

УДК 625.032

А.Я. Калиновський, канд. техн. наук, доцент, С.Ю. Назаренко, Ю.А. Фоминиченко

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ОЧАГА ЗАГОРАНИЯ НА ФОРМУ КОНТУРА ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА

Исследована зависимость формы контура пожара и его размеров от формы и размеров исходного очага пожара. Показано, что такая зависимость существует только для времени развития пожара $t \leq 30$ мин., а при $t > 30$ мин. контур пожара «забывает» о параметрах исходного очага.

Ключевые слова: очаг загорания, форма контура ландшафтного пожара, время развития пожара.

A. Kalinovskij, Cand. of Sc. (Eng.), docent, S. Nazarenko, Yu. Fominichenko

INFLUENCE OF THE SIZE AND SHAPE OF THE SOURCE ON THE SHAPE OF THE CONTOUR OF LANDSCAPE FIRE

The dependence of the shape of the contour of fire and size of the form and size of the source of the fire. Show that this relationship exists only for the time of a fire $t \leq 30$ min., And at $t > 30$ min. line of fire "forgets" about the parameters of the original outbreak.

Keywords: focus sunbathing shape of the contour of landscape fire, while the development of fire.

Одним из основных вопросов противопожарной охраны лесов является прогнозирование динамики распространения контура пожара по определенной территории, то есть нахождения зависимости формы и размеров контура от времени t . Знание контура лесного (ландшафтного) пожара позволяет сделать правильный выбор методов тушения пожара [1,2]. Известно [1-3], что контур пожара может иметь самую разнообразную форму, поскольку скорость распространения пожара зависит от большого числа различных природных факторов.

Обычно наличие лесного пожара обнаруживают через определенное время t_0 после его начала. К этому времени контур пожара приобретает некоторую форму и размеры, которую будем обозначать величиной $H_0(K_0, S_0, L_0, t_0)$, где K_0 описывает форму контура, S_0 и L_0 – его площадь и периметр соответственно. Именно эту величину H_0 и будем рассматривать для описания исходного очага пожара. Исходя из данного значения H_0 и используя определенные модельные предположения о динамике развития пожара, необходимо предсказать значение $H(K, S, L, t)$ в любой другой момент времени t . При этом возникает вопрос о зависимости H от H_0 или, точнее, как влияет форма и размер очага загорания на контур H развитого пожара.

В [2] расчеты K проведены методом размещения плоских геометрических объектов с использованием предложенного авторами «единичного контура горения» (по сути годографа скорости горения [5]) в виде сшивки двух полуэллипсов. В [4] аналогичные расчеты выполнены методом имиджевой экстраполяции. Авторы [2,4] получают, что форма контура пожара K в каждый последующий период времени t по сути сильно зависит от формы K_0 , а модель [4] собственно и построена на такой зависимости. Более того, сделан вывод [4] о возможности по известному контуру K восстановить формы контуров в предыдущие моменты времени и даже предсказать место возникновения пожара. Нам представляется, что указанные выводы [2,4] обусловлены недостаточно детальным исследованием этого вопроса, а в [4] также исключительно методом расчета K .

Нижче нами досліджено залежність форми контура пожеги і його розмірів від форми і розмірів вихідного осередку пожеги. Показано, що через певний час T форма пожеги в основних своїх вимірах по суті «забуває» про форму осередку загорання. Інакше кажучи, величина $H(K, S, L, t)$ при $t \geq T$ є приблизно інваріантною величиною відносно $H_0(K_0, S_0, L_0, t_0)$.

Для дослідження поведінки величин $H(K, S, L, t)$ нами використана експериментально-аналитическа модель [5], згідно якої географ швидкості поширення низового пожеги має вигляд

$$V = V_0 \frac{2\alpha \cos x + (1 + \alpha^2) \sqrt{\cos^2 x + (1 - \alpha^2)^2 \sin^2 x}}{\cos^2 x + (1 + \alpha^2)^2 \sin^2 x}, \quad (1)$$

де $V_0 = v_0 + kv_B$, $\alpha = v_B / \sqrt{v_B^2 + c^2}$, $x = \varphi + \psi$, v_B і ψ швидкість вітру і його напрямлення відносно полярної осі, яка збігається з осью OX , φ – азимутальний кут, v_0 – швидкість поширення пожеги при $v_B = 0$. Параметри моделі v_0 , k і c залежать від складу і стану горючого матеріалу і наведені в [6]. Якщо $\psi = 0$, то при $\varphi = 0$ отримуємо фронтальну швидкість поширення пожеги $V = V_{ФР}$, а при $\varphi = \pi$ – тылову $V = V_T$, де $V_{ФР}$, V_T , а також флангова швидкість $V_{ФЛ}$ збігаються з вираженнями, наведеними в [6]. Відзначимо, що формула (1) описує поширення пожеги на рівнинній місцевості, а її справедливості підтверджено численними експериментальними дослідженнями (см. [2]).

Якщо початковий осередок загорання має форму, яку можна описати вираженням $r_0 = r_0(\varphi)$ при $t_0 = 0$, то припускаючи, що величини v_B , ψ , v_0 , k і c не залежать від t , отримуємо вираження

$$R(\varphi, t) = r_0 + Vt, \quad (2)$$

для описання контуру пожеги в момент часу t .

В якості вихідних осередків загорання нами розглянуті наступні плоскі фігури: коло, квадрат і еліпси Кассіні. Рівняння кола і квадрата з центром в початку координат мають відповідно вигляд:

$$r_0(\varphi) = \sqrt{S_0 / \pi}, \quad (3)$$

$$r_0(\varphi) = \frac{\sqrt{S_0 / 2}}{|\cos \omega| + |\sin \omega|}, \quad (4)$$

а рівняння еліпсів Кассіні в полярній системі координат –

$$r_0(\varphi) = \sqrt{a^2 \cos 2\omega + \sqrt{a^4 \cos^2 2\omega - a^4 + c^4}}, \quad (5)$$

де величина S_0 дорівнює площі осередку загорання, $\omega = \varphi + \chi$, а кут χ визначає орієнтацію фігур (4) і (5) відносно полярної осі координат. Якщо $a \geq \sqrt{2}c$, то рівняння (5) описує еліпс, якщо $c < a < \sqrt{2}c$ – еліпс з талиєю, якщо $a = c$ – лемніскату Бернуллі (в цьому випадку $S_0 = 2a^2$), якщо $a < c$ – два еліпси. В загальному випадку рівняння (5) його площа S_0 визначається з допомогою еліптичних функцій.

Розрахунки контурів пожеги проведені нами з використанням формул (1) – (5) при наступних значеннях параметрів $v_0 = 0,067$ м/с, $k = 0,0075$, $c = 240$ м/с, трьох значеннях $v_B = 0, 3$ і

6 м/с и для t от 0 до 180 мин при $S_0=162 \text{ м}^2$ и $S_0=684 \text{ м}^2$. Если очаг пожара описывался формулами (4) и (5), то в расчетах полагали $\chi=0, \pi/4$ и $\pi/2$, что соответствует трем различным ориентациям фигур (4) и (5) относительно направления ветра, для которого для наглядности результатов было принято $\psi=0$. Таким образом, поворот фигур (4) и (5) фактически соответствует изменению направления ветра.

На рисунках 1-5 приведены в качестве примеров наиболее интересные и характерные результаты проведенных нами исследований.

Из рисунка 1 видно, что все кривые для контуров имеют четкую овальную форму, при $t \geq 60$ мин – почти эллиптическую, а в правой полуплоскости (то есть по направлению ветра) контур становится почти эллиптической формы уже при $t \geq 10$ мин. Из сравнения соответствующих кривых на рисунках 1б и 1в следует, что зависимость контура пожара от величины S_0 является пренебрежимо малой ($\leq 5\%$) уже при $t=30$ мин, а с увеличением t величина S_0 практически не влияет на контур пожара. Для очагов пожара в форме вытянутых овалов (5) расчеты приводят к кривым контура пожара, которые с большой точностью практически совпадают с приведенными на рисунке 1 уже при $t \geq 10$ мин.

На рисунке 2 представлены результаты расчетов с очагом пожара в форме квадрата (4). Как и в предыдущем случае наиболее опасное направление распространения пожара определяет направление ветра. Поэтому естественно рассматривать и сравнивать получаемые кривые для контуров пожара в правой полуплоскости. Из рисунка 2 видно, что сделанные выше выводы остаются в силе и для очага в форме (4). Из сравнения кривых на рисунках 1 и 2 и расчетов для $S_0=684 \text{ м}^2$ следует, что форма исходного очага пожара также слабо влияет на контур пожара, а имеющиеся отличия для контуров в левой полуплоскости незначительны и не являются принципиальными.

На рисунке 3 приведены более интересные результаты расчетов для случая лемнискаты Бернулли (5). Из рисунка 3 видно, что в этом, может быть несколько экзотическом случае, «залечивание» контура пожара происходит сравнительно медленнее, чем в предыдущих случаях, и контур пожара сохраняет память о форме исходного очага пожара (в правой полуплоскости) до $t \leq 30$ мин. Однако, при больших временах эта память стирается, и кривые 5, 6 и 7 мало отличаются от соответствующих кривых на рисунках 1 и 2.

Результаты расчетов контура пожара для очага в форме овала с талией приведены на рисунке 4. Эту форму очага можно рассматривать как промежуточную между овалом (или кругом) и лемниской Бернулли. В этом случае «залечивание» контура пожара происходит очень быстро при $\chi=0$, а при $\chi=\pi/2$ память об очаге пожара сохраняется вплоть до $t=30$ мин.

Отметим, что расчеты, аналогичные приведенным на рисунках 2-4, но при других значениях S_0 , а также расчеты для овалов принципиально не меняют сделанные нами выводы.

Представленные выше результаты расчетов получены при $v_B=3$ м/с. Кривые на рисунке 5 отражают влияние K_0 на K при разных значениях v_B . Из анализа кривых можно сделать следующий вывод: с увеличением v_B время «забывания» T уменьшается, а с уменьшением v_B – увеличивается. При $v_B=0$ м/с память контура пожара об исходном очаге сохраняется вплоть до $t=180$ мин.

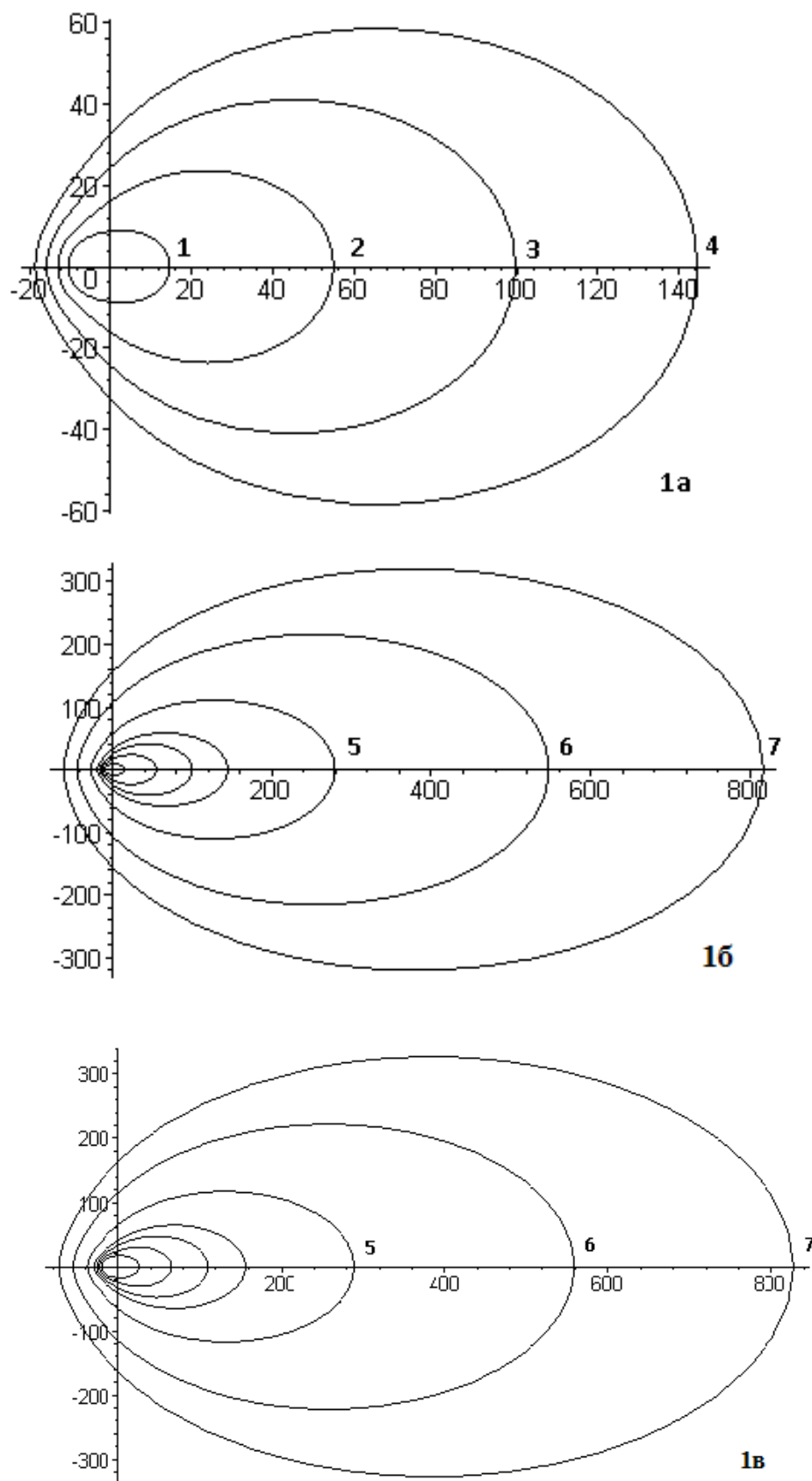


Рисунок 1 – Начальный очаг (3), а) $S_0=162 \text{ м}^2$, б) $S_0=162 \text{ м}^2$, в) $S_0=684 \text{ м}^2$. кривые 1-7 соответствуют $t=1, 10, 20, 30, 60, 120, 180$ мин.

Расстояние по осям в метрах, $v_B=3 \text{ м/с}$. Внутренние контуры на рисунках 1б и 1в соответствуют контурам 1-4 рисунка 1а.

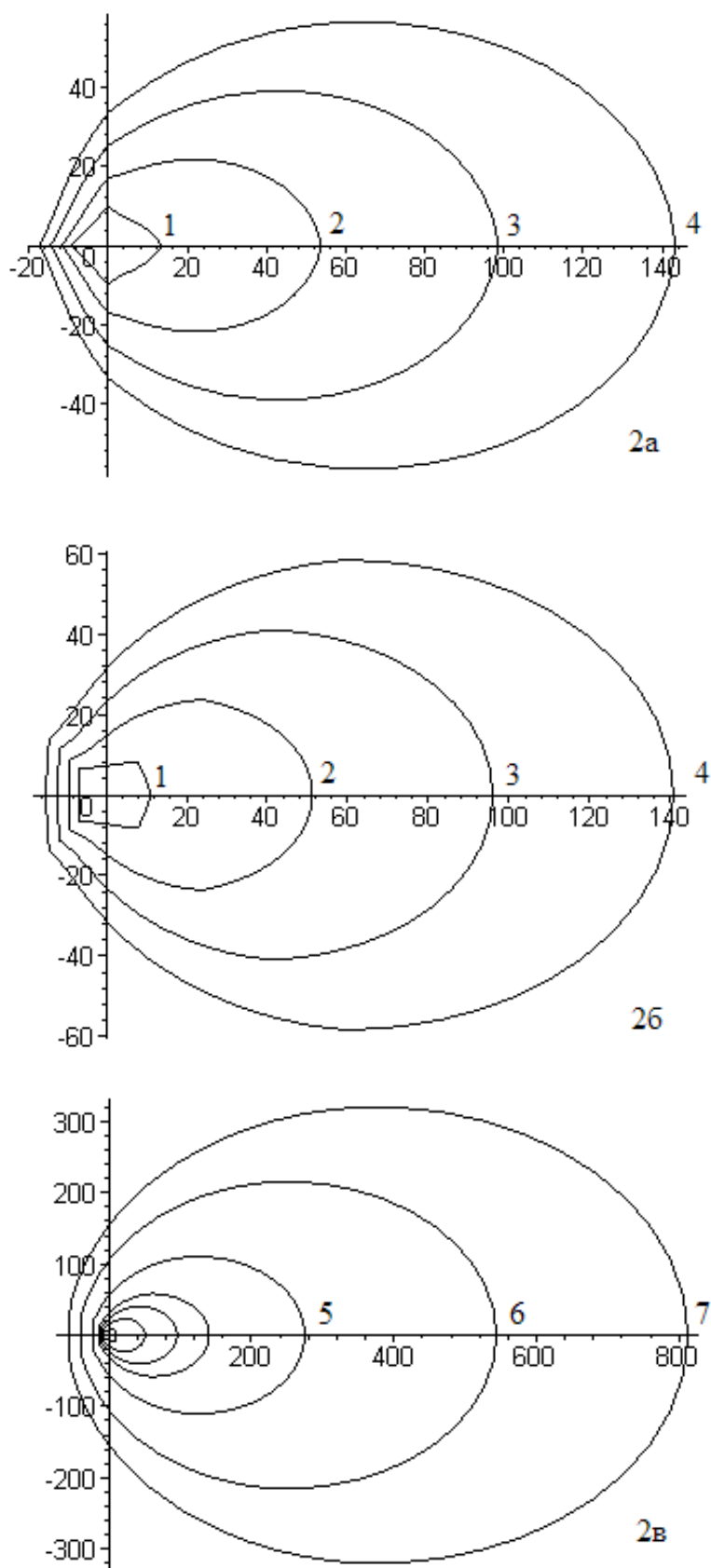


Рисунок 2 – Начальный очаг в форме (4), $S_0=162 \text{ м}^2$, а) $\chi=0$, б) $\chi=\pi/2$, в) $\chi=\pi/2$.

Остальные обозначения, как и на рисунке 1.

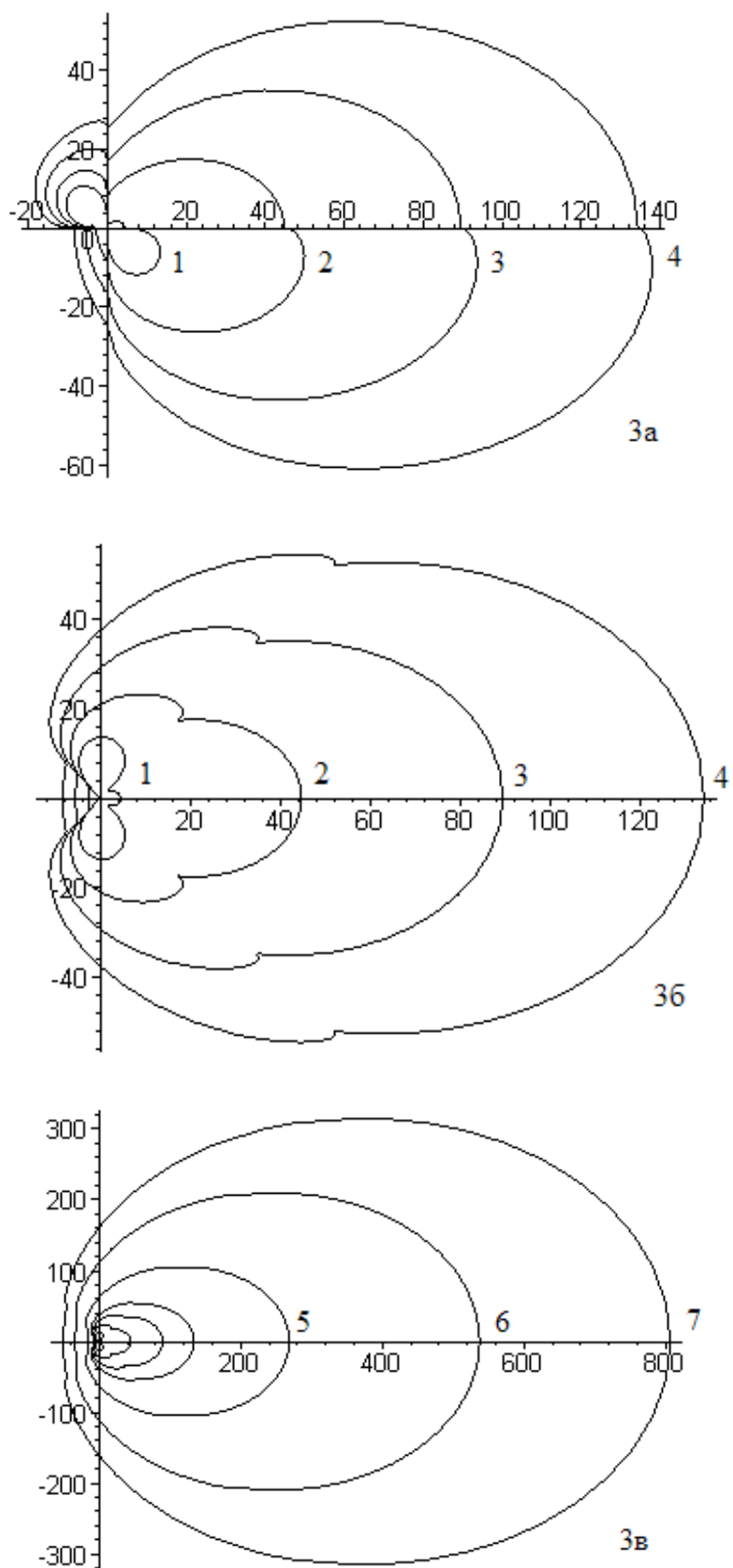


Рисунок 3 – Начальный очаг в форме (5) при $a=c=9$ м и $S_0=162$ м², а) $\chi=\pi/4$, б) $\chi=\pi/2$, в) $\chi=\pi/2$

Остальные обозначения, как и на рисунке 1.

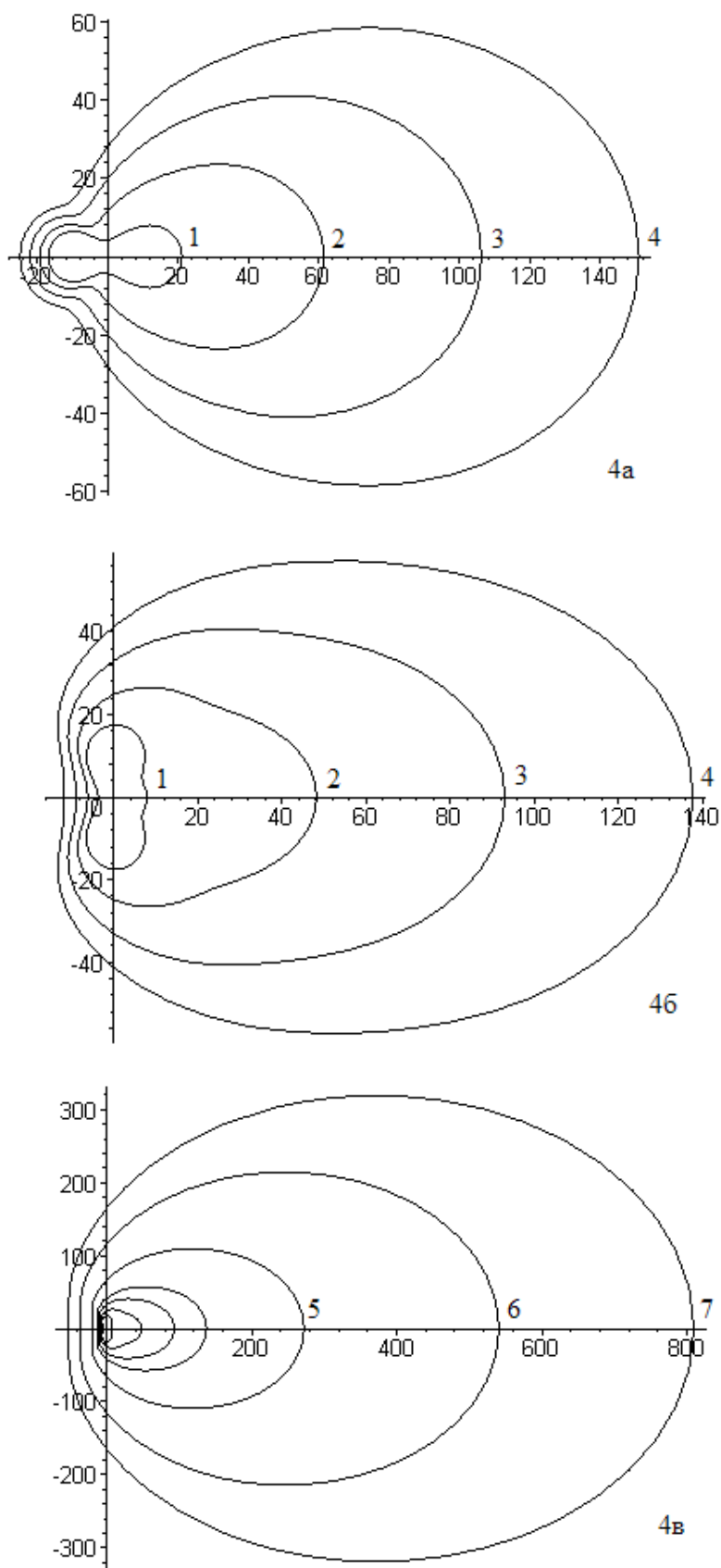


Рисунок 4 – Начальный очаг в форме (5) при $a=11,5$ м, $c=12$ м, и $S_0=434$ м², а) $\chi=0$, б) $\chi=\pi/2$, в) $\chi=\pi/2$.

Остальные обозначения, как и на рисунке 1.

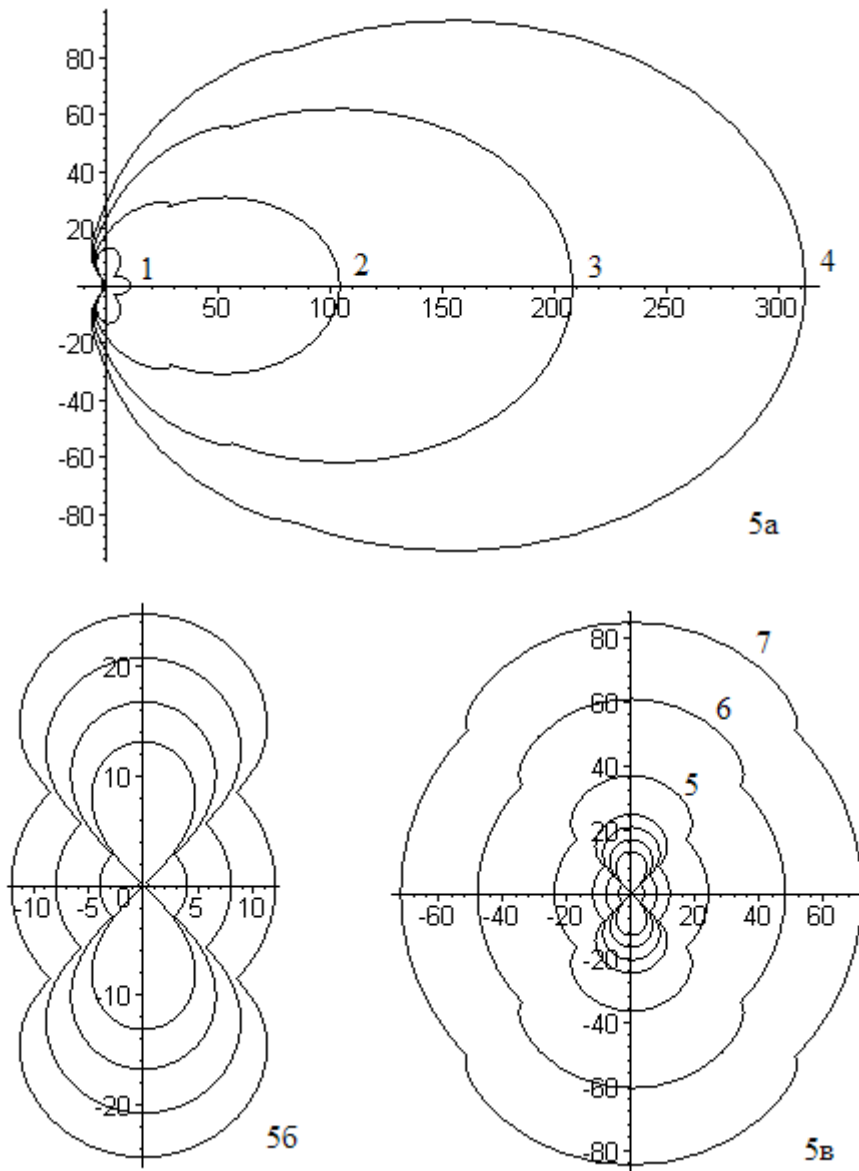


Рисунок 5 – Начальный очаг в форме (5) при $a=c=9$ м и $S_0=162$ м², а) $v_B=6$ м/с, б) $v_B=0$ м/с, в) $v_B=0$ м/с.

Остальные обозначения, как и на рисунке 1.

Выводы. Таким образом, проведенный нами анализ показывает, что форма и размеры контура пожара через время $t \approx 30$ мин после его обнаружения практически не зависят от формы и размеров очага загорания. Конечно, результаты расчета контура пожара при других, значительно отличающихся S_0 , будут другими, однако, это будет соответствовать уже более позднему времени t_0 обнаружения пожара после начала возгорания. Поэтому для упрощения расчетов и сокращения времени их проведения можно ограничиться простой формой очага пожара в виде круга, а основным исходным параметром для расчетов считать его площадь S_0 . Отсюда, на наш взгляд, следует простой вывод, имеющий большое практическое значение. Для прогнозирования развития пожара необходимо и достаточно определять, скажем методами аэронаблюдения, именно и только площадь S_0 очага пожара и не требовать при этом большой точности для величины S_0 .

В заключение отметим, что вопрос об определении времени «забывания» T , а также обсуждение наличия вогнутостей на контуре пожара и их «залечивание» (см. рисунки 3, 4) в связи с гипотезой Маркштейна предполагается провести в следующих публикациях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Г.А. Доррер. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 160с.
2. Ю.А. Абрамов и др. Обнаружение очагов лесных пожаров и прогноз динамики их распространения. – Харьков: АГЗ Украины, 2004. – 145с.
3. Э.Н. Валендик. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, 1990 – 193с.
4. С.В. Васильев, Л.Н. Куценко. Компьютерные системы прогнозирования контуров выгорания при лесных пожарах. // Пожарная безопасность. Материалы VI научно-практической конференции. – Харьков, АПБУ, 2003. – с. 69-71.
5. А.Е. Басманов, А.П. Созник, А.А. Тарасенко. Экспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара. // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. Вып. 11. Харьков: Фолио, 2002. – с. 17-25.
6. Г.П. Телицын. Зависимость скорости распространения низовых пожаров от условий погоды. // Сб. тр. ДальНИИЛХ. – 1965. Вып. 7. – с. 390-405.

