

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ В ПЛАСТИНЧАТОМ МЕДНОМ ЭЛЕМЕНТЕ С ДИФфуЗИОННЫМ СЛОЕМ

**И.В. ПЛЕТЕНЕВ**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Приведен перечень современных программных продуктов позволяющих проводить имитационное моделирование распределения тепловых полей в различных элементах технологического оборудования. На примере пластинчатого медного элемента с диффузионным защитным слоем, с помощью моделирования в программе Elcut, показаны особенности теплоотвода при различных теплофизических характеристиках слоя. Отмечено, что процесс моделирования позволяет ускорять процесс проектирования теплоотводящих элементов, у которых присутствует защитный слой, дополняет полноту восприятия работы элемента и иллюстрирует сам процесс теплоотвода.*

Моделирование в общем виде представляет собой процесс исследования свойств и поведения объекта посредством изучения другого объекта (модели), построенной, например, в нематериальном, электронном виде для более удобного исследования. Различают две принципиально различающиеся группы подходов к моделированию – физическое моделирование и математическое. Математическая модель – это совокупность математических объектов, отражающих важнейшие для исследователя свойства технического объекта, процесса или системы.

Математическое моделирование температурных полей в теплоотводящих элементах, как частный случай, важная научно практическая задача позволяющая оценить эффективность работы конструктивно сложных элементов технологического оборудования, которые функционально используются для отвода тепла.

Отметим, что проведение в рамках математической модели теплофизических расчетов предполагает знание законов тепломассообмена. Кроме этого, необходимо знание основных теплофизических характеристик материала, как правило, при конструировании теплоотводящих элементов оборудования речь идет о меди. Медь – эффективный проводник тепла, широко используется в различных теплоотводящих устройствах, которые применяются в металлургической, химической промышленности, в энергетике. Однако эти устройства способны разрушаться под действием множества факторов, в некоторых случаях с катастрофической скоростью, поэтому часто применяют различного рода покрытия, в том числе диффузионного типа, способствующие долговременной их защите.

В работе [1] отмечено, что теплопроводность защитного диффузионного слоя, значительно ниже исходной теплопроводности меди, которая со-

ставляет  $401 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  при температуре  $300 \text{ К}$  [2], кроме того уточняется, что характеризовать слой выгоднее интегральным коэффициентом его теплопроводности, который определяет конкретное фазовое строение и толщину. Для того чтобы установить показатель теплопроводности требуются исследовательские, поисковые работы, справочных данных по таким слоям нет.

В настоящее время множество программных продуктов способны производить моделирование двумерных тепловых задач, в частности Ansys multiphysics (США), Matlab (США), ThermNet (США), Jmag Designer (Япония), Elcut (Россия), Femm (Англия-Германия), Cedrat flux (Франция) и др. Часть из них хорошо справляются и с трехмерным тепловым полем. Основные отличия программ в возможности и скорости построителя сетки, времени расчета, объема базы материалов, интерфейса и др.

Для анализа имитационной модели с диффузионным слоем были построены варианты нагрева пластинчатого медного элемента в программе Elcut (рисунок 1) [3]. Диффузионный слой, имеющий различный интегральный коэффициент теплопроводности –  $32 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$  (рисунок 1, б) и  $8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  (рисунок 1, в), несмотря на небольшую толщину, резко изменяет картину распределения температур.

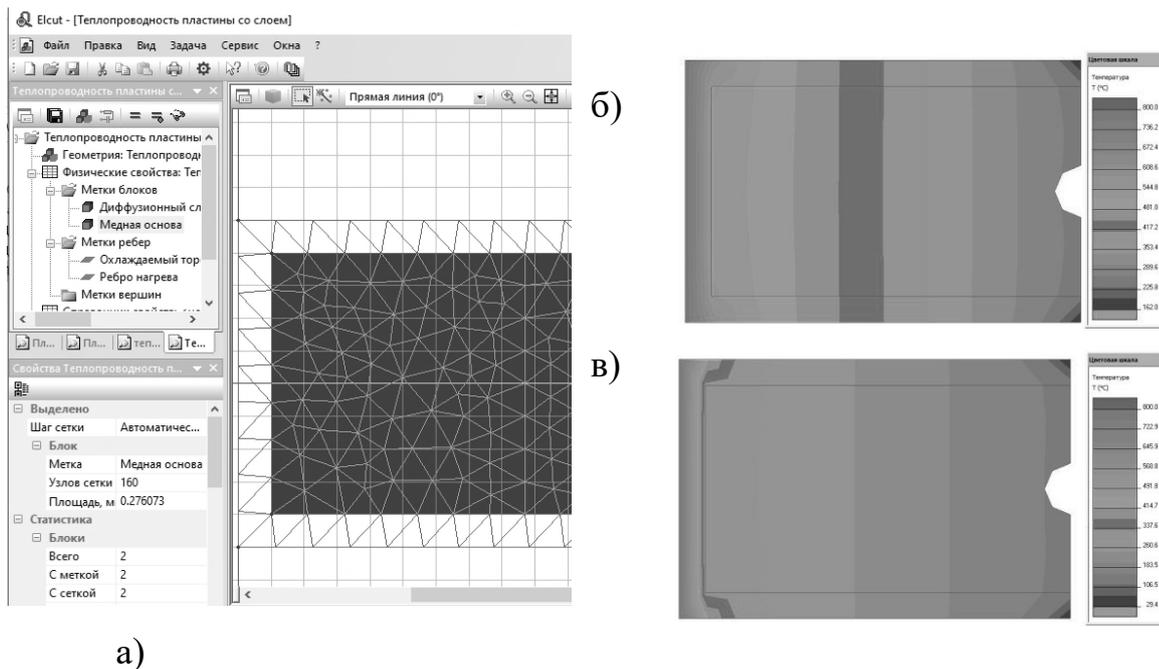


Рисунок 1. – Создание имитационной модели в программе Elcut (а) и результаты анализа распределения тепловых полей для пластинчатого элемента с диффузионным слоем (б, в)

Визуализация этапа нагрева позволяет оценить эффективность теплоотвода при различных ее условиях, конструктивных особенностях самой пластины, диффузионного слоя и его теплофизических характеристик. По изображениям можно провести предварительную оценку эффективности теплоотвода изделий различного конструктивного исполнения: размеров, формы, расположения поверхностей теплоотвода, а также, что очень важно, толщины диффузионного слоя.

Решаемая двумерная тепловая задача в среде программирования Elcut позволяет моделировать картину тепловых полей при их дискретизации, что соответственно ускоряет процесс проектирования теплоотводящих элементов, у которых присутствует защитный слой, в частности диффузионного типа, дополняет полноту восприятия работы элемента и иллюстрирует сам процесс теплоотвода. В результате такое моделирование позволяет частично или полностью избежать дорогостоящих и длительных натурных испытаний.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Плетенев, И. В. Анализ теплофизических свойств жаростойких термодиффузионных слоев на меди / И. В. Плетенев, В. Г. Дашкевич // *Металлургия : республиканский межведомственный сборник научных трудов* / редкол.: И. А. Иванов (гл. ред) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – Вып. 42. – С. 249-257.
2. Лариков, Л. Н. Тепловые свойства металлов и сплавов. Справочник / Л.Н. Лариков, Ю.Ф. Юрченко . – Киев: Наукова думка, 1985. – 439 с.
3. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. СПб.: ПК ТОР, 2009. – 339с.