

МАСШТАБЫ ПОДОБИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕТА НАТУРНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ЗОНЕ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Определение потребных по условиям аэродинамического подобия масштабов является одной из наиболее важных задач начальных этапов проектирования экспериментального воздушного судна (ЭВС).

В работе [1] на основе данных о параметрах Стандартной атмосферы (СА) проведен анализ зависимостей масштабов линейных размеров k_ℓ , масс k_m и моментов инерции k_I от высот полёта натурального летательного аппарата (ЛА) и моделирующего его ЭВС (в качестве ЭВС рассматривалась свободнолетающая динамически подобная модель). Полученные в результате выражения служат для расчета потребных по условиям аэродинамического подобия масштабов, а созданный на их основе графический материал может быть использован в качестве номограмм для оперативного определения потребных масштабов основных параметров ЭВС.

Таким образом, существующие в настоящее время теоретические основы создания динамически подобных ЭВС базируются на предположении, что полёты натурального ЛА и его ЭВС происходят в условиях СА. Однако это предположение не совсем корректно в случае моделирования динамики полёта натурального ЛА, предназначенного для эксплуатации в зонах лесных пожаров, с помощью ЭВС на полигоне вне зоны пожара в условиях, близких к стандартным.

Поэтому целью данной работы является исследование зависимостей масштабов линейных размеров k_ℓ , масс k_m и моментов инерции k_I от высот полета натурального ЛА в зоне лесного пожара и ЭВС на полигоне в условиях СА путем их графического построения и анализа.

Успешное достижение поставленной цели позволит визуально оценить зависимость масштабов подобия от высот полета, а также сравнить зависимости масштабов подобия от высот полета для рассматриваемого случая с аналогичными зависимостями для случая, когда полеты натурального ЛА и ЭВС происходят в стандартных условиях. Полученный графический материал также может быть использован для оперативного определения потребных значений масштабов подобия.

Основным препятствием для осуществления данного исследования является отсутствие в открытой научно-технической литературе подробных статистических данных о составе газовой смеси над зонами лесных пожаров различных типов, так же как и обоснованной осредненной модели атмосферы в зоне лесного пожара. Это обусловлено боль-

шим разнообразием лесных горючих материалов (ЛГМ), сложностью сбора статистических данных в естественных условиях во время пожара и невозможностью полного физического моделирования лесных пожаров в лабораторных условиях [2, 3].

Наиболее подробное описание процессов, происходящих в зоне пожара, представлено в работах учёных Томского государственного университета, посвящённых созданию общей математической модели лесных пожаров [2, 4, 5].

На основании допущений о составе воздуха над зоной пожара, рекомендованных в [2, 4, 5], характеристик СА и существующего теоретического и методического аппарата [1] в работе [6] получены формулы для определения потребных значений масштабов подобия основных параметров ЭВС, предназначенного для моделирования полёта натурального ЛА в зоне лесного пожара. В этой же работе по данным о состоянии атмосферы над лесными пожарами с выпуклым и выпукло-вогнутым типом контура [7] построены графики изменения масштабов подобия основных параметров ЭВС. Показано, что для пожаров обоих рассмотренных типов контуров наибольшие отклонения значений этих масштабов от значений, полученных по СА, наблюдаются в зонах максимальных температур.

Поэтому для графического построения и анализа зависимостей масштабов k_ℓ , k_m и k_l от высот полета натурального ЛА в зоне лесного пожара и ЭВС на полигоне в условиях СА используем данные о состоянии атмосферы над зоной максимальных температур во фронте лесного верхового пожара, приведенные в виде графиков в работе [2]. При этом считаем, что средняя высота деревьев составляет 20 м.

Согласно [1] в зависимости от исследуемых режимов полёта существует возможность разделения общей задачи моделирования с помощью ЭВС на четыре частных задачи, каждой из которых соответствует определенная комбинация удовлетворяемых критериев подобия.

Первый случай: удовлетворяются критерии Фруда Fr , Рейнольдса Re и Маха M .

При этом необходимо, чтобы параметры атмосферы на высотах подобия удовлетворяли тождеству [1]:

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

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 натуральный ЛА, а индекс “2” – к потоку, обтекающему ЭВС).

Выполнение условия (1) для СА возможно только при равенстве высот полета натурального ЛА и ЭВС [1]. В работе [6] показано, что в слу-

чае, когда полет натурального ЛА происходит в зоне лесного пожара на высоте, близкой к нулю, а полёт ЭВС – в условиях полигона, выполнение условия (1) возможно при высоте полета ЭВС от 0 до 3000 м. Это определяет теоретическую возможность моделирования динамики полета ЛА в зоне лесного пожара при удовлетворении подобия по критериям Фруда Fr , Рейнольдса Re и Маха M .

Используя данные работы [2], по формулам, полученным в [6], определим значения масштабов подобия для высот полета натурального ЛА H_n от 0 до 60 м в высокотемпературной части зоны пожара.

Результаты расчетов приведены на рис. 1 – 3.

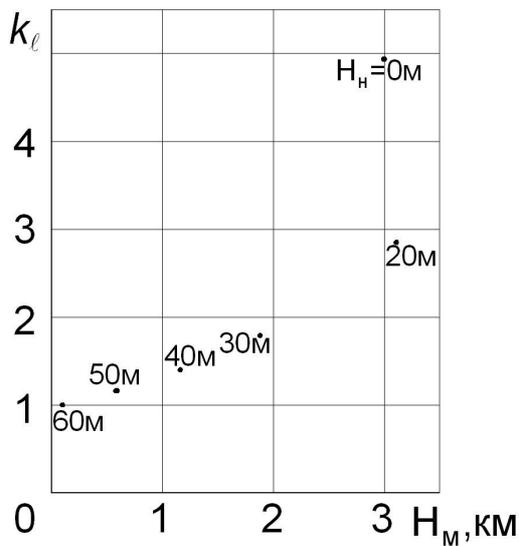


Рисунок 1 – Значения k_l при удовлетворении критериев Fr , Re и M

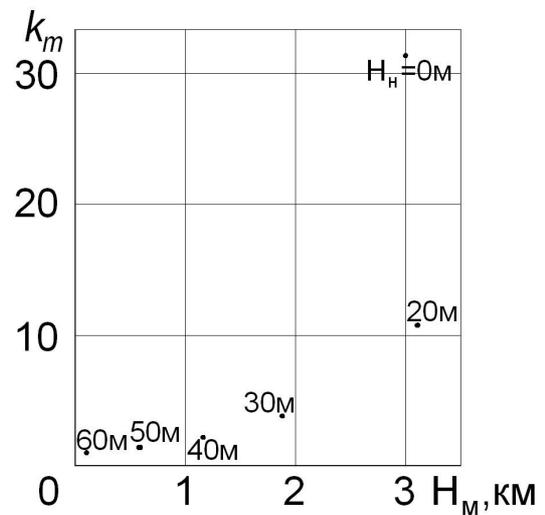


Рисунок 2 – Значения k_m при удовлетворении критериев Fr , Re и M

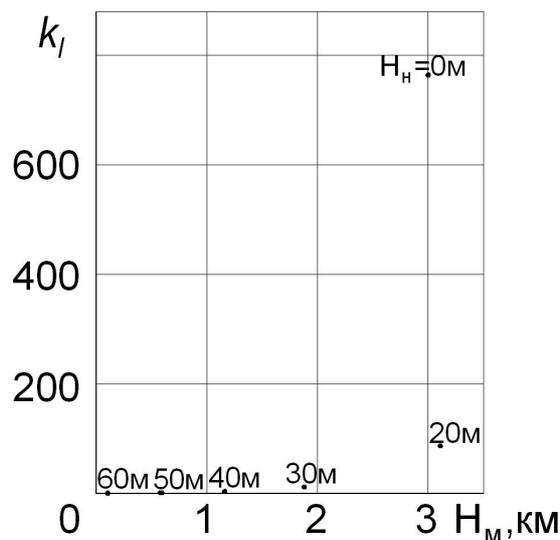


Рисунок 3 – Значения k_l при удовлетворении критериев Fr , Re и M

Необходимо отметить, что полет натурального ЛА на высоте H_n от 0 до 20 м возможен при попадании в критическую ситуацию со сложным неустановившимся пространственным движением.

Приведенный на рис. 1 – 3 графический материал свидетельствует о принципиальной теоретической возможности создания ЭВС для моделирования динамики полёта ЛА в зоне лесного пожара с помощью ЭВС в условиях СА при совместном удовлетворении критериев Фруда Fr , Рейнольдса Re и Маха M . При этом высоты полета натурального ЛА и ЭВС могут отличаться друг от друга, а масштабы подобия основных параметров – иметь значения, отличные от единицы.

С увеличением высоты полета натурального ЛА необходимая высота полета ЭВС приближается к нулю, а необходимые значения масштабов – к единице. Это, несомненно, обусловлено тем, что с увеличением высоты над зоной пожара значения характеристик атмосферы приближаются к стандартным.

Второй случай: удовлетворяется только критерий Фруда Fr при автоточности по критериям Рейнольдса Re и Маха M .

Это единственный случай, когда выбор масштаба линейных размеров k_ℓ не зависит от высот аэродинамического подобия (высот полета натурального ЛА и проведения экспериментов на ЭВС). Но после выбора масштаба k_ℓ и назначения высот аэродинамического подобия, масштабы k_m и k_I однозначно определяются соответствующими соотношениями [1].

Так как масштаб линейных размеров k_ℓ в данном случае не зависит от высот аэродинамического подобия, то графическое построение возможно лишь в отношении зависимостей масштабов масс k_m и моментов инерции k_I для каждого конкретного значения масштаба k_ℓ .

Для исследования характера этих зависимостей проведем расчеты и построения при значениях масштаба линейных размеров меньше единицы (например, $k_\ell=0,5$, то есть линейные размеры ЭВС в два раза больше соответствующих размеров натурального ЛА) и больше единицы (например, $k_\ell=2$, то есть линейные размеры ЭВС в два раза меньше соответствующих размеров натурального ЛА).

Полученные результаты расчетов масштабов масс k_m и моментов инерции k_I приведены на рис. 4 – 7. В обоих рассматриваемых случаях зависимости масштабов k_m k_I и от высот аэродинамического подобия имеют возрастающий характер.

Анализ результатов расчетов показывает, что при $k_\ell=0,5$ могут возникнуть проблемы при создании ЭВС для исследования полета натурального ЛА на высоте близко к нулю в зоне пожара, поскольку в этом

случае ЭВС должно быть в 2 раза больше натурального ЛА по габаритным размерам и при этом тяжелее в 12 – 41 раз. Если $k_\ell=2$, то сложности могут возникнуть при создании ЭВС для исследования полета натурального ЛА на высоте 60 м (ЭВС должно быть в 2 раза меньше натурального ЛА по размерам, но легче, минимум, в 7,9 раза).

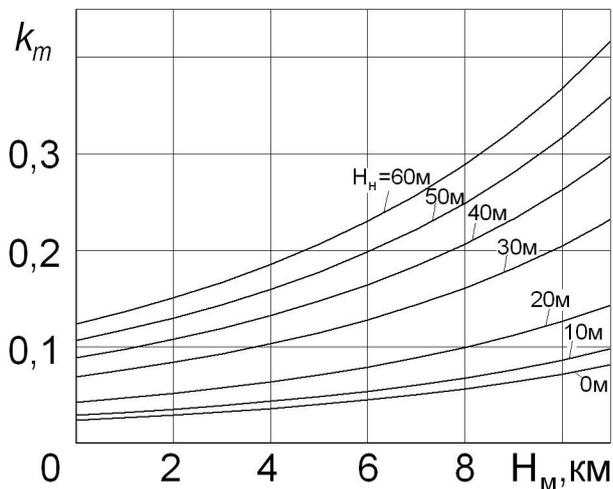


Рисунок 4 – Значения k_m при удовлетворении критерия Fr ($k_\ell = 0,5$)

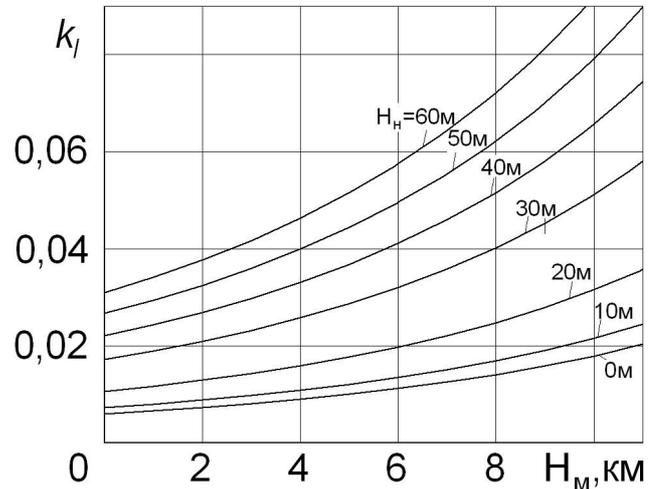


Рисунок 5 – Значения k_l при удовлетворении критерия Fr ($k_\ell = 0,5$)

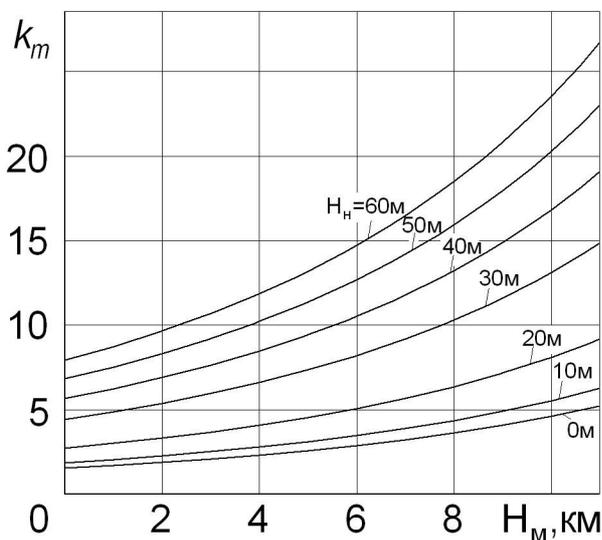


Рисунок 6 – Значения k_m при удовлетворении критерия Fr ($k_\ell = 2$)

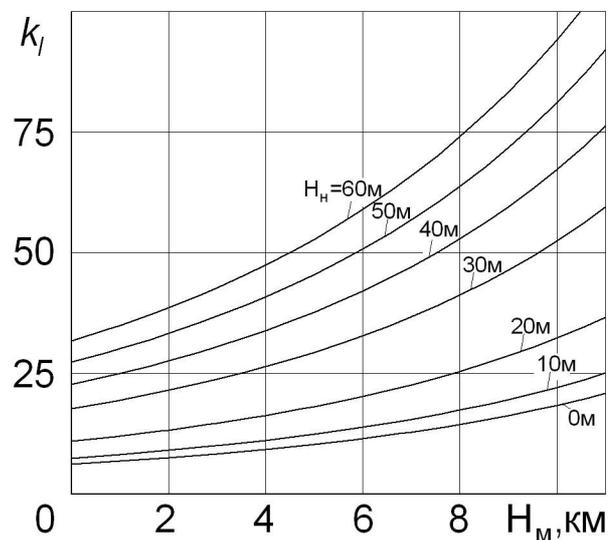


Рисунок 7 – Значения k_l при удовлетворении критерия Fr ($k_\ell = 2$)

Третий случай: удовлетворяются критерии Фруда Fr и Рейнольдса Re при автомодельности по критерию Маха M .

Значения масштабов подобия определим по формулам, полученным в работе [6], и данным о состоянии атмосферы над зоной пожара

из [2]. Результаты расчетов приведены на рис. 8 – 10.

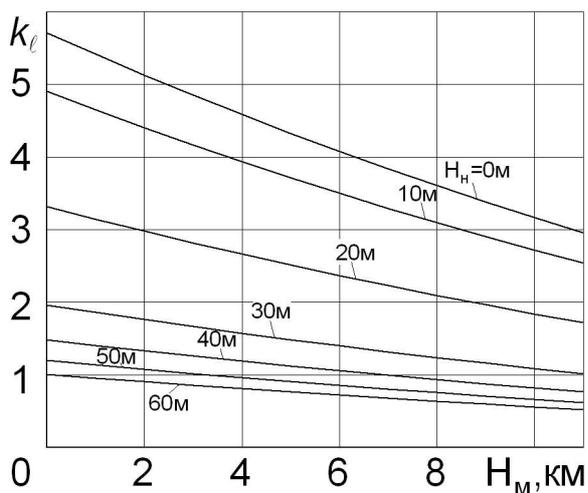


Рисунок 8 – Значения k_ℓ при удовлетворении критериев Fr и Re

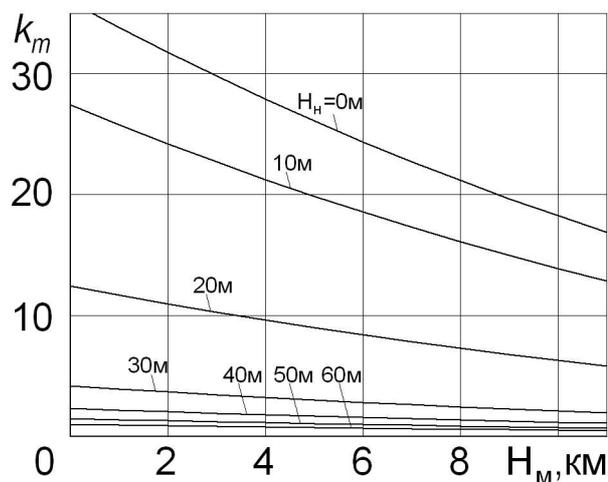


Рисунок 9 – Значения k_m при удовлетворении критериев Fr и Re

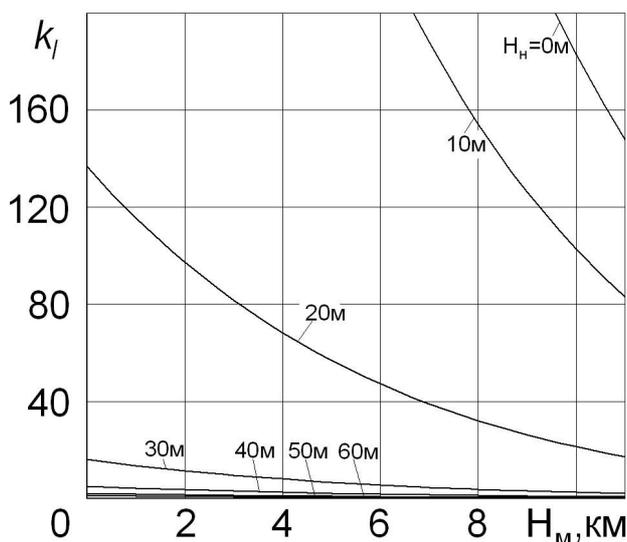


Рисунок 10 – Значения k_I при удовлетворении критериев Fr и Re

Из рисунков 8 – 10 виден убывающий характер зависимостей. Причем масштаб линейных размеров k_ℓ в данном случае может принимать значения как больше, так и меньше единицы, а значения масштабов масс k_m и моментов инерции k_I позволяют говорить о теоретической возможности создания ЭВС с такими значениями масштабов.

Четвёртый случай: удовлетворяются критерии Фруда Fr и Маха M при автомодельности по критерию Рейнольдса Re .

На рис. 11 – 13 приведены значения масштабов подобия, определенные по формулам, полученным в работе [6]. Для расчетов использованы данные о состоянии атмосферы в зоне пожара из [2].

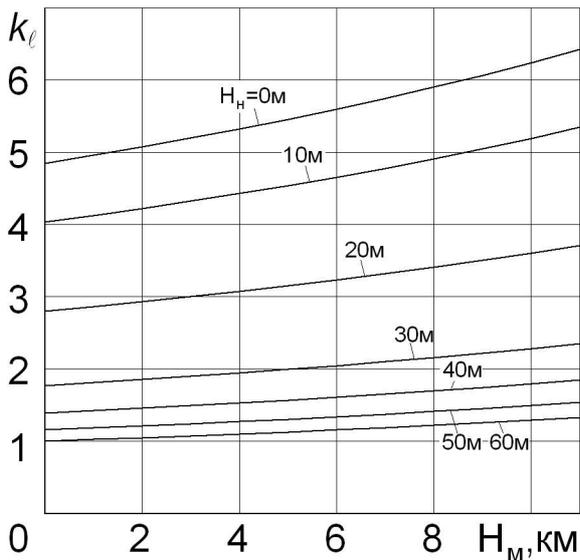


Рисунок 11 – Значения k_l при удовлетворении критериев Fr и M

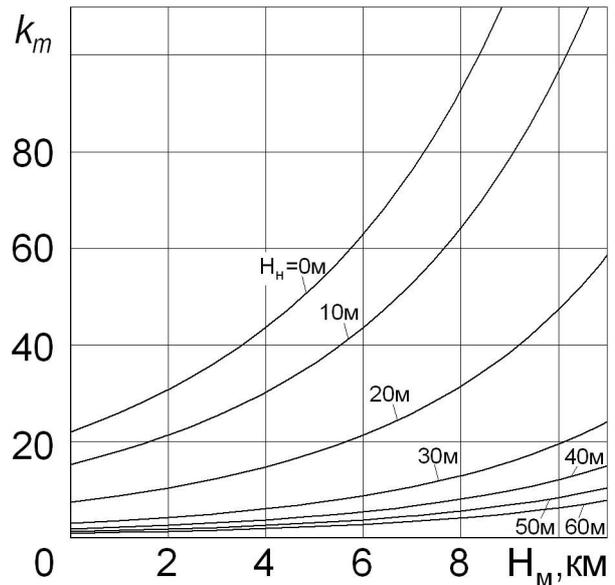


Рисунок 12 – Значения k_m при удовлетворении критериев Fr и M

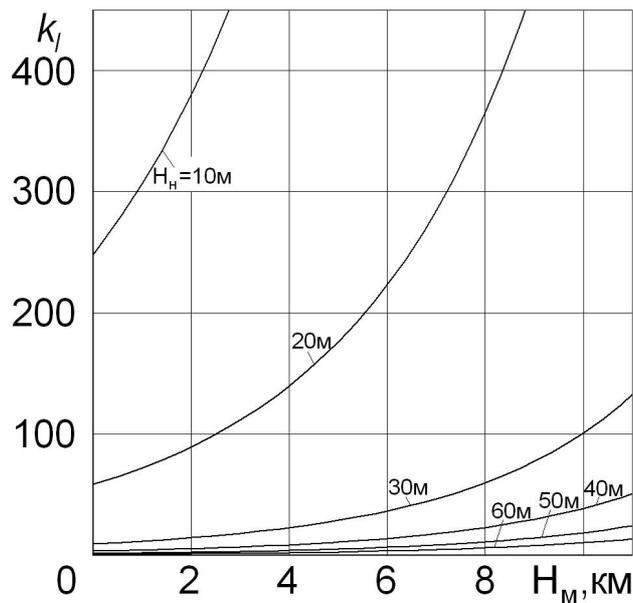


Рис. 13. Значения k_l при удовлетворении критериев Fr и M

Из рисунков 11 – 13 видно, что при с увеличением высоты полёта натурального ЛА значения масштабов уменьшаются, а с увеличением высоты полёта ЭВС – увеличиваются.

Выводы

1. Установлена принципиальная возможность создания ЭВС для моделирования динамики полёта ЛА в зоне лесного пожара с помощью ЭВС в условиях СА при совместном удовлетворении критериев Фруда Fr , Рейнольдса Re и Маха M со значениями масштабов подобия ос-

новых параметров, отличными от единицы.

2. Исследован характер зависимости масштабов масс k_m и моментов инерции k_I от высот полета натурального ЛА и проведения экспериментов на ЭВС при удовлетворении подобия только по критерию Фруда Fr .

3. Построены зависимости масштабов линейных размеров k_ℓ , масс k_m и моментов инерции k_I от высоты полёта ЭВС для фиксированных значений высоты полёта натурального ЛА при обеспечении подобия по критериям Фруда Fr и Рейнольдса Re , а также при обеспечении подобия по критериям Фруда Fr и Маха M .

Список использованных источников

1. Определение размеров и массово-инерционных параметров свободнолетающих динамически подобных моделей самолетов: учеб. пособие / А.И. Рыженко, А.В. Бетин, В.И. Рябков, О.Р. Черановский; Мин-во просвещения Украины, Харьк. авиац. ин-т. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1992. – 101 с.

2. Гришин А.М. Общие математические модели лесных и торфяных пожаров и их приложения / А.М. Гришин // Успехи механики: сб. науч. тр. Томского гос. ун-та. – Т. 1, №4. – Томск., 2003. – С. 41 – 89.

3. Валендик Э.Н. Крупные лесные пожары / Э.Н. Валендик, П.М. Матвеев, М.А. Софронов. – М.: Наука, 1979. – 198 с.

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

5. Гришин А.М. Двумерная неустойчивость фронта верхового лесного пожара / А.М. Гришин, Е.Е. Зеленский, С.В. Шевелев // Физика горения и взрыва; Академия наук СССР, Сибирское отделение. – №3. – Новосибирск: Наука, 1990. С. 7 – 17.

6. 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.

7. 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.

Поступила в редакцию 27.01.2009.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков*