

ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ТУШЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА ВОДЯНОЙ ПУШКОЙ

Нищенко В.В.¹, Романова Н.А.¹, Катаева Л.Ю.^{1,2}, Масленников Д.А.¹,
Лоцилов А.А.¹

¹ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (603950, ГСП-41, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24), e-mail: kataeval2010@mail.ru

²ГОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ), Нижний Новгород, Россия (603011, г. Нижний Новгород, Комсомольская пл., д. 3), e-mail: tu@miit.ru

В данной статье представлены результаты моделирования тушения лесного пожара с использованием водяной пушки. Пушка закреплена и находится неподвижно. В статье рассматриваются различные варианты выбора точки обстрела: обстрел точки с максимальной температурой в лесополосе, обстрел ближней точки с температурой, выше заданной критической температуры, и обстрел дальней точки, температура которой выше заданного критического значения. Начальные условия для всех случаев одинаковые. Также в работе приведены результаты моделирования с различными параметрами для всех трех случаев: увеличение дисперсии распределения разброса воды для выбранной точки и увеличение минимальной высоты обстрела. По результатам находится наименьший объем воды, необходимый на ликвидацию пожара. В работе сделан вывод, что оптимальной точкой обстрела будет являться дальняя точка, температура которой превышает критическую температуру. В работе учитывается расход воды с использованием упрощенной модели рассеивания воды на основе изотропного двумерного распределения Гаусса. А также предполагается, что капли воды долетают до цели и полностью испаряются.

Ключевые слова: водяная пушка, лесные пожары, тушение пожара, компьютерное моделирование.

OPTIMAL STRATEGY OF FIRE EXTINGUISHING BY THE WATER GUN

Nishchenkov V.V.¹, Romanova N.A.¹, Kataeva L.Y.^{1,2}, Maslennikov D.A.¹,
Loshchilov A.A.¹

¹Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, GSP-41, Nizhny Novgorod, Minina St., 24), e-mail: kataeval2010@mail.ru

²Moscow State University of Railway Transport, Nizhny Novgorod, Russia (603011, Nizhny Novgorod, Komsomolskaya Square, 3), e-mail: tu@miit.ru

This article presents results of modelling suppression of forest fire by use of the water gun. The water gun is envisaged and is motionlessly. The article considers various options of choice of target of fire: target with a maximal temperature in a forest, fire of near target with temperature above the critical temperature and fire of distant target temperature of that higher set critical value. The initial conditions are the same for all cases. In article are given results of model operation with various parameters for all three cases: increase in dispersion of distribution of dispersion of water for the chosen target and increase in minimum height of fire. According to the results searched for the least amount of water necessary for liquidation of a fire. The paper concludes that that the optimal target of firing will be distant target with temperature above the critical temperature. The work considers the consumption of water using of the simplified model of dispersion of water on the basis of Gauss's isotropic two-dimensional distribution. And also it is supposed that drops of water reach the purpose and completely evaporate.

Keywords: Water gun, forest fires, computer modeling, fire extinguishing.

Впервые физико-математическая модель лесного пожара была предложена А.М. Гришиным [1; 8] и усовершенствована его учениками [2; 3; 6]. В более поздних работах постановка была дополнена фазой, соответствующей свободной воде [5; 7]. В работе [5] свободная вода представляла собой барьер, который переходил вазообразное состояние под действием энергии пожара. В работе [7] поток воды задавался равномерным, постоянным и не зависящим от динамики пожара. Для численного моделирования использовался метод крупных частиц, адаптированный для моделирования лесных пожаров

[4]. В отличие от данных работ, в настоящей статье рассматривается тушение пожара с помощью водяной пушки с заданным расходом воды и её разбросом, осуществляющей подачу воды с учётом динамики пожара.

Водная пушка производит обстрел по выбранной точке с разбросом по нормальному закону.

$$f(x, z, t) = \frac{w_{\text{int}}}{4\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x-x_0(t))^2 + (z-z_0(t))^2}{4\sigma^2}\right), \quad (1)$$

где $x_0(t)$, $z_0(t)$ – координаты точки прицела водяной пушки; w_{int} – массовый расход воды на метр фронта, кг/(м·с); $f(x, z, t)$ – интенсивность подачи воды, отнесённая к объёму, кг/(м³·с); σ , м – среднеквадратическое отклонение, обуславливающее дальность разлёта частиц воды от точки прицела. Общая физическая постановка задачи показана на рис. 1.

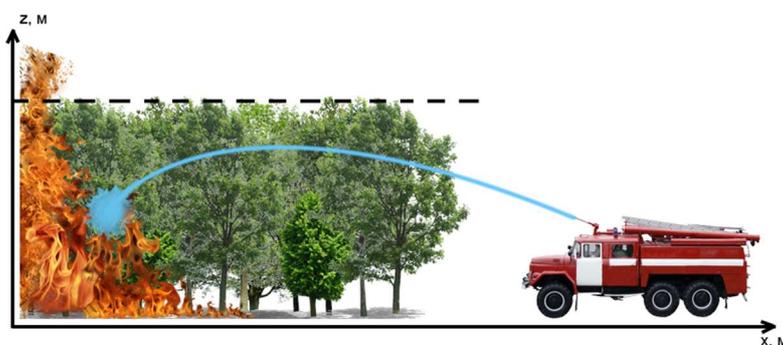


Рис. 1. Физическая модель подачи воды в зону горения

Высота леса постоянна. Капли воды считаются такими, что, долетая до цели, испаряются полностью. Точка обстрела принадлежит слою леса и имеет температуру выше $T_{cr} = 800 \text{ K}$, расстояние точки до источника подачи воды не превышает радиуса его действия. Данные условия являются необходимыми для выбираемой точки во всех рассмотренных случаях. Необходимо определить, при какой минимальной интенсивности воды w_{int} пожар будет потушен.

1 сценарий. Для обстрела выбирается точка с максимальной температурой.

Для успешного тушения пожара при выборе точки с максимальной температурой необходимое минимальное значение интенсивности воды $w_{\text{int}} = 2,937 \text{ кг/(м·с)}$. Поля скоростей и температур для этого случая показаны на рис. 2.

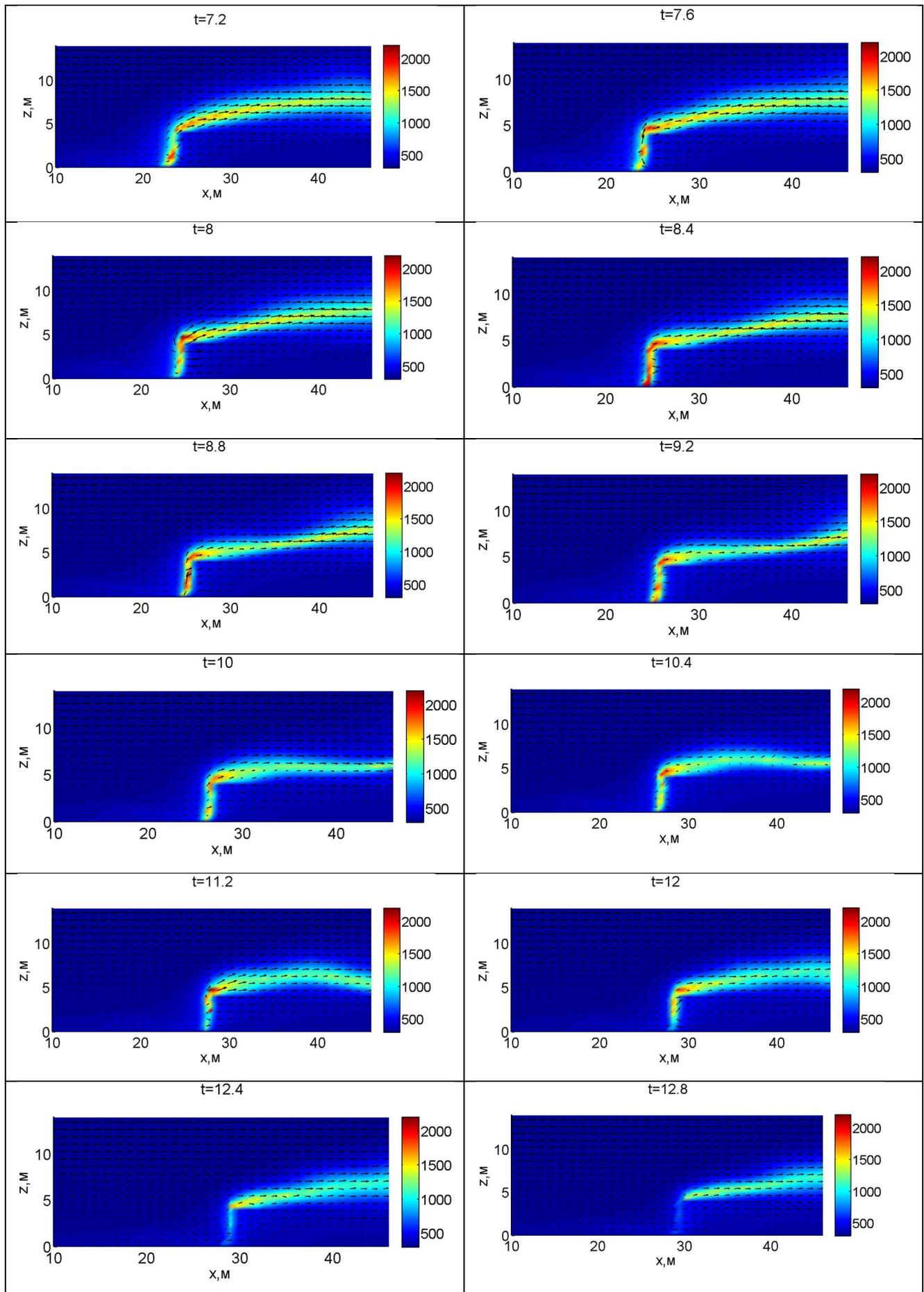


Рис. 2. Динамика распространения пожара при обстреле точки с максимальной температурой

В момент времени 7,2 с происходит разрыв фронта пожара. Затем на 7,6-8 с область высоких температур переходит от нижней части слоя к верхнему. В момент времени 8,4 с можно наблюдать восстановление фронта пожара, что, однако приводит к уменьшению его скорости распространения. В 8,8 с видно, что распространение газовой фазы направлено к верхней части леса, после чего пожар постепенно затухает. В 11,2 с возникает вспышка в верхних слоях лесополосы, которая тушится к 12,8 с.

2 сценарий. Выбор дальней точки. Выбирается точка с минимальной высотой, если несколько точек имеют одинаковую высоту, то предпочтение отдаётся точке, находящейся на максимальном расстоянии от источника воды.

Для успешного тушения пожара при выборе самой дальней точки необходимое минимальное значение интенсивности воды $w_{int} = 0,577$ кг/(м·с). Динамика для этого случая показана на рис. 3. Отличительным характером данного случая от первой ситуации является отсутствие разрыва фронта пожара. В момент времени 10,8 с наблюдается снижение температуры в нижней части леса. В течение всего следующего развития пожара можно наблюдать его плавный переход в верхние слои леса. В моменты времени 14,8 и 16 с наблюдаются вспышки в верхней части лесополосы. К моменту 18,4 с пожар полностью потушен.

3 сценарий. Выбор ближней точки. Выбирается точка на минимальной высоте, если несколько точек имеют одинаковую высоту, то предпочтение отдаётся точке, находящейся на минимальном расстоянии от источника воды.

Для успешного тушения пожара при выборе самой ближней точки необходимое минимальное значение интенсивности воды $w_{int} = 0,712$ кг/(м·с). Динамика для этого случая показана на рис. 4. Динамика пожара сходна с предыдущим случаем, но не наблюдаются вспышки в верхней части леса. Уже в момент времени 7,6 с можно наблюдать отсутствие высоких температур в нижней части леса. Со временем пожар вытесняется из нижней части слоя. К 14 с происходит полное затухание пожара.

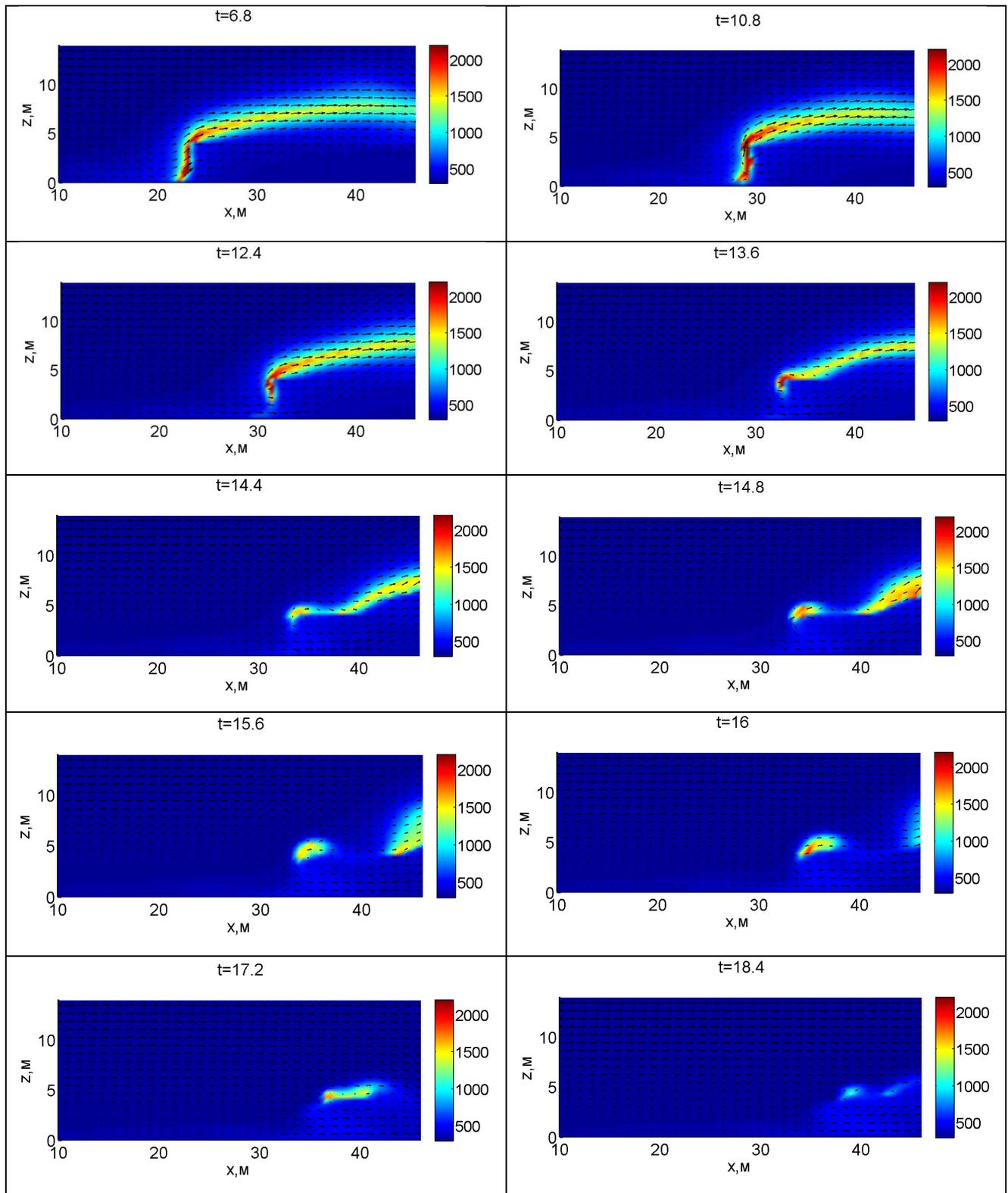


Рис. 3. Динамика распространения пожара при обстреле дальней точки

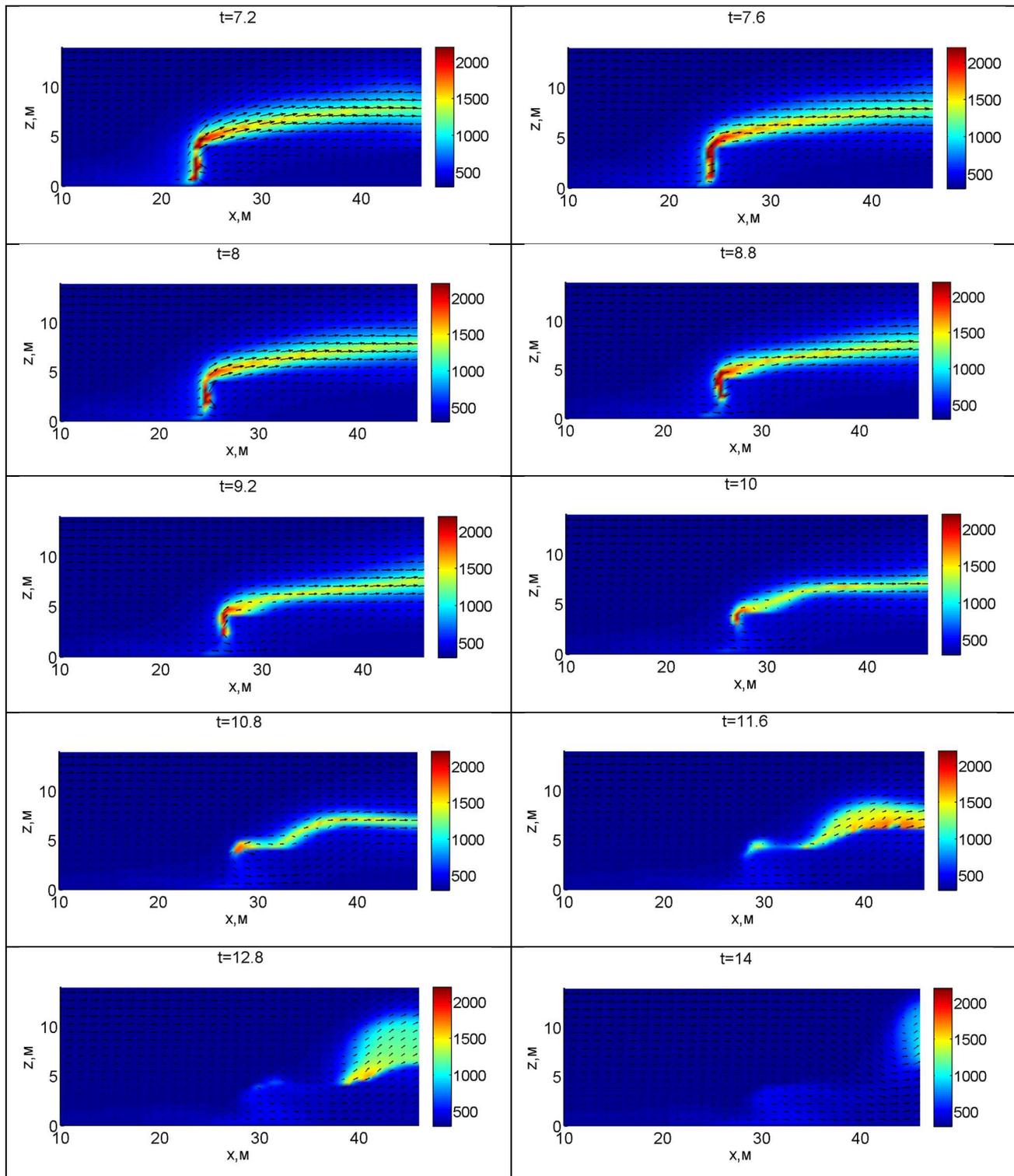


Рис. 4. Динамика распространения пожара при обстреле ближней точки

В таблице 1 приведены результаты численных экспериментов по моделированию пожара при заданной критической температуре. Также были проведены серии моделирования с модификациями для всех трех случаев, описанных выше. Для 1-го сценария - увеличение дисперсии распределения разброса воды для выбранной точки (сценарий 7), обстрел точки с максимальной температурой при минимальной высоте (сценарий 4), увеличение дисперсии разброса воды для выбранной точки с максимальной температурой

при минимальной высоте (сценарий 10). Для 2-го и 3-го сценариев - увеличение минимальной высоты обстрела h_{cr} (сценарии 5 и 6 соответственно), увеличение дисперсии распределения разброса воды для выбранной точки (сценарии 8 и 9 соответственно), увеличение дисперсии распределения разброса воды и увеличение минимальной высоты обстрела h_{cr} (сценарии 11 и 12 соответственно).

Таблица 1

Сравнение зависимости интенсивности подачи воды от выбора стратегии обстрела

Сценарий	Дисперсия распределения Гаусса, м	Минимальная высота h_{cr} , м	Критическая интенсивность подачи воды, кг/(м·с)
1	0,5	0,2	2,937
2	0,5	0,2	0,577
3	0,5	0,2	0,712
4	0,5	0,6	1,023
5	0,5	0,6	0,718
6	0,5	0,6	0,982
7	1	0,2	2,832
8	1	0,2	0,771
9	1	0,2	0,978
10	1	0,6	1,245
11	1	0,6	1,091
12	1	0,6	1,287

Таким образом, в силу упрощенности модели, из результатов моделирования видно, что самым оптимальным выбором обстрела будет дальняя точка (сценарий 2), температура которой больше критической температуры $T_{cr} = 800$ К. Если минимизировать высоту обстрела, то можно в разы уменьшить расход воды при обстреле точки с максимальной температурой. Изменение дисперсии распределения Гаусса уменьшает интенсивность подачи воды только в случае обстрела точки с максимальной температурой, для всех остальных случаев – увеличивает. Изменение высоты во всех случаях увеличивает расход воды.

Следует отметить, что в используемой модели не учитываются потери воды на испарение при прохождении через слой нагретой газовой фазы при стрельбе в тыл пожара.

Список литературы

1. Гришин А.М., Голованов А.Н., Катаева Л.Ю., Лобода Е.Л. Постановка и решение задачи о сушке слоя лесных горючих материалов // Физика горения и взрыва. - 2001. - Т. 37. - № 1. - С. 65-76.
2. Катаева Л.Ю. Анализ динамических процессов аварийных ситуаций природного и техногенного характера : дис. ... докт. физ.-мат. наук. - Нижний Новгород, 2009.
3. Катаева Л.Ю., Масленников Д.А., Белоцерковская И.Е. Численное моделирование динамики пожара с учетом рельефа местности и внешнего поля скоростей // Пожаровзрывобезопасность. - 2012. - Т. 21. - № 12. - С. 49-58.
4. Катаева Л.Ю. Методы решения задач естествознания // Учебное пособие для студентов технических специальностей / Л.Ю. Катаева, М.Б. Крайзлер, А.В. Савченко; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Нижегородский гос. технический ун-т им. Р.Е. Алексеева». - Нижний Новгород, 2007.
5. Катаева Л.Ю. О влиянии водного барьера на динамику развития лесного пожара в зависимости от рельефа местности / Л.Ю. Катаева, А.Д. Постнов, С.А. Лощилов, Д.А. Масленников // Пожаровзрывобезопасность. - 2014. - Т. 23. - № 1. - С. 30-37.
6. Катаева Л.Ю. Постановка и проведение вычислительного эксперимента по исследованию аэро- и гидродинамических процессов в аварийных ситуациях природного и техногенного характера : монография. – М., РГОТУПС, 2007. - 218 с.
7. Лощилов С.А., Масленников Д.А., Постнов А.Д., Катаева Л.Ю. Исследование влияния интенсивности сброса воды на динамику лесного пожара // Естественные и технические науки. - 2013. - № 6 (68). - С. 37-40.
8. Grishin A.M. Problem of drying of a layer of combustible forest materials / A.M. Grishin, A.N. Golovanov, L.Yu. Kataeva, E.L. Loboda // Combustion, Explosion, and Shock Waves. - 2001. - Vol. 37. - № 1. - P. 57-66.

Рецензенты:

Петрухин Н.С., д.ф.-м.н., научный руководитель Нижегородского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Нижний Новгород.

Юнаковский А.Д., д.ф.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт прикладной физики Российской академии наук», г. Нижний Новгород.