

к сравнению было выявлено, что в худшем случае (когда на каждой позиции матрицы сигнала, где возможно совпадение с эталоном, приходится проводить сравнения по всем элементам эталона, и количество возможных позиций максимально) число операций сравнения, затрачиваемых в обоих методах поиска, совпадает.

Для оценки в среднем было случайным образом сгенерировано 100 сигналов и эталонов различных размерностей, и к каждой паре «сигнал–эталон» были применены как полный перебор, так и БМ-поиск. При этом подсчитывалось число операций сравнения элементов матриц, затрачиваемое в каждом из алгоритмов. В результате оказалось, что эффективность метода поиска подматрицы, использующего алгоритм Боуэра-Мура [6], примерно на 35 % выше по сравнению с алгоритмом полного перебора. Следовательно, проведенная оптимизация поиска привела к положительному результату.

Список литературы

1. Янников, И. М. Экологический полигон как база оперативного биомониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия / И. М. Янников, Н. В. Козловская // Вестник Министерства по делам ГО и ЧС Удмуртской Республики. – 2007. – № 4. – С. 37–38.
2. Алексеев, В. А. Алгоритмы обеспечения биомониторинга вокруг химически опасных объектов / В. А. Алексеев, Н. В. Козловская, И. М. Янников // Приборостроение в 21 веке. Интеграция науки и производства : сб. тр. науч.-техн. конф. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2007. – С. 537–543.
3. Харкевич, А. А. О принципах построения читающих машин // Теория информации. Опознавание образов. – Т. 3. – М. : Наука, 1973. – С. 468–477.
4. Мазур, М. Качественная теория информации. – М. : Мир, 1974. – 237 с.
5. Алексеев, В. А. Относительное описание результатов биомониторинга потенциально опасных объектов / В. А. Алексеев, Н. В. Козловская, И. М. Янников // Приборостроение в 21 веке. Интеграция науки и производства : сб. тр. науч.-техн. конф. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2007.
6. Кнут, Д. Искусство программирования для ЭВМ. В 3 т. Т. 3. Сортировка и поиск. – М. : Мир, 1978. – 844 с.

УДК 536.46:621.45

А. В. Алиев, доктор физико-математических наук, профессор
С. В. Суворов, младший научный сотрудник
Ижевский государственный технический университет
В. И. Сарабьев, доктор технических наук, профессор
В. И. Бабин, ведущий конструктор
ФГУП «НИИ прикладной химии», г. Сергиев Посад

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ КОНТАКТЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЧАСТИЦЫ С ТВЕРДЫМ ТОПЛИВОМ

Рассматривается прогрев твердого топлива (порох «Н»), контактирующего с горячей частицей оксида алюминия или магния. Установлено, что определяющим фактором, влияющим на время воспламенения топлива, является температура частицы. Установлено влияние на процесс прогрева топлива теплофизических свойств, размеров и структуры конденсированных частиц.

Влияние конденсированных частиц (К-частиц), образующихся в результате сгорания воспламенительного состава (ВС), на процесс прогрева твердого топлива (ТТ) рассматривается, например, в [1–3]. В перечисленных работах формулируются следующие основные выводы:

- вклад кондуктивной составляющей в общий тепловой поток может превосходить 50 %;
- при значительной массовой и объемной доле металлов в ВС требуется рассматривать неоднородные модели течения двухфазной среды;
- К-частицы следует рассматривать в виде многофракционной модели, что обусловлено соударением К-частиц как между собой, так и со стенками камеры сгорания.

В [1] приводится общий вид функциональной зависимости плотности теплового потока при контактной теплоотдаче от К-частицы к поверхности заряда твердого топлива:

$$q = q(n, \gamma(m), \Delta T_{kc}, S_{kc}, a_{kc}, a),$$

где n – количество К-частиц, осевших на поверхности заряда; $\gamma(m)$ – плотность распределения массы частиц по поверхности заряда; ΔT_{kc} – разница температуры между К-частицей и поверхностью заряда; S_{kc} – площадь контакта К-частицы с зарядом; a_{kc} – температуропроводность К-частицы; a – температуропроводность топлива.

Из физической постановки рассматриваемой задачи следует, что при моделировании кондуктивного подвода тепла к заряду твердого топлива следует решать две задачи: моделирование взаимодействия двухфазной среды с зарядом твердого топлива и моделирование процесса теплопередачи между К-частицей и твердым топливом.

Применение в воспламенительных составах металлов (алюминий, магний) требует изучения влияния частиц оксидов этих металлов на прогрев и воспламенение твердого топлива. Сведения о решении этих задач ограничены. Предложенная в [3] математическая модель и сделанные в ней допущения позволили выявить основные закономерности зажигания твердого топлива углеродистой частицей, нагретой до высокой температуры. Однако специфика, накладываемая теплофизическими свойствами оксидов металлов, требует изменения ряда допущений для математической модели нестационарной теплопроводности:

- диапазон начальных температур частиц составляет $T_{k0} = 700 \dots 2000$ К, что требует учитывать влияние температуры на теплофизические свойства (коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость) оксидов металлов;
- в соответствии с данными, приведенными в [4], оксиды металлов, образуемые при сгорании твердых топлив, имеют сферическую форму, однако для упрощения расчетной области в работе сфера заменяется цилиндром, диаметр которого равен диаметру пятна контакта частицы с поверхностью заряда, а высота равна диаметру самой частицы; на рис. 1 изображены участки твердого топлива 2, на которые «села» частица оксида металла 1 или металлическая частица 3, покрытая оксидной пленкой.

Следствием сделанных допущений является возможность использовать математическую модель, начальные и граничные условия, приведенные в [3].

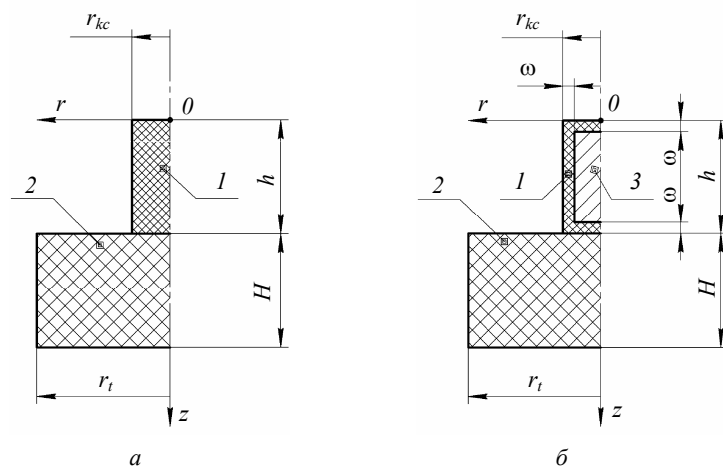


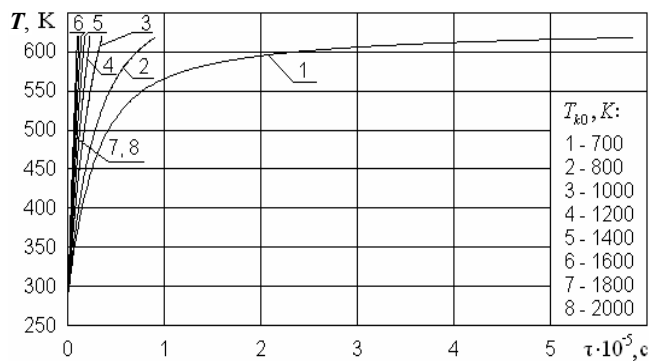
Рис. 1. Расчетная схема:

a – частица оксида; *б* – частица металла, покрытого оксидной пленкой

Зададимся следующими геометрическими параметрами системы К-частицы и твердого топлива: $r_{kc} = 5 \cdot 10^{-6}$ м; $h = 4 \cdot 10^{-5}$ м; $r_t = 10^{-4}$ м; $H = 10^{-4}$ м. Вся расчетная область разбивается на равномерные элементарные объемы размером $\Delta r = \Delta z = 10^{-6}$ м. Шаг по времени $\Delta \tau = 10^{-8}$ с. Теплофизические свойства оксидов алюминия и магния соответствуют [5]. Твердым топливом является порошок «Н» [6].

Для численного моделирования процесса теплопроводности используется метод контрольных объемов [7, 8], позволяющий обеспечить устойчивое и сходящееся численное решение даже при сильном различии теплофизических свойств между оксидами металлов и твердым топливом.

Результаты расчетов представлены графически на рис. 2–6. Основным выводом выполненных расчетов является то, что даже при температуре частицы 700 К воспламенение твердого топлива в зоне контакта происходит на порядки быстрее, чем при конвективном подводе тепла к заряду, а начальная температура К-частицы является основным фактором, влияющим на скорость и глубину прогрева заряда твердого топлива. Аналогичный результат получен в [3].

Рис. 2. Прогрев поверхности твердого топлива у оси симметрии частицы Al_2O_3

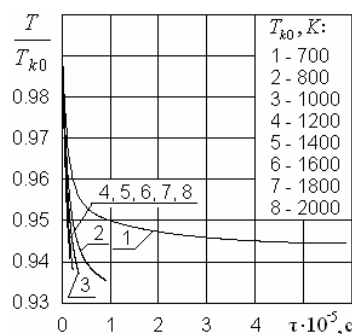


Рис. 3. Изменение с течением времени относительной температуры частицы Al_2O_3 у оси симметрии в зоне контакта частицы и ТТ

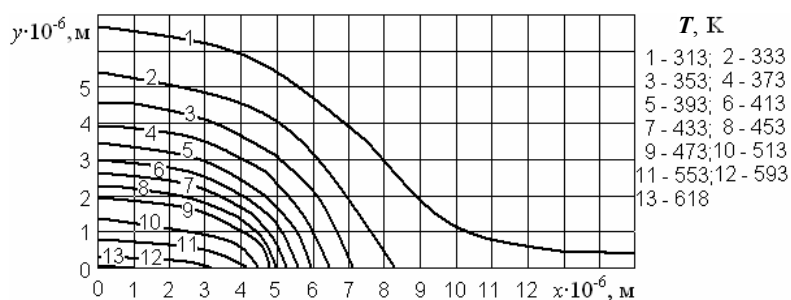


Рис. 4. Температурное поле в заряде, прогреваемом частицей Al_2O_3 при $T_{k0} = 700$ К

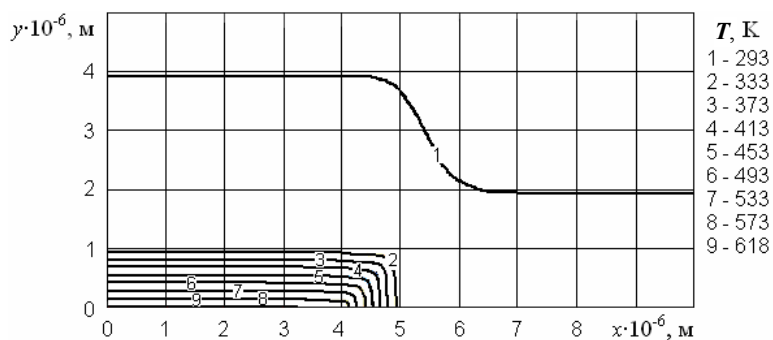


Рис. 5. Температурное поле в твердом топливе, прогреваемом частицей Al_2O_3 при $T_{k0} = 2000$ К

В [3] отмечается, что температура углеродистой частицы падает на 2 % при начальной температуре 600 К и на 14 % при температуре 900 К. Результаты расчетов для обоих видов оксидов показали, что падение температуры будет составлять 5...7 % во всем диапазоне температур. Объясняется это тем, что температуропроводность оксидов на порядок выше температуропроводности углеродистой частицы, и это обеспечивает быстрый подвод тепла из глубины частицы к зоне контакта частицы и твердого топлива. Как следствие, К-частица остывает равномернее и на меньшую величину.

Температуропроводность оксида магния MgO в 1,3 раза выше температуропроводности оксида алюминия Al_2O_3 , что позволяет частице MgO при малых температурах быстрее воспламенять твердое топливо. При температурах более 1600 К воспламенение обоими оксидами происходит за одинаковое время (рис. 6). Причина состоит в том, что запас тепла на поверхности частицы оказывается достаточным для воспламенения топлива и, как следствие, влияние на процесс прогрева температуропроводности малосущественно.

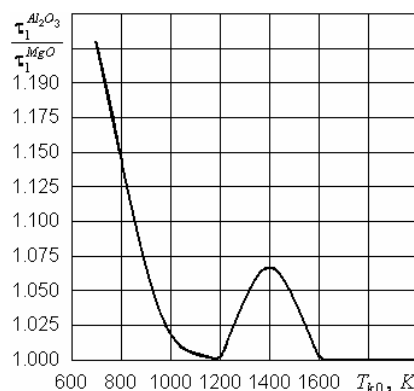


Рис. 6. Отношение времени зажигания твердого топлива частицей Al_2O_3 ($\tau_1^{Al_2O_3}$) к времени зажигания частицей MgO (τ_1^{MgO}) как функция начальной температуры T_{k0}

В работе [3] проводится анализ влияния радиуса углеродистой частицы на время воспламенения твердого топлива. Выбор радиуса частицы как основного критерия размеров частицы нельзя считать удачным. Более адекватным параметром представляется отношение высоты частицы h к радиусу частицы r_{kc} . Из рис. 7 следует, что увеличение размеров частицы ведет к сокращению времени воспламенения твердого топлива. Общим выводом является то, что на процесс прогрева влияет масса частицы, осевшей на твердом топливе.

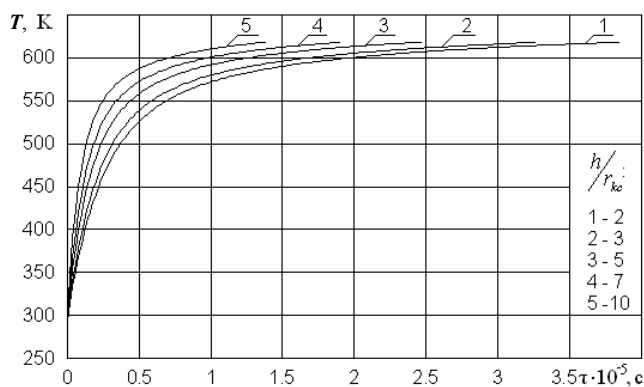


Рис. 7. Температура на поверхности ТТ с течением времени при различных значениях $\frac{h}{r_{kc}}$ для частицы Al_2O_3

В случае если К-частица не успела сгореть полностью, она представляет собой металл, покрытый оксидной пленкой. Теплофизические свойства металла и оксида сильно отличаются, что неизбежно влияет на прогрев топлива такой частицей. В расчетах исследуемым металлом принимался алюминий.

Геометрические параметры расчетной схемы (см. рис. 1, а): $r_2 = 10 \cdot 10^{-6}$ м; $h = 30 \cdot 10^{-6}$ м; $r_1 = 100 \cdot 10^{-6}$ м; $H = 100 \cdot 10^{-6}$ м. Задавались следующие параметры толщины оксидной пленки: $h/\omega = 10; 7,5; 6; 5$. Вся расчетная область разбивалась на равномерные элементарные объемы размером $\Delta r = \Delta z = 10^{-6}$ м. Шаг по времени принимался $\Delta t = 2 \cdot 10^{-9}$ с.

Результаты расчетов представлены на рис. 8. Кривая 5 соответствует прогреву твердого топлива, когда К-частица полностью состоит из оксида алюминия. Неполностью сгоревшие частицы металла обеспечивают тем более быстрое воспламенение твердого топлива, чем меньше толщина оксидной пленки, их покрывающая.

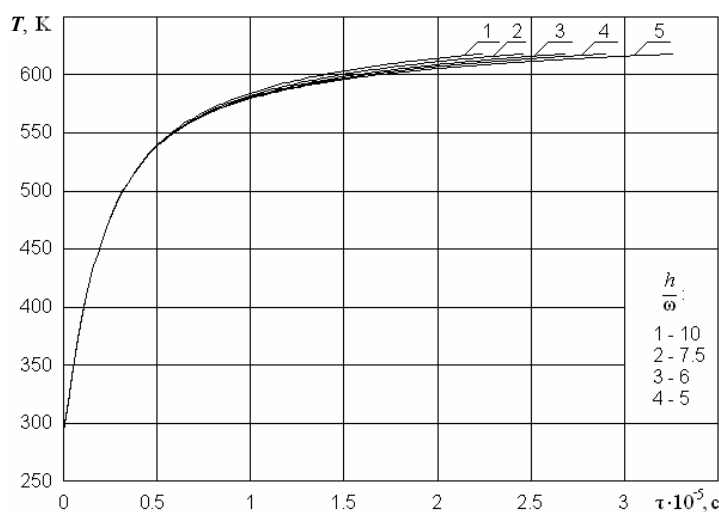


Рис. 8. Температура на поверхности ТТ с течением времени при различной толщине оксидной пленки

Проведенные расчеты подтверждают известный факт о том, что кондуктивная теплопередача существенно превосходит конвективный теплоперенос (время воспламенения твердого топлива высокотемпературной частицей значительно меньше, чем время воспламенения при конвективном подводе тепла). Приведенные в работе результаты показывают возможность применения разработанной методики для решения задач о прогреве твердого топлива при наличии в продуктах сгорания воспламенительного состава большого количества К-частиц.

Список литературы

1. Ерохин, Б. Т. Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ : учебник для высш. техн. учеб. завед. – М. : Машиностроение. 1991. – 560 с.
2. Липанов, А. М. Численный эксперимент в теории РДТТ / А. М. Липанов, В. П. Бобрышев, А. В. Алиев, Ф. Ф. Спиридонов, В. Д. Лисица ; под ред. А. М. Липанова. – Екатеринбург : Наука, 1994.

3. Кузнецов, Г. В. Численное моделирование зажигания конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей / Г. В. Кузнецов, Г. Я. Мамонтов, Г. В. Таратушкина // ФГВ. – 2004. – № 1. – С. 78–85.
4. Кунаков, Г. А. Характеристики продуктов сгорания металлосодержащих топлив / Г. А. Кунаков, А. З. Чулков // Ракетные топлива. – М. : Мир, 1975. – С. 74–96.
5. Теплофизические свойства веществ : справочник / под ред. проф. Н. Б. Варгафтика. – М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1956. – 367 с.
6. Вилунов, В. Н. Теория зажигания конденсированных веществ. – Новосибирск : Наука, 1984.
7. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
8. Самарский, А. А. Введение в теорию разностных схем. – М. : Наука, 1971. – 552 с.

УДК 658.011.56

Н. В. Береснев, аспирант

*А. И. Коршунов, доктор технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет*

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ НЕЭФФЕКТИВНЫХ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Приводится описание методики выявления неэффективных конструкторско-технологических решений, используемых при производстве изделий на предприятиях машиностроительной отрасли. Методика основана на использовании показателя конструктивно-технологической сложности машиностроительного изделия.

В сложившихся экономических условиях одной из важнейших задач, стоящих перед машиностроительными предприятиями, является повышение эффективности производственной деятельности. Одним из путей повышения экономической эффективности производственной деятельности является снижение внутренних производственных затрат. Поскольку обеспечить снижение затрат на материалы и комплектующие достаточно трудно, следует обратить внимание на возможность снижения затрат путем организации выпуска изделий, изготовление которых будет рационально и эффективно в рамках конкретной производственной системы, в соответствии со сложившимся организационно-техническим уровнем. Для этого следует провести анализ номенклатуры предприятия с целью выявления представителей производственной номенклатуры, трудоемкость изготовления которых значительно превышает расчетные значения, вычисленные путем нормирования технологических процессов их изготовления.

С целью формализации процедуры анализа разработана методика, которая позволяет выявить недостаточно эффективные конструкторско-технологические решения путем сравнения производственного времени изготовления деталей и расчетного (прогнозируемого) времени, полученного на основании оценки конструкторско-технологической сложности (КТС) машиностроительного изделия [1].