

несферической капли додекана ( $T=400$  К,  $T_{\text{газ}}=700$  К,  $P_{\text{газ}}=30$  МПа,  $d=0,01$  мм) представлены на рис. 1. Подробные выкладки по учету несферичности капель жидкостей на тепло- и массообменные процессы представлены в [2]. В расчетах принимались следующие допущения: капля покоится, ( $Re$  принимается равным 0); топливо аппроксимируется додеканом; нет учета конвекции внутри капли. Получены значения эксцентриситета несферических капель додекана с течением времени. Установлены зависимости температур на границах полуосей несферических капель, длин полуосей и объема капли додекана от времени. Сформулированы рекомендации по учету несферичности капель жидкостей при проведении высокопроизводительных расчетов. Сделан вывод, что несферичность капель жидкостей оказывает несущественное влияние на результаты расчетов процессов тепломассопереноса для капель с начальными эксцентриситетами  $2/3 \leq \varepsilon \leq 1,5$ .

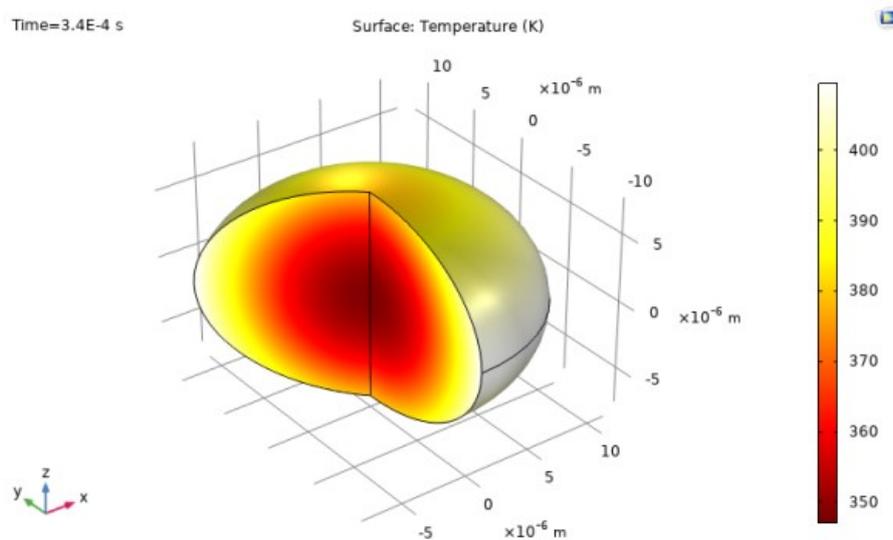


Рис. 1. Типичные температурные поля испаряющейся несферической капли додекана ( $T=400$  К,  $T_{\text{газ}}=700$  К,  $P_{\text{газ}}=30$  МПа,  $d=0,01$  мм)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sazhin S. S., Al Qubeissi M., Nasiri R., Gun'ko V. M., Elwardany A. E., Lemoine. A multi-dimensional quasi-discrete model for the analysis of Diesel fuel droplet heating and evaporation //Fuel. – 2014. – Т. 129. – С. 238-266.
2. Zubkov V. S., Cossali G. E., Tonini S., Rybdylova O., Crua C., Heikal M., & Sazhin S. S. Mathematical modelling of heating and evaporation of a spheroidal droplet //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2017. – Т. 108. – С. 2181-2190.

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА СТЕКЛА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

С.И. Сизов, С.Н. Ливенцов, Е.В. Ефремов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [sis17@tpu.ru](mailto:sis17@tpu.ru)

Объектом исследования является печь индукционной плавки стекла.

Цель работы – обеспечение возможности проведения вычислительных экспериментов для исследования процесса индукционного нагрева.

Область применения: индукционный нагрев различных материалов.

Данная работа заключается в составлении математической модели процесса индукционного нагрева стекла и её последующей программной реализации. Особенностью работы является численное решение системы уравнений

в числе прочих, включающих в себя уравнение Навье-Стокса. Стекло, являясь неньютоновской жидкостью накладывает ряд ограничений на процесс моделирования, поэтому существует не так много работ [1], связанных с моделированием поведения этого материала.

Моделирование процесса индукционного нагрева происходило с использованием следующих допущений: расплавленное стекло – несжимаемая жидкость. Данное допущение упрощает уравнения гидродинамики до таких, в которых изменение плотности линейно зависит от изменения температуры и учитывается только при массовых силах [2]. Стенки тигля неподвижны, поэтому скорость у стенок может быть принята равной нулю [3]. Температура стенок тигля принята постоянной [4]. Предположение о осесимметричности не было принято, так как в [5] показано, что отсутствие симметрии возможно при большой мощности индуктора для индукционной печи схожей конструкции. Также предполагается, что стекло является ньютоновской жидкостью для упрощения расчетов скорости конвективного движения.

В результате исследования была получена двумерная модель индукционного нагрева стекла, позволяющая определить поля температур и скоростей в зависимости от параметров индуктора и начальной температуры расплава.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gopalakrishnan S., Thess A. A simplified mathematical model of glass melt convection in a cold crucible induction melter // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2012. – 60. – P. 142–152
2. Слѣзкин, Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. – М. : Техничко-теоретической литературы, 1955. – 521 с. – Текст : непосредственный
3. Thermoconvective flow of molten glass heated by direct induction in a cold crucible / E. Sauvage, A. Gagnoud, Y. Fautrelle, P. Brun, J. Lacombe // *Magnetohydrodynamics*. – 2009. – Vol. 45 – p. 535-542. – Текст : непосредственный
4. Немков, В. С. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. / В. Б. Демидович – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 280 с. – Текст : непосредственный
5. Choudhary M. K. A three dimensional mathematical model for flow and heat transfer in electrical glass furnaces // *IEEE Transactions on Industry Applications*. – 1986. – Vol. 22. – p. 912-921 – Текст : непосредственный

### ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ РАСХОДА ЖИДКИХ СРЕД ПО ПЕРЕПАДУ ДАВЛЕНИЯ

А.М. Емельянов, И.С. Надеждин, А.Г. Горюнов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [ame8@tpu.ru](mailto:ame8@tpu.ru)

В современной отечественной и зарубежной атомной и тепловой энергетике нашли широкое применение измерительные системы жидких сред, базирующиеся на измерении перепада давления на сужающих устройствах. При этом, для обработки сигналов этих систем используют алгоритмы с корнеизвлекающими функциями, которые, как правило, установлены в датчиках и программно-технических комплексах заводами-изготовителями. Применение таких универсальных корнеизвлекающих функций не позволяет учитывать всех характеристик измерительных каналов, что приводит к возникновению существенной погрешности измерений в начале шкалы. Учитывая то, что на сегодняшний день предъявляются повышенные требования к автоматизации производств атомной и тепловой энергетике и количество технологических защит и блокировок увеличивается, указанная проблема имеет особое значение в аспекте промышленной безопасности. Это отмечается как отечественными, так и зарубежными исследователями [1].

В настоящее время, в связи с развитием техники и технологий, стало возможным применение цифровой обработки измерительных сигналов. Это позволит на качественно новом уровне осуществлять промышленные измерения и с многократно меньшей погрешностью [2].