

УДК 614.841.345

Достижение требуемых параметров сброса огнетушащего вещества с самолёта – амфибии Бе-200ЧС для тушения ландшафтных пожаров использованием алгоритма математической модели

Achieving the required resetting the settings, the extinguishing agent from an airplane - amphibian Be-200ES for fire landscape fires using an algorithm of the mathematical model

В.Н. Масаев

канд. пед. наук

Ю.В. Овечников

*ФГБОУ ВО Сибирская
пожарно-спасательная
академия ГПС МЧС России*

masaev.ru@mail.ru

V.N. Masaev

Candidate of Pedagogic Sciences

Y.V. Ovechnikov

*FSBEE HE Siberian Fire and
Rescue Academy EMERCOM
of Russia*

Рецензент:

А.Н. Минкин

канд. техн. наук, доц.

Аннотация:

В статье рассматривается возможность использования математической модели расчета поверхностной интенсивности подачи огнетушащего вещества при сбросе огнетушащих веществ с самолета – амфибии Бе-200 ЧС. Применение математической модели позволит определить фактический показатель подачи огнетушащего вещества при сбросе, в соответствии требуемых его значений необходимых и достаточных для тушения (локализации) ландшафтного пожара.

Ключевые слова: модификация Бе-200ЧС; противопожарное оборудование; поверхностная интенсивность подачи огнетушащего вещества; математическая модель поверхностного распределения выпавшей жидкости в режиме реального времени.

Abstract:

The article discusses the possibility of using the mathematical model for calculating the surface intensity of the fire extinguishing agent fire extinguishing substances when resetting the plane - Be-200 ES. The use of mathematical models will determine the actual feed rate of the extinguishing agent at reset, according to the required values it necessary and sufficient to extinguish (localization) landscape fire.

Key words: modification of the Be-200ES; fire-fighting equipment; surface intensity of the fire extinguishing agent; A mathematical model of the surface distribution of the precipitated liquid in real time.

Ландшафтные пожары, поражающие ежегодно в весенне-летний период территории центральной России, Алтая, Сибири и других регионов, поставили вопрос об эффективности организации борьбы с пожарами и адекватности технического оснащения. Когда пожары возникают неожиданно и переходят на верховые и возникает угроза уничтожение населенных пунктов и объектов экономики, тут самое мобильное средство – авиация [1]. Основными приемами и методами применения авиационной техники по тушению пожара с воздуха являются тушение пожара путем сброса на очаг воды (других огнетушащих веществ), а также создание заградительных полос растворами огнезадерживающих хи-

микатов и воды при защите от пожаров населенных пунктов и объектов [2].

С 2010 года в целях повышения эффективности тушения ландшафтных пожаров, используется многоцелевой реактивный самолет - амфибия Бе-200ЧС. Противопожарное оборудование Бе-200ЧС включает агрегаты системы заправки водой на аэродроме, устройства для управления водозаборниками и приготовления огнегасящих растворов и две секции (группы) правого и левого баков, имеющих восемь створок водяных баков, производящих сброс воды залпом или поочередно, в любой комбинации, что существенно увеличивает эффективность пожаротушения [3].

Техническое оснащение при работах в достаточно экстремальных условиях позволяет достигнуть такие результаты как сброс огнетушащих веществ на уровне (от 100 до 50-40м) и работа в местах с почти нулевой видимостью.

Таблица. Параметры сброса при использовании Бе-200ЧС

Возможности сброса	Зона гарантированного покрытия, м ³	Размеры зоны общего покрытия (длина, ширина), м
Единичный сброс залпом из 8 баков	1390	80*30
Последовательный сброс из 2 баков	2615	145*30
Последовательный сброс из 3 баков	3450	225*26
Последовательный сброс из 4 баков	4460	276*26
Последовательный сброс из 8 баков	5324	551*16

При этом необходимо отметить, что при низком полёте для сброса огнетушащих веществ в условиях нулевой видимости и воздействия высоких температур может выйти из строя система обнаружения зон наибольшей интенсивности горения. При вышеуказанных экстремальных условиях работы как задымленность и плохая видимость объектов ухудшается точность попадания огнетушащих веществ в зоны наибольшей интенсивности горения.

Существующая проблема эксплуатации при тушении пожаров по способу сброса воды, когда не регулируемый поток огнетушащих веществ не гарантирует 100% попадание в планируемое место наведения сброса воды. Как следствие одно из условий локализации пожара $JФ \geq JТР$, когда значение фактической поверхностной интенсивности подачи огнетушащего вещества $J_Ф, л/(с*м^2)$ должно превышать значение требуемой поверхностной интенсивности подачи огнетушащего вещества $J_{ТР}, л/(с*м^2)$

- не выполняется, и не соответствует условию прекращения горения. Соответственно возникает необходимость повторного использования авиационной техники по заданной площади тушения пожара. Затрачивается достаточно много времени на повторное заполнение водобаков из отдаленных водоисточников, что увеличивает вероятность большего распространения пожара.

Эта проблема была выявлена при исследовании и оценки работы авиации МЧС России при тушении ландшафтных пожаров, а также по сообщению ИТАР-ТАСС со ссылкой на пресс-службу авиационного комплекса имени Бериева, эксперты служб лесной охраны зарубежных стран заключили, что в Бе-200 необходимо усовершенствовать систему сброса воды [3].

Решение приходит с учетом возможной модернизации существующей системы управления противопожарным оборудованием, а именно создание системы автоматического управления створками водяных баков. Принцип работы которой предполагает, что бортовая модель тепловизора определяет объекты температурным контрастом, с дальнейшей передачей значений цифрового сигнала на включение необходимого количества баков.

В основе использования системы автоматического управления сброса огнетушащего вещества с тепловым прицелом и вычислителем необходимо применить способ прицеливания при сбросе грузов в наблюдаемую точку земной поверхности с маневрирующего летательного аппарата. Реализация управления пространственным маневром летательного аппарата достигается внедрением дополнительных технологических операций прогнозирующих фазовые координаты движения; прогнозированием движения в воздушной среде условно сброшенного в точке груза, путем интегрирования в текущей курсовой стабилизированной по вертикали системе координат. Управляемой переменной системы сброса огнетушащего вещества является значение фактической поверхностной интенсивности подачи огнетушащего вещества $J_Ф, л/(с*м^2)$ [4].

Управляя значением фактической поверхностной интенсивности подачи огнетушащего вещества $J_Ф, л/(с*м^2)$, находящегося между верхним и нижним (критическим) пределами, можно ликвидировать горение на пожаре заданным количеством огнетушащего вещества на различной площади. При этом необходимо иметь в виду, что при подаче огнетушащего вещества с показателем высокой поверхностной интенсивностью требуется привлекать в несколько раз больше сил

и средств, чем при создании количественного показателя низкой поверхностной интенсивности. При этом физические и геометрические параметры ландшафтного пожара зависят от многих факторов (метеорологические условия, рельеф местности, вид растительности и т.п). Результирующим показателем физических и геометрических параметров ландшафтного пожара будет его температурный режим. Температурный режим в виде невидимого теплового (инфракрасного) излучения воспринимается оптико-электронной системой тепловизора. Является величиной переменной на всей площади зоны горения и изменяется во времени. Эта единица измерения ландшафтного пожара, будет определяющим и задающим показателем при определении значения фактически подаваемого количества огнетушащего вещества J_{ϕ} , л/(с*м²). Большой температурный режим, как задающий параметр пожара, требует большего значения фактически подаваемого количества огнетушащего вещества на единицу площади и единицу времени соответственно. Оптимальные и практически целесообразные интенсивности подачи огнетушащих веществ при тушении требуют приведения в справочные таблицы [4].

Такие значения требуемой поверхностной интенсивности подачи огнетушащих веществ $J_{\text{ТР}}$, л/(с*м²), называемые оптимальными (требуемыми, расчетными), устанавливаются опытным путем и практикой тушения пожаров.

Поверхностная интенсивность подачи огнетушащего вещества, при которой расход огнетушащего вещества будет минимальным и одновременно достаточным для прекращения горения, возможно определить через математическую модель для постановки алгоритма решения задач по определению значений требуемой поверхностной интенсивности подачи огнетушащих веществ $J_{\text{ТР}}$, л/(с*м²) в зависимости от температурного режима ландшафтного пожара [4].

Для выбора оптимального режима сброса воды с самолёта необходимо создание модели, позволяющей рассчитать поверхностное распределение выпавшей жидкости по заданным входным параметрам учитывающим пространственное и наземное распределения жидкости в зависимости от метеоусловий (скорости и направления ветра) и условий сброса (высота сброса, скорость полета, количество сбрасываемой жидкости и т.п.) [4].

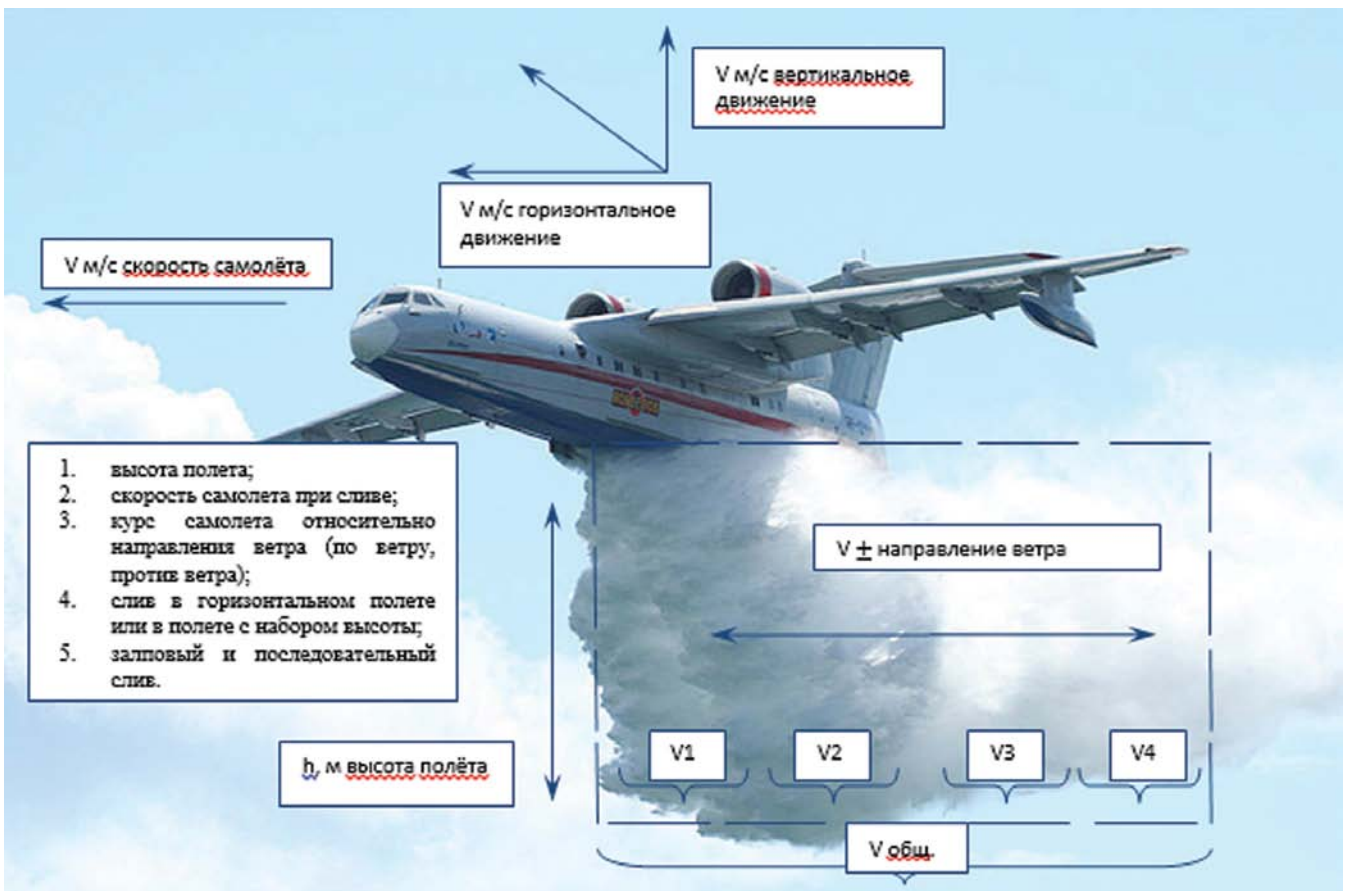


Рис. 1. Параметры сброшенной с самолёта воды и дисперсности водного аэрозоля

При определении влияния различных параметров полета на удельные характеристики наземного распределения сброшенной с самолета воды и дисперсности водного аэрозоля использовались следующие параметры, см. рис 1.

Интегрально-оптический, фотоэлектрический и седиментационный методы позволяют определить дисперсный состав и концентрацию водного аэрозоля [5].

Для получения требуемых значений фактической поверхностной интенсивности подачи огнетушащего вещества JФ, л/(с*м2), необходимо управлять показателями масса сбрасываемой воды и время залпового сброса воды над очагом пожара. Соответственно необходимо использовать математическую модель для расчета пространственного и наземного распределения сбрасываемой воды, при различных показателях сброса.

Расчет сбрасываемого огнетушащего вещества (жидкости) с самолёта, предполагает решение трёхмерной нестационарной задачи гидродинамики для объёма заранее неизвестной формы и связности (с учетом его фрагментации, поверхностных волн, срыва капель и др.). В численных исследованиях популярным становится использование пакетов программ. Например, с помощью пакета FlowVision рассчитывался сброс воды с самолёта Ил-76 [6], см. рис.2

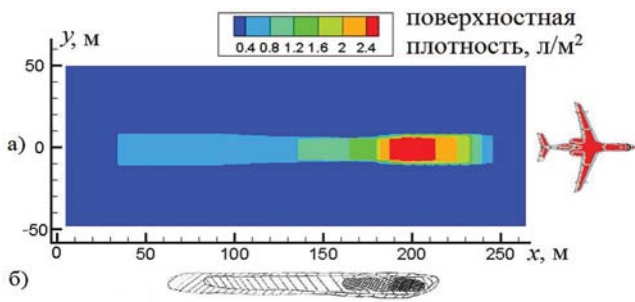


Рис. 2 . Пример расчёта программы FlowVision

Влияние показателей полета самолета на характеристики наземного распределения сбрасываемой с самолета воды описаны математической моделью, результаты расчета по которой имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными. Применение модели расчёта пространственного и поверхностного распределения жидкости сбрасываемой авиационным средством, позволяет определять плотность орошения и наземного распределения жидкости при различных режимах полета [6]. Сброс жидкости из самолёта происходит достаточно интенсивно, и в начальный момент величина расхода может достигать 3 – 12 т/с. Для таких массивных

сбросов наиболее применима следующая эмпирическая зависимость медианного диаметра капель от внешних воздействующих факторов:

$$d_m = (K_1 We^{-0,5} + K_2 Re^{-0,5}) \left(\frac{Q\delta}{K_3 U} \right)^{1/6} \quad (1)$$

где d_m – медианный диаметр капель, см;

K_1, K_2, K_3 – эмпирические коэффициенты;

We – критерий Вебера;

Re – критерий Рейнольдса;

Q – объёмный расход жидкости, см³/с;

δ – характерный размер струи жидкости (диаметр или толщина), см;

U – относительная скорость газа и жидкости, см/с.

Для правильного представления процесса оседания жидкости, вылитой из летящего самолёта, важно понять, как распределены капли жидкости по размерам:

$$F(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi G_e d}} \exp \left[-\frac{\left(\ln \frac{d}{d_m} \right)^2}{2G_e^2} \right] \quad (2)$$

где $F(d)$ – плотность вероятности;

G_e – дисперсия логарифма диаметра частиц d ;

d_m – медиана распределения/

Образующиеся при сбросе капли и частицы жидкости участвуют в гравитационно – баллистическом движении и подвержены ветровому сносу. Последнее особенно существенно для мелких частиц, поскольку чем меньше диаметр частиц, тем больше время их оседания. Начальные скорости частиц гасятся сопротивлением среды, а гравитация выводит их на установившиеся значения скорости оседания $W(d)$, которые для водяных капель описываются формулой

$$W(d) = 12,4 / \left[1 + \frac{1,7}{d} + \left(\frac{0,55}{d} \right)^2 \right] \quad (3)$$

где d – диаметр частиц, мм.

Если считать территории плоскими, коэффициент сопротивления среды постоянным для частиц данного размера, а ветровым сносом пренебречь, то дифференциальные уравнения баллистического движения капель:

$$\dot{V}_x = -\frac{V_x \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{W^2(d)} g, V_x(0) = V_{x0} \quad (4)$$

$$\dot{V}_y = -\frac{V_y \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{W^2(d)} g, V_x(0) = V_{x0} \quad (5)$$

$$\dot{X} = V_x, \quad X(0) = X_0 \quad (6)$$

$$\dot{Y} = V_y, \quad Y(0) = Y_0 \quad (7)$$

где \dot{V}_x, \dot{V}_y - ускорения капли по соответствующим направлениям;

V_{x0}, V_x, V_{y0}, V_y - начальные и текущие скорости капли по соответствующим направлениям;

X_0, Y_0 - начальные координаты капли.

Для учёта горизонтального ветра составляющим в уравнение баллистики вводится третья координата $V_z, Z=Z(t, X, Y, V_{x0}, V_{y0})$.

Рассмотрим снос при горизонтальном полёте в направлении оси OX на высоте Y_0 с постоянной скоростью V_H , постоянным секундным G и погонным $\frac{G}{V_H}$ расходами, перпендикулярно на правленным к линии полёта (сносящим) ветром $V_в$, временем слива t_0 и длиной рабочего участка $L_x - V_H * t_0$.

Предположения об известном распределении по размерам каплей $0 < F(d_{min} < d < d_{max}) < 1$, о мгновенном торможении частиц и приобретении ими вертикальной скорости оседания $W(d)$ позволяют получить полную картину пространственно-временного распределения частиц в воздухе и на земле в виде следующих соотношений пятимерного пространства (X, Y, Z, t, d) где $t \geq 0, 0 \leq X \leq L_x, d_{min} \leq d \leq d_{max}$ свободные координаты:

$$Y(X, t, d) = \sup\{\inf[Y_0; Y_0 - W(d) (t - \frac{X}{V_H})]\};$$

$$Z(X, t, d) = \inf\{\sup[0; Y_B (t - \frac{X}{V_H})]; V_B \frac{Y_0}{W(d)}\} \quad (8)$$

Формулы (8) определяют геометрические частицы области распределения дисперсной фазы в вертикальной $0 < Y < Y_0$ и горизонтальной плоскостях $Y=0$.

Для расчёта наземной массовой концентрации жидкости используется формула пятимерного пространства

$$\Delta [X, Y = 0, Z, t > \frac{Y_0}{W(d)}, d] = \frac{qF(d)W(d)}{W(d)Y_0V_0} \quad (9)$$

Для расчёта сноса по ветру линии оседания частиц с размером d от проекции линии полёта используется формула

$$\frac{Y_0 V_B}{W(d_{max})} \leq X(Y = 0, d) = \frac{Y_0 V_B}{W(d)} \leq \frac{Y_0 V_B}{W(d_{max})} \quad (10)$$

В итоге для расчётов массовой наземной концентрации C , кг/м³, с учётом турбулентных составляющих переноса капель используется формула

$$C = \int_0^t \int_{d_{min}}^{d_{max}} \frac{qF(d)}{2\pi\sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_x^2}} \exp\left\{-\frac{[Z - Z(d)]^2}{2\sigma_z^2}\right\} \exp\left\{-\frac{(X + \frac{L_x}{2})^2}{2\sigma_x^2}\right\} + \exp\left[-\frac{(X + \frac{L_x}{2})^2}{2\sigma_x^2}\right] dt dd \quad (11)$$

где y_x, Y_x - обобщённые коэффициенты диффузии; g - расход жидкости, кг*с⁻¹.

В результате математического моделирования выявлены и описаны зависимостями основные закономерности, сопровождающие динамику макробоёма жидкости, сбрасываемой с самолета. Математическая модель пригодна для предсказания поверхностного распределения выпавшей жидкости в режиме реального времени. Необходимо учитывать, что система сброса воды должна обладать достаточной производительностью и рабочей мощностью для преодоления сопротивления воздушного пространства с учётом преодоления пересечения векторов скорости самолёта и встречного потока воздуха. Значения высоты, обеспечивающие приемлемую эффективность сброса огнетушащего вещества и безопасность полета, с учетом высоты поднятия допустимой концентрации дыма ландшафтного пожара. А также преодоления расстояния огнетушащим веществом до зон наибольшей интенсивности при тушении ландшафтных пожаров, что является одной из основных задач по эксплуатации специального пожарного оборудования самолета [5].

Решение приходит с учетом возможной модернизации существующей системы управления противопожарным оборудованием, а именно создание системы автоматического управления створками водяных баков работающих по заданному алгоритму с учётом заложенной в систему математической модели. Принцип работы которой предполагает, что бортовая модель тепловизора определяет объекты температурным контрастом, с дальнейшей передачей значений цифрового сигнала на приведение в действие необходимого алгоритма сброса воды.

Эффективная работа внедрения алгоритма автоматической системы сброса огнетушащего вещества с самолёта – амфибии Бе-200ЧС позволит улучшить тактико-технические характеристики его противопожарного оборудования для целей пожаротушения. Новые возможности избирательного действия при тушении ландшафтных пожаров с воздуха, позволят повысить пожарную безопасность лесных массивов, а так же защиту стратеги-

чески-важных объектов, крупных предприятий и близ находящихся населённых пунктов и населения от природных катаклизмов.

Внедрение алгоритма математической модели системы автоматического сброса огнетушащего вещества с самолёта – амфибии Бе-200ЧС позволит улучшить тактико-технические характеристики специального пожарного оборудования используемого для целей пожаротушения, так же усовершенствовать приемы и способы использования авиации при тушении ландшафтных пожаров.

Литература

1. Официальный сайт МЧС России URL: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2010god/Statistika_po_pozharam_za_2010_god.
2. «Применение авиации МЧС России при тушении лесных пожаров». Комментарий начальника управления авиации и авиационно-спасательных технологий Закирова Р.Ш./ Официальный сайт МЧС России URL: [/dop/info/smi/news/item/230117](http://dop.info/smi/news/item/230117)
3. Официальный сайт Таганрогского авиационно-научно-технического комплекса (ТАНК) им. Г.М.Бериева. URL: <http://www.beriev.com/rus/core.html>
4. Овечников Ю.В., Масаев В.Н. «Достижение заданных параметров тушения при локализации ландшафтных пожаров с воздуха». УДК 614.841.345 Электронный сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив-2015», Раздел «Пожарная безопасность», Красноярск, Сибирский Федеральный университет, URL:http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2015/2015_C_30-32.
5. Москвиллин Е.Л. «Применение авиации для тушения лесных пожаров» // Пожарная безопасность URL :<http://www.pb.informost.ru/journals/1-2009.php> №1 -2009.
6. Динамика микро и макрообъемов сброшенной с самолета жидкости, Кудров М.А. Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. URL: <https://www.hse.ru/data/2014/07/09/1310024453/avtoref.pdf>
7. Н.П. Копылов, И.Р. Хасанов, А.Е. Кузнецов, Д.В. Федоткин, Е.А. Москвиллин, П.А. Стрижак, В.Н. Карпов «Параметры сброса воды авиационными средствами при тушении лесных пожаров» // Научно-технический журнал «Пожарная безопасность» №2 – 2015. С. 49-55.