

температур в системе, закон движения фронта кристаллизации и изменение толщины жидкокристаллической области, образующейся у фронта кристаллизации.

Проведение такого математического моделирования процесса литья с направленной кристаллизацией позволит сформировать теоретическую методику оценки зерна структуры отливки и сформулировать основные требования к теплофизическим параметрам процесса с целью обеспечения стабильности и однородности структуры отливки, т.к. именно условия формирования кристаллического тела отливки в процессе ее затвердевания определяют эксплуатационные свойства ответственных деталей авиационного двигателя. Ресурс рабочих лопаток степени зависит от технологии изготовления отливок. Поэтому представляется актуальным построение аналитической математической модели кристаллизации

Литература.

1. Крымов В.В., Елисеев Ю.С., Зудин К.И. Производство газотурбинных двигателей / Под ред. В.В. Крымова. М.: Машиностроение / Машиностроение – Полёт, 2002. 376 с.
2. Няшина Н.Д. Математическая модель дендритной кристаллизации металлического расплава. Дисс., Пермский гос. техн. ун-т – Пермь, 2000. – 184 с.
3. N. Saunders, M. Fahrman and C.J. Small. The Application of CALPHAD Calculations to Ni-based Superalloys // Proc. Superalloys-2000. eds. K.A. Green, T.M. Pollock and R.D. Kissinger (TMS, Warrendale, 2000), 803.
4. Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes / M. Rappaz, M. Ozgu, K. Mahin (eds) (TMS Publ., Warrendale, PA, 1991), 836.
5. Смирнов А.Н. Куберский С.В., Подкорытов А.Л., Ухин В.Е., Кравченко А.В., Оробцев А.Ю. и др. Непрерывная разливка сортовой заготовки: Монография. – Донецк: Цифровая типография, 2012. – 417 с.
6. С.-А. Gandin, J.-L.Desbiolles, M. Rappaz, M. Swierkosz, Ph. Thevoz. 3D Modelling of Grain Structure Formation during Solidification // Supercomputing Rev. 8 (1996), 11-15.
7. Y.-T. Kim, N. Provatas, N. Goldenfeld, J. Dantzig. Universal dynamics of phase-field models for dendritic growth // Physical Review E, 1999, vol. 59. no. 3, 2546-2549.
8. Тарабаев Л.П., Есин В.О. Формирование дендритной структуры при направленной кристаллизации тройных сплавов // Металлы. 2001, № 4. С. 39-45.
9. Смирнов А.Н., Макуров С.Л., Сафонов В.М., Цупрун А.Ю. Крупный слиток. Монография. Донецкий национ. технич. унив-т. – Донецк, 2009. – 278 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

*Н.И. Мейерова, студент гр. В17300*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(384-51) 6-426-83*

Охрана окружающей среды от загрязнений становится одной из наиболее актуальных проблем науки и техники. Для проведения эффективных природоохранных мероприятий необходим качественный контроль за состоянием выбросов в окружающую среду от всех источников загрязнения. Сложность в оперативном и точном определении количества выбросов в атмосферу состоит в учете влияющих факторов, таких как диффузия и перенос примесей, устойчивость атмосферы (температура, давление, скорость, направление и размах вихрей ветра, интенсивность турбулентности). Массовая доля выбросов в мире, приходящаяся на транспорт, с каждым годом возрастает [1]. Поэтому в качестве источника загрязнения рассмотрим автотранспорт.

В качестве источника выбросов рассмотрим легковой автомобиль, находящийся в движении. Для описания процесса рассеивания газообразных продуктов выброса используется модель нестационарного переноса [1]. Так как наибольшую долю среди токсичных веществ занимает оксид углерода, то его концентрация и будет определяться.

При составлении математической модели используем следующие основные уравнения: уравнения газовой диффузии, уравнение переноса и распространения примесей и уравнение движения. Считая автомобиль точечным источником выброса в определенные моменты времени, поместим трехмерную декартову систему координат непосредственно в источник выбросов. При этом ось OZ

– вдоль дороги, ось  $OX$  – определяет ширину дороги и ось  $OY$  – перпендикулярно осям  $OZ$  и  $OX$  соответственно.

Рассмотрим поведение выхлопа в плоскости  $XZ$ , без учета сложных погодных условий (рисунок 1). Также обозначим на рисунке 1 все влияющие величины, которые будут учтены в математической модели.

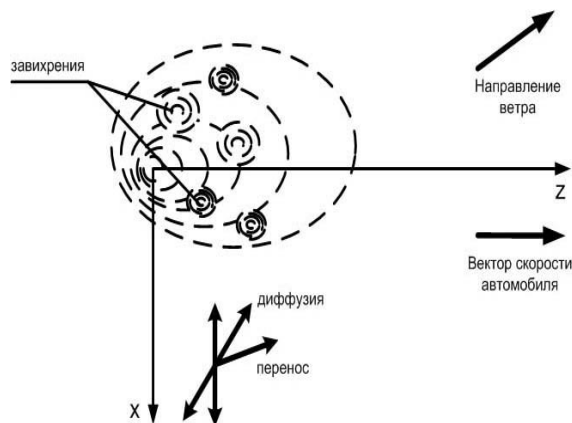


Рис. 1. Поведения выхлопа в атмосфере

Концентрация оксида углерода в районе выброса будет описываться следующим уравнением:

$$C_{CO}(x, y, z, t, V_a, V_b) = C_{\text{фонаглоб}}(x, y, z, t) + C_{\text{фоналокальн}}(x, y, z, t) + C_{\text{авто}}(x, y, z, t, V_a, V_b),$$

где  $C_{CO}(x, y, z, t, V_a, V_b)$  – суммарная концентрация оксида углерода в районе выброса;

$C_{\text{фонаглоб}}(x, y, z, t)$  – глобальная фоновая концентрация;

$C_{\text{фоналокальн}}(x, y, z, t)$  – локальная фоновая концентрация, которая характерна данной местности;

$C_{\text{авто}}(x, y, z, t, V_a, V_b)$  – концентрация, вносимая отработанными газами автотранспорта.

Глобальная и фоновая концентрации имеют среднестатистическое значение для определенной местности, участка трассы и погодных условий и определяется экспериментально либо на основе статистических данных.

Концентрация, вносимая отработанными газами автомобиля, содержит постоянную и турбулентную составляющие. При этом постоянная составляющая характеризует основную концентрацию  $CO$  в выбросах автомобиля и является функцией от пространственных координат  $(x, y, z)$ , максимальной концентрации оксида углерода, времени  $(t)$ , скорости автомобиля и ветра  $(V_a, V_b)$ , направление

ветра, высота расположения источника выбросов. Турбулентная составляющая, характеризующая газовую диффузию в турбулентном потоке автомобильного выхлопа, является функцией от координат  $(x, y, z)$ , времени  $(t)$  и скорости автомобиля  $(V_a)$ .

Решение данного уравнения покажем в виде графика распределения концентрации оксида углерода по оси  $X$  при  $t = 0,02$  с,  $Z = 0,05$  м, и разрезами по  $Y$  ( $Y = Y_0$ ;  $Y = Y_0 + 0,08$ ;  $Y = Y_0 + 0,16$ ;  $Y = Y_0 + 0,24$ ). Где  $Y_0 = 0,25$  м – типовое расположение выхлопной трубы,  $V_a = 15$  км/ч,  $V_b = 0$  м/с, при этом фоновая и локальная концентрация не учитывались. Для удобного отображения графики смещены друг относительно друга на единицу (рис. 2).

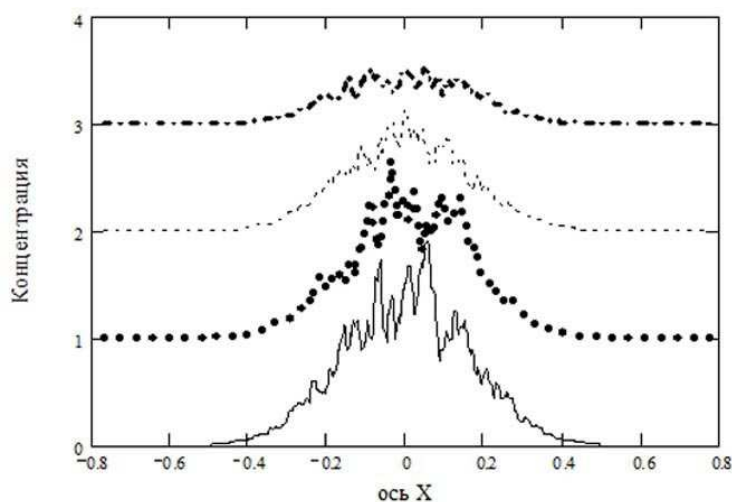


Рис. 2. Распределение концентрации оксида углерода по оси  $X$  при  $t = 0,02$  с,  $Z = 0,05$  м ( $Y = Y_0$  м – сплошная линия,  $Y = (Y_0 + 0,08)$  м – точечная линия,  $Y = (Y_0 + 0,16)$  м – пунктирная линия,  $Y = (Y_0 + 0,24)$  м – штрихпунктирная линия)

Разработанная математическая модель позволяет определить с высокой вероятностью распределение концентрации примесей в газовом пространстве с учетом большинства влияющих величин. При определенных допущениях, а именно: скорость движения автомобиля положить равным нулю – математическая модель может быть адаптирована для определения краткосрочных выбросов ядовитых веществ от стационарных источников выбросов.

Литература.

1. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды/ Марчук Г. И. – М.: Наука, 1982. – 320 с

### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Н.В. Николаева, магистрант, А.В. Рогожкин, магистрант, Р.А. Вдовин, инженер*

*Самарский государственный аэрокосмический университет*

*443086, г. Самара, Московское шоссе, 34*

*E-mail: nikolaeva-nv@list.ru*

Сложность и высокая стоимость объектов и изделий современного развивающегося авиационного и машиностроительного комплекса делает обязательным применение этапа виртуального моделирования на всех циклах технологического производства.

Компьютерный анализ литейных процессов на этапе виртуального проектирования технологии литья (до изготовления отливок) позволяет минимизировать возможные просчеты и ошибки, неизбежно возникающие в процессе разработки, снизить финансовые и временные затраты, повысить эффективность, конкурентоспособность, качество и надёжность разрабатываемой продукции. Происходит экономия материалов, энергоносителей, рабочего времени, бережётся оборудование, а взамен получается масса уникальной информации о технологическом процессе. Только компьютерное моделирование технологии позволяет «заглянуть» внутрь изделия, увидеть характер протекающих в нем процессов, понять причины возникновения дефектов.

Внедрение компьютерных технологий позволяет повысить эффективность операций создания и обработки информации, происходит переход от бумажного документооборота к электронному.

При внедрении компьютерных технологий снижаются расходы, уменьшается трудоемкость проектирования и освоения производства новых сложных изделий. На 30...40 % уменьшаются расходы на подготовку технологической документации. Более чем на 35 % сокращаются сроки выпуска новых сложных изделий.

Применение компьютерных технологий в литейном производстве в значительной степени связано с обработкой, поступающей от САД-систем конструкторских подразделений информации о создаваемом изделии в виде электронных моделей деталей. Информация о технологических процессах, применяемых в литейном производстве, поступает в виде математических моделей, создаваемых в результате деятельности САЕ-систем. Виртуальное литейное производство созданное на базе современной САЕ-системы ProCast не только моделирует затвердевание отливки (тепловая задача), но и позволяет прогнозировать макро и микроструктуру отливки, а также создает информационную картину электронной модели отливки. По созданной электронной модели отливки, с использованием технологии быстрого прототипирования (аддитивных технологий), может быть быстро получена достаточно точная материальная модель, необходимая для изготовления отливки в литейном производстве [1].

Ключевым звеном виртуального производства литых заготовок служит программное обеспечение моделирования процесса затвердевания отливки и формирования макро и микроструктуры. Выбор программного обеспечения зависит от применяемых процессов литья и номенклатуры выпускаемой продукции.

Для литья деталей аэрокосмического назначения, деталей с тонкими стенками, тонкими ребрами, щелевыми каналами сложной формы, например, лопаток газотурбинного двигателя (ГТД), преимуществом обладает метод конечных элементов (FEM), позволяющий более точно передать геометрию отливки, который используется в программном продукте ProCAST.

Этапы моделирования включают в себя подготовку геометрии (3D-модель литейного блока и 3D-сетку), определение теплофизических свойств материалов, задание граничных условий (воспроизведение реального технологического процесса).