

FRI-216-1-NSMTS(S)-03

**МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА НЕСТАЦИОНАРНИЯ
ТОПЛООБМЕН ПРИ ПИРОЛИЗАТА НА ИЗЛЕЗЛИ
ОТ УПОТРЕБА АВТОМОБИЛНИ ГУМИ**

**MATHEMATICAL MODEL OF NON-STATIONARY
HEAT TRANSFER DURING THE PROCESS OF PYROLYSIS
FOR END-OF-LIFE AUTOMOBILE TIRES**

Assoc. Prof. Ivanka Zheleva, DcS

Department of Thermotechnics, Hydraulics and Ecology,
“Angel Kanchev” Univesity of Ruse
Tel.: 082 - 888 585
E-mail: izheleva@uni-ruse.bg

Principal Assist. Prof. Ivan Georgiev, PhD

Department of Applied Mathematics and Statistics,
“Angel Kanchev” Univesity of Ruse
Phone: 082 - 888 418
E-mail: igeorgiev@uni-ruse.bg

Dzhichan Menseidov, PhD Student

Department of Thermotechnics, Hydraulics and Ecology,
“Angel Kanchev” Univesity of Ruse
Phone: 082 - 888 418
E-mail: dmenseidov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Margarita Fulipova, PhD

Department of Thermotechnics, Hydraulics and Ecology,
“Angel Kanchev” Univesity of Ruse
Tel.: 082 - 888 418
E-mail: mfulipova@uni-ruse.bg

***Abstract:** Mathematical model of non-stationary heat transfer during the process of pyrolysis of end-of-life automobile tires is developed. Numerical procedure based on MATLAB for solving model equations is used. Some modeling results for the temperature are presented and commented in the paper*

***Keywords:** Mathematical model, Pyrolysis, End-of-life Tires.*

***JEL Code:** I29*

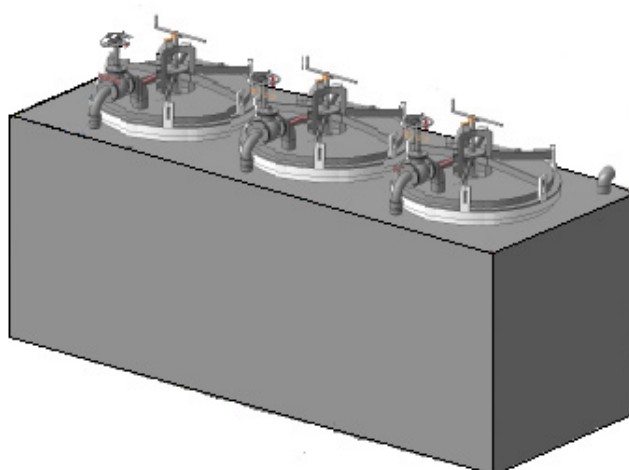
INTRODUCTION

Процесът пиролиза се прилага за химическа обработка на излезе от употреба автомобилни гуми (ИУАГ). Той се провежда в химически реактори (тигели), където гумите се зареждат и тигела се подгръва до определена температура, под въздействието на която гумите се разлагат до няколко фракции - течна , твърда и газообразна [1].

EXPOSITION

Съществува ниско температурна пиролиза (до около 400 °С) и високо температурна пиролиза (до около 800 °С). Пиролизата е химически процес, който се осъществява без присъствието на кислород. След началното загряване процесът продължава около десет часа

след което тигелът се оставя да се охлади. След това течните и твърдите продукти на пиролизата се изваждат и така приключва един пиролизен цикъл.



Фиг.1. Пиролизна установка с три тигела (камери)

По-нататък ще разглеждаме нестационарния топлообмен в пиролизна установка, показана на фиг.1. в която има три камери [2].

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ

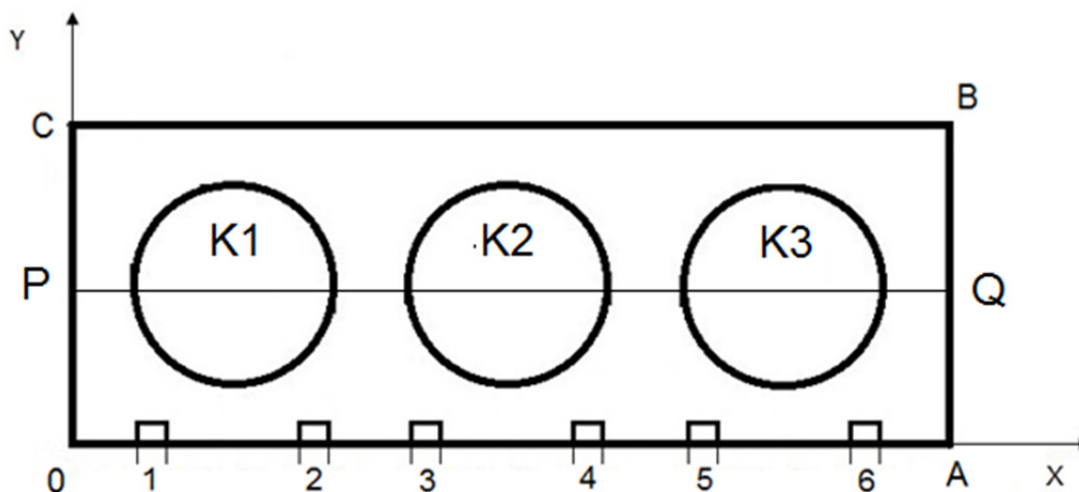
- **УРАВНЕНИЕ:**

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

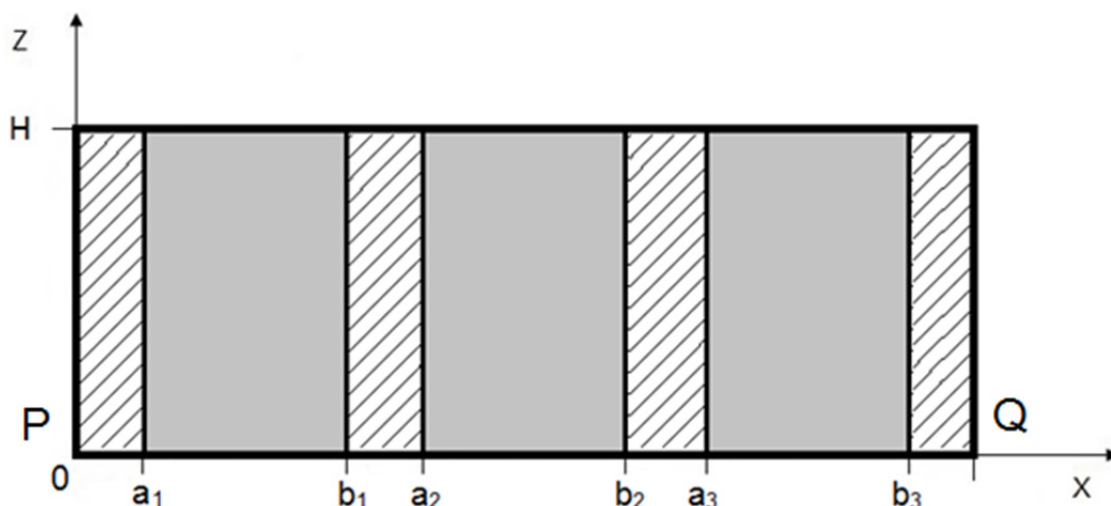
T – температура в келвини T[k],

k – коефициент на топлопроводност, W/(m.K).

- **ГЕОМЕТРИЯ НА ОБЛАСТТА**



Фиг.2. Схема на дъното на уредбата с три пиролизни камери
 1-6 горелки, K1, K2, K3 – пиролизни камери, PQ – централно сечение,
 OA – дължина 5,5 m, OC - ширина – 1,9 m, диаметри на кръговете – 1,4 m



Фиг.3. Схема на вертикален разрез на уредбата в сечение PQ
 a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3 – диаметри на пиролизните камери 1,4 m,
 OH – височина – 1,45 m

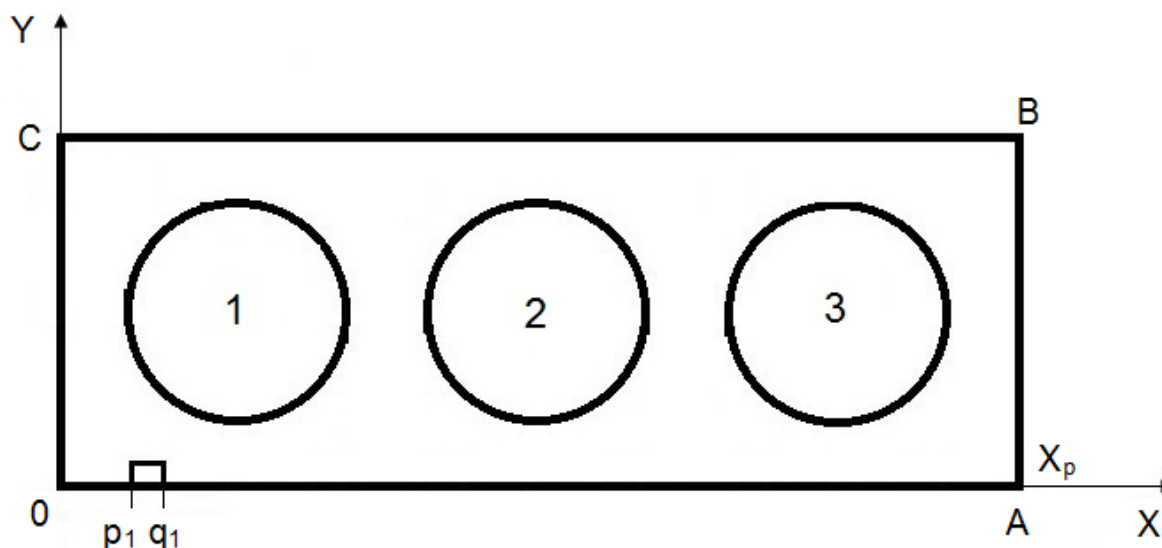
Всеки от тигелите се подгръва чрез една или две газови горелки монтирани на дъното на установката. Обикновено се подгръва първият тигел чрез една горелка в продължение на определен период от време. След това този тигел се изважда за охлаждане, подгръва се вторият тигел за следващ период от време, след това той се изважда, после се подгръва третият тигел за следващ период от време. Така осъществява един цикъл за работа на установката.

Възможен е и паралелен режим на работа, при който едновременно се подгръват всички тигели и процесът в тях завършва едновременно.

От математическа гледна точка описанието на преноса на топлина при този процес представлява нестационарна три мерна нелинейна задача, като в своята цялост е много сложна за изследване. Ето защо тук ще разработим йерархия от двумерни нестационарни модели за да я опростим.

• **Leman**

Разглеждаме процесите на пренос на топлина на дъното на инсталацията където ще предположим, че действа само една горелка. Тогава геометричната област на изследването е показана на Фиг. 4:

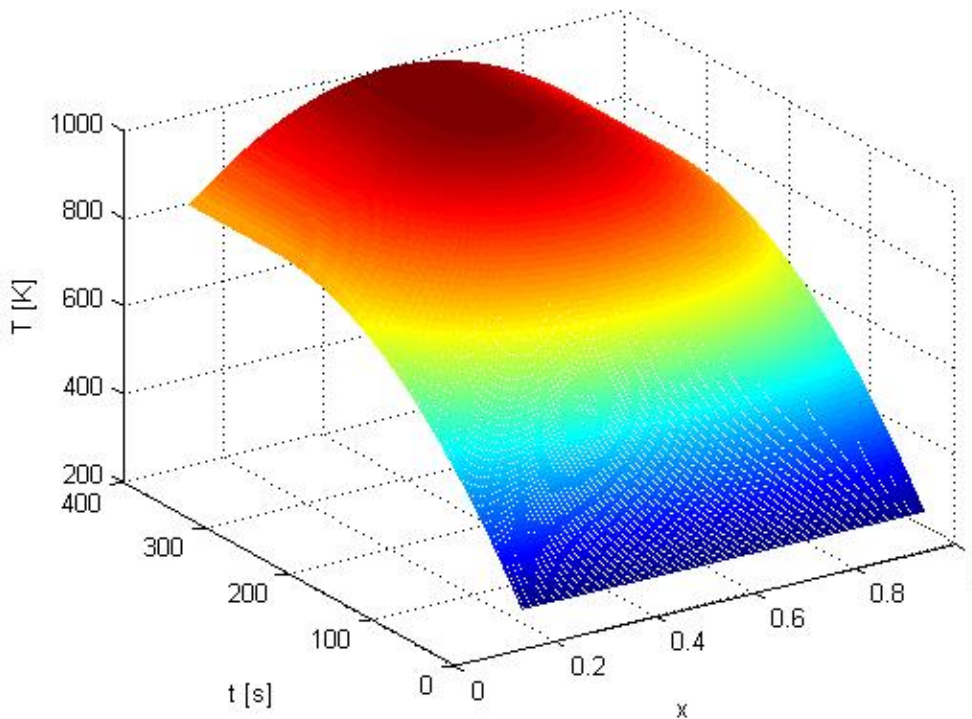


Фиг.4. Схема на изчислителната област с една горелка

Материалът на правоъгълника е от огнеупорни тухли, а дъната на тигелите (кръговете 1, 2 и 3, фиг.4). са стоманени. В началния момент на процеса температурата е 20°C (293 K). горелката е представена като линията p_1q_1 върху оста $0x$, от където се повишава температурата по зададен закон в времето.

Целта на първият етап от моделирането е да намерим температурата в областта OABC, включително и в кръговете 1, 2 и 3 като функция на времето за $t \in [0s - 36000s]$.

Подгряването на горелката се представя така: За някакъв период t_n температурата се повишава постепенно по параболичен закон с максимум в средата на отсечката p_1q_1 , а след това до края на процеса остава постоянно равна на достигнатия параболичен закон.



Фиг.5. Тримерна графика на подгряването

при $p_1 = 2/15$, $q_1=14/15$, начална температура 20°C (293K), период на загряване $t_n = 360\text{ c}$ и максимална температура 900 K

И така моделът се състои от уравнението:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (2)$$

което трябва да реши в двусвързаната геометрична област от фиг.4. при следните гранични и начални условия:

$$\text{При } t = t_0; T = 20^{\circ}\text{C} \text{ за } \forall x, y \quad (3)$$

$$\text{за } y = 0, \forall t \quad x \in (0, p_1) \cup (q_1, X_p) \quad \frac{\partial T}{\partial y} = k_1(T - T_0) \quad (4)$$

$$\text{За } y = H \quad \forall t, \forall x. \quad \frac{\partial T}{\partial y} = k_1(T - T_0) \quad (5)$$

$$\text{За } x = 0 \quad \forall t, \forall y. \quad \frac{\partial T}{\partial x} = k_2(T - T_0) \quad (6)$$

$$\text{За } x = L \quad \forall t, \forall y. \quad \frac{\partial T}{\partial x} = k_2(T - T_0) \quad (7)$$

В резултат на решението на тази задача намираме температурата във всяка точка от областта OABC (фиг. 4).

• **И етап**

Задачата за моделиране на нестационарния топлообмен във вертикалното сечение PQ на пиролизните камери 1, 2 и 3 (фиг.3) е уравнение:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (9)$$

Гранични и начални условия

$$\text{При } t = 0, T = T_0 \quad (10)$$

$$\text{При } y = 0 \quad x \in [a_1, b_1] \quad T = T_{01}(t) \quad (11)$$

$$x \in [a_2, b_2] \quad T = T_{02}(t) \quad (12)$$

$$x \in [a_3, b_3] \quad T = T_{03}(t) \quad (13)$$

$$\text{При } y = H \quad x \in [a_1, b_1]$$

$$x \in [a_2, b_2]$$

$$x \in [a_3, b_3] \quad \frac{\partial T}{\partial y} = k_4(T - T_0) \quad (14)$$

При

$$x = a_1$$

$$x = b_1$$

$$x = a_2$$

$$x = b_2$$

$$x = a_3$$

$$x = b_3$$

$$y = 0 \quad \text{и} \quad y = H \quad \frac{\partial T}{\partial x} = k_5(T - T_0) \quad (15)$$

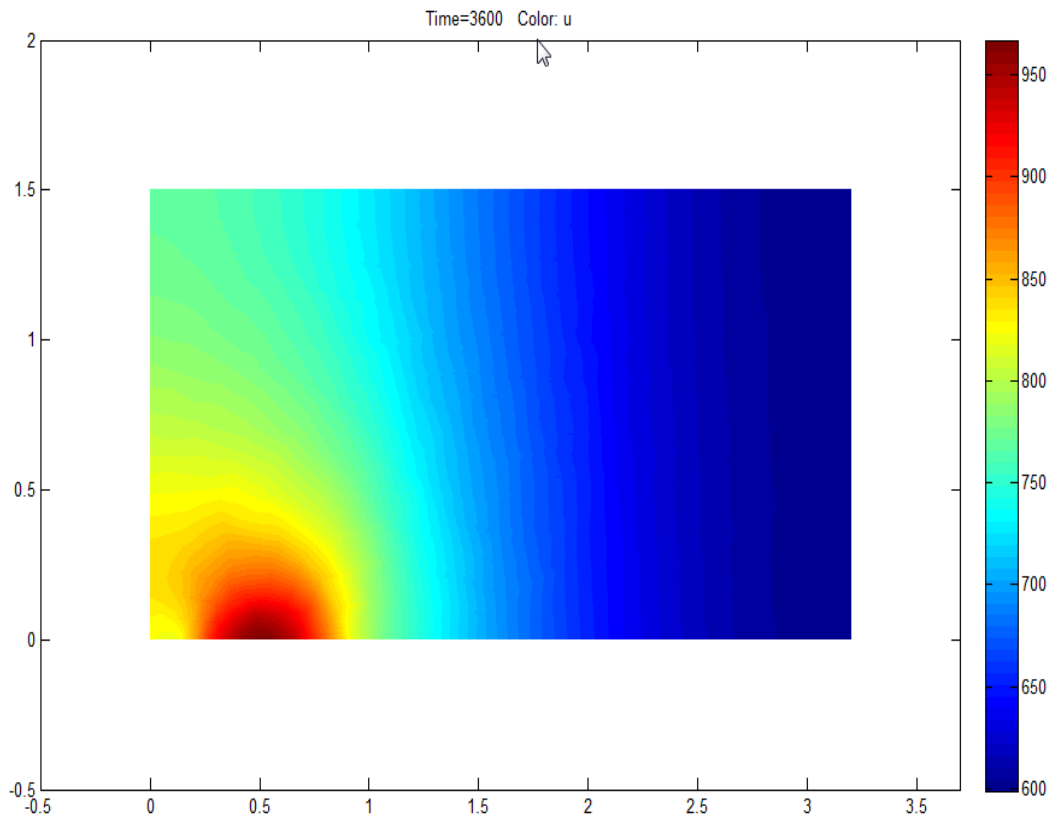
Тук функциите T_{01} , T_{02} и T_{03} , които са гранични условия, се определят от решаването на първия етап от моделирането.

Решението на тази задача води до определянето на температурите в трите тигела като функции на времето.

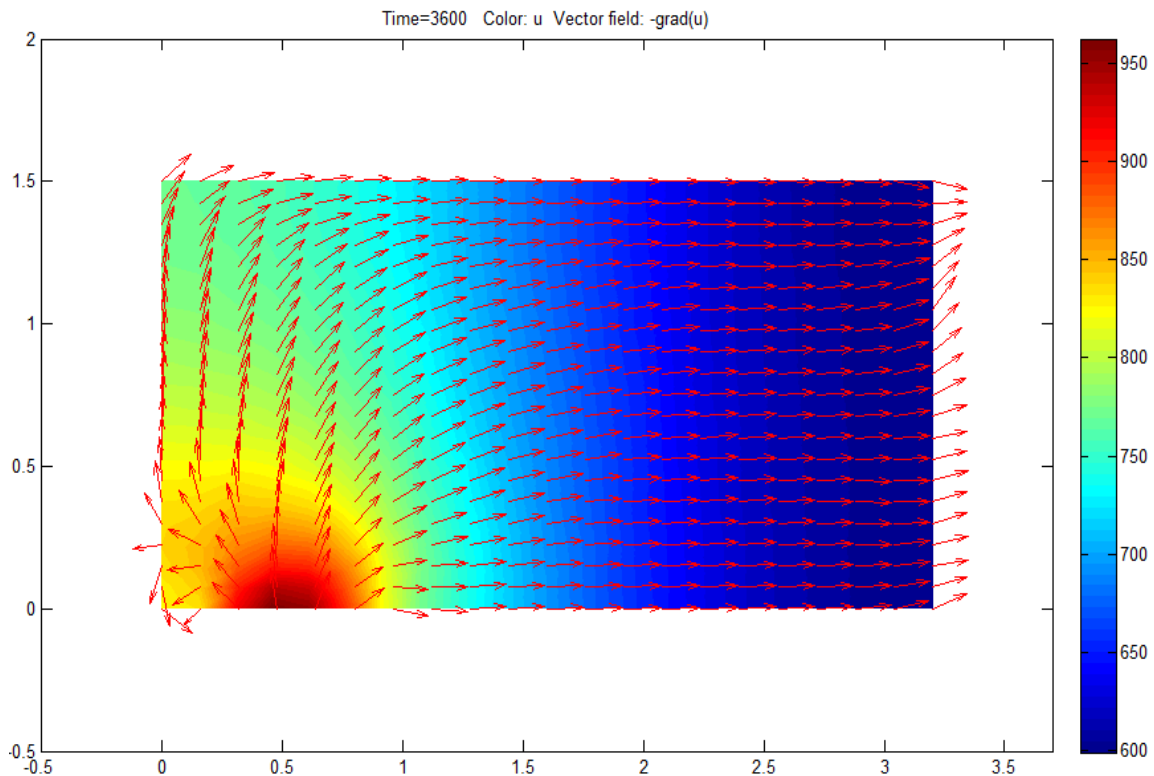
За решаване на математическите задачи от етапите I – II е използвана програмата среда МАТЛАБ.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

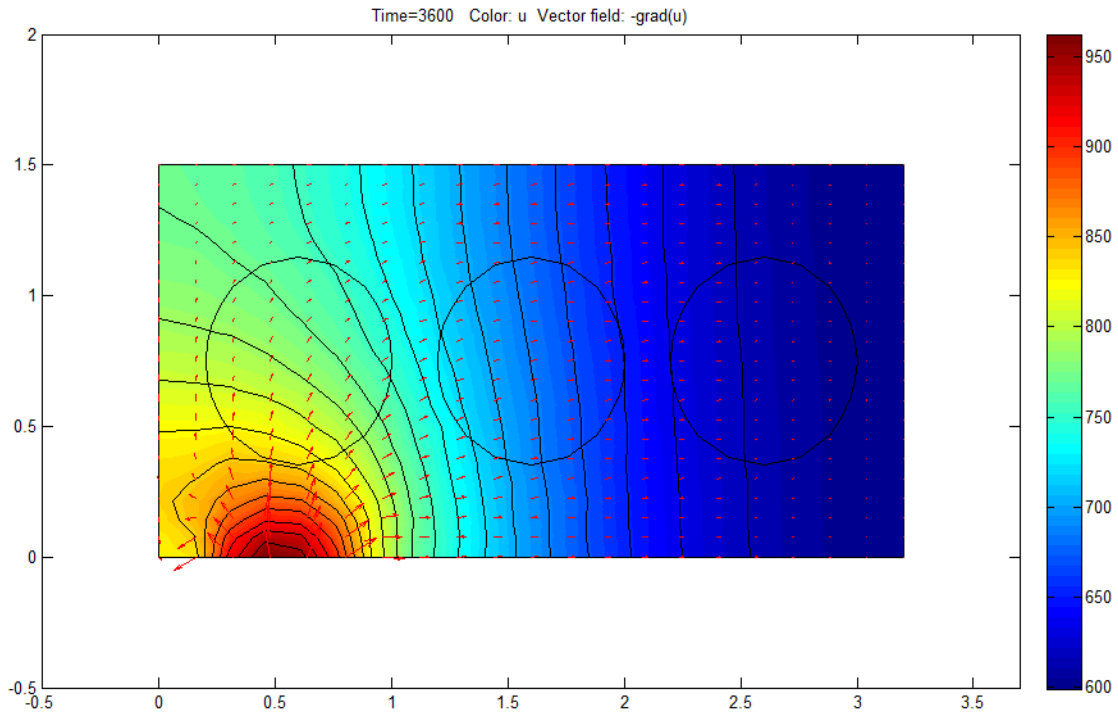
На следващите фигури са представени резултати от решаването на съответните задачи:



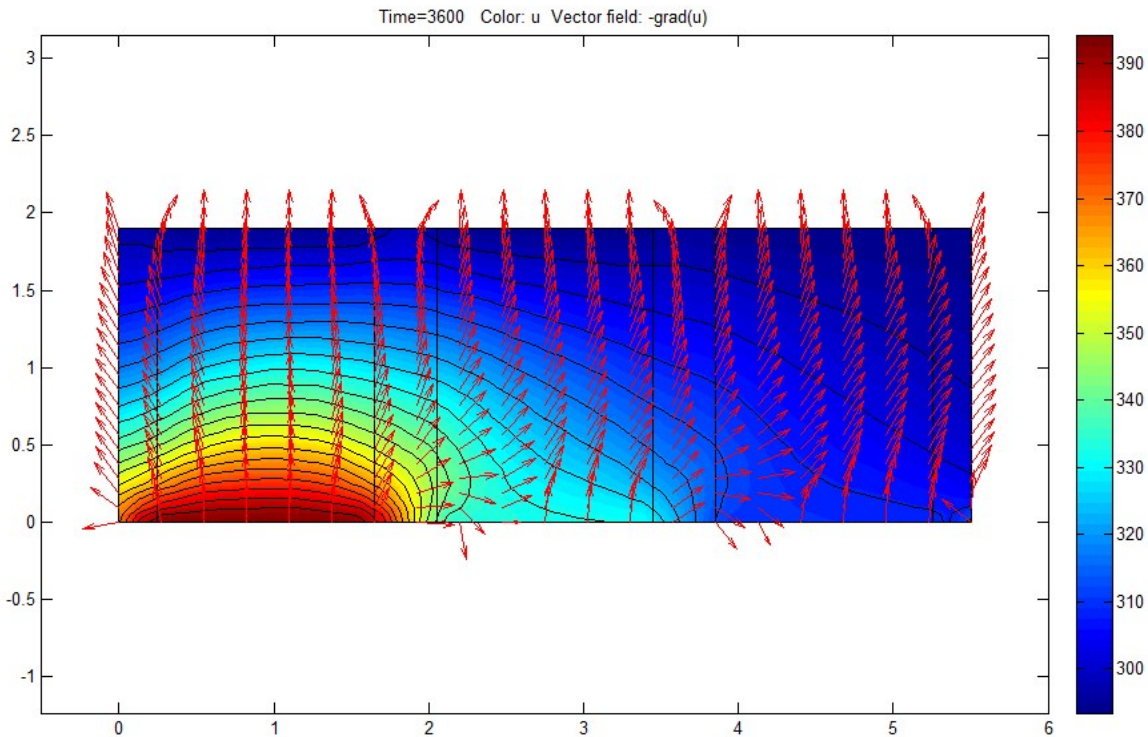
Фиг.6. Графика на температурното поле в келвини един час след началото на процеса за равнината $z = 0$.



Фиг.7. Графика на температурното поле в келвини и градиента на температурата един час след началото на процеса за равнината $z = 0$.



Фиг.8. Графика на температурното поле в келвини и изолините на температурата един час след началото на процеса за равнината $z = 0$.



Фиг.9. Графика на температурното поле в градуси по Целзий, изолините на температурата и градиента на температурата един час след началото на процеса за вертикална равнина

На Фиг. 6 е представено температурното поле в Келвини. На Фиг.7 е начертана графика на температурното поле в келвини и градиента на температурата, а на Фиг.8. - температурното поле. изолините на температурата и градиента на температурата. Тези фигури показват развитието на процеса в хоризонталната равнина на дъното на установката. Фиг.9 представя процеса във вертикална равнина, минаваща по диаметрите на пиролизните камери. Всички фигури представят процеса един час след началото му. При зададеното

широкоплощно загряване един час след началото на процеса в първата камера е достигната средна температура на дъното около 750 К, във втората камера – 680К, а в третата – 650К

CONCLUSION

Разработен е адекватен математически модел на нестационарния топлообмен при процес на пиролиза за преработване на излезли от употреба автомобилни гуми, състоящ се от два последователни етапа.

Разработен е числен алгоритъм за решаване на съответните математически задачи, осъществен в МАТЛАБ. Представени са резултати за температурата, получени от първите три етапа на моделирането.

Въпреки направените опростяващи предположения, разработеният модел е надеждно средство за теоретично изследване на сложните процеси, които се развиват при пиролизата и ще послужи за по-нататъшното ѝ задълбочено изучаване, както и за основа на проектиране на установка за автоматично управление по температурата на процеса.

REFERENCES

Pelovski Y., Dombalov I. and colleagues. (2007). Metodi za tretirane i opolzotvoryavane na tvardi bitovi odpadaci. Sofia. **(Оригинално заглавие:** Пеловски Й., Домбалов И. и колектив. 2007. Методи за третиране и оползотворяване на твърди битови отпадъци. София)

Zheleva Iv. (2015). Matematicheskoto modelirane na hidrodinamikata i toplomasoobmena v himikotehnologichni procesi. Disertacia za prisazhdane na nauchnata stepen “doctor na naukite”. Rusenski universitet Angel Kanchev. **(Оригинално заглавие:** Желева Ив. 2015. Математическо моделиране на хидродинамиката и топлмасообмена в химикотехнологични процеси. Дисертация за присъждане на научната степен “доктор на науките”. Русенски университет „Ангел Кънчев”).