

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ДИНАМИКУ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Постнов А.Д.¹, Катаева Л.Ю.^{1,2}, Кольчик И.В.¹, Масленников Д.А.¹, Романова Н.А.¹

¹ГОУ ВПО «Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р.Е. Алексеева» (603950, ГСП-41, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24), email: 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

Данная статья посвящена исследованию влияния скорости ветра на динамику тушения лесного пожара. Как известно, скорость ветра является одним из ключевых факторов, определяющих характер и скорость распространения лесных пожаров и как следствие параметров его тушения. Как известно, рост скорости ветра увеличивает скорость распространения пожара в результате чего массовый расход воды, необходимой для его тушения возрастает. Однако характер зависимости критического расхода воды от скорости ветра носит нелинейный характер. В статье приводится динамика лесного пожара при разных величинах скорости ветра и количества подаваемой воды выше и ниже критического значения. Продемонстрировано, что при достаточном количестве подаваемой воды пожар постепенно вытесняется вверх. Для случая недостаточного количества воды показаны эффекты, препятствующие успешному тушению лесного пожара. Так например, при малой скорости ветра пожар не удаётся вытеснить из нижней части слоя лесных горючих материалов, тогда как при большей скорости ветра происходит вспышка позади факела пламени, приводящая к растягиванию фронта пожара.

Ключевые слова: Водяная пушка, лесные пожары, тушение пожара, компьютерное моделирование, скорость ветра

IMPACT OF WIND VELOCITY ON THE DYNAMICS OF FOREST FIRE EXTINGUISHING

Postnov A.D.¹, Kataeva L.Y.^{1,2}, Kolchik I.V.¹, Maslennikov D.A.¹, Romanova N.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 is devoted to the influence of wind velocity on the dynamics of forest fire extinguishing. As is known, the wind speed is one of the key factors determining the nature and speed of spread of forest fires and as a consequence its suppression parameters. As is known, the growth rate of the wind increases the velocity of fire propagation, resulting the mass flow of water required to extinguish it increases. However, the dependence of the critical water flow rate of the wind velocity is nonlinear. The article shows the dynamics of forest fires at different values of wind speed and the amount of supplied water above and below the critical value. Demonstrated that a sufficient amount of water supplied fire gradually superseded upward. For the case of insufficient water shows the effects of forest fire extinguishing. For example, at low wind velocity the fire can not be dislodged from the bottom of layer of combustible forest materials, while at higher wind velocities there is a flash behind torch of a flame, resulting in stretching of the fire front.

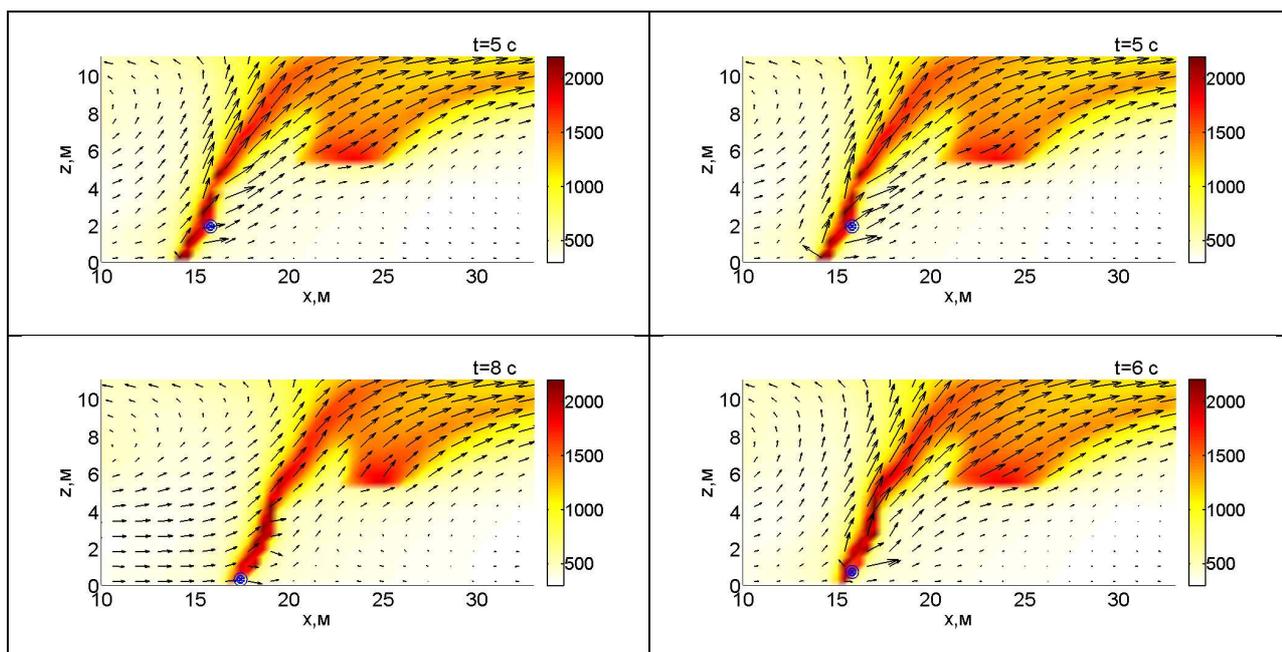
Keywords: Water gun, forest fires, computer modeling, fire extinguishing, wind velocity

Ветер – является одним из ключевых факторов, определяющих направление и скорость распространения лесного пожара. А это в свою очередь определяет динамику тушения пожара. В данной статье проводится анализ влияния скорости ветра на массовый расход воды, отнесённый к единице длины фронта пожара.

Расчёты, представленные в данной статье, получены на основе физико-математической модели лесных пожаров [2, 3, 6, 8, 10], с добавлением фазы свободной воды [5, 7]. Также как и в работе [9], в данной статье моделируется подача воды при помощи водяной пушки, однако исследуется влияние скорости ветра, а не рельефа и алгоритма выбора точки подачи воды.

Для численного решения поставленной задачи был применен метод крупных частиц, модифицированный для моделирования лесных пожаров [4]. Во всех расчётах, представленных в данной работе, используется следующий алгоритм выбора точки прицела. Среди множества всех точек моделирующих лес, и лежащих в области досягаемости водяной пушки, выбираются те, которые имеют температуру, превышающую критическое значение T_{cr} . Если таких точек нет, то подача воды не производится, иначе выбирается ячейка с наименьшей высотой, если же их несколько, то ближайшая к источнику подачи воды.

На рис. 1-3 показана динамика лесного пожара при различных значениях скорости ветра над слоем лесных горючих материалов и значениях интенсивности подачи воды ниже и выше критического. На рис. 1 представлена динамика тушения пожара при малой скорости ветра. Как видно из представленных на рисунках полей скоростей преобладает вертикальное распространение газовой фазы от очага горения. При интенсивности подачи воды ниже критической, в левой колонке рисунка, процесс горения в нижней части слоя ЛГМ не прекращается. В результате этого, мощность процессов горения не уменьшается, и тушения пожара не происходит. В правой колонке продемонстрировано, что пожар постепенно вытесняется в верхнюю часть слоя. По мере вытеснения фронта горения мощность пожара уменьшается, что способствует ускорению тушения. Следует отметить, что как в левой, так и в правой колонке существует большая область высоких температур над пологом леса впереди фронта горения. В этой области происходит процесс горения летучих продуктов пиролиза, который создаёт избыток давления вследствие выделения энергии.



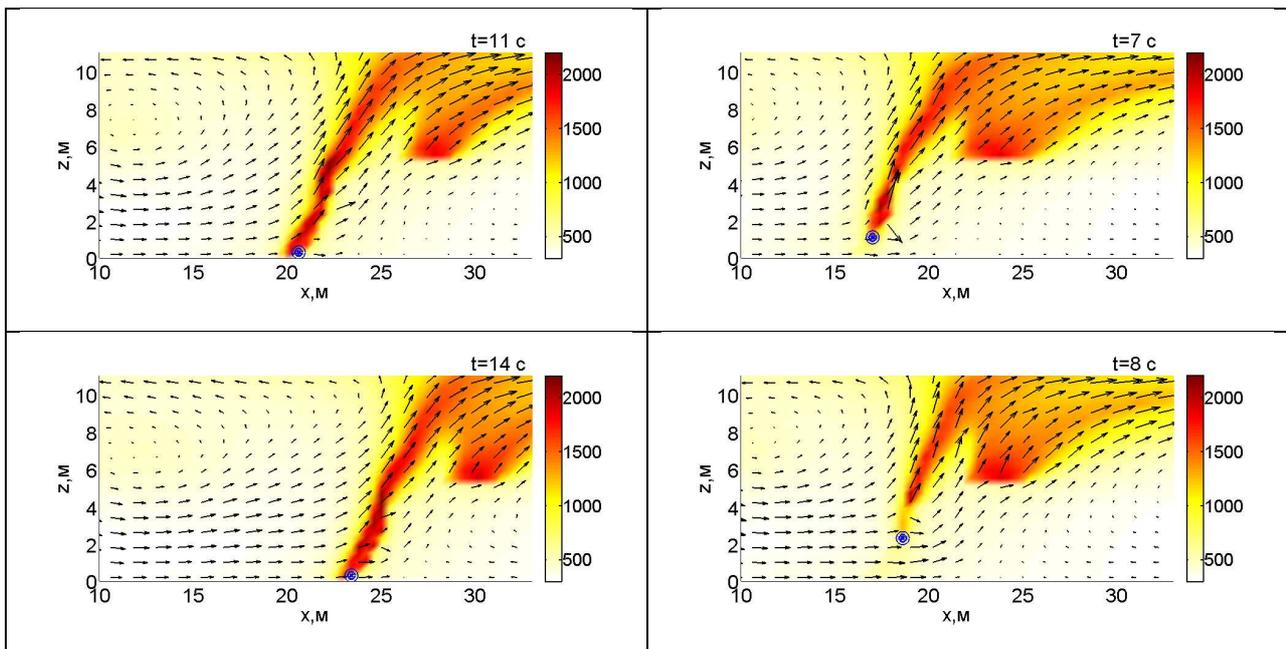
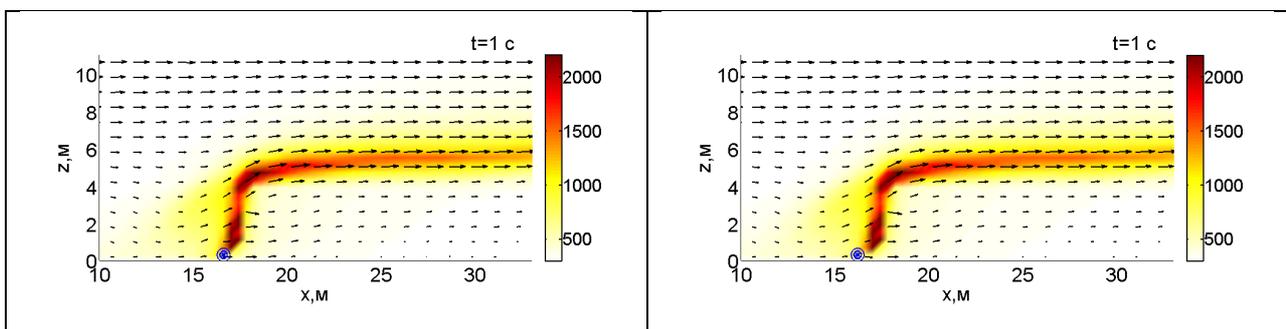


Рис. 1 Динамика взаимодействия пожара с водой при слева - $W_{int}=0,228 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$, справа - $W_{int}=0,23 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$ и скорости ветра $1,33 \text{ м}/\text{с}$.

На рис. 2 представлена динамика тушения пожара при скорости ветра $6,67 \text{ м}/\text{с}$. В отличие от результатов, представленных на рис. 1 конвективной колонки не наблюдается ввиду большей скорости ветра. На момент 1 с в обеих колонках видно, что подача воды происходит в приземном слое ЛГМ.

При достаточной интенсивности подачи воды (в правой колонке) происходит вытеснение процесса горения вверх. При недостаточной интенсивности подачи воды, фронт горения, на начальном этапе, вытесняется из нижней части слоя ЛГМ. Тем не менее, уже в момент 2 с, происходит воспламенение нижней недогоревшей части слоя ЛГМ позади фронта горения (в левой колонке). В момент 3 с, нижняя часть фронта пожара растягивается, что препятствует тушению пожара.



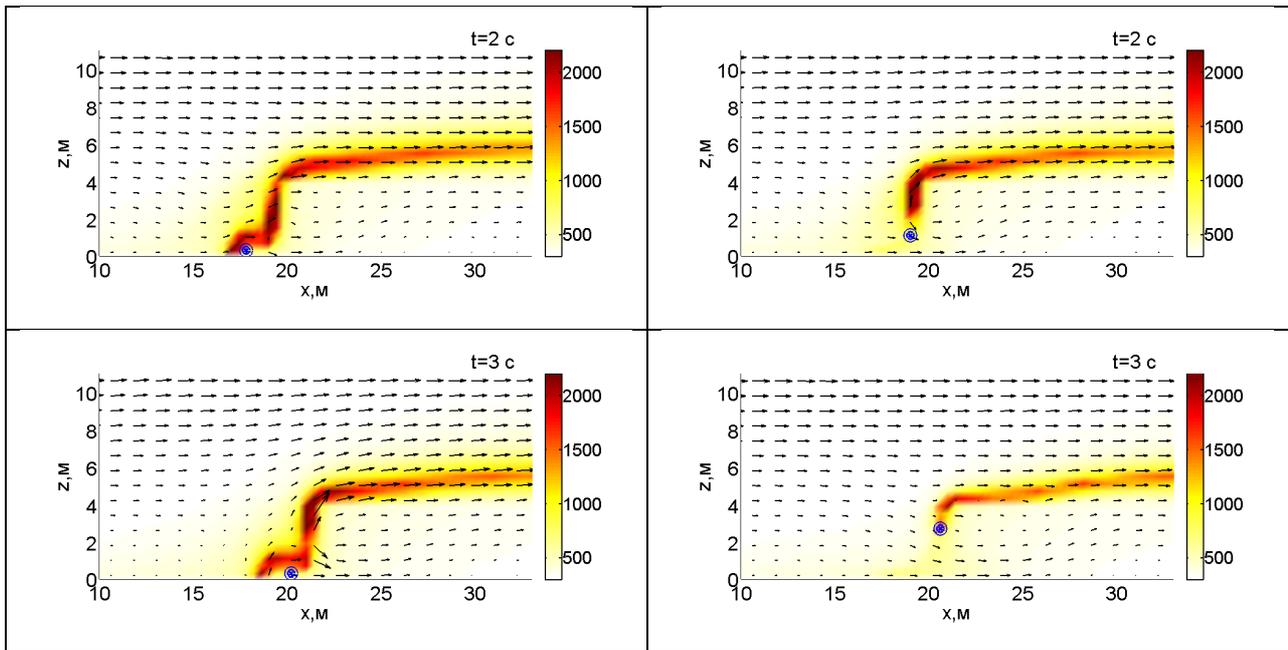
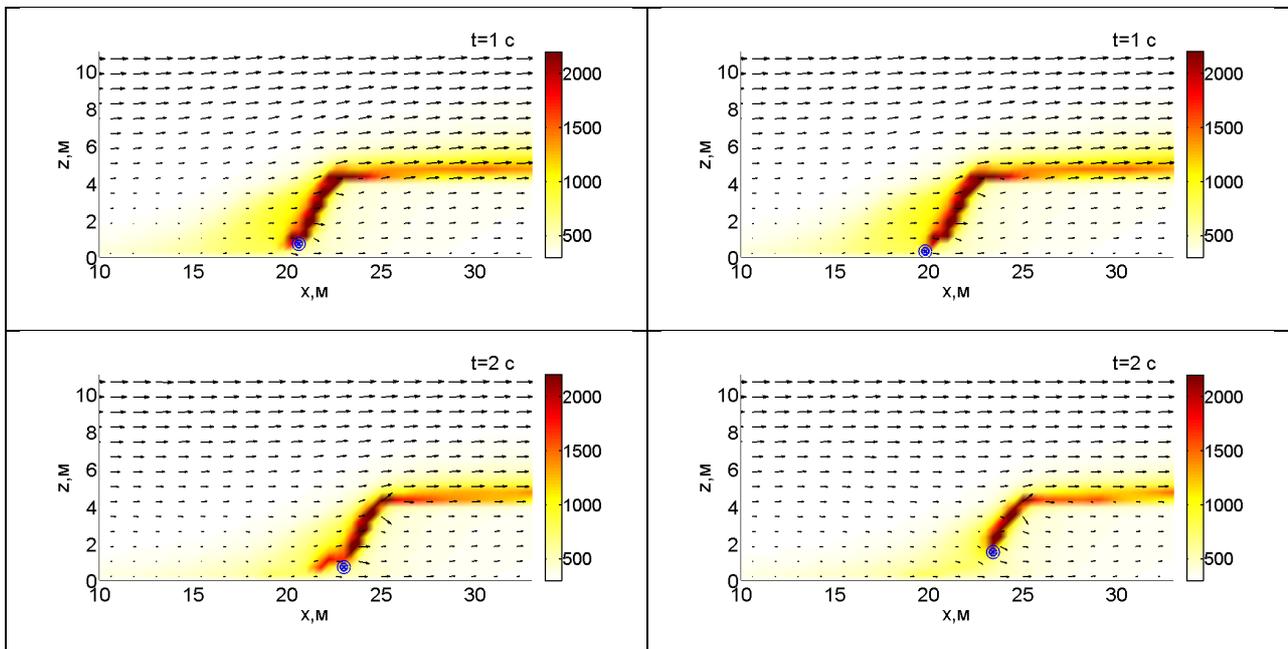


Рис. 2 Динамика взаимодействия пожара с водой при слева - $W_{int}=0,744$ кг/(м·с), справа - $W_{int}=0,746$ кг/(м·с) и скорости ветра 6,67 м/с.

На рис. 3 представлена динамика тушения пожара при скорости ветра 10 м/с. Вследствие большей скорости ветра скорости направлены преимущественно горизонтально, а нагретая газовая фаза находится на меньшей высоте, чем в предыдущем случае. Фронт пожара имеет существенно больший наклон за счёт ветра. Также как и в предыдущем случае, при достаточной интенсивности подачи воды, пожар постепенно вытесняется в верхнюю часть слоя, тогда как при недостатке воды фронт растягивается в большей степени, чем на рис. 2.



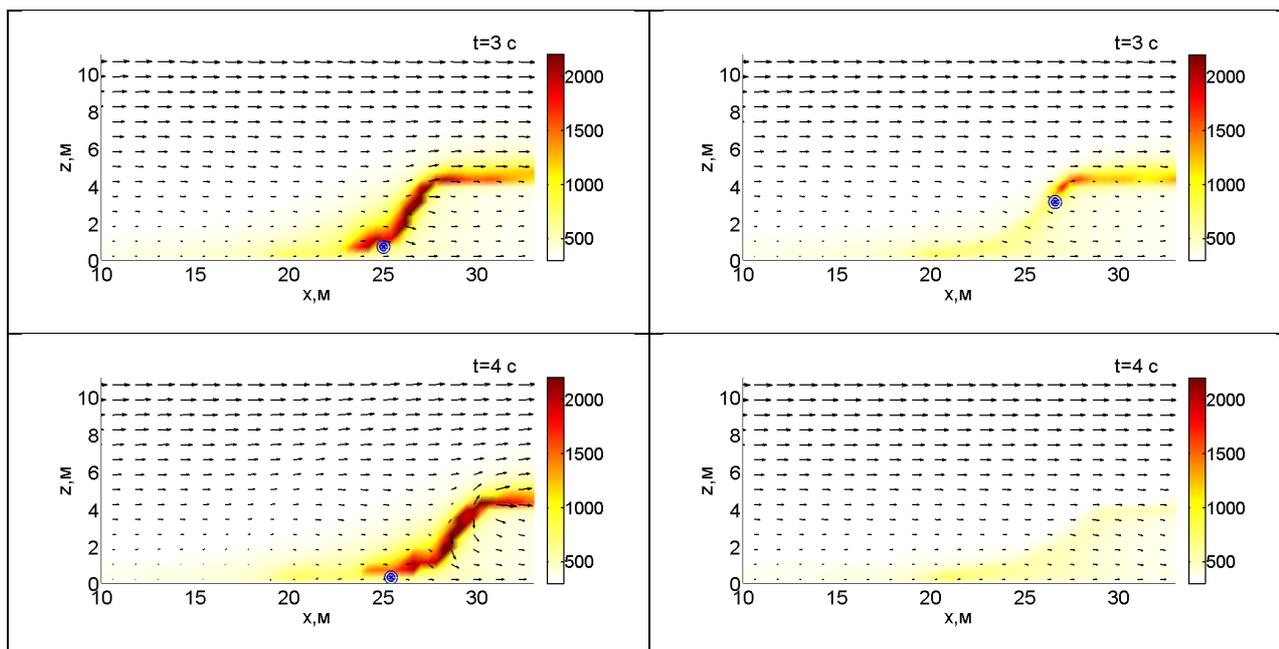


Рис. 3 Динамика взаимодействия пожара с водой при слева - $W_{int}=1,41 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$, справа - $W_{int}=1,412 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$ и скорости ветра 10 м/с.

В таблице приводится зависимость критической интенсивности подачи воды от скорости ветра. Видно, что при малых скоростях ветра (до 2 м/с) имеет место существенное увеличение критической интенсивности подачи воды. Это связано с медленным распространением пожара при малых скоростях ветра и как следствие даже малого количества воды достаточно для тушения. При увеличении скорости ветра выше 7,33 м/с происходит резкое увеличение требуемой интенсивности подачи воды. Этот эффект обусловлен наклоном факела пламени под действием внешнего поля скоростей.

Зависимость критической интенсивности подачи воды от скорости ветра на верхней границе слоя ЛГМ

| Скорость ветра на верхней границе слоя ЛГМ, м/с | Критическая интенсивность подачи воды, кг/(м·с) |
|---|---|
| 1,33 | 0,229 |
| 2 | 0,425 |
| 2,67 | 0,451 |
| 3,33 | 0,493 |
| 4 | 0,531 |
| 4,67 | 0,538 |
| 5,33 | 0,689 |
| 6 | 0,699 |
| 6,67 | 0,745 |
| 7,33 | 0,799 |
| 8 | 1,018 |
| 10 | 1,411 |

Согласно известным экспериментальным и теоретическим данным [1] существуют критические значения скорости ветра, при которых повальный верховой пожар может переходить в ураганный. Это приводит к изменению требуемого количества воды. Таким образом, при увеличении скорости ветра выше 7,33 м/с имеет место резкий рост критической интенсивности подачи воды. Это связано с увеличением наклона факела пламени, в результате чего поток лучистой энергии перенаправляется из газовой фазы в слой лесных горючих материалов. Вследствие этого происходит более быстрый прогрев верхних слоёв леса. Влияние тушения в нижнем слое леса способствует замедлению процессов горения. Таким образом, оба этих процесса в совокупности приводят к увеличению наклона фронта горения по высоте леса и, как следствие, существенно увеличивается требуемая интенсивность подачи воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 14-31-50104 “Исследование влияния способов подачи воды на процесс тушения слоя лесных горючих материалов в динамических условиях”

Список литературы

1. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А.М. Гришин Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1992. – 405 с.
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. Лоцилов, 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 - Москва, РГОТУПС, 2007. 218 с.
7. Лоцилов 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. Масленников, Д.А. и др. Особенности численного моделирования распространения суммарного теплового потока при лесных пожарах / Масленников Д. А., Белоцерковская И. Е., Лоцилов С. А., Катаева Л. Ю.; под ред. Л.Ю. Катаевой - Нижний Новгород : Стимул-СТ, 2013 (Нижний Новгород). - 110 с.
9. Нищенков В.В., Романова Н.А., Катаева Л.Ю., Масленников Д.А., Лоцилов А.А. Об оптимальной стратегии тушения лесного пожара водяной пушкой // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: www.science-education.ru/117-13179 (дата обращения: 30.06.2014).
10. Grishin A.M. Problem of drying of a layer of combustible forest materials / A.M. Grishin, A.N. Golovanov, L.Y. Kataeva, E.L. Loboda // Combustion, Explosion, and Shock Waves. 2001. Vol. 37. № 1. P. 57-66.

Рецензенты:

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

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