



## **Основные положения выполненной работы в отчетном году соискателя премии «Авиастроитель года» в номинации: «За создание новой научной модели физического явления или технологического процесса»**

Полосиновым Сергеем Анатольевичем разработан метод критериальной оценки эффективности применения летательных аппаратов для борьбы с лесными пожарами, который увязывает через экономический эквивалент эксплуатационные характеристики ЛА с совокупностью внешних условий и параметрами лесного пожара с учётом внешних эксплуатационных факторов.

Ниже представлены основные положения проведённой работы.

Для оптимизации процесса борьбы с лесными пожарами с использованием авиационных средств, выработки рациональных управленческих решений при проведении противопожарных операций требуется решение ряда задач, таких как:

- Определение состава и потребного количества различных летательных аппаратов (ЛА) и порядка их применения для эффективной работы по локализации лесного пожара.
- Оценка возможности локализации определённого лесного пожара при использовании различных авиационных средств;
- Сравнительный анализ эффективности применения различных ЛА для выполнения задач пожаротушения в определённых условиях пожара.

Возникает необходимость получения численных показателей, характеризующих эффективность проводимой работы, и позволяющих выполнить сравнительную оценку различных авиационных средств для выполнения задач пожаротушения в определённых условиях пожара. Получение таких показателей эффективности в численном виде сопряжено с определёнными трудностями. Многообразие и различие факторов по своей природе, величине представляет сложность их аналитической увязки. Факторы могут быть динамичны к условиям их определения, а так же в разной степени влиять на результат работы ЛА на пожаре. В большинстве случаев для оценки эффективности противодействия ЛА лесным пожарам используются показатели, характеризующие отдельные аспекты проводимой работы. Как правило, такие показатели не учитывают другие влияющие факторы, а так же объективные связи между ними, что влияет на полноценность полученных результатов оценки. Для объективной оценки эффективности применения ЛА для выполнения задач пожаротушения необходим комплексный подход, при котором был бы определён и систематизирован перечень влияющих факторов на основе всестороннего анализа, так же были бы определены аспекты меры проводимой оценки. Для этих целей необходим инструментарий, позволяющий выделить круг частных показателей эффективности, определяемых отдельными характеристиками ЛА и параметрами объектов работы, и устанавливающий правила их увязки, подчинённые общей цели проводимой оценки.

Задача может быть решена с использованием метода критериальной оценки, который представляет некоторый инструментарий, позволяющий увязывать эксплуатационные характеристики ЛА с совокупностью внешних условий и параметрами лесного пожара. В качестве критерия оценки эффективности применения ЛА в противопожарном варианте может быть использован комплексный показатель, выражающий составляющие показатели эффективности ЛА через экономический эквивалент. Критерий применим при использовании ЛА тактики локализации участков горения по фронту пожара. Данный комплексный показатель эффективности ( $K_{ЭФ}$ ) представляется в виде соотношения масштаба задачи, решаемой ЛА на пожаре с результатом работы ЛА, а также ценой получения результата, которые определяются характеристиками ЛА, условиями развития и расположения объектов работы.



$$K_{эф} = \frac{C_{полн}}{C_{доб} + C_{раб}}; \quad (1)$$

Масштаб решаемой задачи может быть представлен так называемой величиной «предотвращённого» ущерба от пожара ( $C_{полн}$  [ден.ед.]). Данный показатель характеризуется величиной ущерба, который был бы причинён лесным пожаром при свободном распространении участка фронта пожара, размером на момент начала работы ЛА, за период времени работы ЛА. Результат работы ЛА на пожаре характеризуется реальной величиной ущерба причинённого лесным пожаром за период времени работы ЛА ( $C_{доб}$  [ден.ед.]). Цена получения результата определяется величиной затрат, связанных с ликвидацией участка пожара при применении рассматриваемого ЛА ( $C_{раб}$  [ден.ед.]).

Следует отметить, что значения комплексного критерия динамичны, и для конкретного ЛА определяются его техническими и эксплуатационными характеристиками во взаимоотношении с внешними условиями работы, определяемыми характеристиками развития лесного пожара и условиями взаимного расположения района пожара, водоёма забора воды и места базирования ЛА.

Величины «предотвращённого» и «добавленного» ущерба, причиняемого лесным пожаром пропорциональны соответствующим величинам площадей участков леса, связанных с распространением пожара и работой ЛА ( $S_{полн(доб)}$  [ $\text{м}^2$ ]):

$$C_{полн(доб)} \equiv S_{полн(доб)}; \quad (2)$$

Площадь «предотвращённого» пожара ( $S_{полн}$ ) составляет общую площадь участка леса, которая была бы повреждена пожаром при свободном распространении участка фронта размером на начало работы ЛА, за промежуток времени работы ЛА, и может быть представлена выражением:

$$S_{полн} = \left( L_{нач} + \frac{aV_f \cdot \sum_1^n \Delta T_{сбр i}}{2} \right) \cdot V_f \sum_1^n \Delta T_{сбр i}; \quad (3)$$

Где:  $\Delta T_{сбр i}$  - промежуток времени между  $i$ -ми сбросами за период работы ЛА на пожаре [мин];

$V_f$  - средняя скорость продвижения фронта горения на участке пожара [м/мин];

$L_{нач}$  - длина фронта горения по периметру участка пожара на момент начала работы ЛА [м];

$n$  - количество рабочих циклов сбросов, выполненных ЛА на пожаре.

$a = \frac{\pi}{k}$  - коэффициент, определяющий изменение длины фронта горения по периметру участка пожара в зависимости от его формы, особенностей местности, погодных и др. факторов.

Добавленная площадь участка, пострадавшего от пожара ( $S_{доб}$ ), представляется в виде зависимости, увязывающей величины, характеризующие процесс работы ЛА на пожаре и процесс развития пожара.

$$S_{доб} = V_f \sum_1^n \Delta T_{сбр i} \cdot \left( L_{нач} + \sum_1^{n-1} (aV_f \Delta T_{сбр i} - L_{сбр i}) + \frac{aV_f \Delta T_{сбр i}}{2} \right); \quad (4)$$

Где:  $L_{сбр i}$  - длина пятна жидкости на поверхности с требуемыми параметрами, получаемого при выполнении  $i$ -го сброса [м].

Основным показателем, обуславливающим результат работы ЛА на пожаре является средняя величина интервалов времени между  $i$ -ми сбросами  $\Delta T_{сбр i}$ , обеспечиваемая ЛА при работе на пожаре, характеризуемому определёнными параметрами расположения и развития. Данная величина при продолжительной работе ЛА на пожаре (более суток) должна определяться на 24 часовом интервале времени:

$$\Delta T_{сбр i} = \frac{n_{вылет} (T_{подг} + 2T_{пол н-б} + T_{сбр} + [T_{пол б-в} + T_{збр} n_{сбр T} + T_{сбр} (n_{сбр T} - 1) + T_{в-н} (2n_{сбр T} - 1) - T_{пол н-б}]) + T_{перер.}}{n_{вылет} n_{сбр T}}; \quad (5)$$

Где:  $T_{подг}$  - время, затраченное на подготовку ЛА к полёту;

$T_{пол н-б}$  - время полёта между районом пожара и местом базирования;

$T_{пол б-в}^*$  - время полёта между местом базирования и водоёмом забора воды;



- $T_{пол\ в-n}^*$  - время полёта между водоёмом забора воды и районом пожара;  
 $T_{збр}^*$  - время выполнения маневра забора воды на рабочем водоёме;  
 $T_{сбр}$  - время выполнения маневра сброса воды при работе на пожаре;  
 $T_{перер}$  - период времени за сутки, в течение которого работа ЛА на пожаре не ведётся;  
 $n_{вылет}$  - количество вылётов на пожар, выполняемых ЛА в течение лётной смены;  
 $n_{сбр\ T}$  - количество сбросов воды, выполняемых в течение одного вылета на пожар.  
 \* - для ЛА амфибийной авиации и вертолётов, осуществляющих тактику циклических заборов воды.

В случае локализации лесного пожара в течение нескольких рабочих вылетов за лётную смену, средняя величина интервалов времени между  $i$ -ми сбросами определяется на периоде времени, соответствующем лётной смене. При локализации лесного пожара в течение одного вылета средняя величина интервалов времени между  $i$ -ми сбросами определяется на промежутке времени полёта ЛА.

Величина затрат на ликвидацию участка пожара с применением ЛА ( $C_{раб}$ ) представляет калькуляцию затрат, связанных с проведением работы ЛА на пожаре ( $\sum C_{i\ раб\ ЛА}$ ):

$$C_{раб} = \sum_1^i C_{i\ раб\ ЛА}; \quad (6)$$

При анализе комплексного критерия эффективности (1) может быть отмечен ряд факторов, характеризующих внешние условия работы на пожаре, которые могут существенно влиять на эффективность применения различных авиационных средств.

По характеру влияния на значение комплексного оценочного критерия эффективности такие факторы можно обобщить следующим образом:

- факторы, приводящие к прекращению проведения работы ЛА на пожаре.
- факторы, приводящие к изменению процесса работы на пожаре. Для самолётов амфибийной авиации это означает переход от тактики работы гидросамолёта на пожаре к тактике сухопутного самолёта.

Первая группа факторов приводит к падению до нуля показателя эффективности применения ЛА на пожаре. Для их учета непосредственно в выражение комплексного критерия может быть введён специальный коэффициент  $k_I$ , который будет включать по мультипликативному принципу составляющие факторы, и будет принимать значения «0» или «1» в зависимости от влияния, оказываемого составляющими факторами.

$$K_{эф} = \frac{k_I \cdot C_{полн}}{C_{доб} + C_{раб}}; \quad (7)$$

$$k_I = k_{дым\ баз} \cdot k_{дым\ пож} \cdot k_{рельеф\ пож} \cdot k_{ветер\ пож}; \quad (8)$$

Где:

$k_{дым\ баз}$  - задымление (снижение видимости) на аэродроме базирования:

$$\begin{cases} k_{дым\ баз} = 1, \text{ иначе} = 0; \\ H_{вид} > H_{min}; \\ L_{вид} > L_{min}. \end{cases} \quad (9)$$

$H_{вид}$ ,  $L_{вид}$ ,  $H_{min}$ ,  $L_{min}$  - текущие и установленные граничные значения видимости на аэродроме базирования.

$k_{дым\ пож}$  - задымление (снижение видимости) в районе очага пожара:

$$\begin{cases} k_{дым\ пож} = 1, \text{ иначе} = 0; \\ H_{вид} > H_{min}; \\ L_{вид} > L_{min}. \end{cases} \quad (10)$$

$H_{вид}$ ,  $L_{вид}$ ,  $H_{min}$ ,  $L_{min}$  - текущие и предельные значения вертикальной и путевой видимости в районе очага пожара.

$k_{рельеф\ пож}$  - эксплуатационные ограничения, накладываемые рельефом местности в районе очага пожара:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{\text{рельеф пож}} = 1, \text{ иначе} = 0; \\ \alpha_{\text{доп}}, n_{y \text{ max}}, V_{y \text{ max}}, \dots \end{array} \right\} \Rightarrow \text{рельеф пожар.} \quad (11)$$

$\alpha_{\text{доп}}, n_{y \text{ max}}, V_{y \text{ max}}$  - эксплуатационные ограничения по параметрам полёта ЛА.

$k_{\text{ветер пож}}$  - эксплуатационные ограничения, получаемые при неблагоприятном сочетании силы и направления ветра в районе очага пожара.

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{\text{ветер пож}} = 1, \text{ иначе} = 0; \\ \alpha_{\text{доп}}, n_{y \text{ max}}, V_{y \text{ max}}, P_p \dots \end{array} \right\} \Rightarrow W, U + \text{рельеф пожар.} \quad (12)$$

$\alpha_{\text{доп}}, n_{y \text{ max}}, V_{y \text{ max}}, P_p$  - эксплуатационные ограничения по параметрам полёта ЛА и тяге двигателя.

$U, W$  - сила и направление ветра в районе очага пожара.

Вторая группа факторов приводит к изменению показателя эффективности в соответствии с изменением порядка работы ЛА на пожаре. Учёт влияния факторов данной группы на комплексный критерий может быть выполнен путём введения специального коэффициента  $k_{II}$  в выражение, определяющее интервал времени между сбросами. Данный коэффициент будет включать по мультипликативному принципу составляющие факторы, и будет принимать значения «0» или «1» в зависимости от влияния, оказываемого составляющими факторами.

$$k_{II} = k_{\text{сутк}} \cdot k_{\text{волн}} \cdot k_{\text{дым вод}} \cdot k_{\text{водоём}} \cdot k_{\text{ветер вод}}; \quad (13)$$

Где:

$k_{\text{сутк}}$  - ограничение периода работы по световым условиям (времени суток - день, ночь, сумерки);

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{\text{сутк}} = 1, \text{ иначе} = 0; \\ T_i \in T_{\text{раб}}. \end{array} \right. \quad (14)$$

$T_{\text{раб}}$  - приемлемый световой период для работы ЛА на пожаре в течение суток

$k_{\text{волн}}$  - эксплуатационные ограничения по волнению водной поверхности в районе забора воды:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{\text{волн}} = 1, \text{ иначе} = 0; \\ H_{\text{волн}} < H_{\text{волн max}}. \end{array} \right. \quad (15)$$

$H_{\text{волн}}, H_{\text{волн max}}$  - текущее и предельное эксплуатационное значения волнения водной поверхности на водоёме забора воды

$k_{\text{дым вод}}$  - задымление (снижение видимости) в районе забора воды:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{\text{дым вод}} = 1, \text{ иначе} = 0; \\ H_{\text{вид}} > H_{\text{min}}; \\ L_{\text{вид}} > L_{\text{min}}. \end{array} \right. \quad (16)$$

$H_{\text{вид}}, L_{\text{вид}}, H_{\text{min}}, L_{\text{min}}$  - текущие и предельные значения вертикальной и путевой видимости в районе забора воды.

$k_{\text{водоём}}$  - ограничение по характеристикам водоёма забора воды:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{\text{водоём}} = 1, \text{ иначе} = 0; \\ L_{\text{забор}}, \alpha_{\text{доп}}, n_{y \text{ max}}, V_{y \text{ max}}, P_p \dots \end{array} \right\} \Rightarrow \{L_{\text{вод}}, B_{\text{вод}}, H_{\text{рельеф}} \dots\}. \quad (17)$$

$L_{\text{забор}}, \alpha_{\text{доп}}, n_{y \text{ max}}, V_{y \text{ max}}, P_p$  - эксплуатационные ограничения по параметрам полёта ЛА и работы двигателей.

$L_{\text{вод}}, B_{\text{вод}}, H_{\text{рельеф}}$  - характеристики рабочего участка водоёма забора воды (длина, ширина, глубина, рельеф местности вокруг водоёма, наличие препятствий);

$k_{\text{ветер вод}}$  - эксплуатационные ограничения по силе и направлению ветра в районе водоёма забора воды.

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{\text{ветер вод}} = 1, \text{ иначе} = 0; \\ MK_{\text{забор}} \sim W. \end{array} \right. \quad (18)$$



$MK_{забор}$ ,  $W$  – курс забора воды, направление ветра в районе забора воды.

Средняя величина интервалов времени между сбросами с учётом приведённых факторов и введением специального коэффициента  $k_{II}$  определится выражением:

$$\Delta T_{сброi} = \frac{n_{вылет} (T_{подг} + 2T_{полн-б} + T_{сбр} + k_{II} [T_{полб-а} + T_{збр} n_{сброT} + T_{сбро} (n_{сброT} - 1) + T_{а-н} (2n_{сброT} - 1) - T_{полн-б}]) + T_{перер}}{n_{вылет} n_{сброT}}; \quad (19)$$

Для аналитической увязки противопожарных действий, проводимых с применением противопожарных технических средств (ЛА), оценки оказываемого ими воздействия на пожар, а так же оценки возможности локализации лесного пожара при использовании противопожарных средств в определённых условиях пожара требуется прогноз динамики развития лесного пожара. Такой прогноз может быть получен при использовании метода математического моделирования лесных пожаров. Лесные пожары являются сложными, многопараметрическими системами, моделирование которых представляет определённую сложность. Моделирование процесса развития лесных пожаров в сочетании с процессом противопожарных действий технических средств должно содержать описание характеристик пожара, на которые производится воздействие применяемых средств с учётом тактических особенностей их работы.

В реальных условиях процесс развития лесного пожара обладает рядом особенностей, усложняющих построение динамической модели. В целях упрощения разработки модели принимаются следующие допущения:

- Пожар состоит из отдельных участков горения. Модель описывает динамику распространения фронта пожара отдельных участков;
- Скорость продвижения отдельного участка фронта пожара принимается неизменной во времени и постоянной по длине участка;
- Отдельные участки фронта пожара могут иметь форму от прямолинейной до полукруглой. При этом форма участка фронта пожара неизменна при распространении пожара.

В процессе продвижения фронта пожара прирост длины участка фронта ( $\Delta L_i$  [м]) зависит от его формы и др. факторов, и может быть определён выражением:

$$\Delta L_i = a \cdot V_f \cdot \Delta T_{сброi}; \quad (20)$$

где:  $a = \frac{\pi}{k}$  – коэффициент, определяющий изменение длины фронта горения по периметру участка

пожара в зависимости от его формы и др. факторов.

$\Delta T_{сброi}$  – интервал времени продвижения фронта пожара [мин].

Коэффициент  $k$  в знаменателе выражения  $a$  может изменяться в диапазоне  $1 \div \infty$ .

Соответственно коэффициент  $a$  может принимать значения диапазона:

$$0 \leq a \leq \pi;$$

Величина прироста длины фронта пожара будет находиться в диапазоне:

$$0 < \Delta L_i < \pi \cdot V_f \cdot \Delta T_{сброi};$$

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

$\Delta L_i = \pi \cdot V_f \cdot \Delta T_{сброi}$  – для участка фронта пожара формы полуокружности;

Выражение (20) определяет изменение длины фронта пожара в процессе его распространения для участка фронта произвольной формы (скорость изменения длины участка).

В случае применения авиационных средств для противодействия лесным пожарам, процесс их работы заключается в ликвидации участков горения по фронту пожара (прокладке заградительной полосы) путём выполнения сбросов огнегасящей жидкости (воды), транспортируемой ЛА. 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 ( $L_n$  [м]) в определённый ( $n$ ) момент времени:

$$L_n = L_0 + a V_f \cdot \sum_1^n \Delta T_{сброi}; \quad (21)$$

где:  $L_0$  – длина фронта участка пожара до начала противопожарных действий ЛА [м];

$n$  – количество сбросов огнегасящей жидкости, выполненных ЛА.



При работе ЛА на пожаре остаточная длина участка фронта горения ( $L_n^*$  [м]) может быть определена выражением:

$$L_n^* = L_n \cdot \left( 1 - \sum_1^{n-1} \frac{L_{сбр i}}{L_i} \right) - L_{сбр n}; \quad (22)$$

где:  $L_{сбр i (n)}$  – длина пятна, получаемого на поверхности при выполнении  $i$ -го ( $n$ -го) сброса с ЛА транспортируемой огнегасящей жидкости [м].

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

$$\begin{cases} L_n^* \leq 0; \\ L_n^* \leq L_{сбр n}; \\ \sum_1^n \frac{\Delta L_i}{L_{сбр i}} \leq 1; \end{cases} \quad (23)$$

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

пожара на рассматриваемом интервале времени при работе ЛА.

$\frac{\Delta L_i}{L_{сбр i}} > 1$  - Длина участка фронта пожара увеличивается. Прирост площади участка пожара увеличивается;

$\frac{\Delta L_i}{L_{сбр i}} = 1$  - Длина участка фронта пожара сохраняется. Прирост площади участка пожара постоянен;

$\frac{\Delta L_i}{L_{сбр i}} < 1$  - Прирост длины участка фронта пожара уменьшается. Прирост площади пожара уменьшается.

$$\frac{a \cdot V_f \cdot \Delta T_{сбр i}}{L_{сбр i}} < 1; \quad \rightarrow \quad a \cdot V_f < \frac{L_{сбр i}}{\Delta T_{сбр i}}; \quad (24)$$

• Следующей пространственной характеристикой пожара является общая площадь участка леса ( $S_{полн}$  [м<sup>2</sup>]), которая была бы повреждена при свободном распространении фронта пожара в течение периода времени работы ЛА по его локализации:

$$S_{полн} \approx \frac{L_0 + L_n}{2} \cdot V_f \cdot \sum_1^n \Delta T_{сбр i}; \quad (25)$$

Площадь пожара, добавленная за период времени локализации участка фронта горения ( $S_{доб}$  [м<sup>2</sup>]) может быть представлена в виде суммы площадей участков, добавляемых в периоды между сбросами ( $\Delta S_i$  [м<sup>2</sup>]) до момента локализации пожара:

$$S_{доб} = \sum_1^n \Delta S_i; \quad (26)$$

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

$$\Delta S_i = \frac{L_{i-1}^* + L_i^*}{2} \cdot V_f \cdot \Delta T_{сбр i}; \quad (27)$$

В результате анализа выражений (20) – (27) могут быть определены характеристики работы ЛА и характеристики процесса развития пожара, на которые производится воздействие при работе ЛА. Результатом работы ЛА на пожаре должно стать прекращение распространения пожара, т.е. прекращение продвижения участков фронта пожара. При этом процесс работы ЛА должен быть нацелен на получение наименьшей дополнительной площади участка, пострадавшего от пожара за период времени его работы при наименьшей величине затрат на ликвидацию участка пожара с применением ЛА.

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

$$S_{доб} \rightarrow \min \quad \Rightarrow \quad \sum_1^n \Delta S_i \rightarrow \min; \quad (28)$$

Для выполнения указанного условия оптимизации подлежат следующие параметры:

$$n \rightarrow \min; \quad \Delta S_i \rightarrow \min; \quad (29)$$

Анализ представленных выражений и их составляющих позволяет определить отдельные характеристики пожара, на которые производится воздействие при работе ЛА для минимизации добавленной площади пожара.

Так в выражении площади участка пожара добавленной за интервалы времени между сбросами (27) при работе ЛА внешнему влиянию подлежат следующие параметры:

$$L_n^* \rightarrow \min; \quad \Delta T_{сбр i} \rightarrow \min; \quad (30)$$

Выражение остаточной длины участка фронта пожара (22) также содержит параметры, подлежащие внешнему воздействию при работе ЛА на пожаре и подлежащие оптимизации.

$$L_{сбр n(i)} \rightarrow \max; \quad L_{n(i)} \rightarrow \min; \quad (31)$$

Выражение длины участка фронта пожара в процессе его распространения (21) содержит следующие чувствительные параметры:

$$L_0 \rightarrow \min; \quad \frac{\pi}{k} \rightarrow 1; \quad V_f \rightarrow \min; \quad (32)$$

Представленный перечень оптимизируемых параметров может быть систематизирован следующим образом:

- Характеристики интенсивности распространения, масштаба пожара:  
 $V_f \rightarrow \min;$   
 $\frac{\pi}{k} \rightarrow 1;$   
 $L_0 \rightarrow \min;$   
 $L_{n(i)} \rightarrow \min;$
- Характеристики пожара, определяющие результат воздействия на него ЛА в процессе работы:  
 $L_n^* \rightarrow \min;$   
 $\Delta S_n \rightarrow \min;$
- Характеристики работы ЛА на пожаре:  
 $L_{сбр n(i)} \rightarrow \max;$   
 $\Delta T_{сбр n} \rightarrow \min;$   
 $n \rightarrow \min;$

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

Выражения (20) – (27) позволяют определить пространственные параметры пожара в рассматриваемый момент времени с учётом работы ЛА по его локализации, и представляют динамическую модель распространения лесного пожара.

Результаты моделирования могут быть представлены в графическом виде (рис. 1). Для упрощения графического представления результатов моделирования участок фронта пожара принимается прямолинейной формы, изменение длины которого определяется выражением (20). Поскольку воздействие ЛА на пожар происходит циклически и характеризуется порционным порядком воздействия с временными интервалами, пространственно-временная модель развития лесного пожара имеет ступенчатый характер.



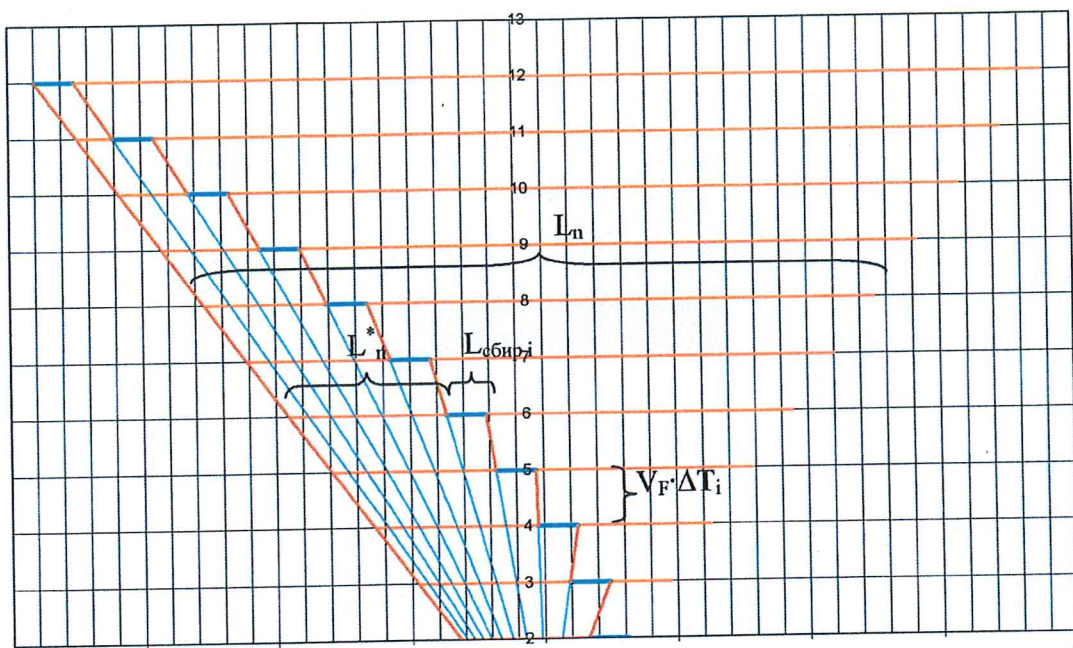


Рис. 1

Графическое представление динамической модели развития лесного пожара позволяет оценить изменение пространственных характеристик пожара при варьировании основными характеристиками пожара и технических средств.

Представленная модель распространения лесных пожаров позволяет описать динамику изменения пространственных параметров пожара при использовании небольшого числа доступных входных данных. Исследование комплексной взаимосвязи приведённых характеристик пожара и ЛА может определить область их значений, при которых комплексный критерий эффективности его применения будет иметь экстремальное значение для определённых условий.

Подпись лица  
предоставившего сведения

Дата 09.06.2014

Полосинов С.А.  
(Ф.И.О.)