

УДК 630\*432.31

## К РАСЧЕТУ ОСТАНОВКИ ОТРЕЗКОВ КОНТУРА ЛЕСНОГО ПОЖАРА

И. П. КОЛОДИН, Э. В. КОНЕВ

Московский лесотехнический институт,  
ВНИИХлесхоз

Силы и средства, необходимые для ликвидации лесного пожара, пропорциональны длине кромки остановленного огня. Однако на практике обычно известна лишь длина кромки пожара в момент его обнаружения  $L_{обн}$ . Зная  $L_{обн}$  можно определить длину кромки в моменты начала  $L_n$  и конца  $L_0$  остановки огня [2]. При этом необходимо учесть прирост длины кромки за время остановки тех отрезков контура, которые выделяются отдельным звеньям (группам) пожаротушения на наиболее опасных направлениях распространения огня.

Ниже приведено численное решение задачи, разработана программа ее решения на ЭВМ для переменных во времени скоростей роста и остановки кромки огня, а также обсуждены условия выхода пожара из-под контроля на отдельных участках.

Уравнения остановки пожара. Согласно [2] система дифференциальных уравнений, описывающих изменение периметра контура лесного пожара, и их начальные условия имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \frac{dL}{d\tau} &= V - V_0 \text{ при } L(0) = L_n; \\ \frac{dL_0}{d\tau} &= -V_0 \text{ при } L_0(0) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь  $L$  — длина горящей кромки пожара;  
 $\tau$  — время распространения пожара;  
 $V, V_0$  — скорость естественного увеличения и остановки заданного отрезка контура соответственно.

Контур развитого лесного пожара всегда можно представить в виде совокупности дуг окружностей, которые продвигаются с постоянной во времени скоростью  $U$ . Для звена пожаротушения отрезок контура может состоять из одной или нескольких таких дуг. Поскольку огонь распространяется по нормали к контуру (рис. 1), то для каждой из дуг справедливы соотношения

$$\left. \begin{aligned} \frac{L(\tau)}{R(\tau)} &= \frac{L_n}{R_n} = \gamma; \\ R(\tau) &= R_n + U\tau, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $R, R_n$  — текущий и начальный радиусы дуги;  
 $\gamma$  — угол дуги, рад.

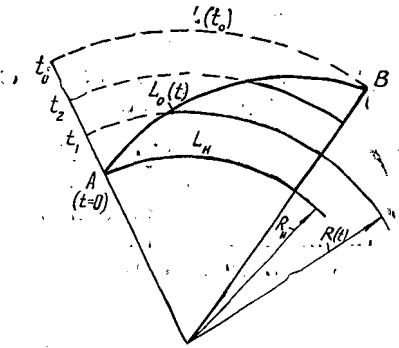
Скорость увеличения длины горящей кромки

$$V = \frac{dL(\tau)}{d\tau} = \gamma \frac{dR(\tau)}{d\tau} = \gamma U,$$

т. е. для свободно продвигающейся дуги ( $\gamma = \text{const}$ )

$$V = \frac{L_n U}{R_n}; \quad (3)$$

Рис. 1. Изменение длины дуги горящей кромки в ходе ее остановки:  $A$  — начало остановки;  $B$  — конец остановки;  $L_0(t)$  — контур остановленной кромки; пунктир — расчетное положение неостановленной кромки



для останавливаемой дуги пожара ( $\gamma \neq \text{const}$ ),

$$V = \frac{LU}{R} \quad (4)$$

Окончательно система уравнений (1) может быть приведена к виду

$$\frac{dL}{d\tau} = \frac{L_n}{R_n} U; \text{ при } L(0) = L_{\text{обн}} \quad (5)$$

для свободно продвигающейся дугообразной кромки огня или

$$\left. \begin{aligned} \frac{dL}{dt} &= \frac{LU}{R_n + Ut} - V_0 \text{ при } L(0) = L_n; \\ \frac{dL_0}{dt} &= V_0 \text{ при } L_0(0) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

для дугообразной кромки пожара в ходе ее остановки. При этом для определения длины остановленной кромки может быть использовано условие  $L(t_0) = 0$ , т. е. длина горящей кромки в момент ее полной остановки  $t = t_0$  должна быть равна нулю.

Решение задачи. Интегрируя уравнение (5), находим увеличение длины кромки пожара с момента его обнаружения до момента начала остановки

$$\Delta L = L_n - L_{\text{обн}} = \int_{\tau_{\text{обн}}}^{\tau_n} \sum_i \frac{L_{ni}}{R_{ni}} U_i d\tau = V(\tau_n - \tau_{\text{обн}}), \quad (7)$$

где  $V = \sum_i \frac{L_{ni}}{R_{ni}} U_i$ ,  $i$  — число дуг, составляющих контур;  $\tau_n, \tau_{\text{обн}}$  — время соответственно начала остановки и обнаружения пожара.

Значения  $U_i$  рассчитывают по формулам для прогноза скорости продвижения огня в лесу (см., например, [1]). Усредненные значения  $V$  для замкнутой горящей кромки могут быть взяты также по таблицам [3].

Система уравнений (6) допускает точное решение при постоянных во времени значениях параметров. Решая первое уравнение системы методом вариации произвольной постоянной, получаем

$$L = \left( \frac{L_n}{R_n} + \frac{V_0}{U} \ln \frac{R_n}{R_n + Ut} \right) (R_n + Ut),$$

где  $t = \tau - \tau_n$ .

Используя условие  $L(t_0) = 0$ , находим время остановки отрезка контура пожара

$$t_0 = \frac{R_n}{U} (e^{UL_n/(V_0 R_n)} - 1). \quad (8)$$

Интегрируя второе уравнение системы с учетом (8), определяем длину остановленной кромки

$$L_0 = V_0 t_0 = V_0 \frac{R_n}{U} (e^{UL_n/(V_0 R_n)} - 1). \quad (9)$$

В общем случае  $V$  и  $V_0$  зависят от времени и при остановке пожара могут быть аппроксимированы рядом частных зависимостей.

1. Для скорости естественного роста отрезка контура пожара

$$V = \frac{LU_n}{R_n} (1 + bt)^m,$$

где  $U_n$  — скорость продвижения огня в начальный момент;  
 $b$ ,  $m$  — коэффициенты, учитывающие изменения условий в лесу.

Поскольку обычно условия горения в лесу изменяются во времени медленно, они могут быть учтены линейной зависимостью ( $m = 1$ ).

2. При остановке кромки пожара с помощью механизмов

$$V_0 = V_{o.n} = \text{idem},$$

где  $V_{o.n}$  — скорость тушения пожара в начальный момент времени.

3. При длительной остановке огня вручную, вызванной истощением сил и средств,

$$V_0 = V_{o.n} e^{-at},$$

где  $a$  — коэффициент ослабления пожара.

4. При быстрой остановке огня вручную или этим же способом и техническими средствами одновременно

$$V_0 = V_{o.n} (1 + ct),$$

где  $c$  — коэффициент, зависящий от производительности рабочих на тушении пожара.

В случаях 1, 3, 4 не представляется возможным выразить  $t_0$  через элементарные функции. Поэтому численное решение целесообразно находить с помощью ЭВМ, а точное решение для случая 2 использовать как контрольное. При составлении программы решения уравнений (5), (6) был использован метод Рунге-Кутты и языки программирования Паскаль и Фортран применительно к персональным ЭВМ ЕС-1840, IBM PC AT/XT и совместимых с ними. Приведенные выражения были заложены в программу в виде функции

$$F = \frac{LU_n (1 + bt)^m}{R_n} - V_{o.n} e^{-at} (1 + ct),$$

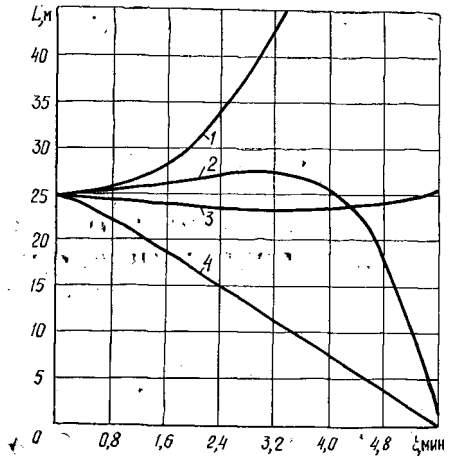
частные случаи которой вытекают после подстановки соответствующих коэффициентов.

Результаты численного счета для ряда значений коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $m$  (в общем случае они определяются эмпирически) представлены на рис. 2. Видно, что в зависимости от соотношения между  $V(t)$  и  $V_0(t)$  возможны разнообразные варианты изменения  $L(t)$  в ходе остановки пожара вплоть до выхода его из-под контроля, что, согласно соотношению (1), может происходить при условии

$$\frac{dL}{dt} > 0, \text{ т. е. } V > V_0. \quad (10)$$

На практике контроль за выполнением этого условия осложнен, так как значения  $V$  и  $V_0$  могут быстро изменяться во время остановки

Рис. 2. Изменение длины дуги горящей кромки  $L$  в зависимости от текущего времени  $t$  в ходе остановки пожара при  $L_n = 25$  м,  $U_d = 2,5$  м/мин,  $R_t = 30$  м:  
 1 —  $V_0 = 3,0$  м/мин,  $b = 1$  мин $^{-1}$ ,  $m = 1$ ,  $a = -1$  мин $^{-1}$ ,  $c = 1$  мин $^{-1}$ ; 2 —  $V_0 = 2,0$  м/мин,  $b = 1$  мин $^{-1}$ ,  $m = 1$ ,  $a = 0,5$  мин $^{-1}$ ,  $c = 0$  мин $^{-1}$ ; 3 —  $V_0 = 2,5$  м/мин,  $b = 1$  мин $^{-1}$ ,  $m = -1$ ,  $a = -1$  мин $^{-1}$ ,  $c = 1$  мин $^{-1}$ ; 4 —  $V_0 = 5,4$  м/мин,  $b = 0,0833$  мин $^{-1}$ ,  $m = -1$ ,  $a = 0$  мин $^{-1}$ ,  $c = 0$  мин $^{-1}$ ; 1, 4 — сил и средств достаточно для ликвидации пожара; 2, 3 — пожар выходит из-под контроля, требуются дополнительные силы и средства



пожара. При определенном их соотношении огонь может выйти из-под контроля через некоторое время после начала его остановки (кривая 1 на рис. 2). Так, при линейной зависимости  $V$  и  $V_0$  от времени условие (10) принимает вид

$$V_n(1 + bt) > V_{o.n}(1 + ct),$$

откуда следует, что  $V$  становится больше  $V_0$ , а пожар выходит из-под контроля не сразу, а через время

$$t > \frac{V_{o.n} - V_n}{V_n b - V_{o.n} c}. \quad (11)$$

Рассмотренные случаи иллюстрируют полезность применения математических методов для расчета сил и средств на остановку лесного пожара.

В целом полученные решения позволяют: находить длину остановленной кромки и время остановки пожара, если известен его периметр в момент обнаружения; определять условия выхода огня из-под контроля; прогнозировать возможные ситуации при ликвидации пожаров вручную и с помощью технических средств. Решение указанных задач необходимо для правильной организации работы групп (звеньев) пожаротушения, в особенности находящихся на главных направлениях борьбы с огнем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Конев Э. В. Анализ процесса распространения лесных пожаров и палов // Теплофизика лесных пожаров. — Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1984. — С. 99—125. [2]. Конев Э. В. К расчету сил и средств на остановку лесного пожара // Лесн. журн. — 1987. — № 5. — С. 24—29. — (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. — М.: Гослесхоз СССР, 1975. — 111 с.

Поступила 24 апреля 1990 г.

УДК 630\*181.41 : 630\*232

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СХЕМ СМЕШЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ДУБА И ЕЛИ НА ЗАПАДЕ УССР

Ю. М. ДЕБРИНЮК

Львовский лесотехнический институт

Повышение продуктивности дубрав — одна из основных задач лесохозяйственного производства. Ее решение возможно введением в дубовые насаждения технически ценных и быстрорастущих пород, что позволяет провести несколько оборотов их рубки за один оборот рубки дуба. В результате значительно повышается суммарная продуктивность насаждения и возмещаются затраты на создание и выращивание лесных культур задолго до рубки главного пользования.

При обработке собранного материала автор исходил из необходимости повышения потенциальной продуктивности дубовых лесов за счет введения быстрорастущих пород, обеспечения оптимальных условий роста агротехническими и лесоводственными мерами воздействия и преимущества в составе древостоев дуба черешчатого — главной и коренной породы в данном типе лесорастительных условий.

Введение быстрорастущих пород преследует цель повысить выход древесины с единицы лесной площади, создать подгон дубу для повышения выхода его деловой древесины в возрасте главной рубки и в целом, более полно использовать высокое потенциальное плодородие дубрав. Перспективны в этом направлении хвойные породы, в частности ель обыкновенная. Произрастая за пределами естественного ареала, она приобретает ряд новых биологических особенностей: становится быстрорастущей и скороспелой породой в возрасте до 30...40 лет.

Однако в создании смешанных насаждений из дуба и ели существуют определенные сложности. Хвойная порода в молодости растет более интенсивно, чем дуб, и при неправильно подобранном типе и схеме смешения может затенять и охлестывать последний [1]. При значительном участии в составе ель подкисляет почву [5], создавая неблагоприятные для роста дуба условия. Ритмы роста и развития ели и дуба в разных возрастных диапазонах неодинаковы [3]. Свойственная ели высокая конкурентная способность в молодости существенно уменьшается с возрастом [4], и порода становится восприимчивой к различным заболеваниям. Без учета перечисленных особенностей невозможно создать высокопродуктивные и устойчивые елово-дубовые насаждения.

Исследования проводили на территории гослесфонда лесохозяйственных районов Расточья — Ополя, Малого Полесья и Подольской лесостепи [2] в смешанных насаждениях дуба и ели I—II классов возраста, произрастающих на серых (темно-серых) лесных легко- и среднесуглинистых почвах. Поскольку в западной лесостепи УССР нет очень сухих дубрав, сухие и сырые распространены очень редко, а мокрые лишь фрагментарно, то в качестве объекта исследований были выбраны свежие дубравы, представленные очень широко [6]. Лесные культуры дуба и ели подбирали в условиях свежей грабовой ( $D_2ГД$ ), свежей буковой ( $D_2БкД$ ) и свежей грабово-буковой ( $D_2ГБД$ ) дубрав.