

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В МАЗУТОХРАНИЛИЩАХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Кузнецова С.А.

Томский политехнический университет

Мазут используется более чем на 200 тепловых электростанциях (ТЭС) России в качестве основного или резервного топлива [1]. Основная проблема его использования – обеспечение бесперебойной подачи к котлоагрегатам подогретого и отфильтрованного мазута в зимнее время. При этом на подогрев мазута при подготовке его к сжиганию (с целью снижения вязкости, которая экспоненциально зависит от температуры [1]) затрачивается значительная часть вырабатываемой ТЭС электроэнергии. Снижение этих затрат является одной из важных задач. Решение ее возможно при оптимальном тепловом режиме мазутохранилищ и систем подачи этого топлива.

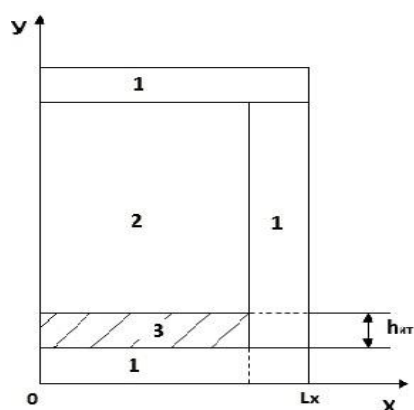


Рис. 1. Область решения задачи

сопряженного теплопереноса в мазутохранилищах не решались. Известные модели, использующиеся при оценке температур мазута в условиях хранения [1], являются или эмпирическими или балансными. Последние обеспечивают оценку только средних по объему температур. В реальной практике в связи с высокой вязкостью и низкой теплопроводностью мазута градиенты температур по всем пространственным координатам могут быть значительны. Поэтому перспективным является описание температурных полей мазута в хранилищах с использованием систем дифференциальных нестационарных уравнений в частных производных.

Целью работы является – математическое моделирование температурных полей мазута в условиях его хранения с учетом процессов теп-

лопроводности и естественной конвекции при локальном источнике тепловыделения в мазутохранилище.

В качестве объекта исследования рассматривается достаточно типичный резервуар прямоугольной формы с теплопроводными стальными стенками. Мазут считается вязкой теплопроводной, несжимаемой жидкостью. Не рассматривается возможное присутствие воды в объеме топлива. На дне резервуара расположен источник тепловыделения с постоянной температурой (рис.1). Начальная температура жидкого топлива превышает начальную температуру стенок резервуара и окружающей среды. Предполагается, что на границах «жидкость – твердая стенка» выполняются условия идеального контакта, а на внешних границах условия теплоотвода в окружающую среду.

Задачи в аналогичной постановке решались для воздушной среды в замкнутой полости с локальным источником энергии [2,3].

Исследуемый процесс описывается по аналогии с [2,3] системой уравнений Навье-Стокса и уравнением энергии для мазута, а также уравнением теплопроводности для стальных стенок резервуара.

Система уравнений:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right) + \frac{\text{Gr}}{\text{Re}^2} \left(\frac{\partial \Theta}{\partial X} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Theta}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re} \cdot \text{Pr}} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = \Omega, \quad (3)$$

$$\frac{1}{\text{Fo}} \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2}, \quad (4)$$

здесь $\text{Gr} = \frac{g\beta L^3 \Delta T}{\nu^2}$ - число Грасгофа; β – температурный коэффициент объемного расширения; g – ускорение, создаваемое массовыми силами; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости; Re - число Рейнольдса; Pr - число Прандтля; Fo - число Фурье.

Начальные условия: $\Psi(X, Y, 0) = 0$, $\Omega(X, Y, 0) = 0$, $\Theta(X, Y, 0) = 0$.

Граничные условия:

- на внешнем контуре рассматриваемой области

$$\left| \begin{array}{l} Y = 0, \quad 0 \leq X \leq \frac{l_1 + l_2 + l_{um}}{L}; \\ X = \frac{l_1 + l_2 + l_{um}}{L}, \quad 0 \leq Y \leq \frac{h_1 + h_2 + H}{L}; \\ Y = \frac{h_1 + h_2 + H}{L}, \quad 0 \leq X \leq \frac{l_1 + l_2 + l_{um}}{L}; \end{array} \right.$$

задаются граничные условия второго рода $\frac{\partial \Theta}{\partial n} = Ki$;

- на оси симметрии $X = 0$ условия вида $\frac{\partial \Theta}{\partial X} = \Omega = \Psi = 0$;

- на внутренних границах раздела твердой и жидкой фазы, параллельных оси OY принято:

$$\left| \begin{array}{l} \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \\ \left\{ \begin{array}{l} \Theta_w = \Theta_f, \\ \frac{\partial \Theta_w}{\partial X} = \lambda_{w,f} \frac{\partial \Theta_f}{\partial X}, \end{array} \right. \quad \text{при } X = \frac{l_1}{L}, \quad \frac{h_1}{L} \leq Y \leq \frac{h_1 + H}{L}; \end{array} \right.$$

- на внутренних границах раздела твердой и жидкой фазы, параллельных оси OX принято:

$$\left| \begin{array}{l} \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \\ \left\{ \begin{array}{l} \Theta_w = \Theta_f, \\ \frac{\partial \Theta_w}{\partial Y} = \lambda_{w,f} \frac{\partial \Theta_f}{\partial Y}, \end{array} \right. \quad \text{при } Y = \frac{h_2}{L}, \quad \frac{l_1}{L} \leq X \leq \frac{l_1 + l_{um}}{L}; \end{array} \right.$$

- на локальном источнике тепловыделения задаются граничные условия первого рода $\Theta = 1$ (1 вариант) либо граничные условия второго рода $\frac{\partial \Theta}{\partial n} = Ki$ (2 вариант).

Здесь $Ki = \frac{qL}{\lambda_w(T_{it} - T_0)}$ - число Кирпичева; λ_w - коэффициент тепло-

проводности твердой фазы; λ_f - коэффициент теплопроводности жидкой фазы; $\lambda_{w,f} = \lambda_w / \lambda_f$ - относительный коэффициент теплопроводности; q - тепловой поток на внешних границах области решения.

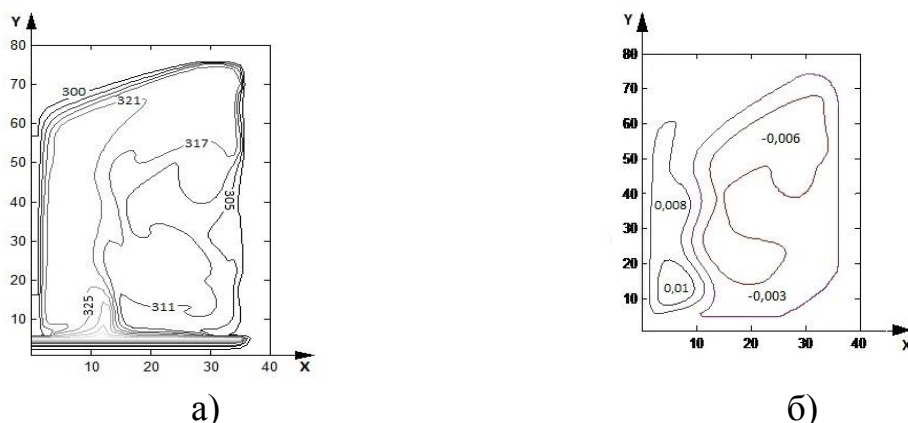


Рис.2. Распределение температур (а) и изолинии функции тока (б) при $T_0=343K$

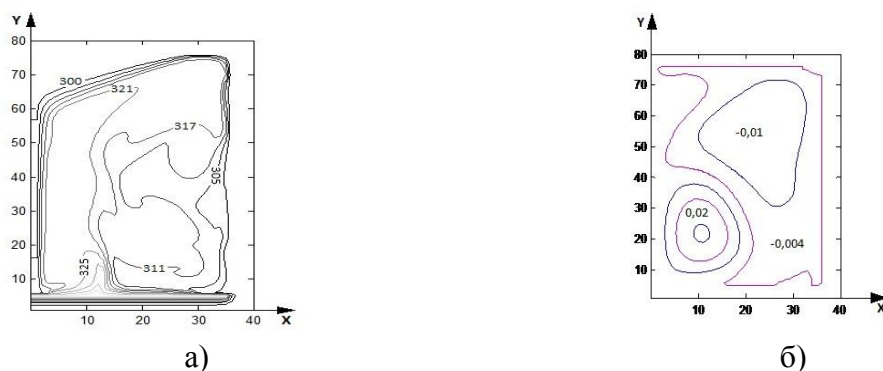


Рис.3. Распределение температур (а) и изолинии функции тока (б) при $T_0=363K$

Сформулированная выше краевая задача решена методом конечных разностей с использованием алгоритма [4,5], разработанного для численного решения нелинейных задач тепло- и массопереноса с неоднородными граничными условиями. Для обоснования достоверности результатов численного моделирования проводилась проверка консервативности использовавшейся разностной схемы по методике, разработанной при решении более сложных задач тепломассопереноса в условиях зажигания жидких топлив при локальном нагреве [6,7].

На рис. 2 – 5 представлены типичные результаты проведенных численных исследований в виде изолиний функции тока и полей температур.

На рис.2 хорошо видно образование в результате естественной конвекции нескольких вихрей в центральной части резервуара при $T_0=343K$. Такой характер вихреобразования обусловлен теплоотводом на вертикальной границе (задача решена в осесимметричной постановке). Основная масса мазута в процессе нагрева поднимается вверх вбли-

зи оси симметрии резервуара, а охлажденное (за счет теплообмена на вертикальной внешней границе области решения) топливо перемещается вниз. При этом хорошо видно, что, например, за время прогрева около 3600с температурное поле мазута не является однородным (возникают достаточно значительные градиенты температуры).

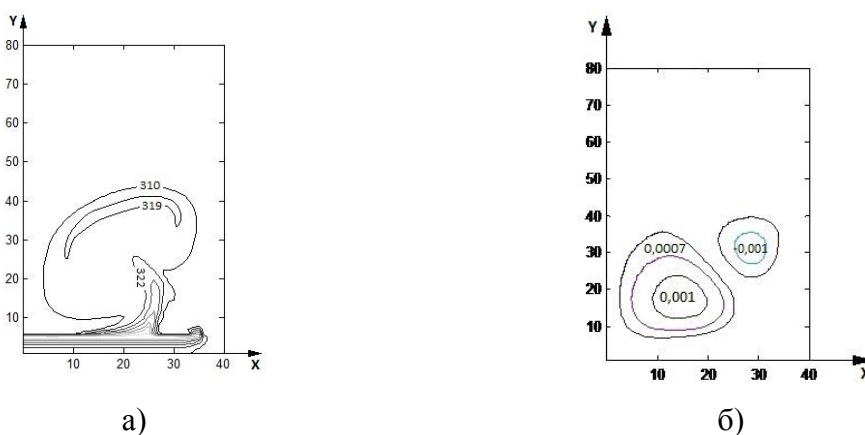


Рис.4. Распределение температур (а) и изолинии функции тока (б) при $q=200 \text{ Вт/м}^2$

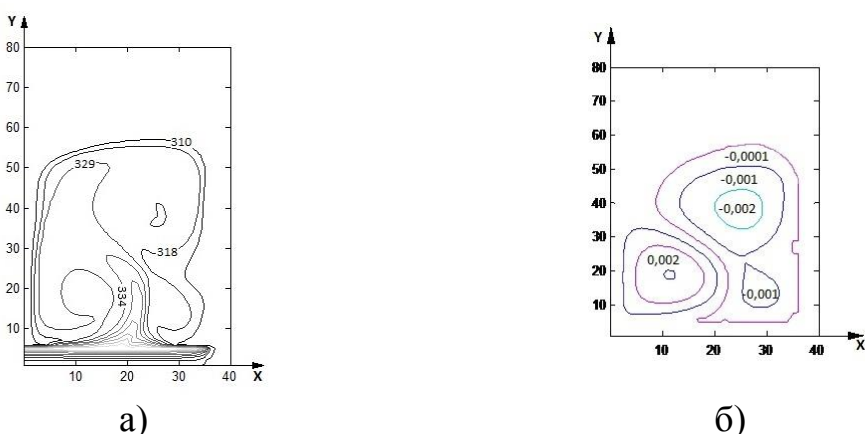


Рис.5. Распределение температур (а) и изолинии функции тока (б) при $q=500 \text{ Вт/м}^2$

Повышение температуры на нижней границе области решения до 363K при прочих адекватных условиях приводит к существенной трансформации, как изолиний функции тока, так и изотерм за счет интенсификации процесса естественной конвекции.

На рис.4. приведены аналогичные выше представленным иллюстрации для других условий теплообмена на нижней границе резервуара. Задавались граничные условия второго рода (тепловой поток $q=200 \text{ Вт/м}^2$), соответствующие возможным достаточно типичным вари-

антам нагрева мазута в хранилище. На рисунке хорошо видны два относительно одинаковых по размерам вихреобразования, расположенных в нижней части резервуара. При относительно малом тепловом потоке с поверхности нагрева происходит перемешивание топлива только в нижней половине резервуара. Энергии передаваемой мазуту недостаточно для его нагрева за время 3600с. Необходим существенно более длительный нагрев топлива.

Повышение интенсивности подвода энергии на нижней границе (рис.4.) до 500 Вт/м^2 приводит к существенному изменению как гидродинамики течения, так и температурных полей. Вихреобразование становится существенно более интенсивным, и, соответственно, мазут прогревается на большую высоту хранилища.

Также можно отметить достаточно очевидную асимметрию температурного поля (рис.5.), обусловленную теплоотводом по внешней вертикальной границе. Очевидно, что теплоизоляция внешнего контура может обеспечить существенное повышение энергоэффективности процесса подготовки мазута к перегрузке или транспорту.

Полученные по результатам численного моделирования процесса теплопереноса температурные поля в различных условиях нагрева являются основанием для вывода о возможности использования разработанных ранее моделей естественной конвекции [2-4], для анализа энергоэффективности технологий обеспечения регламентированных тепловых режимов мазутохранилищ.

Список литературы:

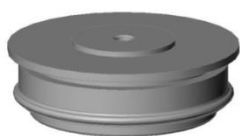
1. ТЭК и экономика регионов России. Справочник: в 7т. – М.: Энергия. 2007.
2. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Two-dimensional problem of natural convection in a rectangular domain with local heating and heat-conducting boundaries of finite thickness// Fluid Dynamics. 2006. Т. 41. № 6. С. 881-890.
3. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. New approach to the mathematical modeling of thermal regimes for electronic equipment// Russian Microelectronics. 2008. Т. 37. № 2. С. 131-138.
4. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Mathematical modelling of complex heat transfer in a rectangular enclosure// Thermophysics and Aeromechanics. 2009. Т. 16. № 1. С. 119-128.
5. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single "hot" particle// Journal of Engineering Thermophysics. 2008. Т. 17. № 3. С. 244-252.
6. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. 3D problem of heat and mass transfer at the ignition of a combustible liquid by a heated metal particle// Journal of Engineering Thermophysics. 2009. Т. 18. № 1. С. 72-79.

7. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle-liquid fuel interface on the ignition characteristics// Journal of Engineering Thermophysics. 2009. T. 18. № 2. С. 162-167.

УДК 681.2

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ДИОДА ТИПА Д123-500 В ТАБЛЕТОЧНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Курмангалиев Р.Х., Кравченко Е.В., к.т.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: rinat_real@rambler.ru , kevatp@tpu.ru



*Рис.1 Низкочастотный
диод типа Д123-500 в
таблеточном исполнении*

Диод Д123-500 таблеточного исполнения предназначен для применения в цепях постоянного и переменного тока частотой до 500 Гц различных силовых установок.

Основные особенности:

1. Герметичные металлокерамические корпуса;
2. Прижимные внутренние контактные соединения, обеспечивающие высокую стойкость к циклическим нагрузкам;
3. Диоды поставляются прямой и обратной полярности.

Модель низкочастотного диода типа Д123-500 представлена на рис.1.

Области применения:

1. В транспортных средствах;
2. Неуправляемые и полуправляемые выпрямительные мосты;
3. Сварка;
4. Гальваника.

Цель настоящей работы – анализ интенсивностей отказов силового полупроводникового прибора (СПП) на основе численного моделирования нестационарных неоднородных полей температур при наличии источника тепловыделения в условиях естественной конвекции в диапазоне рабочих температур окружающей среды.

Анализ теплового режима работы прибора

Анализ теплового режима низкочастотного диода Д123-500 проводился в одномерной постановке. Температура перехода принималась $T_{пер}=190^{\circ}\text{C}$. Геометрия области решения представлена на рис.2.