

2. Чернухин Ю.В., Бутов П.А., Доленко Ю.С. Оптимизация нейросетевого подхода методом поля потенциалов в задаче навигации автономных интеллектуальных мобильных роботов // Материалы XVI конф. по нейрокибернетике. Т. 2. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – С. 219-221.
3. Чернухин Ю.В., Доленко Ю.С., Бутов П.А. Бионические подходы к обработке сенсорной информации в нейросетевых системах управления интеллектуальных мобильных роботов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №5 (130). – С. 194-199.
4. Enroth-Cugell C. and J.G. Robson. The Contrast Sensitivity of Retinal Ganglion Cells of the Cat // Journal of Physiology. – 1966. – № 187. – P. 517-23.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Тютиков.

Чернухин Юрий Викторович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: chernukhin@dce.tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371656; кафедра вычислительной техники; д.т.н.; профессор.

Доленко Юрий Сергеевич – e-mail: dolenko.yury@gmail.com; кафедра вычислительной техники; специалист; аспирант.

Бутов Павел Александрович – e-mail: pbootoff@gmail.com; кафедра вычислительной техники; специалист; аспирант.

Chernukhin Yuri Victorovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: chernukhin@dce.tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; dr. of eng. sc.; professor.

Dolenko Yuri Sergeevich –e-mail: dolenko.yury@gmail.com; the department of computer engineering; specialist; postgraduate student.

Butov Pavel Aleksandrovich – e-mail:pbootoff@gmail.com; the department of computer engineering; specialist; postgraduate student.

УДК: 681.5.007.629.7

С.А. Полосинов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНОГО ПОЖАРА ПРИ ЕГО ЛОКАЛИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ

Для оптимизации процесса борьбы с лесными пожарами, выбора типов и количества технических средств требуется прогноз динамики развития пожара, который может быть выполнен с помощью динамической модели. В работе решается задача моделирования динамического процесса развития лесных пожаров в сочетании с процессом противопожарных действий авиационных средств. Автором предложены аналитические выражения, определяющие динамику изменения геометрических параметров пожара с учётом работы авиационных средств по его локализации. Выделены взаимовлияющие характеристики развития пожара, а также эксплуатационные характеристики летательных аппаратов. Отмечены условия, определяющие эффективность работы на пожаре, а также характеристики пожара и летательных аппаратов, подлежащие оптимизации для повышения эффективности работы по локализации пожаров.

Динамическая модель лесного пожара; эффективность; характеристики; локализация пожаров; авиационные средства.

S.A. Polosinov

**MODELLING OF DYNAMIC PROCESS OF CHANGE PARAMETERS
OF A FOREST FIRE AT ITS LOCALIZATION WITH APPLICATION
OF AIR HARDWARE**

For optimization of process of fighting with forest fires, selection of types and quantity of means, the forecast of dynamics of development of a fire which can be designed by means of dynamic model is required. In work the task of modeling of dynamic development of forest fires in a combination to process of fire fighting operation of air hardware is decided. The author offers the analytical expressions determining dynamics of change of geometrical parameters of a fire in view of activity of air hardware on its localization. Are allocated interference characteristics of development of a fire, and as operational characteristics of flight vehicles. The conditions determining an overall performance on a fire, and also characteristics of a fire and flight vehicles, subjects of optimization for increase of an overall performance on localization of fires are noted.

Dynamic model of forest fire; efficiency; characteristics; localizations of fires; air means.

Задача сохранения лесных покровов Земли, как регуляторов необходимых для жизни балансных соотношений газов и влаги в атмосфере, является сегодня как никогда актуальной. Наряду с вырубкой лесов наиболее сильный ущерб лесным массивам наносят пожары. В России в силу обширности территорий, покрытых лесом, и недостатка средств по ликвидации пожаров проблема борьбы с пожарами стоит особенно остро. Ежегодно на территории страны в пожароопасный период возникают тысячи очагов лесных пожаров, в результате чего огнём уничтожается миллионы гектаров леса. Для выработки оптимальных управленческих решений по выбору типов, количества технических средств и порядка их применения требуется прогноз динамики распространения лесных пожаров. Такой прогноз может быть выполнен с помощью метода математического моделирования. Моделирование позволяет спрогнозировать развитие лесных пожаров, что является актуальной научной задачей, решение которой востребовано государством.

Содержательный обзор научных исследований по проблеме моделирования распространения лесных пожаров показывает [1], что существует большое количество математических моделей площадных пожаров (лесных, торфяных, степных), которые могут быть систематизированы следующим образом:

1. Модели прогноза геометрических параметров пожара.
2. Модели прогноза динамики развития пожар.
3. Модели прогноза характеристик течения, тепло- и массопереноса во фронте и зоне пожара.
4. Общие математические модели, в рамках которых могут прогнозироваться различные характеристики во фронте и в зоне пожара.

С точки зрения методологии построения, модели ландшафтных пожаров условно можно разделить на три различные группы [2–4]:

1. Модели, базируются на физике горения.
2. Интерполяционные модели.
3. Экспериментально-аналитические модели.

Лесные пожары являются сложными, многопараметрическими системами, моделирование которых представляет определённую сложность. Для целей оптимизации применения противопожарных средств для борьбы с лесными пожарами будут представлять практический интерес динамические модели распространения лесного пожара. Под динамической моделью распространения лесного пожара понимается совокупность математических выражений, позволяющих определить пространственные характеристики пожара в рассматриваемый момент времени. Динамическая модель распространения лесного пожара и процесса его локализации должна удовлетворять следующим требованиям:

- ◆ модель должна описывать динамику изменения пространственных параметров пожара и учитывать процесс влияния применяемых технических средств на указанные параметры;
- ◆ математические выражения модели должны содержать параметры развития пожара и технические характеристики применяемых технических средств;
- ◆ составляющие модель параметры должны быть доступны для практического использования модели при разработке противопожарных мероприятий.

В реальных условиях процесс развития лесного пожара обладает рядом особенностей, усложняющих построение динамической модели. При распространении лесного пожара, как правило, возникают препятствия, нарушающие непрерывность фронта горения (дороги, реки, специальные противопожарные разрывы). Растительность, как правило, распределяется неравномерно. Горючие свойства растительности могут меняться на протяжении участка леса, а также во времени. Существуют внешние факторы, приводящие к различию скорости распространения фронта пожара на различных участках (ветер, рельеф). Указанные факторы приведут к следующим особенностям пространственного развития лесного пожара:

- ◆ участок пожара имеет сложную форму;
- ◆ фронт горения по периметру пожара состоит из отдельных участков;
- ◆ распространение пожара происходит за счёт продвижения отдельных участков фронта горения по периметру пожара;
- ◆ форма участка фронта горения может быть различной;
- ◆ скорость продвижения фронта горения на различных участках может быть различной.

$$V_{f1} \neq V_{f2} \neq \dots \neq V_{fn}.$$

Динамическая модель развития лесного пожара должна учитывать указанные особенности. При этом в целях упрощения разработки модели принимаются следующие допущения:

- ◆ пожар состоит из отдельных участков горения. Модель описывает динамику распространения фронта пожара на отдельных участках;
- ◆ скорость продвижения отдельного участка фронта пожара принимается неизменной во времени и постоянной по длине участка;
- ◆ форма отдельного участка фронта пожара может быть от прямолинейной до полукруглой и постоянна при распространении пожара.

В процессе продвижения фронта пожара прирост длины участка зависит от его кривизны, и может быть определён выражением:

$$\Delta L_i = a \cdot V_f \cdot \Delta T_i, \quad (1)$$

где коэффициент $a = \frac{\pi}{k}$ определяет величину кривизны участка фронта пожара, в зависимости от значений которого величина прироста длины фронта пожара будет находиться в диапазоне:

$$0 < \Delta L_i < \pi \cdot V_f \cdot \Delta T_i;$$

$\Delta L_i = 0$ – для участка фронта пожара прямолинейной формы;

$\Delta L_i = \pi \cdot V_f \cdot \Delta T_i$ – для участка фронта пожара формы полукруглости.

Процесс работы авиационных средств при противодействии лесным пожарам заключается в ликвидации участков горения по фронту пожара (прокладке заградительной полосы) путём выполнения многократных сбросов огнегасящей жидко-

сти (воды), транспортируемой летательным аппаратом. При этом распространение пожара происходит за счёт продвижения фронта на нелокализованном участке горения. В связи с этим рассматриваются следующие пространственные характеристики распространения пожара:

Длина участка фронта пожара в определённый момент времени:

$$L_n = L_0 + \frac{\pi}{k} V_f \cdot \sum_1^n \Delta T_i. \quad (2)$$

При работе летательного аппарата на пожаре остаточная длина участка фронта горения может быть определена выражением:

$$L_n^* = L_n \cdot \left(1 - \sum_1^{n-1} \frac{L_{сбp i}}{L_i} \right) - L_{сбp n}. \quad (3)$$

Из выражения остаточной длины участка фронта пожара может быть определено условие локализации участка пожара.

$$\begin{cases} L_n^* \leq 0; \\ L_n^* \leq L_{сбp n}; \\ \sum_1^n \frac{L_i}{L_{сбp i}} \leq 1; \end{cases} \quad (4)$$

Соотношение $\frac{\Delta L_i}{L_{сбp i}}$ определяет условие уменьшения длины участка фронта

пожара в определённый момент времени при работе летательного аппарата. При большем или равном «1» значении указанного отношения продолжается распространение пожара. Условием уменьшения длины участка фронта пожара, а также прироста площади пожара является значение указанного отношения менее «1».

Следующей пространственной характеристикой пожара является общая площадь участка леса, которая была бы повреждена при свободном распространении фронта пожара за период времени работы летательного аппарата:

$$S_{полн} \approx \frac{L_0 + L_n}{2} \cdot V_f \cdot \sum_1^n \Delta T_i. \quad (5)$$

Площадь пожара, добавленная за период времени локализации участка фронта, может быть представлена в виде суммы площадей участков, добавляемых в периоды между сбросами до момента локализации пожара:

$$S_{доб} = \sum_1^n \Delta S_i. \quad (6)$$

Соответственно площадь i -го участка, добавляемого в период времени между сбросами, может быть определён выражением

$$\Delta S_n = \frac{L_{n-1}^* + L_n^*}{2} \cdot V_f \cdot \Delta T_n. \quad (7)$$

В результате анализа выражений (1)–(7) могут быть определены характеристики работы летательного аппарата и характеристики процесса развития пожара, на которые производится воздействие при работе летательного аппарата. Результатом работы летательного аппарата на пожаре должно стать прекращение распространения пожара, т.е. прекращение продвижения участков фронта пожара. При этом процесс работы летательного аппарата должен быть нацелен на получение наименьшей дополнительной площади участка, пострадавшего от пожара за период времени его работы.

Для оптимизации применения летательного аппарата на пожаре минимизации подлежит величина добавленной площади участка, пострадавшего от пожара, за период времени работы по ликвидации участка фронта пожара.

$$S_{доб} \rightarrow \min \quad \Rightarrow \quad \sum_1^n \Delta S_i \rightarrow \min.$$

Для выполнения данного условия оптимизации подлежат следующие параметры:

$$\Delta S_n \rightarrow \min; \quad n \rightarrow \min.$$

Анализ представленных выражений позволяет определить отдельные характеристики пожара, на которые производится воздействие при работе летательного аппарата для минимизации добавленной площади пожара.

Так в выражении добавленной площади участка пожара за интервалы времени между сбросами (7) внешнему влиянию при работе летательного аппарата подлежат следующие параметры:

$$L_n^* \rightarrow \min; \quad \Delta T_n \rightarrow \min.$$

Выражение остаточной длины участка фронта пожара (3) также содержит параметры, подлежащие внешнему воздействию при работе летательного аппарата на пожаре и подлежащие оптимизации.

$$L_{сбp\ n(i)} \rightarrow \max; \quad L_{n(i)} \rightarrow \min.$$

Выражение длины участка фронта пожара в процессе его распространения (2) содержит следующие чувствительные параметры:

$$L_0 \rightarrow \min; \quad \frac{\pi}{k} \rightarrow 0; \quad V_f \rightarrow \min.$$

Представленный перечень оптимизируемых параметров может быть систематизирован следующим образом:

Характеристики интенсивности распространения, масштаба пожара:

$$V_f \rightarrow \min; \quad \frac{\pi}{k} \rightarrow 0; \quad L_0 \rightarrow \min; \quad L_{n(i)} \rightarrow \min.$$

Характеристики пожара, определяющие результат воздействия на него летательного аппарата в процессе работы:

$$L_n^* \rightarrow \min; \quad \Delta S_n \rightarrow \min.$$

Характеристики работы летательного аппарата на пожаре:

$$L_{сбp\ n(i)} \rightarrow \max; \quad \Delta T_n \rightarrow \min; \quad n \rightarrow \min.$$

Оптимизация данных характеристик определит область их значений, при которых показатель эффективности применения летательного аппарата на пожаре будет иметь экстремальное значение.

Выражения (1)–(7) позволяют определить пространственные характеристики пожара в рассматриваемый момент времени с учётом работы летательного аппарата по его локализации и представляют динамическую модель распространения лесного пожара. Представленная модель распространения лесных пожаров позволяет описать динамику изменения пространственных параметров пожара при использовании небольшого числа доступных входных параметров. Исследование комплексной взаимосвязи приведённых характеристик пожара и летательного аппарата может определить область их значений, при которых показатель эффективности его применения будет иметь экстремальное значение. Модель может быть использована при принятии решений выбора типов и количества технических средств для оптимизации процесса борьбы с лесными пожарами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулешов А.А. Математические модели лесных пожаров // Математическое моделирование. – 2002. – Т. 14, № 11. – С. 33-42.
2. Воробьев О.Ю. Среднемерное моделирование. – М.: Наука, 1984. – 136 с.
3. Воробьев О.Ю., Валендик Э.Н. Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров. – Новосибирск: Наука, 1978 – 160 с.
4. Граб М.В. Модели, методы и алгоритмы распространения лесных пожаров: Дисс. ... канд. техн. наук: 01.05.02. – Харьков: ХНУРЭ, 2004. – 230 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.Л. Беляков.

Полосинов Сергей Анатольевич – Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева; e-mail: polosinov@mail.ru; 347927, г. Таганрог, ул. Транспортная, 1/2, кв. 69; лётно-испытательный комплекс; ведущий инженер по лётным испытаниям воздушных судов; аспирант ЮФУ.

Polosinov Sergey Anatolyevich – Taganrog air scientifically-technical complex named of G.M. Beriev; e-mail: polosinov@mail.ru; 1/2, Transportnaya street, ap. 69, Taganrog, 347927, Russia; flight test complex; leading engineer on flight tests of aircrafts; postgraduat student SFU.

УДК 681.51

А.А. Колесников, Е.П. Грибова

**ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ:
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ**

Рассматриваются методы решения важной проблемы управления системами активной виброзащиты (САВ), основанные на линейном и нелинейном подходах к синтезу законов управления, которые дают определенную погрешность подавления внешних колебаний. В связи с этим для существенного повышения точности предложен новый нелинейный закон адаптивного управления электромагнитной САВ, позволяющий компенсировать внешние гармонические возмущения на разные классы технологических и подвижных объектов, что непосредственно связано с их технологической безопасностью. Синтезированный закон управления САВ обладает значительными преимуществами перед известными, например линейными законами управления САВ разных объектов. Предложенный метод может найти применение при создании САВ разного применения. Существенной новизной метода является, во-первых, процедура каскадного синтеза законов управления, во-вторых, создание единства процессов технологической самоорганизации и управления.

Виброзащита; электромагнитная система; закон адаптивного управления; внешние гармонические возмущения.

A.A. Kolesnikov, E.P. Gribova

**THE PROBLEM OF ACTIVE VIBRATION PROTECTION SYSTEM
CONTROL: COMPARISON OF THE METHODS**

The report discusses methods for solving important problems of control systems of active vibration protection, based on the linear and non-linear approaches to the synthesis of control laws that give a certain error suppression of external vibrations. In order to increase the accuracy, in the report we propose a new nonlinear adaptive control law of electromagnetic active vibration protection system that allows compensating the external harmonic perturbation on different classes of technological and mobile objects, which is directly related to their technological security. The synthesized control law of active vibration protection system has significant advantages over the known ones, for example, linear control laws for active vibration protection system of various