

УДК 504.3.054:629

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

А.Е. Долотов, Г.В. Кузнецов, Т.Н. Немова*

Томский политехнический университет

E-mail: dol67@mail.ru

*Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: elf@tpu.ru

Смоделирован процесс испарения под действием конвекции и излучения от Солнца несимметричного диметилгидразина при движении его капель к поверхности Земли после разгерметизации топливных баков ракет-носителей на высотах до 40 км. Показано, что только капли с характерным размером до 16 мм могут достигать Земли.

Ключевые слова:

Процесс испарения, конвекция, несимметричный диметилгидразин.

Введение

Для оценки фазового состояния несимметричного диметилгидразина (НДМГ) поступающего к поверхности Земли из отделяющихся первых ступеней жидкостных ракет-носителей [1, 2] предложены математические модели теплового состояния [3] и испарения [4] капель НДМГ при их движении под действием силы тяжести в приземной атмосфере. Сформулированные ранее [3, 4] подходы не учитывали ряд значимых факторов (солнечное излучение и специфику процесса испарения НДМГ). Так, в [4] анализ процесса испарения капель НДМГ в атмосфере Земли проводился в предположении о зависимости скорости испарения этого вещества только от величины теплового потока в зону испарения.

Целью данной работы является дальнейшее развитие модели [4] и численное моделирование процесса испарения НДМГ с более полным учетом особенностей процесса теплопереноса на поверхности движущейся в приземных слоях атмосферы капли.

Постановка задачи

Математическая модель исследуемого процесса представляла собой систему уравнений [4] с соответствующими краевыми и начальными условиями для уравнения теплопроводности и уравнения движения капли. Модель [4] была дополнена выражением для скорости испарения [5]:

$$w_{исп} = A(p_{sN} - p_B) \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}},$$

где p_{sN} – равновесное давление НДМГ при температуре поверхности капли, p_B – эквивалентное давление пара при температуре поверхности, M – молярная масса НДМГ, R – универсальная газовая постоянная, A – коэффициент аккомодации, T – температура.

Граничные условия на поверхности капли были дополнены слагаемыми, учитывающими солнечное излучение:

$$r = R_{II},$$

$$\alpha(T_B - T) - w_{исп} \theta_{исп} + S - \varepsilon\sigma[T^4 - T_B^4] = \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r},$$

где R_{II} – внешний радиус капли; α – коэффициент теплоотдачи; T_B – температура воздуха; $w_{исп}$, $\theta_{исп}$ – скорость и теплота испарения НДМГ, S – плотность потока солнечного излучения, ε – степень черноты, σ – постоянная Стефана-Больцмана, $\lambda(T)$ – теплопроводность НДМГ.

Задача в такой постановке решена методом конечных разностей [5].

Результаты и их обсуждение

Исходные данные по состоянию атмосферы и НДМГ соответствуют [6, 7].

Численный анализ проведен для капель НДМГ в форме сферы диаметром 1 и 2 мм. Типичные результаты численных исследований приведены на рис. 1–4 в виде зависимостей радиуса капли, скорости испарения, скорости движения капли и температуры поверхности жидкости от времени.

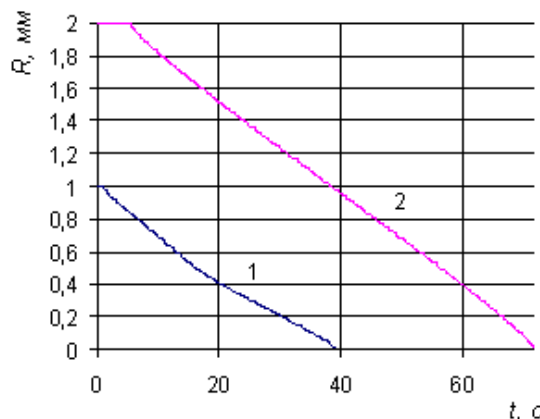


Рис. 1. Зависимость радиусов капель НДМГ от времени при начальных радиусах, мм: 1) 1; 2) 2

Хорошо видно, что переход к численному анализу на базе более полной модели, учитывающей ре-

альные особенности исследуемого процесса, приводят к существенному уточнению полученных ранее результатов [4]. Так, время существования капли НДМГ в воздушной атмосфере на больших высотах составляет около 30 с для капли диаметром 1 мм и менее 72 с для капли диаметром 2 мм. За это время капли успевают пролететь до высоты 39,3 км для капли меньших размеров и 37,5 км для капли диаметром 2 мм. Можно сделать вывод, что капли НДМГ типичных размеров испаряются задолго до попадания в нижние слои атмосферы. Предельный размер капли, которая может достигнуть поверхности Земли, составляет 16 мм. Т. е. высказанное еще в [3] предположение о том, что НДМГ может в парообразном состоянии распространяться на многие сотни км от места разделения первых ступеней ракет-носителей, подтверждается результатами выполненных теоретических исследований.

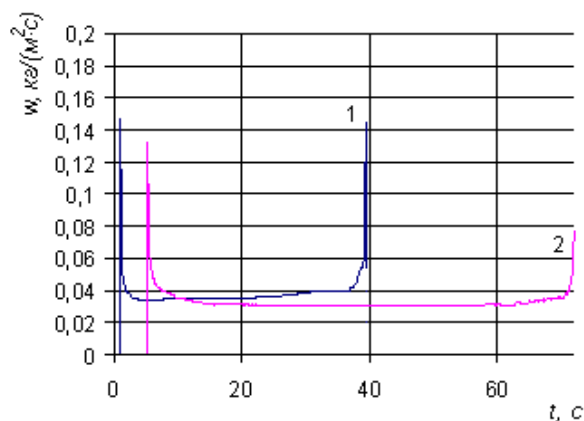


Рис. 2. Зависимость скоростей испарения капель от времени при начальных радиусах капель, мм: 1) 1; 2) 2

Также следует отметить, что движение капель очень крупных размеров в атмосфере Земли до ее поверхности представляется крайне маловероятным потому, что большие массы жидкости при движении со скоростями 40...50 м/с должны дробиться на мелкие. Последние же испаряются достаточно быстро.

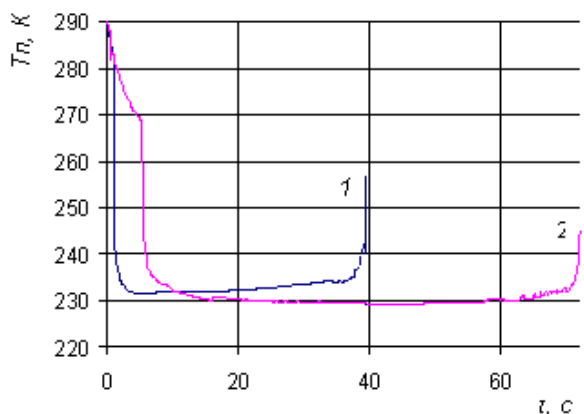


Рис. 3. Зависимость температур поверхностей капель от времени при начальных радиусах капель, мм: 1) 1; 2) 2

Можно отметить и показанную на рис. 2, 3 зависимость скорости испарения НДМГ от температуры его поверхности. На больших высотах температура

НДМГ незначительно отличается от температуры, поддерживаемой в баках жидкостных ракет. По мере движения капли в разряженных слоях атмосферы происходит ее охлаждение за счет теплообмена с окружающей средой, температура поверхности падает и соответственно снижается скорость испарения. Полученные зависимости в определенной степени отражают и изменение условий теплообмена за счет изменения скорости движения капель.

Величина скоростей движения капель u меняется так, как показано на рис. 4 за счет влияния группы факторов, основными из которых являются коэффициент сопротивления и плотность воздуха.

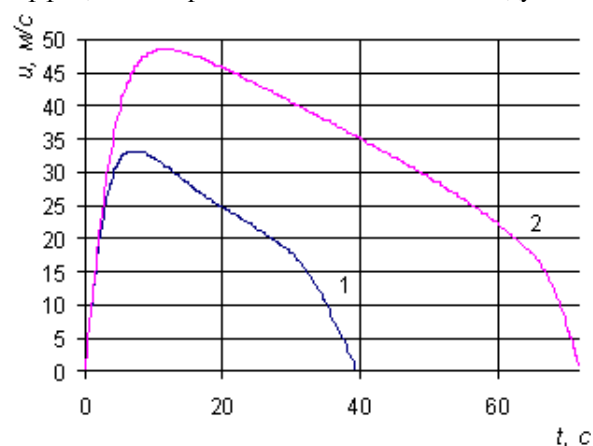


Рис. 4. Зависимость скоростей движения капель от времени при начальных радиусах капель, мм: 1) 1; 2) 2

На основании полученных результатов можно сделать заключение о том, что попадание НДМГ на поверхность Земли после отделения первых ступеней ракет-носителей возможно, только если несимметричный диметилгидразин остается в баках, которые движутся до поверхности Земли не разрушаясь в атмосфере. В этом случае вероятность антропогенного воздействия НДМГ на фитоценозы достаточно высока. Но для обоснованного вывода о такой схеме попадания НДМГ на поверхность Земли следует решить задачу тепломассопереноса для массы НДМГ, оставшегося в баках после разделения.

Заключение

Смоделирован процесс испарения под действием конвекции и излучения от Солнца несимметричного диметилгидразина при движении его капель к поверхности Земли после разгерметизации топливных баков ракет-носителей на высотах до 40 км. На основании результатов численного анализа показано, что капли с характерным размером свыше 16 мм могут достигать поверхности Земли. Отсюда следует, что если НДМГ выбрасывается из баков отделившихся первых ступеней, то его испарение завершается на больших высотах. В дальнейшем возможен перенос парообразного НДМГ на большие расстояния от места отделения первых ступеней ракет-носителей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта №06-08-00873-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую среду: Справочное пособие / Под ред. В.В. Алдушина, С.И. Козлова, А.В. Петрова. – М.: АНКИЛ, 2000. – 600 с.
2. Архипов В.А., Березиков А.П., Козлов Е.А. и др. Моделирование техногенных загрязнений при отделении ступеней ракет-носителей // Известия вузов. Физика. – 2005. – № 11. – С. 5–9.
3. Немова Т.Н., Кузнецов Г.В., Мамонтов Т.Я., Бульба Е.Е. Численное моделирование состояния капель диметилгидразина при движении из верхних слоев атмосферы к поверхности Земли // Известия вузов. Физика. – 2006. – № 6. – С. 112–115.
4. Долотов А.Е., Кузнецов Г.В., Немова Т.Н. Численное моделирование процесса испарения капель несимметричного диметилгидразина в атмосфере Земли // Известия вузов. Физика. – 2007. – № 4. – С. 46–49.
5. Хирс Д., Паунд Г. Испарение и конденсация. – М.: Металлургия, 1966. – 196 с.
6. ГОСТ 24631-81. Государственный стандарт СССР. Атмосферы справочные. Параметры. Государственный комитет СССР по стандартам. Москва.
7. Большаков Г.Ф. Химия и технология компонентов жидкого топлива. – Л.: Химия, 1983. – 320 с., ил.

Поступила 15.10.2008 г.

УДК 536.468

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ МАЗУТА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕГРУЗКИ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТА НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

А.В. Захаревич, Г.В. Кузнецов, В.И. Максимов, В.Ф. Панин, Д.С. Равдин

Томский политехнический университет
E-mail: elf@tpu.ru

Экспериментально установлена возможность зажигания мазута одиночной нагретой до высоких температур (1473 К) металлической частицей, определены зависимости времени задержки зажигания от начальной температуры частицы. Показано влияние структуры частиц (монолитные и пористые) на закономерности процесса зажигания мазута.

Ключевые слова:

Пожарная опасность, время задержки зажигания, металлическая частица, жидкое топливо.

Введение

Вещества или материалы, свойства которых каким-либо образом благоприятствуют возникновению или развитию пожара, относят к пожароопасным [1].

Разработка эффективных пожаро-профилактических мероприятий в теплоэнергетике и успешное тушение возникающих на тепловых электрических станциях пожаров в решающей степени зависят от правильности и полноты оценки пожарной опасности веществ, используемых в том или ином производстве. При оценке пожарной опасности всех веществ определяют их способность воспламеняться.

Одним из широко применяющихся на тепловых электрических станциях (ТЭС) топлив является мазут, свойства которого и эксплуатационные характеристики в ряде случаев достаточно нестабильны. Нестабильность проявляется в мазутопроводах и особенно в мазутохранилищах, как способность мазута постепенно образовывать на стенках смолистые и коксообразные отложения, трудно поддающиеся удалению. Свой вклад в нестабильность мазута вносит коагуляция асфальтосмолистых веществ, обусловленная тем, что мазут перекачивают и хранят на ТЭС в подогретом состоянии.

Характерными для теплоэнергетики являются процессы ремонта, повторяющиеся достаточно регулярно в связи со специфическими условиями работы основного и вспомогательного оборудования [2, 3]. Проведение ремонтных работ обычно сопровождается процессами резки и сварки металлов. Образующиеся при этом частицы металлов являются вероятными источниками зажигания мазута при его транспорте, хранении и перегрузке. До настоящего времени оценки пожарной опасности мазута в условиях проведения ремонтных работ в цехах ТЭС не проводилось.

Целью работы является экспериментальное исследование закономерностей зажигания мазута одиночными нагретыми до высоких температур частицами металлов.

Основной характеристикой процесса зажигания веществ является время задержки зажигания τ_{ind} . Поэтому функцией цели [4] в проведенных экспериментах было выбрано τ_{ind} . Основными факторами, определяющими величину τ_{ind} на основании анализа результатов теоретических исследований [5], можно считать значение начальной температуры частицы и её размеры. Основной проблемой является то, что частицы (часто капли) являются неправильными многогранниками или несимме-