

$$\tilde{\chi}_3(u_1, u_2) = r^2 - (a + x_2')^2 - (b + y_2')^2,$$

$$\tilde{\chi}_4(u_1, u_2) = r^2 - (a - x_2')^2 - (b + y_2')^2.$$

## Выводы

*Новизна.* Впервые построен полный класс Ф-функций с поворотами для объектов, имеющих пространственную форму круга и прямоугольника.

*Научные и практические результаты.* Построенные Ф-функции позволяют строить математические модели оптимизационных задач геометрического проектирования, в которых объекты могут не только транслироваться, но и поворачиваться. Эти математические модели могут быть использованы при решении задач раскроя материалов и в задачах покрытий. Применение Ф-функций для решения задач этого класса позволяет получать лучшие результаты в более короткий промежуток времени.

**Литература:** 1. *Lody A., Martello S., Vigo D.* Recent advances on two-dimensional bin packing problems // *Discrete applied mathematics*. 2002. № 123. P. 379-396. 2. *Dyckhoff H., Scheithauer G., Terno J.* Cutting and Packing // In *Annotated Bibliographies in Combinatorial Optimization*. Chichester. 1997. P. 393-412. 3. *Karen D., Rajasekhar I.* An Incremental

Algorithm for Translational Polygon Covering // *Computer Science Technical Report*. University of Massachusetts at Lowell. 2001. № 2001-1. 31 p. 4. *Milencovich V.* Rotational polygon overlap minimization and compaction // *Computational Geometry*. 1998. № 10. P. 305-318. 5. *Stoyan Y., Terno J., Scheithauer G., Gil N., Romanova T.* Ф-functions for primary 2D-objects. // *Preprint MATH-NM-15-2001*, Technical University of Dresden, 2001. 6. *Stoyan Y., Gil M., Terno J., Scheithauer G.* Ф-function for complex 2D objects // *4OR Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies*. 2004. Т 2. № 1. P. 69 - 84. 7. *Стоян Ю. Г., Яковлев С.В.* Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. К.: Наук. думка, 1986. 268 с. 8. *Александрян Р.А., Мирзаханян Э.А.* Общая топология. М.: Высшая школа, 1979. 336 с. 9. *Стоян Ю. Г.* Phi-function of non-convex polygons with rotations // *Проблемы машиностроения*, В. 6, No 1. 2003. P. 74-86.

Поступила в редколлегию 17.03.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук Гиль Н.И.

**Злотник Михаил Викторович**, младший научный сотрудник отдела математического моделирования и оптимального проектирования Института проблем машиностроения НАНУ им. А.Н. Подгорного. Адрес: Украина, 61046, Харьков, ул. Дм. Пожарского, 2/10, тел. раб. (0572) 95-95-36, дом. тел.: 711-98-76.

УДК621.3

## ОЦЕНКА ПУЛЬСАЦИЙ ПЛАМЕНИ ПРИ ГОРЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

*АБРАМОВ Ю.А., БАСМАНОВ А.Е.*

Предлагается стохастический подход к описанию факела пожара и расчету теплового излучения от него. Строится процедура экспериментального определения корреляционной функции пульсаций пламени.

### 1. Постановка проблемы

Планирование действий пожарных подразделений при ликвидации пожара в резервуарном парке существенно осложняется угрозой дальнейшего его распространения. Нагрев соседних резервуаров может привести к их воспламенению или взрыву. Существующие математические модели основываются на детерминированном подходе, в то время как пожар и пути его развития зависят от ряда случайных факторов.

В работе [1] построена математическая модель нагрева резервуара с нефтепродуктом от факела пожара. При этом предполагается, что форма и температура пламени не меняются во времени. Однако простейшие наблюдения указывают на турбулентный характер пламени. Оно постоянно меняется и не имеет какой-то определенной формы. Случайные порывы ветра также вносят дополнительные искажения. В [2] предполагается, что тепловой поток от факела описывается стационарным случайным процессом с заданной корреляционной функцией. При этом удастся учесть некоторые случайности, но вопрос о виде и параметрах корреляционной функции остается открытым.

*Цель исследования* – разработать методику оценивания корреляционной функции, описывающей случайные пульсации пламени.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач: 1) построение выборочной корреляционной функции; 2) оценка вида и параметров корреляционной функции.

### 2. Математическая модель

Наличие пульсаций пламени приводит к случайному изменению площади взаимного облучения [1] между факелом и нагреваемым телом. Следовательно, случайным образом изменяется и тепловой поток от факела.

В силу турбулентного характера пламени, аналитическое описание его поверхности и вычисление площадей взаимного облучения являются практически невозможными. Вместо этого ограничимся рассмотрением площади поперечного сечения факела.

Пусть эта площадь описывается стационарным случайным процессом  $\xi(t)$  с математическим ожиданием  $\bar{\xi}$  и корреляционной функцией  $K_{\xi}(\tau)$ . По имеющейся реализации  $x(t)$  случайного процесса на отрезке времени  $[0, T]$  легко найти выборочное среднее  $\bar{x}$  и построить оценку корреляционной функции [3]:

$$\hat{K}(\tau) = \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} [x(t) - \bar{x}][x(t+\tau) - \bar{x}] dt. \quad (1)$$

Если наблюдения за процессом проводились в дискретные моменты времени  $0, \Delta t, \dots, n\Delta t$ , то соотношение (1) примет вид:

$$\hat{K}(m\Delta t) = \frac{1}{n-m} \sum_{j=0}^{n-m} [x(j\Delta t) - \bar{x}][x(j+m)\Delta t - \bar{x}]. \quad (2)$$

Сложность представляет именно получение реализации  $x(t)$ . Практически единственным способом ее получения является видеосъемка факела. Далее необходимо для каждого кадра видеозаписи определить видимую площадь факела. Это позволит нам получить площадь поперечного сечения в последовательные моменты времени. Поскольку на одну секунду приходится 25 кадров, то возникает необходимость в автоматизации процедуры определения площади.

Для определения площади достаточно подсчитать количество точек на изображении, принадлежащих пламени. В качестве критерия принадлежности точки к пламени возьмем ее цвет.

Цвет каждой точки может быть представлен тройкой чисел  $c = (r, g, b)$ , каждая компонента которого является целым числом от 0 до 255 и соответствует интенсивности красного ( $r$ ), зеленого ( $g$ ) и синего ( $b$ ) цветов. Поскольку цвет пламени близок к красному, то можно утверждать, что если  $c_1 = (r_1, g_1, b_1)$  имеет цвет пламени и  $r_2 \geq r_1$ ,  $g_2 \leq g_1$ ,  $b_2 \leq b_1$ , то  $c_2 = (r_2, g_2, b_2)$  также имеет цвет пламени. На множестве векторов  $\Omega$  введем отношение порядка " $<$ ". Будем обозначать, что  $(r_1, g_1, b_1) < (r_2, g_2, b_2)$ , если  $r_1 \leq r_2$ ,  $g_1 \geq g_2$ ,  $b_1 \geq b_2$ . Легко видеть, что такое отношение является транзитивным.

Задача сводится к тому, чтобы разбить множество  $\Omega$  на два непересекающихся подмножества  $\Omega_r$  и  $\Omega_{gb}$  такие, что если цвет  $c = (r, g, b)$  некоторой точки  $A$  принадлежит множеству  $\Omega_r$ , то мы считаем, что точка  $A$  принадлежит пламени. Если же  $c \in \Omega_{gb}$ , то точка  $A$  не относится к пламени.

Тогда алгоритм подсчета количества точек, относящихся к пламени, может быть представлен следующим образом.

1. Задаемся множествами  $\Omega_r$  и  $\Omega_{gb}$ . Если априорная информация об этих множествах отсутствует, то полагаем  $\Omega_r = \Omega_{gb} = \emptyset$ .
2. Пусть рассматриваемая точка  $A_k$  имеет цвет  $c_k$ .
3. Если существует такое  $c^r \in \Omega_r$ , что  $c^r < c_k$ , то точка  $A_k$  принадлежит пламени.
4. Если существует такое  $c^{bg} \in \Omega_{gb}$ , что  $c_k < c^{bg}$ , то точка не принадлежит пламени.
5. Если не выполнены пункты 3-4, то эксперт (человек) определяет, к какому множеству отнести данный цвет.
6. Рассматриваем следующую точку  $A_{k+1}$  и переходим к пункту 2.

На первых порах такой алгоритм будет запрашивать нас об отнесении цвета к тому или иному множеству,

но с пополнением исходными данными он уже будет работать без нашего участия.

Приведенный алгоритм будет правильно работать, если на рисунке нет других объектов, по цвету похожих на пламя (например, пожарных автомобилей). Если же такие есть, то необходимо вырезать их из рисунка, а затем применять алгоритм.

После того как идентифицированы все точки, принадлежащие пламени, остается перейти от их количества к площади поперечного сечения факела. Это легко сделать, если в кадре содержится объект, линейные размеры которого известны: резервуар, автомобиль и др.

Для исследования вероятностных характеристик факела были использованы наблюдения за горением мазута в резервуаре диаметром 6 м. На рис. 1 приведен фрагмент изменения площади поперечного сечения факела с течением времени.

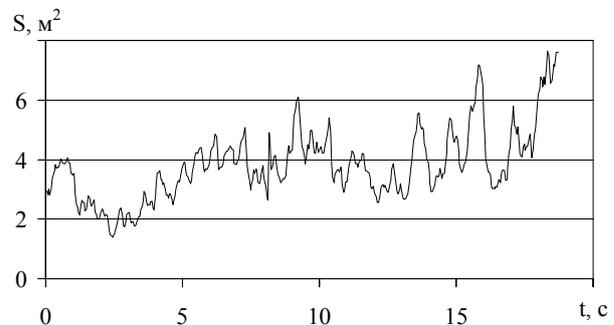


Рис. 1. Пульсации площади поперечного сечения факела

Случайные изменения площади поперечного сечения факела (см.рис. 1) иллюстрируют случайность процессов горения и отсутствие у факела конкретной геометрической формы.

Полученная реализация  $x(t)$  площадей поперечного сечения позволяет воспользоваться формулой (2) для оценки корреляционной функции  $K_\xi(\tau)$  (рис. 2).

Полученная экспериментальная кривая может быть аппроксимирована функцией вида  $K_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|}$ . Из других корреляционных функций отметим также  $\sigma^2 e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau$ ,  $\sigma^2 e^{-\alpha\tau^2}$ ,  $\sigma^2 e^{-\alpha\tau^2} \cos \beta\tau$ . Мы используем именно функцию первого вида, так как наличие множителя  $\cos \beta\tau$  с физической точки зрения означает наличие периодических колебаний в системе, а в случае с пламенем таковых нет. Основное отличие между функциями  $\sigma^2 e^{-\alpha|\tau|}$  и  $\sigma^2 e^{-\alpha\tau^2}$  состоит в недифференцируемости первой в точке  $\tau = 0$  (а следовательно, и недифференцируемости самого случайного процесса  $\xi(t)$ ) и дифференцируемости второй из них. Поскольку дифференцируемость процесса для нас несущественна, то используем более простую функцию  $K_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|}$ .

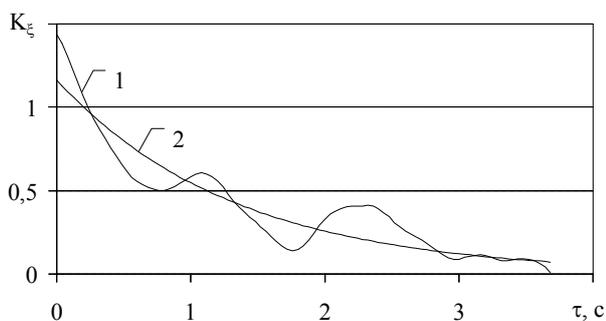


Рис. 2. Корреляционная функция случайного процесса  $\xi(t)$ : 1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимация

$$\hat{K}_\xi(\tau) = 2,15e^{-0,24|\tau|}$$

Параметры  $\sigma^2$  и  $\alpha$  аппроксимирующей функции подберем так, чтобы минимизировать сумму квадратов ее отклонений от экспериментальных точек:

$$L = \sum_i (y_i - \sigma^2 e^{-\alpha|\tau_i|})^2 \rightarrow \min_{\sigma^2, \alpha} \quad (2)$$

Решение задачи (2) не удастся найти аналитически ввиду наличия неизвестного параметра в показателе степени. Но ее решение может быть получено численными методами, например, методом наискорейшего спуска.

### 3. Выводы

*Научная новизна.* Впервые предложена методика оценки пульсаций пламени, основанная на оценке площади его поперечного сечения, получаемой при анализе видеоизображения факела. Данная методика сводится к подсчету количества пикселей, принадлежащих определенному цветовому диапазону.

На основе экспериментальных данных построена оценка корреляционной функции площади поперечного

сечения. Показано, что функция хорошо аппроксимируется выражением вида  $K(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|}$ .

Сравнивая полученные результаты с [2], можно сделать вывод, что пульсации пламени относятся к случайным факторам с достаточно большими временами корреляции и, следовательно, существенно влияют на нагрев соседних резервуаров.

*Практическая значимость.* Полученные результаты позволяют оценить вероятность достижения резервуаром с нефтепродуктом взрывоопасной температуры в течение заданного промежутка времени.

Перспективы дальнейших исследований связаны с переходом от детерминированной модели нагрева резервуара с нефтепродуктом к стохастической.

**Литература:** 1. *Абрамов Ю.А., Басманов А.Е.* Влияние пожара на резервуар с нефтепродуктом // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сб. научных трудов. 2005. Вып. 29. С. 131-133. 2. *Горбенко Н.А., Говаленков С.В., Басманов А.Е.* Влияние случайных факторов на воспламенение соседних резервуаров при пожаре в резервуарном парке // Проблемы пожарной безопасности. Харьков: Фолио, 2004. Вып. 15. С. 59-64. 3. *Свейшиков А.А.* Прикладные методы теории случайных функций. М.: 1968. 463 с.

Поступила в редколлегию 16.11.2005

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Алексеев О.П.

**Абрамов Юрий Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, проректор Академии гражданской защиты Украины. Научные интересы: противопожарная защита промышленных объектов. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Чернышевского, 92.

**Басманов Алексей Евгеньевич**, канд. техн. наук, докторант Академии гражданской защиты Украины. Научные интересы: математические модели чрезвычайных ситуаций. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Чернышевского, 92, тел. 707-34-77.

УДК615.89:621.372

## ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ ФРАКЦИЙ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ

*ВАСИЛЬЕВ С.Н., ГОРА Н.Н.*

Многомодовые неоднородные каналы передачи импульсов используются при измельчении фракций многокомпонентных смесей. Предлагается способ оптимального формирования таких импульсов. Модифицируется «принцип многоканальности», применяемый в теории автоматического управления. Получены рабочие формулы для вектора управлений, позволяющие реализовать на выходе канала импульсы с заданными характеристиками.

### 1. Введение и постановка задачи

Многокомпонентные жидкие смеси широко применяются в технике [1,5]. При формировании таких смесей часто используются электрические импульсы с резко выраженными крутыми фронтами – «скачка-

ми». Эти импульсы, будучи направлены в малые части занимаемого смесью объема, изменяют её свойства. Результаты таких воздействий зависят от мощностей импульсов, частоты их следования, крутизны фронтов и времени воздействия на смесь. Сформированные импульсы проходят через неоднородный многопроводный кабель от генератора к рабочему инструменту – устройству, с помощью которого импульсы поступают в обрабатываемую смесь. Кабель предполагается многомодовым. Его электрические параметры часто изменяются по длине канала вследствие воздействия внешних факторов - изменений температуры, механических и других воздействий. Наиболее часто встречающиеся типы неоднородностей приведены в работе [3]. Перечисленные факторы приводят к искажениям в передающем канале.

*Целью работы* является определение вектора  $U_0$  управления сигналом на входе канала, с тем, чтобы на выходе получить импульс с заданными характеристиками. Поставленная задача актуальна и имеет практические применения.