

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ ОБТЕКАНИЯ НА ДИНАМИКУ ПРИРОДНОГО ПОЖАРА В УСЛОВИЯХ НЕОДНОРОДНОСТИ РЕЛЬЕФА

Постнов А.Д.¹, Масленников Д.А.¹, Катаева Л.Ю.¹, Лошилов С.А.¹

¹ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева», Нижний Новгород, Россия (603950, ГСП-41, Н.Новгород, ул. Минина, д.24), e-mail: nntu@nntu.nnov.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с влиянием рельефа на динамику природного пожара за счёт эффектов обтекания. В основе проведённых расчётов лежит физическая модель лесных пожаров в двумерной постановке, учитывающая законы сохранения массы, импульса, энергии, а также химико-физические процессы. Для численного решения задачи используется метод Харлоу. В работе исследуется развитие пожара при различных конфигурациях рельефа: холм, равнина и овраг. Показаны изотермы и поля скоростей на различные моменты времени. Проводится анализ влияния рельефа на обтекание и как следствие на форму факела пламени и скорость пожара. Наглядно демонстрируется, что зависимость скорости пожара от рельефа не сводится к функции от угла наклона. Несмотря на то что на отдельных участках скорость пожара может существенно меняться, средняя скорость распространения приблизительно одинакова, что связано с малым углом наклона склонов холма и оврага (11°).

Ключевые слова: лесной пожар, численное моделирование, лесной пожар на неоднородном рельефе, аэродинамика лесных пожаров.

INFLUENCE OF EFFECTS OF FLOW AROUND ON THE DYNAMICS OF NATURAL FIRE IN RELIEF IRREGULARITIES

Postnov A.D.¹, Maslennikov D.A.¹, Kataeva L.Y.¹, Loshchilov S.A.¹

¹Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, GSP-41, Nizhny Novgorod, ul. Minin St., 24)

The paper discusses issues related to the influence of topography on the dynamics of wildfire due to the effects of flow. The basis of the calculations is a physical model of forest fires in the two-dimensional formulation that takes into account the laws of conservation of mass, momentum, energy, and chemical and physical processes. For the numerical solution of the problem, a method of Harlow used. This paper investigates the propagation of a fire in different configurations of relief: hill, plain and ravine. Isotherm and the velocity field for various time points shown. The influence of relief on the flow and consequently on the shape of the flame and the speed of fire propagation analyzed. Clearly demonstrated the dependence relief on the fire rate propagation is not confined to the function of the angle of inclination. Despite the fact that in some areas the rate of fire can vary significantly, the average speed of propagation approximately the same, which is associated with a low angle slopes of the hill and ravine (11°).

Keywords: forest fire, numerical modeling, wildfire on a non-uniform topography, the aerodynamics of forest fires

Проблема лесных пожаров во всем мире остается одной из самых важных задач, стоящих как перед лесными хозяйствами, так и перед целыми государствами, лесные территории которых являются важными источниками национального дохода и объектами стратегического значения. Кроме того, каждый отдельный гражданин государства должен понимать, что его посильное участие в решении этой проблемы может иметь огромное значение, ведь подавляющее большинство пожаров, происходящих во всем мире и уничтожающих огромные лесные массивы, происходит по вине человека [2]. С ростом активности человека, растёт и количество лесных пожаров, поэтому методы тушения должны совершенствоваться. Важной составляющей борьбы с пожарами является

прогнозирование их развития. В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с влиянием рельефа местности на динамику пожара.

В основе проведённых расчётов лежит физико-математическая модель, опубликованная в [1, 3, 7], а в качестве расчётной схемы использовалась схема Харлоу [9]. Наиболее часто для моделирования химико-физических процессов используется метод Гира [5], в данной работе использовались схемы первого порядка точности, что связано, с одной стороны, с необходимостью минимизировать время расчётов, а с другой стороны, их использование гарантирует устойчивость и консервативность [7]. Кроме того, для сокращения времени вычислений использовался алгоритм оптимизации размещения данных в памяти [8]. В отличие от предыдущих работ, таких как [4], где предполагался постоянный угол наклона подстилающей поверхности, в данной работе, так же, как и в работе [6], рельеф представляется в виде ломаной.

Как показали расчёты, рельеф оказывает существенное влияние на поле скоростей, формирующееся при обтекании, поэтому перед моделированием лесного пожара необходимо решить гидродинамическую задачу.

В таблице 1 приведены оценки скорости распространения пожара на различных участках. Участок 50 - 105 м – соответствует наветренному склону для случая распространения пожара через холм и подветренному для случая распространения через овраг. Участок 105 - 145 м – соответствует распространению по равнине для всех рассматриваемых случаев. Отрезок 145 – 200 м – соответствует спуску пожара с холма и подъёму из оврага.

Таблица 1

Скорость распространения пожара на различных участках

Координаты отрезка, м	Скорость пожара, при распространении через местность с холмом, м/с	Скорость пожара, при распространении через равнину, м/с	Скорость пожара, при распространении через местность с оврагом, м/с
50-105	3,44	3,22	2,61
105-145	3,25		3,00
145-200	2,72		3,67

Из таблицы 1 видно, что скорость пожара на участках без наклона приблизительно одинакова, на плато холма она несколько выше вследствие эффектов обтекания. Наибольшая скорость пожара наблюдается на выходе из оврага, что связано с высоким углом наклона факела пламени.

Данные результаты более детально показаны на рис. 1 – 3 в виде изотерм и полей скоростей для различных моментов времени: внешняя (чёрная) линия соответствует температуре – 500 К, средняя (бордовая) – 1000 К, внутренняя (красная) – 1500 К. Из результатов видно, что рельеф местности оказывает существенное влияние на скорость распространения пожара. Во всех вариантах представленных расчётов, на начальном этапе пожара наблюдается существенное увеличение ширины фронта и формирование высокой конвективной колонки.

При переходе пожара с ровной поверхности в овраг, на момент времени 10 секунд (рис. 1) с подветренной стороны фронта пожара образуется вихрь, который осуществляет подсос свежего воздуха, при этом на рис. 1 вихрь выражен слабее. На рис. 1-3 наблюдается влияние эффектов обтекания рельефа на направление основных газовых потоков, образующихся при горении. Из результатов видно, что модуль скорости над фронтом пожара при любой из рассматриваемых конфигураций рельефа существенно превышает скорость ветра в невозмущённом потоке, а отличия на начальной стадии пожара незначительны. Тем не менее, можно заметить, что на рис. 1 поток смеси газов направлен под большим углом к горизонту и на момент времени 10 секунд пожар достигает точки начала склона (рис. 1-2), при этом во всех проведённых расчётах дальность распространения пожара близка. Распространение пожара по склону показывает, что на подъёме (рис. 1) пожар продвинулся дальше уже на момент 30 секунд, чем на спуске (рис. 2) за 35 секунд. При этом распространение пожара на равнине медленнее, чем на подъёме, но быстрее, чем на спуске. При распространении пожара на холмистой местности (в момент 20 секунд) и на равнине (30 секунд) наблюдается разделение области высоких температур (выше 1500 К) на 2 части, что связано с горением летучих продуктов пиролиза впереди пожара. Распространение пожара по плато холма несколько быстрее, чем по дну оврага, что связано с изменением скорости ветра в пологие леса вследствие эффектов обтекания. На выходе из оврага пожар распространение пожара ускоряется, в результате чего средняя скорость распространения пожара через овраг и холм приблизительно одинаковы.

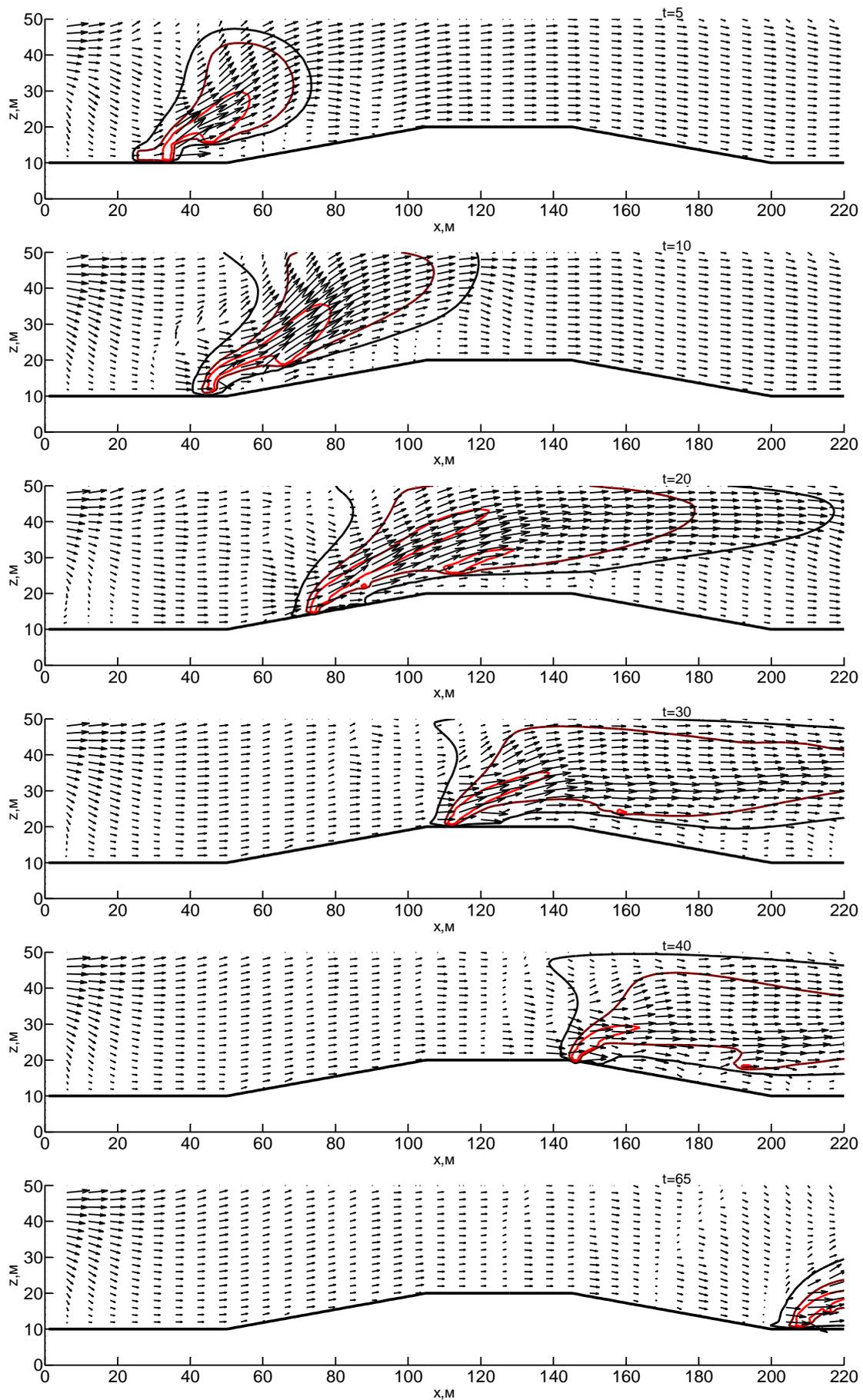


Рис. 2 – Поле скоростей и температур при распространении пожара по рельефу с трапециевидным холмом на различные моменты времени

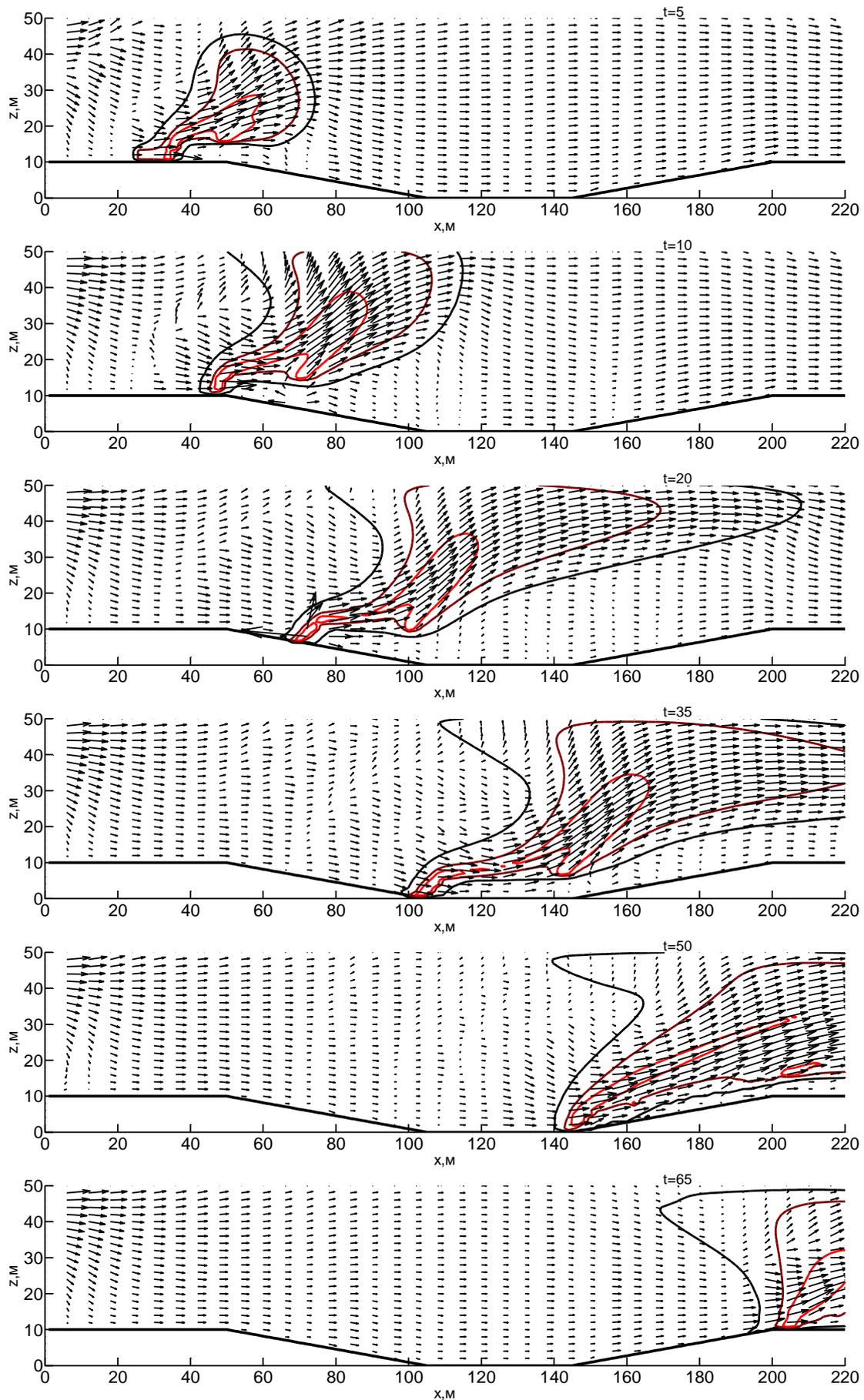


Рис. 3 – Поле скоростей и температур при распространении пожара по рельефу с трапециевидным оврагом на различные моменты времени

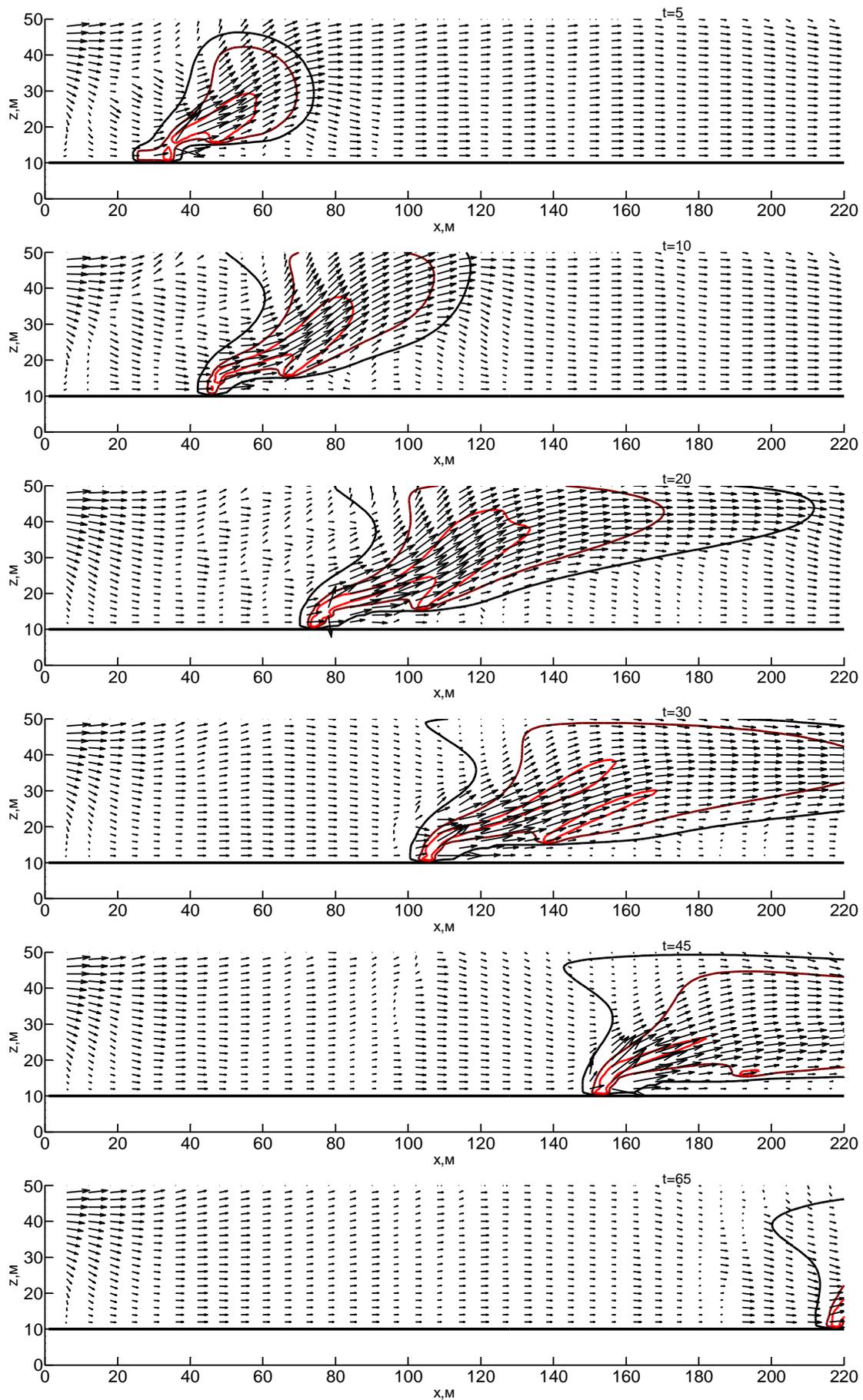


Рис. 4 – Поле скоростей и температур при распространении пожара по равнине на различные моменты времени

В данной работе показано, что скорость распространения пожара существенно зависит от неоднородностей рельефа. Ранее в работе [1] для аналогичной задачи был получен результат, показывавший более быстрое распространение пожара через холм, чем через овраг. Это различие можно объяснить меньшим углом наклона склонов (11 градусов вместо 45 в [1]), а большим размером плато холма.

Эффекты обтекания приводят к существенному изменению скорости ветра, что, в свою очередь, влияет на скорость распространения пожара. Метеорологические данные не позволяют получить данные о ветре с достаточно хорошей разрешающей способностью для учёта вклада неоднородностей рельефа малого размера. Именно поэтому при моделировании лесных пожаров целесообразно учитывать эффекты обтекания ландшафта.

Работа выполнена при финансовой поддержке 13-03-91164-ГФЕН_а «Экспериментальное исследование кинетики и механизма термического разложения лесных горючих материалов и процессов распространения пламени по их слою».

Список литературы

1. Белоцерковская И.Е. Особенности математического моделирования распространения лучистого теплового потока от очага горения при лесных пожарах на неоднородном рельефе: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Нижний Новгород, 2012.
2. ГУ МЧС России по Нижегородской области. — [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.52.mchs.gov.ru/> (дата обращения 08.10.2013).
3. Катаева Л.Ю. Анализ динамических процессов аварийных ситуаций природного и техногенного характера: дис. ... д-ра. физ.-мат. наук. – Нижний Новгород, 2009.
4. Катаева Л.Ю. Сравнение аналитического и численного решения математической модели низового пожара с учетом влияния угла наклона подстилающей поверхности // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19, № 11. – С. 25–31.
5. Катаева Л.Ю. О методе Гира численного моделирования динамических систем, описываемых жесткими обыкновенными дифференциальными уравнениями / Л. Ю. Катаева, В. Б. Карпухин // Наука и техника транспорта. – М.:РГОТУПС, 2008, - № 1. – С.57-66
6. Масленников Д.А. Влияние холмов на динамику лесного пожара / Д.А. Масленников, Л.Ю. Катаева, Н.В. Галина // Успехи современного естествознания: материалы конференции / Пенза – 2012. - № 6 – С. 189-189.
7. Масленников Д.А. Особенности математического моделирования распространения лучистого теплового потока от очага горения при лесных пожарах на неоднородном рельефе: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Нижний Новгород, 2012.

8. Романов А.В., Катаева Л.Ю. Метод Патанкара и возможности его оптимизации // Наука и техника транспорта. - № 3 – М.:РГОТУПС, 2008.
9. Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов: учебник для вузов / А.В. Бабкин, В.И. Колпаков, В.Н. Охитин, В.В. Селиванов. — 2-е изд., испр. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 520 с.

Рецензенты:

Петрухин Н.С., д.ф.-м.н., ординарный профессор Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Нижний Новгород.

Карпухин В.Б., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Высшая и прикладная математика», Российской открытой академии транспорта Московского государственного университета путей сообщения, г. Москва.