с диаметър Ø180 mm, условният КПД се увеличава средно с 5,7 % за 1800 W и 400 W. За ПКЕНП- условният КПД се увеличава средно с 5,16 % за 400 W, а при 1200 W – с 13,2 %-за нагревателна зона Ø145 mm.

9. С намаляване на количеството нагривана течност (от стандартното) при нагревателна зона Ø145 mm, условният КПД намалява при 1200 W – с 5,5

%- за индукционен колон. При ПКЕНП също намалява с 2,6 % за 400 W, а при 1200 W – с 8,47%.

10. ЕС ел. котлон на индукционния котлон при $\varnothing 145$ mm и нагрavano количество вода $0,5 \text{ dm}^3$ е с 71,8% по-малко от допустимата гранична стойност, при $0,7 \text{ dm}^3$ е с 61% по-малко от допустимата гранична стойност, а при $1,5 \text{ dm}^3$ е с 18,5% по-малко. А при ПКЕНП съответно - с 2% по-малко, с 13,5% по-малко и по-малко с 28,3% (при номинална мощност).

ЕС ел. котлон на индукционния котлон при $\varnothing 180$ mm и нагрavano количество вода $0,5 \text{ dm}^3$ е с 73,3% по-малко от допустимата гранична стойност, при 1 dm^3 с 43% по-малко от допустимата гранична стойност, а при $1,5 \text{ dm}^3$ с 19,7% по-малко. А при ПКЕНП е съответно с 10,2% по-малко, с 22% по-малко и по-малко с 29,2% от граничната стойност.

ЕС ел. котлон на индукционния котлон при $\varnothing 220$ mm и нагрavano количество вода $0,5 \text{ dm}^3$ е с 64,1% по-малко от допустимата гранична стойност, при $1,0 \text{ dm}^3$ е с 38,4% по-малко, а при $1,5 \text{ dm}^3$ е с 15,4% по-малко от допустимата гранична стойност.

От графиките се вижда че при малките количества вода по-ефективен е ИК, но при по-големите количества вече е над граничната стойност например $2,0 \text{ dm}^3$ неговите стойности са над граничната стойност - с 11,2% по-голямо от допустимата гранична стойност (за нагревателна зона $\varnothing 145$ mm) и с 6,7% по-голямо (за нагревателна зона $\varnothing 180$ mm). Докато за същите условия при ПКЕНП ЕС ел. котлон все още е под границата съответно - с 30,5% по-малко от допустимата гранична стойност (за нагревателна зона $\varnothing 145$ mm) и с 31,8% по-малко (за нагревателна зона $\varnothing 180$ mm) - дължи се на различния принцип на работа – отдаване на кумулирана топлина.

10. Оптималният режим на работа – (максималния УКПД) за индукционен котлон ALASKA IC 1800 C е 96,3 % при диаметър на нагревателната зона (диаметър на съда) $\varnothing 145$ mm, с мощност 1800 W и количество нагрavano вода $1,0 \text{ dm}^3$.

11. От сравняваните четири вида битови електроуреди за диаметър на нагревателната зона $\varnothing 180$ mm - при номинален режим на работа най – висок КПД има индукционния котлон ALASKA IC 1800 C 83,8%, както и най – нисък индекс на енергийна ефективност ЕС ел. котлон- 111 Wh/kg.

В заключение от получените експериментални резултати следва, че влиянието на експлоатационните фактори върху КПД на пирокерамичният плот, индукционният котлон и чугунената електронагревателна плоча е много съществено и с разнообразен характер на въздействие. УКПД на индукционен котлон е най – висок в сравнение с останалите плочи (чугунени, пирокерамични). Това се дължи на факта, че топлината се генерира директно в нагрavano съд, а не се предава чрез топлопроводност- за разлика от пирокерамичните и чугунените плочи.

Получените конкретни стойности и разнообразието от изследвания при различни експлоатационни параметри, включително и нестандартни обогатяват натрупаната база от данни и ще позволят още по-точно да се моделира влиянието на експлоатационните и конструктивните фактори върху

ефективността на електронагревателните плочи и оптимизиране на техническите характеристики при тяхната експлоатация. Целта е постигане на максималните гранични стойности за индекса на енергийна ефективност на електрическите котлони (ЕСел.котлон), заложи в разработвания регламент на ЕС за прилагане на Директива 2009/125/ЕО на Европейския парламент и на Съвета по отношение на изискванията за екопроектиране на битови фурни, котлони и абсорбатори. Добре би било в документацията към тези БЕУ да се добави и информацията за промяната на индекса на енергийна ефективност при различни експлоатационни фактори, което би било от голяма полза за потребителите.

На базата на проведените експерименти могат да се дадат следните препоръки по отношение на експлоатацията на:

- ПКНЗ – при тях, трябва да се използват съдове с диаметри отговарящи на диаметъра на нагревателната зона, защото ако са с по-голям диаметър от диаметъра на нагревателната зона се намалява тяхната ефективност, а при по-малък диаметър се увеличава, но пък за сметка на това може да се наруши безопасната експлоатация на уреда (не трябва да кипи водата заради възможността от пропукване на пирокерамиката). По отношение на използваното количество нагривана течност дори и при максимална вместимост на използваният съд индекса на енергийна ефективност остава под граничната стойност.

- ИК – диаметъра на използваният съд в домакинството, трябва да се съчетае с количеството нагривана течност, като на базата на направените експерименти се препоръчва да е в границите от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ от вместимостта на съда (тогава е най-ефективен). При използване на количества от $\frac{3}{4}$ и по големи от обема ѝ, индекса на енергийна ефективност излиза извън граничната стойност.

ГЛАВА 4. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ФУРНА

4.1. Експериментални изследвания на режимите на работа на „празна“ електрическа фурна

В настоящата глава са решени задачи с номера 1 и 2 от дисертационния труд. Експерименталните изследвания са проведени върху най-използваната в домакинствата, по данни от търговската мрежа в гр. Варна, електрическа готварска фурна ZANUSSI модел „ВМХ 316“ за вграждане, като възможните ѝ режими на работа са:

1-**Конвенционално загряване** (ic)[55]–нагриването става само чрез облъчване и естествена конвекция (режим горен и долен нагревател);

Таблица 4.1.Разход на енергия и времето при тест „празна фурна“

Режим на нагриване	t_{ph}	E_{ph}
	s	кWh
ic	990	0,463
if	990	0,452
ig	2190	0,655

2-**Принудителна циркулация на въздуха** (if)[55]– режим с вентилатор

(поставен е на задната стена на фурната);

3-Режим грил (на базата на приетите по-горе обозначения приемам *ig*) – при него работи загряващия инфрачервен грил в горната част на фурната.

4.2. Методика за оценка на енергоефективността на електрическа фурна

Поради липсата на практически приложима методика за определяне на КПД за електрическа фурна приемам за базов подход да се използва този, който се прилага и при битовите електрически котлони, затова и експериментът се провежда по следния начин:

➤ В съд от емайлирано (йенско) стъкло се налива вода. Електрическите готварски фурни са с различен обем и което е по важно за разлика от електрическите котлони има голямо разнообразие от домакински съдове които могат да се използват – тави, гювечета, с кръгла, с правоъгълна, овална или дори квадратна форма. Изследването на процесите при различни съдове и продуктите, които могат да се нагряват във фурната е свързано с много средства и време, (като същото се отнася и за стандартния товар – тухла или цилиндричния блок). Затова опитите са ограничени по отношение на вида на съда като се избира съд от йенско стъкло с различни стандартни обеми - $1dm^3$, $1,5dm^3$, $2dm^3$ и $3dm^3$ (подобно на електронагревателните плочи).

➤ Измерва се началната температура на водата, чрез помощта на термодвойка, която се поставя в центъра на съда;

➤ Съдът се поставя в студена фурна;

➤ Фурната се включва на желан режим на работа: “*ic*”, “*if*” или “*ig*”.

➤ Следи се температурата на водата и след нарастването ѝ с 80K се засича времето на нагряване и изразходваната енергия с помощта на измервателна апаратура (електромер и часовник).

➤ Изчисляване на КПД по зависимост (2-1). Консумираната топлинна енергия при печенето на хранителни продукти се определя на база на топлинния баланс, като за опростяване на модела се допуска, че печенето е устойчив процес и топлинната енергия, постъпваща в електрическата фурна по време на процеса е равна на топлинната енергия на изхода. Уравнение (4-2) представя енергиен баланс на процеса:

$$Q_{\text{пол}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, [J] \quad (4-2)$$

където Q_1 - топлинна енергия, необходима за нагряване на продукта (в случая на водата); Q_2 – топлинна енергия, необходима за нагряване на използваният съд; Q_3 - топлинна енергия отдадена към околното пространство (разглеждано от източника на топлина в посока обратна на работното пространство) – включва топлината необходима за загряване на стените, пода, тавана, вратата и др., в зависимост от избраното конструктивно решение; Q_4 - топлинна енергия отдадена при процеса на печене в отделни части от конструкцията (включва топлината която отива за нагряване в носещи елементи, вътрешни изолации – между нагревател и работно пространство, скари и други помощни съоръжения. Енергиите, участващи в топлинния баланс могат да се определят с помощта на следните уравнения:

-Топлинна енергия за нагряване на продукцията (ястието):

$$Q_1 = c_1 m_1 (\tau_2 - \tau_1), [J] \quad (4-3)$$

-Топлинна енергия за нагряване на необходима за нагряване на използваният съд:

$$Q_2 = c_2 m_2 (\tau_4 - \tau_3), [J] \quad (4-4)$$

където c_1 – специфичен топлинен капацитет на продукцията (т.е. на водата), [J/kg.K]; c_2 – специфичен топлинен капацитет на използваният съд, [J/kg.K]; τ_1 – температура на продукцията (водата) в началото на процеса; τ_2 – крайна температура на процеса за печене (на водата); τ_3 – температура на съда в началото на процеса, τ_4 – температура на съда в края на процеса;

За определянето на топлинните енергии – Q_3 и Q_4 е необходимо да се отчете конструкцията на уреда, видовете използвани материали и технологични режими на работа.

По така предложената методика са направени изчисления с техническите параметри на електрическа фурна ZANUSSI модел „BMX316” за $t_f = 220^\circ\text{C}$ (най-често използваната в практиката температура за приготвяне на ястия). Топлинният поток който отива за нагряване на работната камера (стени, под и таван) е 11 328J, а топлинният поток необходим за нагряване на скарата – приблизително 900J. Общата им сума е 12 204J - около 10% от общата мощност на електрическата фурна. Тъй като на сегашният етап нямаме за цел промяна на конструкцията на електрическата фурна, последните два члена от уравнението отчитайки загубите в околната среда през работното пространство на електрическата фурна, загубите необходими за нагряването на допълнителните елементи на фурната и загубите от вентилацията - т.е. Q_3+Q_4 ще бъдат пренебрегнати. Отчитайки това и замествайки в (2-1), тогава зависимостта за КПД има следният вид:

$$\eta = \frac{1,16.m_1.(\tau_2 - \tau_1) + 0,196.m_2.(\tau_4 - \tau_3)}{E}.100\% \quad (4-20)$$

m_1 – маса на водата [kg];

m_2 – маса на използвания съд [kg];

E – консумираната енергия [Wh];

τ_1 – температура на водата преди теста [K];

τ_2 – температура на водата в края на теста [K];

τ_3 – температура на използвания съд преди теста [K];

τ_4 – температура на използвания съд в края на теста [K];

c_1 – специфична топлина на водата [kJ/kgK];

c_2 – специфична топлина на използвания съд [kJ/kgK];

Изчислява се $\eta_{ст}$ – КПД от студено състояние и $\eta_{г}$ – КПД от горещо състояние и по формула (3-2) се определя – $\eta_{ср}$.

Таблица 4.2. Електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“

Режим на нагряване	От студено състояние			От горещо състояние			КПД _{ср}
	t	E _{ст}	КПД _{ст}	t	E _{гор}	КПД _{гор}	
	s	кWh	%	s	кWh	%	%
ic	2069	0,867	20,04	1376	0,426	40,86	30,450
if	1994	0,927	18,75	1301	0,497	35,02	26,885
ig	3630	0,882	19,70	2097	0,471	36,95	28,325

За потвърждаване на методиката са проведени експериментални изследвания върху електрическа готварска фурна ZANUSSI модел „BMX316” за вграждане. Изследвани са и трите режима на работа и е изчислен КПД, а получените резултати са показани в таблица.4.2.

От литературата са известни резултати за КПД от направени експерименти като е използвана стандартната процедура „ANSI – тест“ т.е. използвания товар е цилиндричен блок. Данните за електрическа фурна за вграждане „LEO“, която е аналогична по конфигурация и технически параметри със електрическа фурна за вграждане „ZANUSSI“ за студено състояние са показани в таблица.4.3.

Таблица.4.3.Електрическа фурна „LEO“ тест процедура ANSI

Режим на нагриване	Време	E	КПД
	s	кWh	%
ic	2160	0,530	21,90
if	1680	0,545	21,30

3.2.1. Изводи

Направеното сравнение при конвекционалния режим за студено състояние, между предлаганата методика и съществуващите („тухла-тест“ и „ANSI-тест“) показва разлика - 0,86%. Като се има в предвид - в режим от студено състояние загубите са най- големи може да счита, че предложената методика достатъчно точно описва разглежданите процеси. Тези резултати, ни позволяват да считаме, че методът може да се използва с достатъчна достоверност за определяне на коефициента на полезно действие на електрически фурни. Предимствата на методиката са:

1.Достъпен за практиката товар (съд от емайлирано стъкло) със стандартно количество течност- 0,5dm³,1 dm³, 1,5 dm³ и 2 dm³ (за разлика от специалната тухла и цилиндричния блок при стандартните тестове).

2.Лесно поставяне на диагностична апаратура – сонди за следене на прегряването.

3.Процедурата за провеждане на експериментите е по- опростена – няма предварителна подготовка на използвания товар за разлика от „тест – тухлата“ и е съкратено времето за провеждане на самия експеримент за разлика от „ANSI-тест“.

4.На базата на разработената методика може да се разработи програма за автоматично определяне на загубите и прогнозиране на КПД при различни конфигурации и режими на работа на електрическата фурна. Така още в етапа на проектиране ще могат да се оценяват загубите и да се получава достоверна информация за енергийната ефективност на електрически готварски фурни.

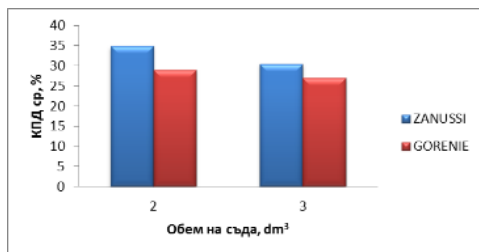
4.3. Експериментални изследвания за влиянието на факторите влияещи върху енергоефективността на електрическа фурна

По така предложената методика са проведени са експериментални изследвания за да се оцени влиянието на обема на използваният съд (Vc),

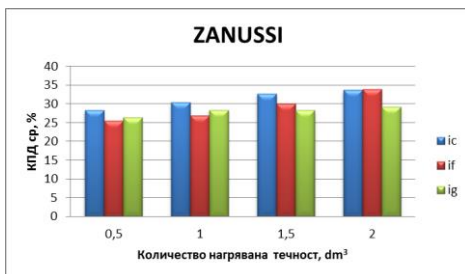
обема на нагриваното количество течност- V_t , местоположението на съда (по вертикала и хоризонтала) в работното пространство на фурната и използваната мощност върху КПД на електрическата фурна (ЕФ). За оценка на повтаряемостта на получените резултати освен на ЕФ за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“, са проведени и изследвания на свободностояща електрическа печка GORENJE модел „E 404“. КПД е изчислен по зависимост (4-20).



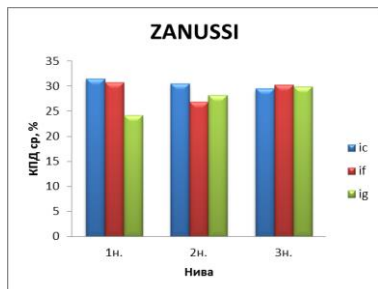
Фиг.4.9. Зависимостта на КПД от обема на използвания съд при различните режими на работа на електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“.
(2) – съд с обем $2dm^3$;
(3)- съд с обем $3dm^3$.



Фиг.4.10. Зависимостта на КПД от обема на използвания съд в режим конвенционално загряване (ic), -(2) – съд с обем $2dm^3$; (3)- съд с обем $3dm^3$



Фиг.4.11. Зависимостта на КПД от обема на нагриваното количество вода при различните режими на работа – за средно ниво на решетката и обем на съда $3dm^3$ - на електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“.



Фиг.4.13. Зависимостта на КПД местоположението на съда (по вертикала) при различните режими на работа – за количество нагривана течност $1dm^3$ и обем на съда $3dm^3$ на електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“.

от

4.3.1. Изводи

1. При принудителна циркулация на въздуха – разхода на енергия при нагряване на празна фурна е 0,452 kWh. При загряване с нагревателен елемент грил е с 44,9 % по-голям. А при метода с конвенционално загряване е по – голям с 2,4%.

2. Времето на загряване при празна фурна в режим принудителна циркулация на въздуха е 960 секунди. Разликата между този режим и конвенционалния режим е 3 %.

3. Коефициентът на полезно действие се получава най – голям - 33,925% при режим принудителна циркулация на въздуха в съд с обем 3dm^3 , с количество нагрявана течност 2dm^3 и при ниво на скалата в средата.

4. Влиянието на количеството нагрявана течност – с увеличаване на количеството нагрявана течност с 25 % се увеличава на коефициента на полезно действие средно с 11,4 % при режим конвенционално загряване и 13,6% при за принудителна циркулация.

5. При намаляване на обема (с 33%) на използвания съд разходът на енергия намаля с 8,1%.

В заключение от получените експериментални резултати следва, че влиянието на експлоатационните фактори върху КПД на електрическа фурна е съществено и с разнообразен характер на въздействие. Получените конкретни стойности от изследванията при различни експлоатационни параметри, дават база от данни, която ще позволи още по-точно да се моделира влиянието на експлоатационните и конструктивните фактори върху ефективността ѝ. От направения анализ на режимите на работа на електрическа фурна следва, че трябва да се намери оптималния КПД от енергийна гледна точка. Добре би било тези оптимални режими да влязат в документацията за експлоатация на самия уред.

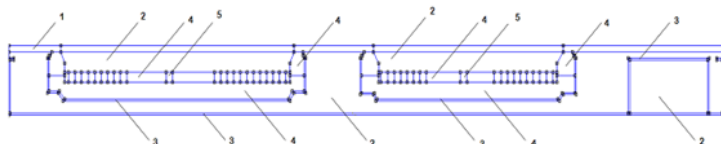
ГЛАВА 5. МОДЕЛИРАНЕ НА ТОПЛИННИТЕ ПРОЦЕСИ ПРИ ЕЛЕКТРОТЕРМИЧНИ УРЕДИ ЗА БИТА

В настоящата глава са решени задачи с номера 2 и 3 от дисертационния труд.

5.1. Моделиране на топлинните процеси при пирокерамичен плот

5.1.1. Модел на пирокерамичен плот в режим на наговарване

Разработен е математичен модел на пирокерамичният плот ZANUSSI тип 'ZKL64X' при едновременната работа на двете нагревателни зони $\text{Ø}145\text{mm}$ и $\text{Ø}180\text{mm}$ (с технически данни от 3.1.) под товар чрез методът на крайните елементи.

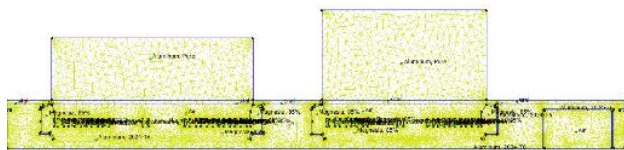


Фиг.5.2. Модел на пирокерамичен плот за вграждане на фирма ZANUSSI тип 'ZKL64X' за нагревателни зони $\text{Ø}145\text{mm}$ и $\text{Ø}180\text{mm}$. (1-пирокерамика, 2-въздух, 3-алуминиев корпус; 4- изолационен материал, 5- нагревателни елементи)

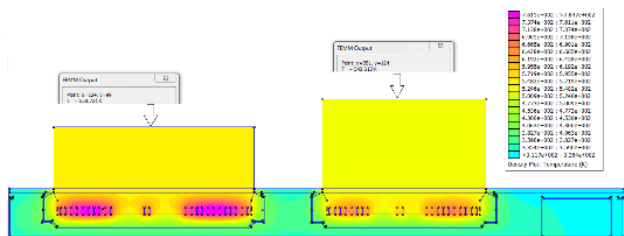
Пирокерамичният плот е моделиран при работата му под товар, за целта се използва стандартен алуминиев блок с диаметър равен на диаметъра на нагревателната зона.

Задачата е двумерна, а въведените гранични условия (ГУ) са от втори и трети род – използват се в случаите, когато топлообменът между повърхността и обкръжаващата среда не може да се пренебрегва.

Фиг.5.4. Графична мрежа от елементите за изчисление при разпределение на температурното поле при едновременната работа на двете нагревателни зони при натоварване на пирокерамична електронагревателна плоча на фирма FEMM 4.2.



Фиг.5.5. Разпределение на температурното поле при едновременната работа на двете нагревателни зони при натоварване на пирокерамична електронагревателна плоча на фирма ZANUSSI в среда на FEMM 4.2.



За оценка адекватността на модела са направени сравнения между реалната конструкция и модела в режим на натоварване. Проведен е реален експеримент, по време на който температурата е измерена с помощта на термодвойки. Местоположението на термодвойките е отгоре на повърхността на алуминиевия блок, отдолу и за двете нагревателни зони, както и на повърхността на самият плот в единия край и посредата между двете зони.

Таблица.5.2.

Местоположение		τ_{ϵ}	τ_M	δ
		К	К	%
нагревателна зона 180mm	отгоре	548	558,7	1,92
	отдолу	578	571	1,23
нагревателна зона 145mm	отгоре	563	540,6	4,14
	отдолу	582	535	8,79
пирокерамична повърхност	в края	325	330	1,52
	между двете зони	341	338,3	0,80

За определяне на адекватността на модела е изчислена относителната грешка (δ) - по формула (5-3), като се използва осреднената температурата от експеримента измерена с термодвойката и получената в същата точка чрез моделиране- данните са показани в таблица.5.2.

$$\delta = \left| \frac{\tau_{\epsilon} - \tau_M}{\tau_{\epsilon}} \right| \cdot 100\% \quad (5-3)$$

където $\delta, [\%]$ – относителна грешка; $\tau_{\epsilon}, [K]$ – температура получена чрез експеримента;

$\tau_M, [K]$ – температура получена чрез модела.

Според [26] и представеното сравнение между експерименталните данни и тези от модела следва, че предложеният модел е адекватен.

5.1.2. Моделиране и симулация на работата на пирокерамичен плот

На базата на получения адекватен модел в 5.1. за пирокерамичен плота са разработени и други модели, а именно:

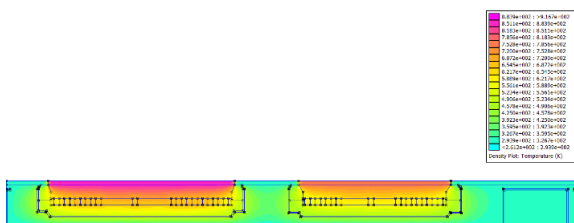
I случай - Изследвано е температурното поле на пирокерамичен плот при работа на празен ход на двете нагревателни зони диаметър Ø145mm и Ø180mm. Въведените ГУ са от втори и трети род. Получената картина на температурното поле е показана на фиг.5.6.

II случай - Изследвано е температурното поле на пирокерамичен плот при работа само на нагревателна зона с диаметър Ø145mm натоварен с алуминиев блок - фиг.5.7. Въведените ГУ са от втори и трети род.

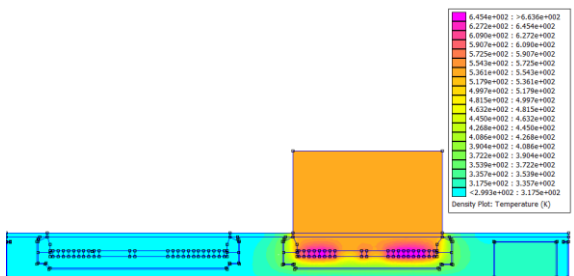
III случай - Изследвано е температурното поле на пирокерамичен плот при работа само на нагревателна зона с диаметър Ø180mm натоварен с алуминиев блок. Модела е показан на фиг.5.8.

IV случай - Работата на нагревателна зона с диаметър Ø145mm натоварен с алуминиев блок, а нагревателна зона с диаметър Ø180mm – в режим на празен ход (без товар) е показана на фиг.5.9.

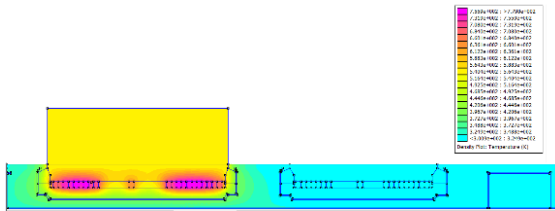
V случай - Изследвано е температурното поле при работата на двете нагревателни зони като голямата Ø180mm е натоварена с алуминиев блок, а малката нагревателна зона с диаметър Ø145mm работи в режим на празен ход (без товар). Разпределението на температурната картина е показана на фиг.5.10.



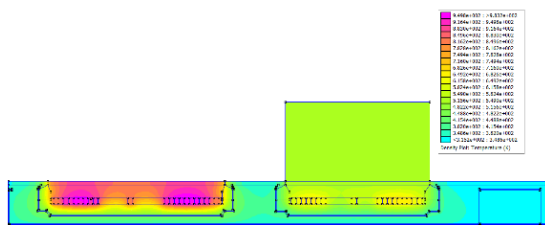
Фиг.5.6. Разпределение на температурното поле на празен ход при пирокерамична електронагревателна плоча на фирма ZANUSSI min 'ZKL64X' в среда на FEMM 4.2.



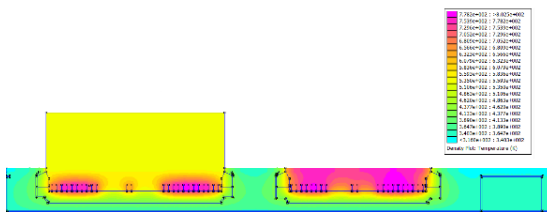
Фиг.5.7. Разпределение на температурното поле при работа само на нагревателна зона Ø145mm на пирокерамична електронагревателна плоча на фирма ZANUSSI min 'ZKL64X' в среда на FEMM 4.2.



Фиг.5.8. Разпределение на температурното поле при работа само на нагревателна зона $\varnothing 180\text{mm}$ пирокерамична електронагревателна плоча на фирма ZANUSSI тип 'ZKL64X' в среда на FEMM 4.2.



Фиг.5.9. Разпределение на температурното поле при работа на нагревателна зона $\varnothing 145\text{mm}$, а нагревателна зона $\varnothing 180\text{mm}$ – без товар на пирокерамична електронагревателна плоча на фирма ZANUSSI тип 'ZKL64X' в среда на FEMM 4.2.



Фиг.5.10. Разпределение на температурното поле при работа на нагревателна зона $\varnothing 145\text{mm}$, а нагревателна зона $\varnothing 180\text{mm}$ – без товар на пирокерамична електронагревателна плоча на фирма ZANUSSI тип 'ZKL64X' в среда на FEMM 4.2.

5.1.3. Изводи

На базата на получените резултати и сравнително точните модели (грешки от 0,8 до 8,8 %) могат да се направят следните основни изводи:

1. Разликите в температурите в режим на празен ход и режим на натоварване в зоната на нагревателните елементи е 4,78 %. Това изисква защита на нагревателя от продължителен режим на празен ход.

2. Разликите в температурите в режим на празен ход и режим на натоварване в зоната на свободния пирокерамичен плот е 1,85 %. Високата температура при празен ход определя и необходимостта от вграждане на датчик за остатъчна температура на всички плотове.

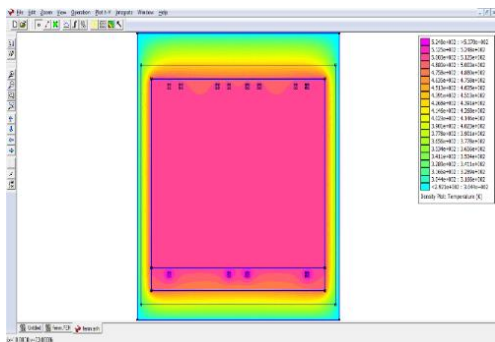
На базата на разработените модели могат да се реализират различни аварийни режими и да се получава достоверна информация за енергийната ефективност на пирокерамичните плотове.

5.2. Моделиране на топлинните процеси при електрическа фурна

5.2.1. Модел на „празна“ електрическа фурна в режим на конвенционално загряване -(ic)

За работата на празна електрическа фурна ZANUSSI модел „BMX316” при конвенционално загряване са разработени теоретични модели:

- ✓ -стационарен 2D - модел – с помощта на програмната среда FEMM.4.2.;



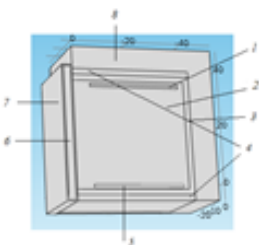
Фиг.5.13.Разпределение на температурното на празен ход при електрическа фурна на фирма ZANUSSI модел „BMX316’’ в среда на FEMM 4.2.

✓ -3D модел - с помощта на програмната среда Comsol Multiphysics.

За да се намали времето и ресурса на изчислителната компютърна техника, при съставяне на 3D- модела на електрическа фурна са направени следните допускания:

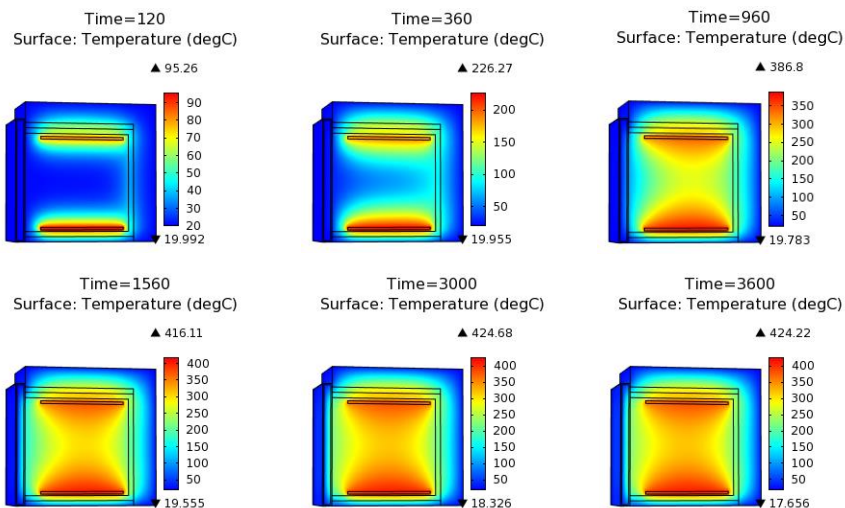
1. Фурната и нагревателите се разглеждат като симетрични и се изчертава само 1/2 от тях;
2. Горния и долен нагревател се изчертават като паралелепипед с основа равна на площта на основата на нагревателя (Фиг. 5.14) и височина равна на диаметъра му. Приема се обстоятелството, че потоците на лъчение между съседни цилиндрични повърхности от нагревателя се екранират;
3. Предвид обстоятелството, че при съществена разлика в геометричните размери (например дебелина на стена) на две тела стоящи едно до друго е необходимо огромно количество елементи в тялото с малък размер (в конкретния случай над 30 000), а от там и повишено време за изчисление (18 часа за стационарен процес) и недостига на изчислителна мощ при изследване на преходния процес с процесор: AMDTuron 2x2.2 GHz и оперативна памет RAM - 4 GB. - стоманата не се изчертава.
4. Металната скара във фурната не се изчертава, предвид разсъжденията направени в 3.
5. Вратата на фурната се изчертава изцяло като стъклена - два слоя стъкло с дебелина по 5mm и въздух между тях.

След направените допускания електрическата фурна е изчертана в програмна среда Comsol Multiphysics- фиг.5.14. Задават се използваните гранични условия от втори и трети род за съответните конкретни области.



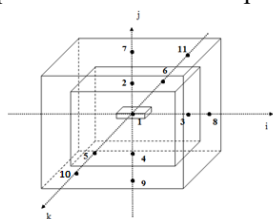
Фиг.5.14.Области от геометрията на електрическа фурната:

- 1-горен нагревател;
- 2-работна камера;
- 3,4-изолация;
- 5-долен нагревател;
- 7-стъклена врата;
- 8 – въздух извън работната камера



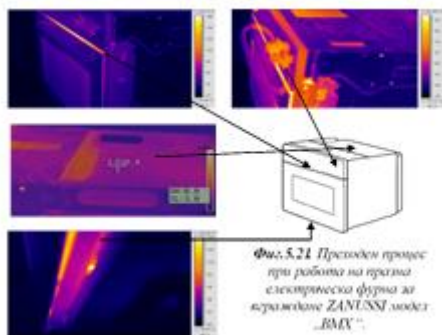
Фиг.5.17. Визуализация на резултатите на разпределението на температурното поле при конвенционално зареждане (ic) на „празна“ електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“.

Електрическата фурна е моделирана за работа на празен ход за време един час, като са изведени данни за модела през интервал от 2 минути. А разположението на термодвойките в обема на ЕФ е дадено на фиг.5.19.



- t. 1 – в среда на камерата;
- t. 2 - на тавана на камерата;
- t. 3 - на страничната стена на камерата;
- t. 4 - на пода на камерата;
- t. 5 - на вътрешното стъкло на вратата;
- t. 6 - на задната стена на камерата;
- t. 7 - на горната (външна) стена на фурната;
- t. 8 - на страничната (външна) стена на фурната;
- t. 9 - на долната стена на фурната;
- t. 10 - На външното стъкло на вратата;
- t. 11 - на задната стена на фурната.

Фиг. 5.19. Местоположение на термодвойките в работния обем на електрическата печка



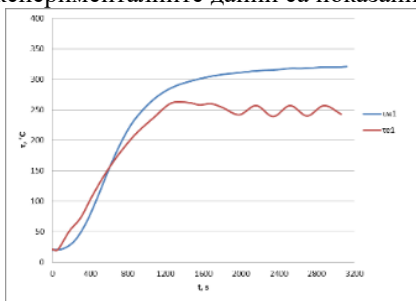
Фиг.5.21. Пространствено разпределение на температурното поле при работата на празна електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“.

За оценка на адекватността на разработения 3D модел са проведени експериментални изследвания за режима на работа на празна електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“ – при конвенционално нагряване. По време на експеримента температурата е измерена с помощта на термодвойки (вътре в камерата на електрическата фурна), като

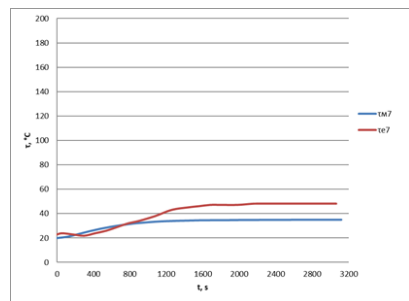
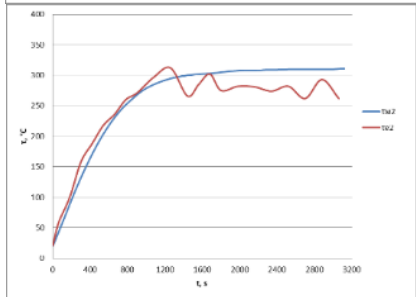
местоположението им отговаря на точките от направените модели- фиг.5.19., а

за измерването на температурата при външните стени е използвана термокамера- фиг.5.21.

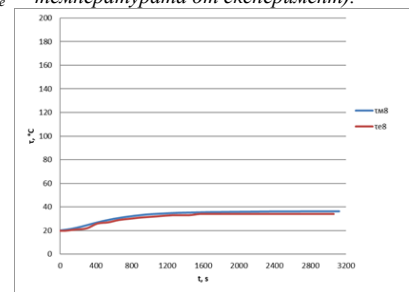
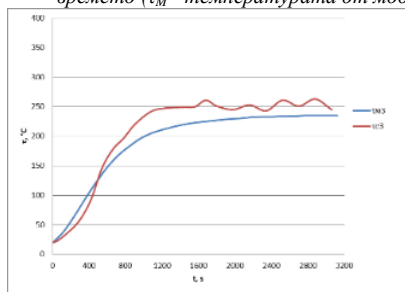
Сравнението между получените температури от разработения модел и експерименталните данни са показани от фиг.5.22 до фиг. 5.27.



Фиг 5.22. Температурата в средата на работния обем (Т.1.) на празна електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „ВМХ31“ при режим (ic) в зависимост от времето. (τ_{M1} - температурата от модел; τ_{e1} - температурата от експеримент).



Фиг 5.23. Температурата на горната страна (Т.2- вътре; Т.7- външна) на празна електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „ВМХ31“ - при режим (ic) в зависимост от времето (τ_M - температурата от модел; τ_e - температурата от експеримент).



Фиг 5.24. Температурата на страничната стена (Т.3- вътре; Т.8- външна) на празна електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „ВМХ31“ - при режим (ic) в зависимост от времето (τ_M - температурата от модел; τ_e - температурата от експеримент).

За определяне адекватността на представения 3D модел на електрическа фурна е изчислена средната стойност на относителната грешка $\delta_{\Sigma},\%$ - по формула (5-4), на температурата между експеримент и модел по време на нагряването, получените резултати са посочени в таблица.5.3.

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\tau_{ei} - \tau_{Mi}}{\tau_{ei}} \right| \cdot 100, \% \quad (5-4)$$

Таблица.5.3.

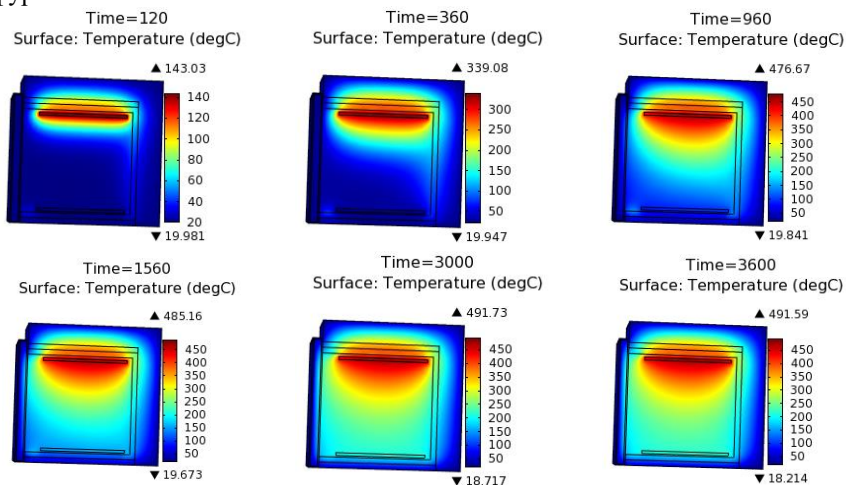
δ_{Σ}	Местоположение на изследваните точки								
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.6	T.7	T.8	T.9	T.11
%	11,5	4,8	11,9	14,7	8,0	7,8	7,7	9,4	4,6

При реализирания 3D - модел за предварително нагряване на празна фурна, при конвенционално загряване (при нагряване с долен и горен нагревателен елемент) - средно относителната грешка се изменя в границите от 4,6% до 11, 6%. На базата на направеното сравнение между експерименталните данни и тези от модела следва, че предложеният модел е адекватен.

5.2.2. Моделиране и симулация работата на електрическа фурна

На базата на получения адекватен модел в 5.2.1. за работата на електрическа фурна са разработени и други модели, а именно:

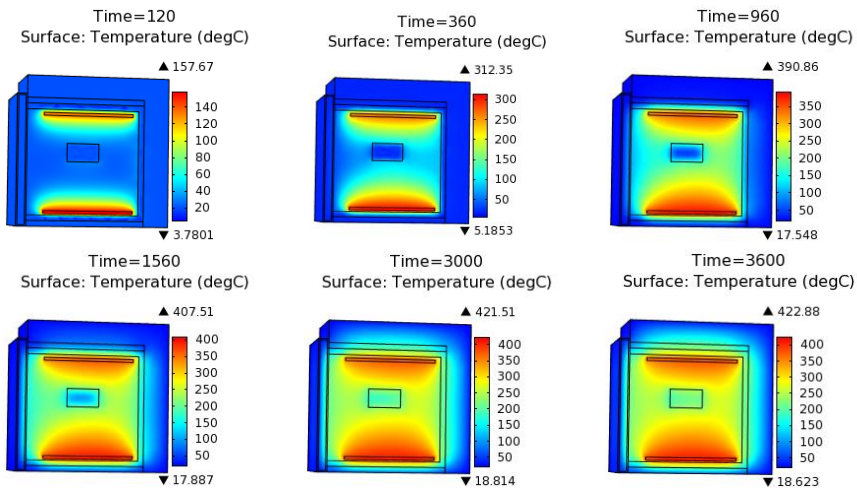
I случай - Електрическата фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“ е моделирана и при работата ѝ в режим грил (*ig*) - за “празна” фурна.



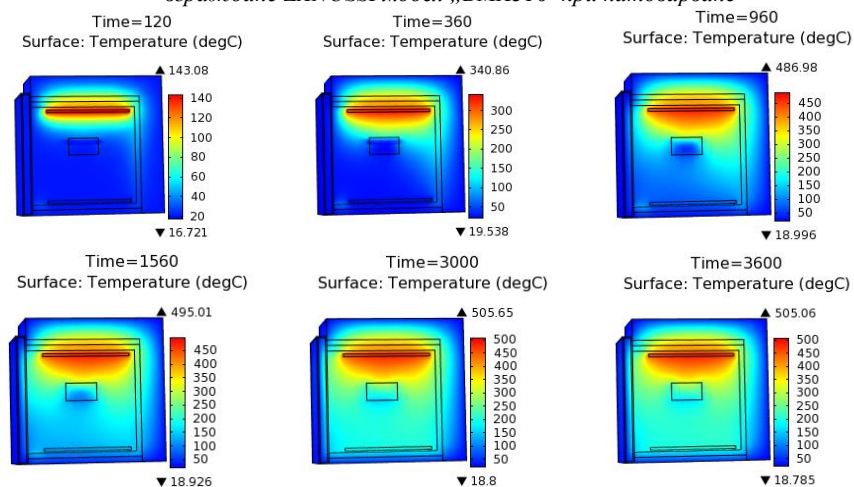
Фиг.5.28. Визуализация на резултатите на разпределението на температурното поле при режим на нагряване грил (*ig*) на електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“ при натоварване

II случай – Моделирана е и работата на електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“ при натоварване в режим (*ic*). За модела се използва стандартен товар - според стандарта EN 50304, т.е. огнеупорна тухла, която се задава в програмата с нейните геометрични и физични параметри - (фиг.5.32.).

III случай – Моделирана е и работата на електрическата фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“ при натоварване в режим – грил (*ig*). Полученото температурно поле по време на преходния процес е показано на фиг. 5.35.



Фиг.5.32. Визуализация на резултатите на разпределението на температурното поле на конвенционално загряване (ic) на електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“ при натоварване



Фиг. 5.35. Визуализация на резултатите за температурното поле на електрическа фурна в режим на нагряване „грил“ (ig) на електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“ при натоварване.

Получените теоретични модели могат да се използват по нататък за определяне на времето за достигане на работната температура за съответните режими на работа на електрическата фурна за вграждане. По него и мощността за всеки експлоатационен режим се определя и консумираната енергия, а от и КПД електрическата фурна. На базата на експериментални изследвания при режим на работа конвенционално загряване на електрическа фурна за вграждане ZANUSSI модел „BMX316“ със стандартен товар при пълна

мощност и ϵ изчислен и КПД - по зависимост (4-1). Стойностите от изчисленията с данни от теоретичните модели и от проведения експеримент са показани в таблица.5.4. Получената относителна грешка $\delta\Sigma, \%$ (по зависимост (5-3)) между теоретичните и експериментални данни за КПД на електрическа фурна е 8 %.

Таблица.5.4.

Коефициент на полезно действие, [%]	експеримент	модел
		35,1

5.2.3. Изводи

1. При двумерният модел за нагряване на празна фурна при режим ic конвенционално нагряване на празна фурна - получената температура от 524,8°C (относителна грешка 30%) определя много високи загуби. Получената голяма разлика се дължи на невъзможността за регулиране на режима, направените допускания при изчертаване на модела и др.

2. При реализирания 3D - модел за предварително нагряване на празна фурна, при конвенционално загряване (при нагряване с долен и горен нагревателен елемент) - средно относителната грешка се изменя в границите от 4,6% до 11, 6%.

Отклоненията на теоретичните резултати от проведените експериментални изследвания основно се дължат на :

- Идеализираните параметри на материалите;
- Липсата на достоверна информация на изолационните материали, които са търговска тайна;
- Граничните условия, който са идеализирани по отношение на конвенционален топлообмен;
- Направените допускания при изчертаване на модела;
- Грешки при отчитането на резултатите при експерименталните изследвания, които са проведени при реални условия на работа.
- При теоретичните модели преходния процес е базиран на физичните характеристики на материалите, като не се ограничава температурата, докато в реални условия при работата на електрическата фурна се включва се терморегулатор.

3. С цел повишаване на ефективността на електрическа фурна е добре да се препоръчват рецептурници с минимален режим на предварително загряване, или да се разработят нови с директно включване в режим на готвене без подгряване. Могат да се разработят и специални, препоръчителни експлоатационни режими, контролирани с програматор.

Предлагания теоретичен подход позволява още в етапа на проектиране на електрическите фурни да се направят конкретни анализи за разпределението на температурното поле, възможните топлинни загуби, и коефициента на полезно действие. Така могат да се предприемат предварителни мерки за подобряване на енергийната ефективност на битовия уред преди още неговото реално създаване и практическо експериментиране.

6. МОДЕЛИРАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ФАКТОРИ ВЪРХУ КОЕФИЦИЕНТА НА ПОЛЕЗНО ДЕЙСТВИЕ НА ЕЛЕКТРОТЕРМИЧНИ УРЕДИ ЗА БИТА

В настоящата глава е решена задача номера 3 от дисертационния труд.

6.1.1.1. Математично моделиране на факторите влияещи върху енергоефективността на пирокерамичен плот

За целта е разработен модел, съставен на базата на пълен факторен експеримент (ПФЕ). Моделирано е влиянието на експлоатационните фактори върху КПД за пирокерамичен плот с нагревателни зони с диаметър Ø145mm и Ø180mm. Броят на експлоатационните фактори е пет – диаметър на използваният съд, диаметър на нагревателна зона, количество нагривана течност, местоположение на съда и средна мощност съобразно режима на работа на нагревателната зона. Факторите с тяхното означение, кодиране и диапазон на им на вариране са показани в таблица.6.1.

Таблица. 6.1. Кодиране на факторите за пирокерамичен плот

Фактор	Означение	Дименсия	Код	Нива на кодираните фактори	
				Хмин	Хмах
				Долно /-1/	Горно /+1/
Диаметър на съда	dc	mm	X ₁	103	224
Диаметър на нагревателна зона	D	mm	X ₂	145	180
Количество нагривана течност	V	dm ³	X ₃	0,5	1,5
Средна мощност съобразно параметрите и режима на работа на нагревателната зона	p*	W	X ₄	200	1700
Местоположение на съда	∇	mm	X ₅	дясно	ляво

Факторите са подбрани така, че да се реализират варианти с практическа значимост. Планът е петфакторен от типа 2⁵, с две нива на изменение на факторите, като броят на експериментите е 32. При тези условия са проведени експерименти и за всеки отделен случай е определен КПД. Всеки експеримент е проведен по три пъти при едни и същи условия. Предполага се, че регресионния модел е полином от вида на зависимост (6-3).

Получените резултати дават математичен модел, който е адекватен на анализирания процес с ниво на значимост α=0,05. Полученото регресионно уравнение в относителни единици има следния вид:

$$\begin{aligned}
 \hat{\eta} = & 50,289 + 5,216.x_1 + 0,596.x_2 + 0,573.x_3 + 9,479.x_4 + \\
 & + 1,542.x_1.x_2 - 0,622.x_1.x_3 + 0,541.x_1.x_4 - 2,249.x_2.x_3 - \\
 & - 3,199.x_2.x_4 + 1,459.x_3.x_4 - 1,338.x_1.x_2.x_3 - 2,489.x_1.x_2.x_4 - \\
 & - 1,817.x_2.x_3.x_4 - 0,6701.x_1.x_2.x_3.x_4
 \end{aligned}
 \tag{6-20}$$

От анализа на уравнението се доказва максималното влияние на фактор x_4 - средна мощност по време на нагряване. При сравнение на числените стойности на КПД от полученото уравнение и данните от експеримента се получава относителна грешка 12 %.

6.1.1.1.1. Изводи

Моделът разработен на базата ПФЕ е нелинеен с грешка 12%. Това уравнение само в първо приближение дава възможност да се направи преценка относно влиянието както на отделните фактори така и на комплексното им въздействие върху КПД. Доказва се, че от разглежданите експлоатационните фактори най-съществено е влиянието на средната мощност – b_4 , чийто тегловен коефициент заема 30 % от общото влияние. По значимост (след b_4) въздействията върху КПД са :

- влияние на диаметър на съда – b_1 (около 16 % от общото влияние).
- взаимодействие между диаметъра на съда и средната мощност на нагревателната зона – b_{24} (10%);
- взаимодействие между диаметъра на съда, диаметъра на нагревателната зона и средната мощност – b_{124} (8%);
- взаимодействие между диаметъра на нагревателната зона и количеството нагрявана течност – b_{23} (7%);
- взаимодействие между диаметъра на нагревателната зона, количеството нагрявана течност и мощността – b_{234} (6%);
- взаимодействие между количество нагрявана течност и средната мощност (b_{34}) и взаимодействие между диаметъра на съда, диаметъра на нагревателната зона и количеството нагрявана течност (- b_{123}) – (4%);
- влияние на диаметъра на нагревателната зона (- b_2), на количеството нагрявана течност (- b_3), взаимодействие между диаметър на съда и количество нагрявана течност (- b_{13}), взаимодействие между диаметър на съда и мощност (- b_{14}), взаимодействие между диаметъра на съда, диаметъра на нагревателната зона, количество нагрявана течност и средната мощност (- b_{1234}) – около (2%).

6.1.1.2. Математично моделиране на факторите влияещи върху енергоефективността на индукционен котлон

Таблица.6.2. Кодирание на факторите за индукционен котлон.

Фактор	Означен- ние	Дименсия	Код	Нива на кодираните фактори	
				Хмин	Хмах
				Долно /-1/	Горно /+1/
Диаметър на нагревателната зона	dc	mm	X ₁	145	220
Количество нагрявана течност	V	dm ³	X ₂	0,5	1,5
Мощност	P	W	X ₃	400	1800
Местоположение на съда	∇	mm	X ₄	дясно	ляво

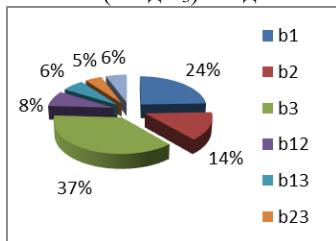
Аналогично на предложената по-горе методика е разработен модел за индукционния котлон, съставен на базата на пълен факторен експеримент. За разлика от модела на пирокерамичния плот, броят на фактори е четири - диаметър на нагревателната зона съвпада с диаметър на използваният съд.

Полученото регресионно уравнение в относителни единици има следния вид:

$$\hat{\eta} = 70,19 - 6,74 \cdot x_1 + 3,906 \cdot x_2 + 10,32 \cdot x_3 + 2,165 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,65 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,25 \cdot x_2 \cdot x_3 + 1,565 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (6-22)$$

6.1.1.2.1. Изводи.

Разработеният модел за индукционен котлон на базата ПФЕ относно влиянието както на отделните фактори така и на комплексното им въздействие върху КПД е нелинеен с грешка 3%. Доказва се, че от разглежданите експлоатационните фактори най-съществено е влиянието на мощността – b_3 , чийто тегловен коефициент заема 37% от общото влияние(-фиг.6.1.). По значимост (след b_3) въздействията върху КПД са :



Фиг.6.1.Влияние на експлоатационните фактори върху КПД за индукционен котлон

6.1.2. Математично моделиране на факторите влияещи върху КПД на електрическа фурна

За електрическата фурна може да се предложи по аналогичен начин на горните подходи като се моделира КПД на базата на регресионния анализ. Моделираните фактори са пет и са подбрани така (Глава 4.3.), че да се реализират варианти с практическа значимост :

- мощност на електрическата фурна-900W-1850W;
- обем на съда - 2dm^3 - 3dm^3 ;
- количество нагривана течност - 1dm^3 - 2dm^3 ;
- местоположение на съда по вертикала - 0mm-150mm;
- местоположение на съда по хоризонтала -10mm-0mm;

Пълният факторен експеримент обхваща 32 опита от типа 2^5 с две нива на изменение на факторите. При тези условия са проведени експерименти на електрическа фурна GORENJE модел „Е 404“и за всеки отделен случай е определен КПД. Всеки експеримент е проведен по три пъти при едни и същи условия. Получените резултати не дават адекватен математичен модел, което налага усъвършенстване на подхода с помощта на симетрични планове от втори ред, т.к. те се строят като към точките на ПФЕ се прибавят нови опити, които обуславят и различните свойства на новия план [6,9,20]. От тях с първо приближение е избран предложения от Бокс и Уилсън ортогонално-централно

композиционния план (ОЦКП). Предполага се, че регресионния модел е полином от вида (6-23).

Броят на опитите е:

$$N = N_1 + N_2 + N_0 = 2^5 + 2 \cdot 5 + 1 = 43 \quad (6-24)$$

където N_0 са броя на опитите в нулевата точка; N_1 - брой на опитите от ПФЕ с две нива на факторите (2^5); $N_2=2 \cdot m$ -брой на опитите в звездните точки.

За оценка на влиянието на горните фактори върху КПД е използван метода на планирания експеримент. Полученият, по ортогонално централно композиционен план, модел се оказва адекватен на разглежданите процеси. На базата на направените изчисления функционалната зависимост има вида:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 22,90 - 1,57 \cdot x_2 + 2,28 \cdot x_3 + 2,63 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ & - 2,24 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,74 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_5 - 1,79 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 - \\ & - 3,95 \cdot x_1^2 - 4,74 \cdot x_2^2 - 1,20 \cdot x_3^2 - 2,87 \cdot x_4^2 + 2,72 \cdot x_5^2 \end{aligned} \quad (6-32)$$

6.1.2.1. Изводи

Моделът разработен на базата ОЦКП при ниво на значимост 0,05 е нелинеен с относителна грешка 7%. От разглежданите експлоатационните фактори влияещи върху КПД на електрическа фурна най-съществено е влиянието на обема на съда – b_{22} и b_2 чийто тегловни коефициенти заемат около 23 % от общото влияние (b_{22} -17%). По значимост (след b_2) въздействията върху КПД са :

-влияние на мощността – b_{11} (квадрата- около 14 % от общото влияние).

-взаимодействие между мощността на фурната и количеството (обема) нагривана течност – b_{13} и местоположението на съда във фурната- по вертикала b_{44} и по хоризонтала b_{55} -(10 %);

-влиянието на количеството нагривана течност (b_3) и взаимодействие между мощността, обема на използвания съд и количеството нагривана течност (b_{123})– (8%);

-взаимодействие между обема на съда, количеството нагривана течност и местоположението на съда по вертикала (b_{234})– (7%);

-взаимодействие между мощността, количеството нагривана течност и местоположението на съда по хоризонтала (b_{135})– (6%);

-влиянието на количеството нагривана течност (b_{33})– (4%);

6.2. Оптимизация на електротермични уреди за бита

6.2.1. Оптимизация на пирокерамична нагревателна зона

Всъщност главната цел е постигане на максимален КПД, при оптимални експлоатационни параметри. Направеният в тази глава, точка 6.1.1.1. статистически анализ показва, че самостоятелното влияние на тези параметри върху КПД е нелинейно - зависимост (6-20). Като се отчетат направените от това изводи и заключения, следва че оптимизационната задача [9,22], която се поставя в конкретния случай е – да се намерят такива стойности за експлоатационните параметри, че коефициента на полезно действие на пирокерамична нагревателна плоча да е максимален. Или:

$$\eta(d_c, D, V, P, \nabla) = \eta(x) \rightarrow \max \quad (6-33)$$

$$x \in X \quad \text{при}$$

$$(103\text{mm}) -1 \leq dc \leq +1 \quad (224\text{mm});$$

$$(145\text{mm}) -1 \leq D \leq +1 \quad (180\text{mm});$$

$$(0,5\text{dm}^3) -1 \leq V \leq +1 \quad (1,5\text{dm}^3);$$

$$(200\text{W}) -1 \leq P \leq +1 \quad (1700\text{W});$$
(6-34)

(с ексцентрицитет в дясно) $-1 \leq \nabla \leq +1$ (с ексцентрицитет в ляво);

6.2.1.2. Изследване на оптимални проектни решения

За целта зависимост (6-20) се представя графично. Това представяне най-общо е в “n”-мерното пространство. Съвкупността от стойности на входните въздействия в произволен момент определят положението на съответен КПД. Поради големия брой фактори ($n > 3$) не може да се изобразят едновременно всички въздействия. Тази неопределеност налага преминаването към проекции на сечението на областта на въздействие с равнини успоредни на координатите.

За целта се избират два от входните параметъра – например за пирокерамичният плот избирам: обема на количеството нагривана течност $-V$ (x_3) и диаметъра на използваният съд - dc (x_1). На останалите входни параметри се задават определени стойности x_j ($j \neq 1$; $j \neq 2$), принадлежащи на допустимата област. Като се има предвид, че броят на факторите е 5, то пространствената фигура която ще се получи при търсенето на оптимален КПД е изключително сложна, а геометричната ѝ интерпретация е практически невъзможна. Затова са разгледани следните варианти, имащи практическа значимост:

I случай $V=1,0\text{dm}^3$, $dc=103\text{mm}(224\text{mm})$, ∇ -в средата, D -var, P -var.

Тогава функционалът (6-20), в относителни единици добива следният вид:

$$\hat{\eta} = 50,289 + 5,216.dc + 0,596.D + 9,479.P + 1,542.D.dc +$$

$$+ 0,541.P.dc - 3,199.D.P - 2,489.D.P.dc \quad (6-35)$$

При $dc=103\text{mm}$ - която е долна граница на изменение на влияещият фактор - количество нагривана течност- функционалът, в относителни единици добива вида:

$$\hat{\eta} = 45,073 - 0,946.D + 10,02.P - 0,71.D.P \quad (6-36)$$

При $dc=224\text{mm}$ - която е горна граница на изменение на влияещият фактор- има вида:

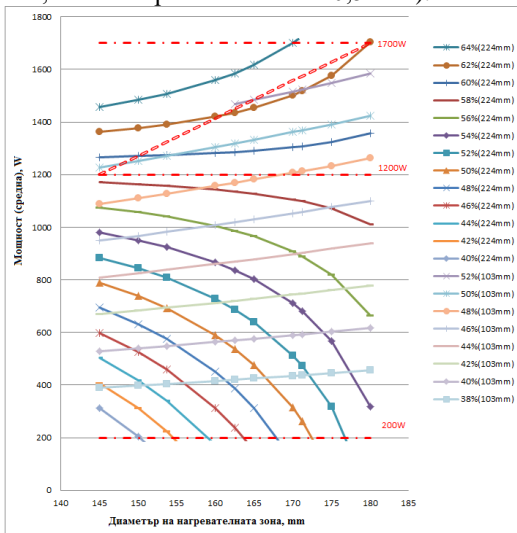
$$\hat{\eta} = 55,505 + 2,138.D + 10,02.P - 5,688.D.P \quad (6-37)$$

На базата на функционалите (6-36) и (6-37) са разработени извадкови теоретични варианти с варираща стъпка, в границата на изменение на интервала от -1 до +1- за различни стойности на мощността. Така се определят стойностите на изходния параметър КПД (η) които излизат извън границите, регламентирани от условието:

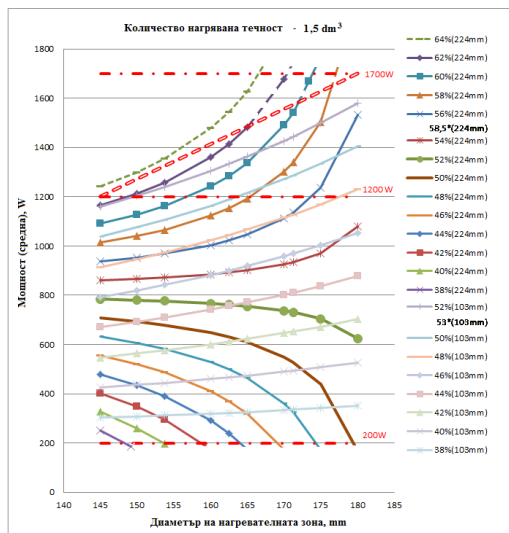
$$\eta_{\min} < \eta < \eta_{\max} \quad (6-38)$$

където η_{\max} е максималната стойност определена при избраните по-горе граници на вариране на входните параметри, а η_{\min} - минималната стойност,

съответстваща на реални от физична гледна точка въздействия (минимална мощност 200 W, диаметър на нагреваната зона-145mm, диаметър на съда – 103mm, обем нагревана течност 0,5 dm³).



Фиг.6.2.Изменение на средната мощност от диаметъра на нагревателната зона при количество нагревана течност 1,0 dm³ ;за диаметър на съда: Ø103mm и Ø224mm.



Фиг.6.3.Изменение на средната мощност от диаметъра на нагревателната зона при количество нагревана течност 1,5 dm³ ;за диаметър на съда: Ø103mm и Ø224mm. (*- показани са експериментални резултати за конкретния случай)

II случай $V=1,5dm^3$, $dc=103mm(224mm)$, ∇ -в средата, D -var, P -var.

В този случай функционалтът (6-20) добива вида:

$$\hat{\eta} = 50,289 + 4,594.dc - 1,653.D + 0,938.P + 0,204.D.dc + 0,541.P.dc - 5,016.D.P - 3,159.D.P.dc \quad (6-39)$$

$$\hat{\eta} = 46,695 - 1,857.D + 10,397.P - 1,8569.D.P \quad \text{при } dc = 103mm \quad (6-40)$$

$$\hat{\eta} = 54,883 - 1,449.D + 11,479.P - 8,1751.D.P \quad \text{при } dc = 224\text{mm} \quad (6-41)$$

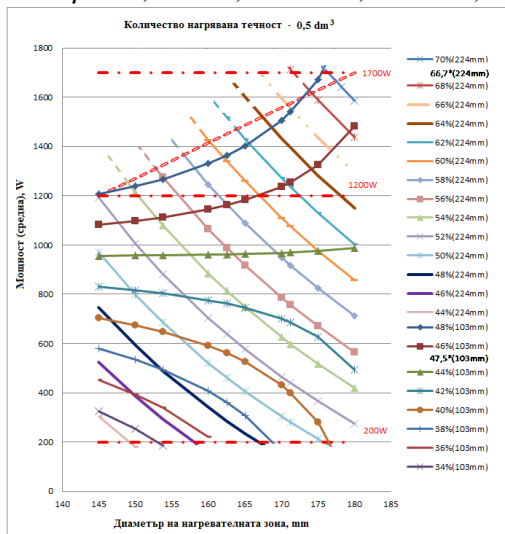
III случай $V=0,5\text{dm}^3$, $dc=103\text{mm}(224\text{mm})$, V -в средата, D -var, P -var.

За конкретният случай функционалът (6-20) добива вида (6-42), а при отчитане на долната граница на количеството нагрявана течност функционалът има вида (6-43) - за $dc=103\text{mm}$ и (6-44) при отчитане на горната граница - $dc=224\text{mm}$ - фиг.6.4.

$$\hat{\eta} = 49,716 + 5,838.dc + 2,845.D + 8,02.P + 2,88.D.dc + 0,541.P.dc - 1,382.D.P + 3,159.D.P.dc \quad (6-42)$$

$$\hat{\eta} = 43,878 - 0,035.D + 7,479.P - 4,441.D.P \quad (6-43)$$

$$\hat{\eta} = 55,554 + 5,725.D + 8,534.P + 1,777.D.P \quad (6-44)$$



Фиг.6.4. Изменение на средната мощност от диаметъра на нагревателната зона при количество нагрявана течност $0,5 \text{ dm}^3$; за диаметър на съда: 103mm и 224mm . (*- показани са експериментални резултати за конкретния случай)

6.2.1.3.Изводи

- При диаметър на съда $\varnothing 103\text{mm}$, разположен върху масово използваните в домакинството пирокерамични електронагревателни зони с диаметър $\varnothing 145\text{mm}$ и $\varnothing 180 \text{mm}$, оптималният коефициент на полезно действие е средно 53 %.
- При диаметър на съда $\varnothing 224\text{mm}$, разположен върху пирокерамична електронагревателна плоча с диаметър $\varnothing 145\text{mm}$ коефициента на полезно действие е 62,88%, а за диаметър $\varnothing 180 \text{mm}$, средно е 69,44 %.
- Някои сравнително ниски стойности за КПД при малките съдове се обясняват и със специфичните особености на пирокерамиката, а именно топлопровеждане само в една посока. Например при нагревателна зона $\varnothing 180 \text{mm}$ и количество нагрявана течност $0,5 \text{ dm}^3$, когато се използва диаметър на съда $\varnothing 103\text{mm}$ коефициента на полезно действие е само 46,9 %.

6.2.2. Оптимизация на електрическа фурна

6.2.2.1.Дефиниране на задачата

За електрическата фурна се постъпва аналогично, както в предната точка за пирокерамичните котлони като се използва статистическият анализ направен в 6.1.2. зависимост (6-32), или търси се :

$$\eta(P, V_c, V_t, m_{\text{веп}}, m_{\text{хор}}) = \eta(x) \rightarrow \max \quad (6-51)$$

$$x \in X \quad \text{при} \quad \begin{array}{ll} (900\text{W}) & -1 \leq P \leq +1 \quad (1850\text{W}); \\ (2,0\text{dm}^3) & -1 \leq V_c \leq +1 \quad (3,0\text{dm}^3); \\ (1,0\text{dm}^3) & -1 \leq V_t \leq +1 \quad (2,0\text{dm}^3); \\ (0 \text{ mm}) & -1 \leq m_{\text{веп}} \leq +1 \quad (150 \text{ mm}); \\ (100 \text{ mm}) & -1 \leq m_{\text{хор}} \leq +1 \quad (0 \text{ mm}). \end{array} \quad (6-52)$$

6.2.2.1. Изследвания за оптимални проектни решения

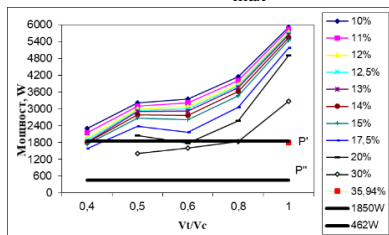
За целта зависимост(6-32) се представя графично (аналогично както при пирокерамичният плот). Алгоритъмът е следния:

Входните параметъра, оказващи най-съществено влияние върху изменението на КПД за електрическата фурна са: мощност (x_1), обема на нагръваната течност (x_3) или обема на съда (x_2) Поради възможността за известна връзка между двата параметъра може и отношението на обема на нагръваната течност (V_t) към обема на съда (V_c) или (x_3/x_2). За няколко стойности на мощността се определят тези на отношението x_3/x_2 , при които изходния параметър КПД (η) излиза извън границите, регламентирани от условието:

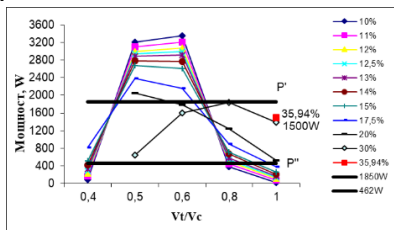
$$\eta_{\min} < \eta < \eta_{\max} \quad (6-53)$$

където η_{\max} е максималната стойност определена при избраните по-горе граници на вариране на входните параметри, а η_{\min} - минималната стойност, съответстваща на реални от физична гледна точка въздействия (минимална мощност 462 W, обем на съда – 2 dm³, обем нагръвана течност 1 dm³, местоположение на съда – в средата, а по вертикала - на второ ниво на скарата). Получават се ограничителни линии (фиг.6.10), съответно:

$$\eta' = \eta_{\max} \quad \eta'' = \eta_{\min} \quad (6-54)$$



Фиг.6.10.Изменение на КПД при горна граница на мощността за електрическа фурна GORENJE модел „Е 404”.



Фиг.6.11.Изменение на КПД при долна граница на мощността за електрическа фурна GORENJE модел „Е 404”.

По аналогия се получават и линиите

$$(V_t/V_c)' = V_{\max} \quad \text{и} \quad (V_t/V_c)'' = V_{\min} \quad (6-55)$$

$$P' = P_{\max} \quad \text{и} \quad P'' = P_{\min} \quad (6-56)$$

За целта на отношението V_t/V_c се задават определени стойности от допустимата област (6-55) и се определя – КПД съгласно (6-51). Областта ограничена от четирите линии, представлява проекция на сечението на реалната експлоатационна област (РЕО) с равнина, успоредна на координатните оси x_1 и x_2 .

По предложената по-горе методика е определен и оптимален КПД на електрическа фурна за печка “GORENJE” модел Е 404 при посочените граници (6-52) на изменение на входните експлоатационни параметри. Поради нелинейната зависимост на КПД от мощността (фактор x_1) при решаване на зависимост (6-32) в някои от случаите се получават за един КПД по две физически реални, от експлоатационна гледна точка, стойности за мощността P . На тази база са построени зависимостите на фиг.6.10. и фиг.6.11.

6.2.2.3. Изводи

Анализът на представените резултати показва, че реални от експлоатационна гледна точка, но не попадащи в работната област са следните случаи:

-мощност на нагревателите 900W обем на съда $2,75\text{dm}^3$ – мощността се оказва твърде ниска за да се изпълни ограничителното условие (6-52).

-мощност на нагревателите 1500W обем на съда под $2,75\text{dm}^3$ при обем нагрявана течност $1,5\text{dm}^3$ – КПД попада под долната граница.

-мощност на нагревателите 1850W обем на съда 3dm^3 при обем нагрявана течност до 2dm^3 .

АНАЛИЗ И ОБЩИ ИЗВОДИ

За решаване на поставените цели и задачи в дисертационния труд електротермичните уреди за бита са разделени на два вида – за повърхностно нагряване – като са разгледани електродомачински нагревателни плочи (пирокерамична нагревателна плоча и индукционен котлон) и за обемно нагряване – електрическа фурна. На тези електротермични уреди за бита са проведени експериментални изследвания за оценка на влиянето на експлоатационните фактори върху ефективността им, а именно:

✓ Експериментални изследвания на пирокерамичен плот на фирма ZANUSSI модел ‘ZKL64X’, за нагревателни зони с диаметър $\text{Ø}145\text{mm}$ и $\text{Ø}180\text{mm}$;

✓ Експериментални изследвания на индукционен котлон „ALASKA IC 1800 C“ за нагревателни зони с диаметър $\text{Ø}145\text{mm}$, $\text{Ø}180\text{mm}$ и $\text{Ø}220\text{mm}$.

Експериментите са проведени за всичките степени на работа и различните мощности (за ПКНЗ и за ИК) със стандартното количество нагрявана течност и са определени УКПД за всеки един от случаите. Проведени са и експериментални изследвания и за влияние на количеството нагрявана течност, различна от стандартното количество, а именно:

- за $\text{Ø}145\text{mm}$ освен експерименти със стандартното количество нагрявана вода – $0,7\text{dm}^3$ литра са проведени и с $0,5\text{dm}^3$, 1dm^3 , $1,5\text{dm}^3$, 2dm^3 и $2,5\text{dm}^3$;

- за Ø180 mm освен експерименти със стандартното количество нагрявана вода – 1 dm³ са проведени и с 0,5 dm³, 1,5 dm³, 2 dm³ и 2,5 dm³;
- за Ø220 mm освен експерименти със стандартното количество нагрявана вода – 1,5 dm³ са проведени и с 0,5 dm³, 1 dm³, 1,5 dm³, 2 dm³ и 2,5 dm³;

Експериментално е оценено и влиянието на диаметъра на използвания съд, както и местоположението му спрямо нагревателната зона. За всички експерименти са определени УКПД.

Проведени са и допълнителни експериментални изследвания (за сравнение на повторемостта на резултатите), като е изчислен коефициента на полезно действие върху:

✓ пирокерамичен плот с нагревателни зони с диаметър Ø140 mm и Ø180 mm на електрическа (свободностояща) готварска печка марка Electrolux модел ЕКС51 с номинална мощност съответно 1200W и 1800 W за количество нагрявана течност 1,0 dm³.

✓ индукционен котлон модел – МІА марка ІКР 2000Т - за нагревателна зона с диаметър (респ. диаметър на съда) Ø180 mm и 1,0 dm³ нагрявана течност.

На базата на проведените експерименти е направен е сравнителен анализ за оценка на влиянието на експлоатационните параметри върху енергийната ефективност на електронагревателните плочи. Изчислен е и индекса на енергийна ефективност ЕСел. котлон.

✓ От проведените експериментални резултати и направеното сравнение между електродомакинските плочи следва, че влиянието на експлоатационните фактори върху КПД на пирокерамичният плот и индукционният котлон е много съществено и с разнообразен характер на въздействие. УКПД на индукционен котлон е най -висок в сравнение с останалите плочи (чугунени, пирокерамични). Това се дължи на факта, че топлината се генерира директно в нагрявания съд, а не се предава чрез топлопроводност- за разлика от пирокерамичните плочи. Получените конкретни стойности и разнообразието от изследвания при различни експлоатационни параметри, включително и нестандартни обогатяват натрупаната база от данни и позволят по-точно да се моделира влиянието на експлоатационните и конструктивните фактори върху ефективността на електронагревателните плочи и оптимизиране на техническите им характеристики при тяхната експлоатация.

За електротермични уреди за бита за обемно нагряване са проведени експерименти на електрическа готварска фурна за враждане ZANUSSI модел 'ВМХ316' за предварително нагряване на „празна“ фурна и когато фурната е натоварена, при различни режими на работа – конвенционално нагряване, принудителна циркулация на въздуха и режим „грил“.

✓ Разработена е методика за определяне на коефициента на полезно действие на електрическа фурна, която се характеризира с по –достъпен за практиката товар (за разлика от специалната тухла и цилиндричния блок при стандартните тестове), по – опростена процедура за провеждане на експериментите, лесно поставяне на диагностична апаратура и съкращаване на

времето за провеждане на експеримента, за разлика от съществуващите методики („тухла-тест“ и „ANSI-тест“). Изведена е теоретично зависимостта за определяне на КПД на електрически фурни.

На базата на така предложената методика, са проведени експериментални изследвания за определяне на влиянието на експлоатационните фактори върху енергоефективността на електрическа готварска фурна за вграждане ZANUSSI модел 'BMX316', а именно – влиянието на обема на използваният съд, количеството нагривана течност и местоположението на съда спрямо обема на електрическата фурна. Експериментите са проведени за различните режими на работа - конвенционално нагриване, принудителна циркулация на въздуха и режим „грил“. За оценка на повторимостта на получените резултати допълнително са проведени изследвания на свободностояща електрическа печка GORENJE модел „E 404“ (която е аналогична по конфигурация и технически параметри на фурната за вграждане), за режим на работа - конвенционално нагриване.

Моделирани са процесите на работа на електротермичните уреди за бита с помощта на програмни среди COMSOL Multiphysics и FEMM 4.2., като са разработени следните теоретични модели:

- стационарни модели на перокерамичен плот – при работа на празен ход и при натоварване - в програмна среда FEMM 4.2, като е изследвано температурното поле при работа:

- на празен ход на двете награвателни зони диаметър Ø145mm и Ø180mm - едновременно;

- само на награвателна зона с диаметър Ø145mm натоварен с алуминиев блок;

- само на награвателна зона с диаметър Ø180mm натоварен с алуминиев блок;

- на награвателна зона с диаметър Ø145mm натоварен с алуминиев блок, а награвателна зона с диаметър Ø180mm – в режим на празен ход (без товар);

- на двете награвателни зони като голямата Ø180mm е натоварена с алуминиев блок, а малката награвателна зона с диаметър Ø145mm работи в режим на празен ход (без товар).

- на двете награвателни зони диаметър Ø145mm и Ø180mm натоварени едновременно.

- стационарен модел за предварително загряване на празна фурна при конвективен режим на нагриване - в програмна среда FEMM 4.2;

- динамични модели на електрическата фурна (в програмна среда на COMSOL Multiphysics), като изследването е проведено при два режима на работа – при конвективен режим на нагриване и при нагриване само с награвателя „грил“. Теоретичните изследвания при тези два режима са разгледани в две насоки :

- при предварително загряване на празна фурна;

- при натоварване на фурна.

На базата на разработените модели на електротермични уреди за бита са реализирани различни режими на работа, като се получава информация за енергийната им ефективност.

Разработени са модели на базата на статистическа регресия за оценка на влиянието на експлоатационните фактори върху енергоефективността на електротермичните уреди за бита, като са съставени на базата на :

- ✓ пълен факторен експеримент за:
 - пирокерамичен плот - от типа на 2⁵, броя на планираните експерименти е 32, като са проведени по три пъти;
 - индукционен котлон - от типа на 2⁴, броя на планираните експерименти е 16, като са проведени по три пъти;
- ✓ Ортогонално – централно композиционен план за електрическа фурна – общия брой опити е 43.

Получените регресионни уравнения дават възможност да се направи преценка относно влиянието както на отделните фактори, така и на комплексното им въздействие върху КПД на електротермичните уреди за бита. Предложените математични модели описват с достатъчна точност развиващите се процеси при избраните граници на вариране на отделните параметри, и могат да се използват за оптимизиране на техническите характеристики на електротермичните уреди за бита при тяхната експлоатация.

Изследвани и моделирани са и специални режими на работа на електротермичните уреди за бита, свързани с търсенето на рационално от практическа гледна точка, решение при по отношение на експлоатационни им параметри за да се намери оптималният им КПД. Режимите се определят като нестандартни, т.к. не отговарят на БДС. Получени са конкретни конфигурации при съответните експлоатационни условия (и обратното) при което се гарантира висока работоспособност и минимални разходи на устройствата. На базата на получените резултати се предложени различни варианти на изпълнение, в зависимост от приоритетни фактори – средна мощност, използван съд, количество нагривана продукция, диаметър на награвателната зона и др. Предложената методика позволява да се използва и за други устройства, за които се търси оптимум в област.

Благодарности

Изказвам изключителна благодарност към своя научен ръководител доц. д-р инж. Мария Маринова за проявеното търпение, безрезервната подкрепа, оказаната помощ, внимание, ползотворните идеи и насоки при изготвяне на дисертационния труд и съпътстващите дейности по провеждане на експериментите, обработване и анализ на резултатите и представянето им пред научната общност. Също така изказвам благодарност на всички колеги за препоръките и съдействието при разработването на настоящия дисертационен труд. Не на последно място поднасям и своята благодарност за цялостната подкрепа и проявеното търпение от дъщерите ми и моето семейство.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

✓ Научно - приложни приноси:

1. Изведена е нова зависимост за определяне на коефициента на полезно действие на електрическа фурна.

2. Предложена е подобрена методика за определяне на коефициента на полезно действие на електрическа фурна.

3. Разработени са нови 2D и 3D - модели за изследване на работата на конкретни битови уреди.

4. Получени са потвърдителни данни за определяне на коефициента на полезно действие на пирокерамичен плот в зависимост от експлоатационните фактори на базата на проведен регресионен анализ на планиран петфакторен експеримент.

5. Получени са потвърдителни данни за определяне на коефициента на полезно действие на индукционен котлон в зависимост от експлоатационните фактори на базата на проведен регресионен анализ на планиран четирифакторен експеримент.

6. Получени са потвърдителни данни за определяне на коефициента на полезно действие на електрическа фурна в зависимост от експлоатационните фактори на базата на проведен регресионен анализ на планиран петфакторен експеримент.

7. Разработени са нови теоретични модели за специални режими на работа на пирокерамичен плот и електрическа фурна.

✓ Приложни приноси:

1. Получени са потвърдителни данни чрез проведени експериментални изследвания за влиянието на експлоатационните фактори - диаметъра на съда, диаметъра на нагревателната зона, количеството нагривана течност, средната мощност и местоположението на съда върху енергоефективността на пирокерамична електродомакинска плоча.

2. Получени са потвърдителни данни чрез проведени експериментални изследвания за влиянието на експлоатационните фактори - диаметъра на нагревателната зона, количеството нагривана течност, средната мощност и местоположението на съда върху енергоефективността на индукционен котлон;

3. Получени са потвърдителни данни чрез проведени експериментални изследвания за влиянието на експлоатационните фактори върху енергоефективността на електрическа фурна при различни режими на работа.

Списък на публикациите по темата на дисертационния труд

1. **Slavova Y.**, Marinova M., Theoretical Approach for Evaluation of the Energy Efficiency in Electro-Termal Equipments, II international congress on MEEMI”2005, 7-9 October, Varna, s.175-179, 2005g., ISBN 954-20-0314-5.

2. **Slavova Y.**, Marinova M., On determining the efficiency of a glass-ceramic cooktop, International scientific conference “UNITECH ‘07”, 23-24 November, Gabrovo, s.I-104-107, 2007g. ISSN 1313-230X

3. Мария Маринова, **Янита Славова**, Относно определяне коефициента на полезно действие на стъклокерамичен плот, Годишник на Технически Университет Варна, Том II, с. 37-43, 2009г. ISSN 1311-896X

4. **Янита Славова**, М.Маринов. Сравнителен анализ на влияние на експлоатационните параметри върху КПД на стъклокерамичен плот и обикновена чугунена електронагревателна плоча, XIII International conference on electrical machines, drives and power systems ELMA 2011, October 2011 с. 319-323, ISSN 1313-4965.

5. **Янита Славова**, Изследване на коефициента на полезно действие на индукционен котлон, Годишник на Технически Университет Варна, Том I, с.-86-90, 2011г. ISSN 1311-896X.

6. **Янита Славова**, Мария Маринова, Математично моделиране на влиянието на експлоатационните фактори върху ефективността на нагревателни зони на пирокерамичен плот, Трети международен научен конгрес „Науката и образованието в бъдещето“, 50 години ТУ – Варна, 4- 6 октомври, Vol. III, с.204-207, ISBN 978-954-20-0552-0 Vol.3, 2012

7. **Янита Славова**, Мария Маринова, Методика за оценка на енергоефективността на електротермични уреди за приготвяне на храна, Юбилейна научна международна конференция „50 години катедра ЕТЕТ, Годишник на ТУ – Варна, 4- 6 октомври, Том I, с.145-150, ISSN 1311-896X, 2013г.

8. **Slavova Yanita**, Marinova Mariya, A comparative analysis of the influence of exploitation parameters on the energy efficiency of pyroceramic electric hot plates and induction hobs, списание Електротехника и електроника (E+E), 1-2/2017, pp. 56-63, ISSN 0861-4717, 2017.

9. **Slavova Yanita**, Marinova Mariya, On determining the energy efficiency of the electric oven, 16th International conference on electrical machines, drives and power systems ELMA 2019, 6 - 8 June, Varna, pp. 615-620, 978-1-1412-5, 2019, IEEE Catalog Number: CFP19L07 –USB

Известни цитирания:

- Nizhegorodov A., Gavrilin A., Moyzes B., Kladiev S., Khamitov R., Research of a nonlinear model of an electric furnace mobile base plate for firing bulk minerals, Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering, 330(9), 172-183, 2019.

Mathematical modelling for evaluating the efficiency of electrothermal household appliances

by

Yanita S. Slavova

ABSTRACT

The aim of the present dissertation is to investigate the influence of the operating factors on the operation of the electrothermal household appliances based on mathematical modelling in order to achieve improvement in their energy efficiency factor.

The object of the research are electrothermal appliances for food preparation, namely - for surface heating: electro-household heating plates (pyroceramic heating plate and induction hob) and for volume heating: electric ovens. The appliances have been selected as the most energy-consuming and the most difficult to fit into a fixed operation.

Experimental studies have been carried out on these electrothermal household appliances to evaluate the influence of various operating factors (vessel diameter, heating zone diameter, amount of heated liquid, power, location of the vessel) on their efficiency factor, and for this purpose a new „conditional“ efficiency factor has been defined.

A methodology has been developed and the relationship for determining the efficiency factor of an electric oven has been derived.

The processes of operation of electrothermal household appliances have been modelled, and the following theoretical models developed:

-stationary models (in FEMM 4.2 software environment) on a pyroceramic hob: in an idle mode and under load, and a model for preheating an empty oven in a convective heating mode;

-dynamic models of the electric oven (in COMSOL Multiphysics software environment), where the research was conducted in two modes of operation: in a convective heating mode and in heating only with the „grill“ heater. The theoretical research in these two modes is considered in two directions: when preheating an empty oven and when loading the electric oven.

Mathematical relationships have been obtained on the basis of statistical modeling for evaluation of the influence of the operating factors on the energy efficiency of the electrothermal household appliances, compiled on the basis of a full factorial experiment and orthogonally-centrally compositional plan.

Non-traditional modes of operation of electrothermal household appliances have also been studied and modelled, as related to the search for a rational solution from a practical point of view in terms of their operational parameters in order to find their optimal efficiency factor.

The obtained results allow to evaluate the energy efficiency of the electrothermal household appliances taking into account the complex of operational factors and to identify practical measures for its increase.