

Е.Ю. Бетина, преподаватель, НУГЗУ

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ КОНТУРА НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБОВ ПОДОБИЯ

(представлено д-ром техн. наук В.М. Комяк)

Рассчитаны значения основных масштабов подобия для лесных пожаров выпуклого и выпукло-вогнутого типов контуров. Исследовано влияние параметров атмосферы в зоне пожара на определение масштабов подобия.

Ключевые слова: масштабы подобия, лесной пожар, выпуклый и выпукло-вогнутый типы контуров.

Постановка проблемы. Создание математического и алгоритмического аппарата для проектирования экспериментальных воздушных судов (ЭВС), моделирующих в условиях полигона полёт натурного летательного аппарата (ЛА) в зоне лесного пожара, может быть осуществлено только при наличии полноценных данных о температуре, качественном и количественном составе газовой смеси над лесным пожаром.

К сожалению, в известной нам литературе отсутствуют подробные статистические данные о составе газовой смеси над зонами лесных пожаров различных типов, так же как и обоснованная осреднённая модель атмосферы в зоне лесного пожара.

Основным препятствием для создания такой модели является большое разнообразие лесных горючих материалов (ЛГМ). Характеристики газовой смеси над зоной пожара зависят от видового состава лесной растительности, от количества представителей того или иного вида, от влажности ЛГМ, что в свою очередь зависит от климатических и метеорологических условий конкретного района, и от многих других факторов. Отсутствие исчерпывающей информации о составе воздуха над пожарами, несомненно, обусловлено как большим разнообразием лесных пожаров, так и сложностью сбора статистических данных в естественных условиях. А с помощью экспериментальных исследований можно проследить только общие тенденции развития пожаров: зависимость скорости распространения пожара от влажности ЛГМ, от наклона подстилающей поверхности и др., так как полное физическое моделирование лесных пожаров невозможно без полного совпадения характеристик природы и модели [1].

Анализ последних достижений и публикаций. В литературе по вопросам лесной пирологии представлены описания различных

попыток исследования характеристик атмосферы в зонах лесных пожаров, как на натуральных пожарах, так и экспериментально. Наиболее полное описание процессов, происходящих в зоне пожара, представлено в работах учённых Томского государственного университета. Но так как целью их исследований является изучение возникновения и распространения лесных пожаров, а не особенности полёта ЛА в этих зонах, то ни в одной из известных нам работ не содержится полного описания состава газовой смеси над пожарами различных типов.

В статье [2] приведены результаты исследования распространения двумерного фронта верхового лесного пожара, инициируемого очагом конечных размеров. Характеристики и распределение ЛГМ осреднены по высоте полога леса. Проанализирована динамика распространения фронта пожара в зависимости от скорости ветра. Представленные в работе [2] результаты не позволяют построить номограммы для оперативного определения масштабов подобия, так как описывают характеристики газовой смеси только по высоте полога леса, но их исследование позволит определить, как и в какой степени, повышение температуры и изменение состава воздуха влияет на масштабы подобия.

На рисунках 1 и 2 изображены изотермы T/T_e со значениями уровней 1,5, 3 и 4, отсчитываемыми снаружи вовнутрь. Изотермы представлены в горизонтальной плоскости x, y , где координата x совпадает с направлением ветра, а координата y перпендикулярна ему. [2]

На рисунках представлены два существенно различающихся типа контуров лесных пожаров: выпуклый (рис. 1) и выпукло-вогнутый (рис. 2). Изотермы получены для лесного массива, расположенного на высоте 0 м над уровнем моря, давление в зоне пожара принято соответствующим СА. Контур пожара на рис. 1 соответствует скорости ветра 2 м/с, а на рис. 2 – скорости ветра 5 м/с. [2]

Существование двух различных типов контуров лесных пожаров обусловлено различным распределением окислителя и горючего газа в высокотемпературной зоне при различных скоростях ветра. На рисунках 3 и 4 приведены изолинии концентрации окислителя и горючего газа. Рисунок 3 соответствует режиму с выпуклым контуром. Видно, что перед фронтом пожара в направлении оси x образуется зона максимальных градиентов окислителя, поэтому центральная часть контура пожара опережает фланги [2].

На рисунке 4 представлены изолинии окислителя и горючего, которые соответствуют изотермам на рисунке 2. Сравнив изотермы и изолинии, приведённые на этих рисунках, легко видеть, что перед центром высокотемпературной зоны в направлении x образуется область пониженной концентрации окислителя. Она возникает за счёт

сноса ветром продуктов горения из фронта пожара и вытеснения ими окислителя. Поэтому фланги пожара распространяются быстрее центральной части фронта. [2]

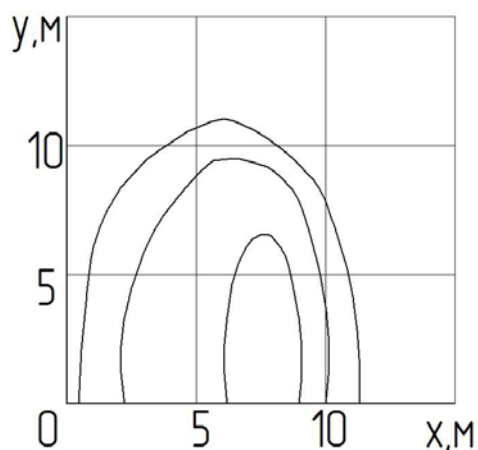


Рис. 1. Изотермы во фронте выпуклого пожара

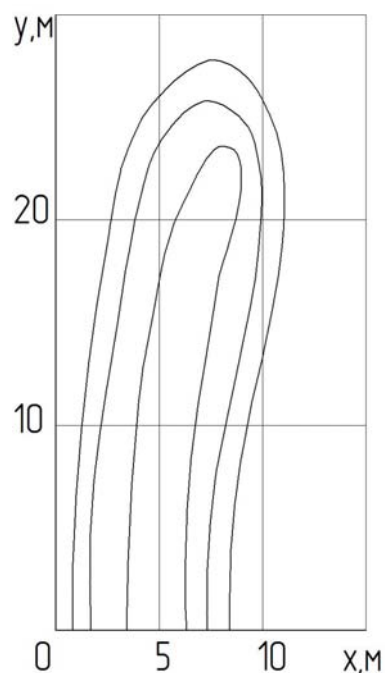


Рис. 2. Изотермы во фронте выпукло-вогнутого пожара

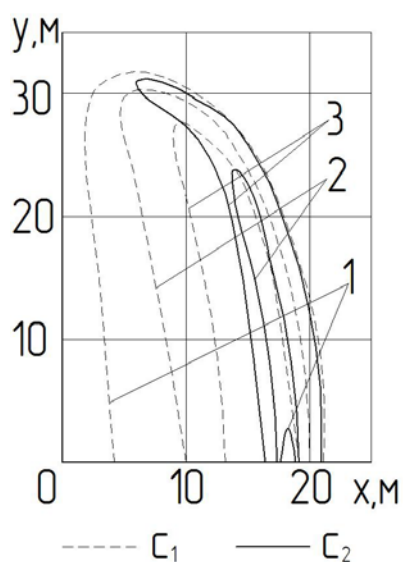


Рис. 3. Линии равных концентраций кислорода и горючего газа во фронте выпуклого пожара
1 – $c_1, c_2=0,15$; 2 – 0,1; 3 – 0,05.

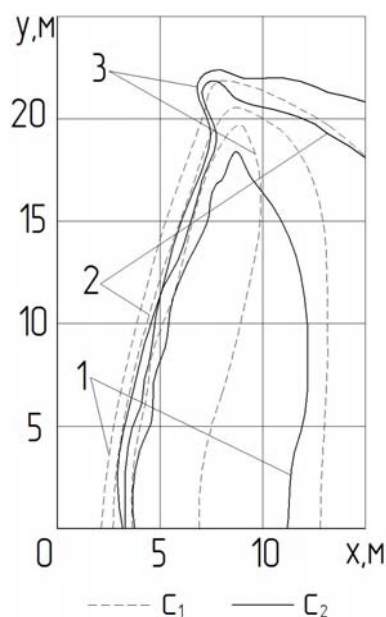


Рис. 4. Линии равных концентраций кислорода и горючего газа во фронте выпукло - вогнутого пожара
1 – $c_1, c_2=0,1$; 2 – 0,05; 3 – 0,02.

Для рассматриваемой проблемы, проблемы проектирования динамически подобных ЭВС, представляет интерес изучение влияния различных соотношений температур и концентраций элементов газовой смеси, характерных для двух типов контуров пожаров, на масштабы подобия, а также определение того, в какой части фронта (центральной или на кромках) наблюдается наибольшее отклонение значений масштабов от значений, определённых по СА.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является расчёт масштабов подобия для пожаров с выпуклым и выпукло-вогнутым типом контура; сравнение полученных результатов; определение факторов, более всего влияющих на изменение масштабов подобия.

Согласно [3] существует четыре варианта соблюдаемых критериев подобия, в зависимости от исследуемых режимов полёта.

Рассмотрим первый вариант, когда соблюдается подобие по критериям Фруда, Рейнольдса и Маха. Согласно [3], для одновременного соблюдения условий подобия по критериям Фруда, Рейнольдса и Маха необходимо, чтобы высоты подобия удовлетворяли тождеству

$$\frac{g_1 \cdot v_1}{a_1^3} = \frac{g_2 \cdot v_2}{a_2^3}, \quad (1)$$

где g - ускорение силы тяжести; v - коэффициент кинематической вязкости воздуха; a - скорость звука в набегающем потоке. Здесь и далее индекс "1" определяет отношение критерия или показателя к потоку, обтекающему натурный ЛА, а индекс "2" - к потоку, обтекающему ЭВС.

В условиях стандартной атмосферы зависимость величины $\frac{g \cdot v}{a^3}$ от высоты имеет вид, представленный на рисунке 5.

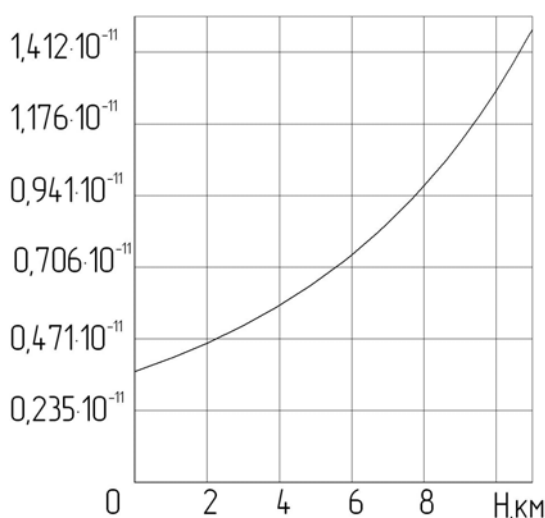


Рис. 5. Зависимость $\frac{g \cdot v}{a^3}$ от высоты

Величины g_1 , v_1 и a_1^3 для газовой смеси в зоне пожара при соответствующих температурах рассчитываем по формулам, полученным в работе [4]. Значения $\frac{g_1 \cdot v_1}{a_1^3}$ откладываем по вертикальной оси.

Графики строим для пожаров с выпуклым типом контура (рис. 6) и выпукло-вогнутым (рис. 7). Так же на графики наносим плоскости, соответствующие значениям $\frac{g_2 \cdot v_2}{a_2^3}$, рассчитанным по СА. Плоскости характеризуют следующие стандартные высоты (снизу вверх): 0 км; 0,5 км; 1 км; 1,5 км; 2 км; 2,5 км и 3 км.

сти характеризуют следующие стандартные высоты (снизу вверх): 0 км; 0,5 км; 1 км; 1,5 км; 2 км; 2,5 км и 3 км.

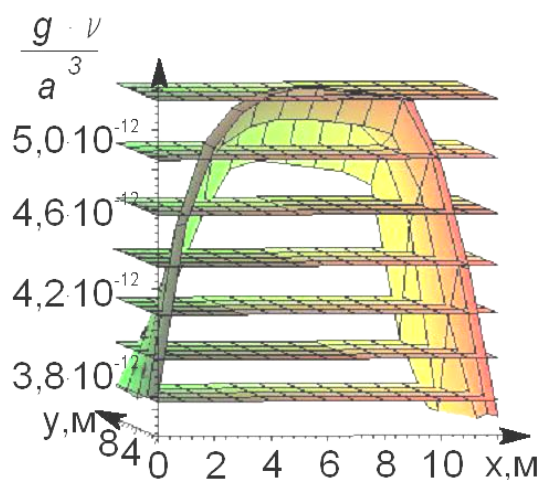


Рис. 6. Значения соотношения $\frac{g_1 \cdot v_1}{a_1^3}$ для выпуклого пожара

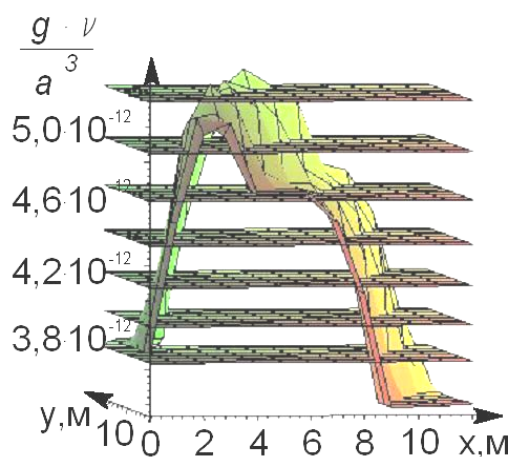


Рис. 7. Значения соотношения $\frac{g_1 \cdot v_1}{a_1^3}$ для выпукло - вогнутого пожара

Пересечение поверхностей, образованных значениями величины $\frac{g_1 \cdot v_1}{a_1^3}$ в зоне пожара, плоскостями, соответствующими значениям

$\frac{g_2 \cdot v_2}{a_2^3}$ для высот СА, иллюстрирует выполнение тождества (1). Из

рисунков 6 и 7 ясно видно, что моделирование полёта натурального ЛА в зоне лесного пожара с помощью ЭВС в условиях Стандартной атмосферы при совместном удовлетворении критериев Фруда Fr , Рейнольдса Re и Маха M возможно. Данное утверждение верно и для пожара с выпуклым типом контура, и для пожара с выпукло-вогнутым типом контура. Высоты СА, на которых может быть обеспечено подобие с зоной лесного пожара, варьируются от 0 до 3 км в зависимости от рассматриваемой части высокотемпературной зоны.

На основании данных о характеристиках атмосферы в зоне лесного пожара, приведённых в работе [2], рассчитываем значения основных масштабов подобия для следующих трёх вариантов: удовлетворяется критерий Фруда; критерии Фруда и Рейнольдса; критерии Фруда и Маха. Характеристики газовой смеси в зоне пожара и масштабы подобия рассчитываем по формулам из работы [4]. Условия на полигоне для полётов ЭВС принимаем соответствующими СА. Значения масштабов определяем для случая, когда высота натурь и модели одинакова ($H_1=H_2=0$ м), так как в этом случае при полёте и натурь, и модели в условиях СА все масштабы должны быть равны 1. То есть полученные значения наглядно показывают, на сколько изменяются масштабы с учётом процессов, происходящих в зоне пожара.

Характерный вид распределения масштабов в зоне пожара показан на рисунках 8 и 9.

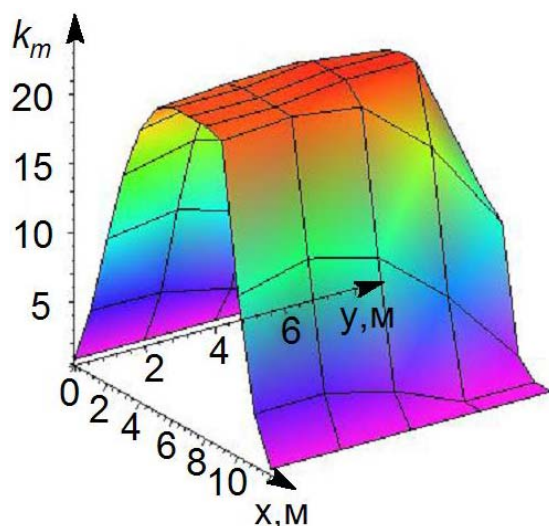


Рис. 8. Масштабы масс для выпуклого пожара при удовлетворении критериев Фруда и Рейнольдса

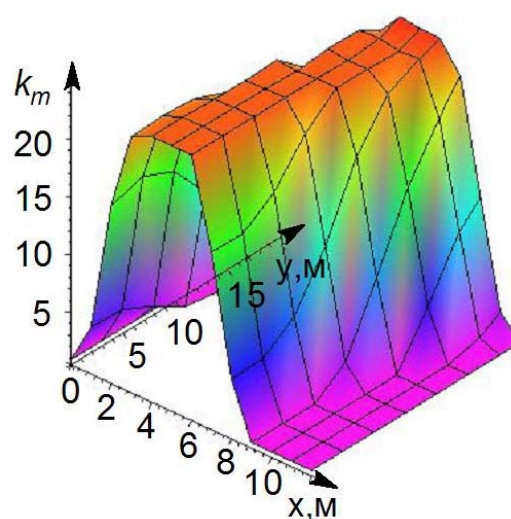


Рис. 9. Масштабы масс для выпукло-вогнутого пожара при удовлетворении критериев Фруда и Рейнольдса

Выводы. 1. По методу, предложенному в работе [4], на основании данных о состоянии атмосферы в зонах лесных пожаров двух различных типов контуров: выпуклого и выпукло-вогнутого [2], были рассчитаны значения основных масштабов подобия. Масштабы рассчитаны для следующих случаев: удовлетворяется критерий Фруда; критерии Фруда и Рейнольдса; критерии Фруда и Маха

2. Анализ полученных результатов показывает, что масштабы подобия, рассчитанные с учётом процессов, происходящих в зоне пожара, существенно отличаются от масштабов, рассчитанных по СА. Для рассматриваемых случаев, при использовании характеристик атмосферы согласно СА, все масштабы подобия должны были быть равны 1. В случае же определения характеристик атмосферы в

зоне полёта натурального ЛА, как характеристик в зоне лесного пожара по методу, предложенному в [4], масштаб плотностей уменьшается до 0,1; масштаб линейных размеров возрастает до 3,5 - 4,5; масштаб масс – до 14 – 20; а масштаб линейных размеров – до 200 – 500, в зависимости от комбинации удовлетворяемых масштабов подобия.

3. Максимальные отклонения значений масштабов для лесных пожаров обоих типов контуров для всех рассмотренных комбинаций критериев подобия наблюдались в местах максимальных температур. Это говорит о том, что изменение температуры в зоне пожара оказывает большее влияние на масштабы подобия, чем изменение состава воздуха.

4. Но изменение состава воздуха также влияет на значения масштабов подобия. Это доказывают следующие наблюдения. На границах высокотемпературных зон, когда температура в зоне пожара приближается к стандартной, а состав газовой смеси отличается от СА, масштабы подобия изменяют свои значения на принципиально противоположные: от значений >1 на значения <1 (рис 10, 11, 16, 17) и наоборот (рис. 8, 9). Так же для пожаров различных типов контура при одинаковых температурах, но различном содержании компонентов газовой смеси получены различные величины масштабов подобия.

5. Исследована возможность моделирования полёта ЛА в зоне пожара с помощью ЭВС в нормальных условиях в случае одновременного соблюдения подобия по критериям Фруда, Рейнольдса и Маха. Доказано, что это возможно на высотах СА от 0 до 3 км в зависимости от рассматриваемой части зоны пожара.

6. Из всего вышеизложенного следует, что строить номограммы для оперативного определения масштабов и высот подобия целесообразно по данным о состоянии атмосферы непосредственно над очагом горения.

Литература

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1981, 277 с.

2. Гришин А.М. Исследование распространения двумерного фронта верхового лесного пожара, инициируемого очагом конечных размеров / А.М. Гришин, А.Д. Грузин, С.В. Шевелев // Физика горения и взрыва; Академия наук СССР, Сибирское отделение. – №4. – Новосибирск: Наука, 1990. С. 9 – 14.

3. Бетин А.В., Рыженко А.И., Рябков В.И., Черановский О.Р. Определение размеров и массово-инерционных параметров свобод-

нолетающих динамически подобных моделей самолетов. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1992. – 101 с.

4. Бетина Е.Ю. Определение масштабов подобия для моделирования полета натурального летательного аппарата в зоне лесного пожара / Е.Ю. Бетина // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. – Вып. 40. – Х., 2008. – С. 122-132.
nuczu.edu.ua

О.Ю. Бетіна

Вплив лісових пожеж з різним типом контуру на визначення масштабів подібності.

Розраховані значення основних масштабів подібності для лісових пожеж опуклого та опукло-увігнутого типів контурів. Досліджено вплив параметрів атмосфери в зоні пожежі на визначення масштабів подібності.

Ключові слова: масштаби подібності, лісова пожежа, опуклий та опукло-увігнутий типи контурів.

E.Y. Betina

Influence of forest fires with different type of path to determination of the extent of similarity.

Calculated values of the basic scale of similarity to the forest fires convex and convex-concave type of circuits. The influence of atmospheric parameters in the fire zone to determine the extent of similarity.

Keywords: scale similarity, forest fire, convex and convex-concave type of circuits.