

С.Ф. Кривошлыков, УГЗУ

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА СИЛ И СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА

(представлено доктором техн. наук Ю.А. Абрамовым)

В работе предложена модель для оценки сверху времени локализации очага ландшафтного пожара. Модель позволяет, зная скорость роста периметра пожара и скорость движения средств пожаротушения, оценить необходимое количество сил и средств для локализации пожара за установленное время с учетом прибытия подкреплений.

Постановка проблемы. Повышение эффективности проводимых оперативных мероприятий по борьбе с ландшафтным пожаром в условиях дефицита сил и средств пожаротушения требует оценки их необходимого количества для своевременной локализации пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. Существующие модели локализации ландшафтных пожаров [1-3] не рассматривают случай неодновременного начала пожаротушения подразделениями, прибывающими к месту тушения поочередно. Это не позволяет оценить необходимое количество задействованных сил и средств пожаротушения при их дефиците и рассчитать параметры запроса о подкреплении.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является получение модели расчета необходимого количества сил и средств пожаротушения для оперативной локализации ландшафтного пожара.

Возможность прогнозировать значение скорости роста периметра пожара [4] при известных параметрах ландшафта позволяет оценить время локализации (найти его верхний предел). При создании модели будем исходить из линейного по времени характера роста периметра ландшафтного пожара.

Каких либо сроков по локализации ландшафтного пожара нормативная литература не устанавливает, понятие оперативной локализации [5] не расшифровывается, поэтому локализацию будем назвать оперативной, если она проведена в срок, намеченный руководителем пожаротушения. Очевидно, что локализация методом окружения очага горения возможна в том случае, если скорость роста периметра V_p (м/мин) меньше суммы скоростей используемых N тушащих средств V_{Ti} (м/мин) ($i=1..N$)

$$V_p < \sum_{i=1}^N V_{Ti}, \quad (1)$$

иначе силы пожаротушения просто не будут успевать тушить крошку. Данное условие является необходимым, но не достаточным. Локализация за время T (мин) возможна, если кроме условия (1) выполнено условие

$$L_0 + V_p(T - t_0) = \sum_{i=1}^N \bar{V}_{Ti}(T - t_0), \quad T > t_0, \quad (2)$$

где $L_0 = L(t_0)$ - периметр (м) очага пожара в момент начала локализации t_0 (мин). В качестве скорости тушения i -ого средства пожаротушения V_{Ti} необходимо брать среднюю за время T скорость \bar{V}_{Ti} (м/мин) локализации пожара данным средством. Нахождение этой скорости осуществляется в ходе проведения соответствующих испытаний, либо по данным, приведенным в справочной литературе [6, 7].

Отметим, что данные, приведенные в источниках характерны для низовых лесных пожаров. В тоже время, в [8, 9] указывалось сходство на механизм распространения ландшафтных пожаров при горении наземного слоя растительного материала. Существенное отличие состоит в том, что для лесных пожаров под пологом древостоя величина ветра обычно не превосходит 1-5 м/с [10], в то время как на открытом пространстве сельхозугодий и в особенности степей, ветер может достигать скорости 10 м/с и более. Поэтому данные, приведенные в указанных таблицах, подходят для низовых лесных пожаров и пожаров других типов при скорости ветра не более 5 м/с. Для других же параметров ветра литературные данные отсутствуют. В [6, 7] приведены затраты времени, связанные с проведением работ по локализации и тушению уже для команд тушителей и механизированных подразделений, а также приведены данные для локализации пожара с помощью взрыва.

Полагая, что локализация пожара должна завершиться в течение времени T_C (мин), - к примеру, продолжительности одной рабочей смены, либо времени от начала локализации до наступления темноты, и имея заданный набор средств пожаротушения, можно говорить об оперативной локализации, если

$$\left[L(t_0) + t_0 \left(\sum_{i=1}^N \bar{V}_{Ti} - V_p \right) \right] / \left[\sum_{i=1}^N \bar{V}_{Ti} - V_p \right] = T < T_C. \quad (3)$$

Поскольку полагаем, что периметр растет линейно по времени, то из (3) получаем критерий оперативной локализации пожара

$$t_0 \sum_{i=1}^N \bar{V}_{Ti} / \left[\sum_{i=1}^N \bar{V}_{Ti} - V_p \right] = T < T_c, \quad \sum_{i=1}^N \bar{V}_{Ti} > V_p. \quad (4)$$

На рис. 1 приведен график зависимости (4), на основе которого построена номограмма определения времени локализации ландшафтного пожара (рис. 2). По данной номограмме, задавая скорость распространения пожара и зная суммарную скорость тушения кромки, можно определить время локализации пожара и, соответственно, задавая по шкале времени локализации уровень T_c , можно найти условие оперативной локализации пожара.

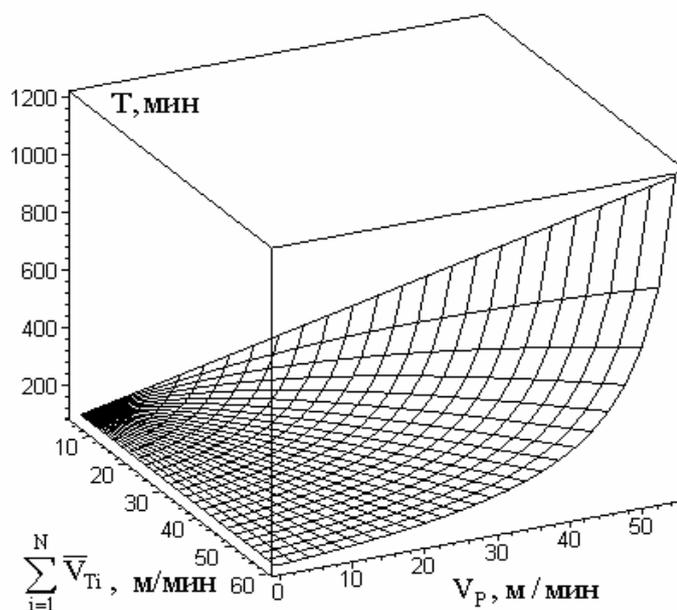


Рисунок 1 – Время локализации пожара $T(V_p; \sum_{i=1}^N \bar{V}_{Ti})$ для $t_0=100$ минут

Условие (3) позволяет решать задачу локализации в другой постановке – о расчете необходимого минимального количества сил и средств пожаротушения для локализации пожара в отведенный срок T_c .

В этом случае выражение (4) будет записано в виде

$$\sum_{i=1}^N \bar{V}_{Ti} > T_c \cdot V_p / [T_c - t_0], \quad T_c > t_0. \quad (5)$$

Решать задачу в такой постановке поможет номограмма, изображенная на рис. 3. К примеру, из нее следует, что если для пожара, тушение которого начинается на 100 минуте с момента возгорания, и периметр которого имеет скорость роста, равную 15 м/мин, необходимо осуществить тушение за время, не более чем 500 мин (от 600

мин отнять 100 минутное время распространения), то необходимо привлечь средства пожаротушения, суммарная скорость тушения которых будет не меньше 18 м/мин. Если же необходимо локализовать пожар быстрее, - например, за 300 мин, то необходимо добавить подкрепление со скоростью локализации 2 м/мин.

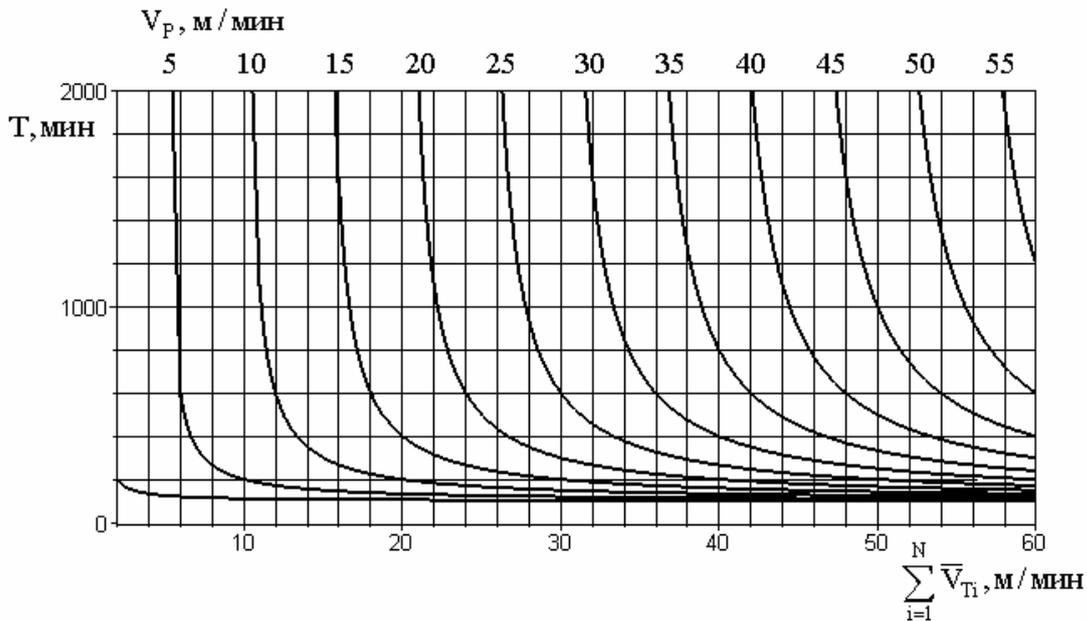


Рисунок 2 – Номограмма для определения времени локализации ландшафтного пожара для $t_0=100$ мин

Отметим, что приведенный пример предполагает использование такой тактики пожаротушения, которая не допускает простоя подразделений и справедлива для одновременного окружения.

В случае невыполнения условия (1) возникает необходимость в привлечении дополнительных сил пожаротушения. Если подкрепление прибывает в t_j момент времени и одновременно в интервале времени $(t_j; t_{j+1})$ в тушении участвуют $N(j)$ одинаковых подразделений, то условие локализации будет записано в виде

$$L_0 + V_p(T - t_0) = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N(j)} \bar{V}_{Ti} (t_j - t_{j-1}), \quad t_0 < t_1 < \dots < t_{K-1} < T, \quad (6)$$

где полагаем $t_K = T$. При этом хотя бы для одного из j должно выполняться неравенство

$$\sum_{i=1}^{N(j)} \bar{V}_{Ti} > V_p. \quad (7)$$

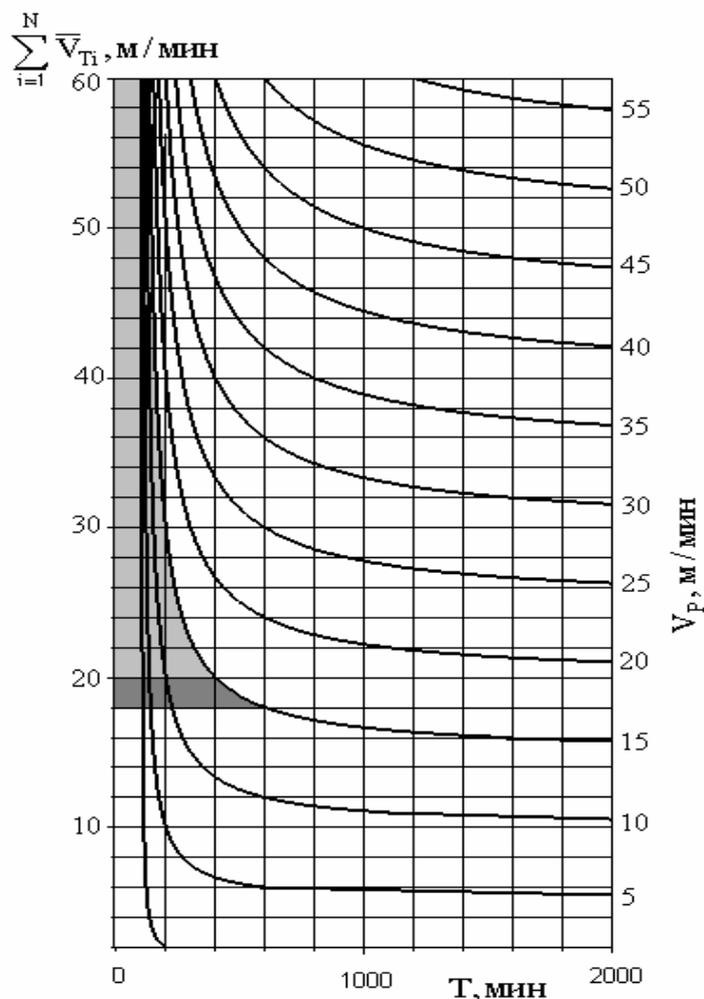


Рисунок 3 – Номограмма для определения необходимого количества сил и средств пожаротушения для оперативной локализации пожара

Преобразовывая (6), получим выражение

$$L_0 + V_p(T - t_0) = \sum_{j=1}^{K-1} \sum_{i=1}^{N(j)} \bar{V}_{Ti}(t_j - t_{j-1}) + \sum_{i=1}^{N(K)} \bar{V}_{Ti}(T - t_{K-1}),$$

решая которое относительно T , получим аналог выражения (4) для случая неодновременного окружения очага пожара

$$\left[\sum_{i=1}^{N(K)} \bar{V}_{Ti} t_{K-1} - \sum_{j=1}^{K-1} \sum_{i=1}^{N(j)} \bar{V}_{Ti}(t_j - t_{j-1}) \right] / \left[\sum_{i=1}^{N(K)} \bar{V}_{Ti} - V_p \right] = T < T_c. \quad (8)$$

Отметим, что выражения (4) и (8) являются оценками сверху для времени локализации пожара и не учитывают возможности его снижения при оптимизации параметров пожаротушения [11].

Выводы. Предложена модель для оценки количества сил и средств пожаротушения, необходимого для оперативной локализации ландшафтного пожара. Модель позволяет определить минимальное необходимое количество единиц техники из имеющегося арсенала с учетом времени прибытия каждого из них к месту пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доррер Г.А. Теория распространения пожара как волнового процесса: Автореф. дис.... д-ра техн. наук. – Красноярск: ИЛД СО АН СССР, 1989. – 45 с.
2. Літвін М.В. Розробка тактико-технічних рішень гасіння лісової пожежі: Дис.... канд. техн. наук. – Харків: ХДТУБА, 1998. – 142 с.
3. Тарасенко О.А. Вплив просторових флуктуацій пірологічних параметрів середовища на інтегральні характеристики низової лісової пожежі та умови її гасіння: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – Харків: АЦЗУ, 2004. – 20 с.
4. Rothermel R.C. A mathematical Model for fire Spread Predictions in Wildland Fuels. – Ogden: USDA Forest Service Res. Paper, 1972. – INT – H5. – 40 p.
5. 102. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. – М.: ФСЛХ РФ, 1995. – 102 с.
6. Подрезов Ю.В. Математическое моделирование оценки и прогнозирования лесопожарной обстановки и критерии ее остроты // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2001. – Вып. 4. – С. 272 – 285.
7. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
8. Гришин А.М. Общие математические модели природных пожаров. XII Симпозиум по горению и взрыву. Черногоровка, 7-11 февраля 2005 г. С. 1-25.
9. Кулешов А.А. Математическое моделирование в задачах промышленной безопасности и экологии // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2003, №4. – С. 56-70.
10. Мелехов Н.С. Природа леса и лесные пожары. – Архангельск: АЛТИ, 1947. – 126 с.
11. Кривошлыков С.Ф., Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Алгоритм оптимизации параметров тактики тушения простого ландшафтного пожара // Проблемы надзвичайних ситуацій. Сб. науч. тр. – Харьков: Фолио, 2006. – Вып. 3. – С. 98 – 101.
nuczu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 09.09.2008 г.