

УДК 536.46, 614.84: 004.6

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕСНОГО ПОЖАРА В ЛЕСАХ ВЫСОКОБОРСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА БОРСКОГО РАЙОНА НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Рылкова О.И.¹, Катаева Л.Ю.^{1,2}, Масленников Д.А.¹, Романова Н.А.¹, Рылков И.В.¹,
Лоцилов А.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

В статье представлены результаты численного моделирования лесного ландшафтного пожара на территории Высокоборского лесничества Борского района Нижегородской области. В данной работе иллюстрируется структура взаимодействия геоинформационной системы и расчетного модуля, позволяющего осуществлять моделирование ландшафтных лесных пожаров. Показан отрезок расчетной области на реальной карте и приведена структура данных, получаемых из геоинформационной системы. Сделан вывод о том, что на выбранном участке территории направление ветра не приводит к существенному изменению скорости пожара ввиду малости величины уклона местности. Созданная геоинформационная система позволяет не только визуализировать рассматриваемую территорию, но и обеспечивать передачу в удобном формате для использования в качестве входных данных для моделирования ландшафтных лесных пожаров.

Ключевые слова: базы данных, геоинформационные системы, компьютерное моделирование, WEB, лесные пожары

NUMERICAL MODELING OF FOREST FIRES IN FORESTS OF VYSOKOBORSKY FORESTRY BORSKIY DISTRICT OF NIZHNY NOVGOROD REGION

Rylkova O.I.¹, Kataeva L.Y.^{1,2}, Maslennikov D.A.¹, Romanova N.A.¹, Rylkov I.V.¹,
Loschilov 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

The paper presents the results of numerical simulation of forest landscape fire on the territory of Vysokoborskiy forestry Bor district of Nizhny Novgorod region. In this paper illustrates the structure of the interaction of geographic information system and calculating module that allows the simulation of landscape forest fires. Shown segment of the computational domain into a real map and a data structure obtained from a geographic information system. Concluded that the selected area of land wind direction does not lead to a significant change in the rate of fire spread due to the smallness of the slope of the area. Created geographic information system can not only visualize the territory under consideration, but also to ensure transferring a convenient format for use as input for modeling landscape forest fires.

Keywords: databases, geographic information systems, computer modeling, WEB, forest fires

Площадь лесов России составляет четверть мировых лесных насаждений. Именно поэтому проблема лесных пожаров особенно актуальна. Лесные пожары наносят существенный вред, как экологии, так и экономике страны, а в некоторых случаях приводят к человеческим жертвам. Как показывает статистика последних лет, имеется тенденция к увеличению, как количества пожаров, так и пройденной ими площади.

Проблема борьбы с лесными пожарами была и остаётся актуальной. Важной составляющей её эффективного решения является прогнозирование развития пожаров,

позволяющее принять наиболее эффективные меры по их тушению. Численное моделирование лесных пожаров, благодаря современным высокопроизводительным электронным вычислительным машинам, позволяет проанализировать ключевые сценарии развития ситуации.

Использование реальных лесотаксационных данных накладывает дополнительные требования к надёжности расчётного алгоритма, обусловленные различием характеристик типов растительности. В частности, использование реальных данных предэкспоненты и энергии активации требует использования для решения обыкновенных дифференциальных уравнений устойчивых численных схем, таких как метода Гира [2, 4]. Однако ввиду низкого порядка точности метода Харлоу, использованного для уравнений в частных производных, были использованы схемы первого порядка точности. Для сокращения времени вычислений использовался метод размещения данных в памяти [8], по мере возможностей, обеспечивающий их хранение данных требуемых для вычисления каждого значения максимально близко.

По своему географическому положению, Борский район находится в центральной части Южного Заволжья в левобережной пойме Волги. Ландшафт Борского района характеризуется низкими пологими террасами, чередующимися с крупными болотными массивами. Сосновые боры расположены на песчаных почвах. Большая часть населенных пунктов примыкают к сельскохозяйственным угодьям. На месте выработанных торфяных месторождений сформировалась система водоемов. Природные ландшафты сохранились в восточной части и примыкают к долине реки Керженец.

В отличие от предыдущих работ, таких как [3, 5, 6], в которых рассматривался модельный рельеф, в данной статье моделируется пожар на реальной местности, положение и карта высот которой показана на рис. 1. Для получения детальной картины лесного пожара была использована математическая постановка [7] в плоскости Oxz , в предположении, что динамика пожара не зависит от координаты y , то есть фронт пожара перпендикулярен заданной линии.

Для получения реального рельефа используются данные Google Maps [1]. Его выбор обусловлен возможностями его интерфейса прикладного программирования API [9] и хорошей документацией. Важной особенностью Google Maps является возможность совмещения карты растительности и высот. Карта высот реальной местности была получена при помощи сервиса Google Elevation Service [10].

Для моделирования пожара выбран участок 141-241 м согласно шкале, приведённой в правом столбце рис. 1. Было проведено два расчёта: в первом ось x соответствует положительному направлению абсцисс рис. 1, во втором – отрицательному. При этом

направление ветра всегда соответствовало оси x , то есть в одном случае рассматривался подветренный, а в другом наветренный склон. Очаг пожара располагался на расстоянии 12 м от оси Ox . В таблице 1 показана структура данных, возвращаемых геоинформационной системой для дальнейшего использования в расчётах. Ключевыми параметрами являются высота рельефа и свойства растительности, такие как плотность, влагосодержание, высота и термокинетические параметры.

На рис. 2 представлено изотермы для подветренного и наветренного склона наклона на моменты 10, 20, 30 секунд, жирная линия соответствует температуре 500 К, тонкая штриховая – 1000 К, тонкая сплошная – 1500 К.

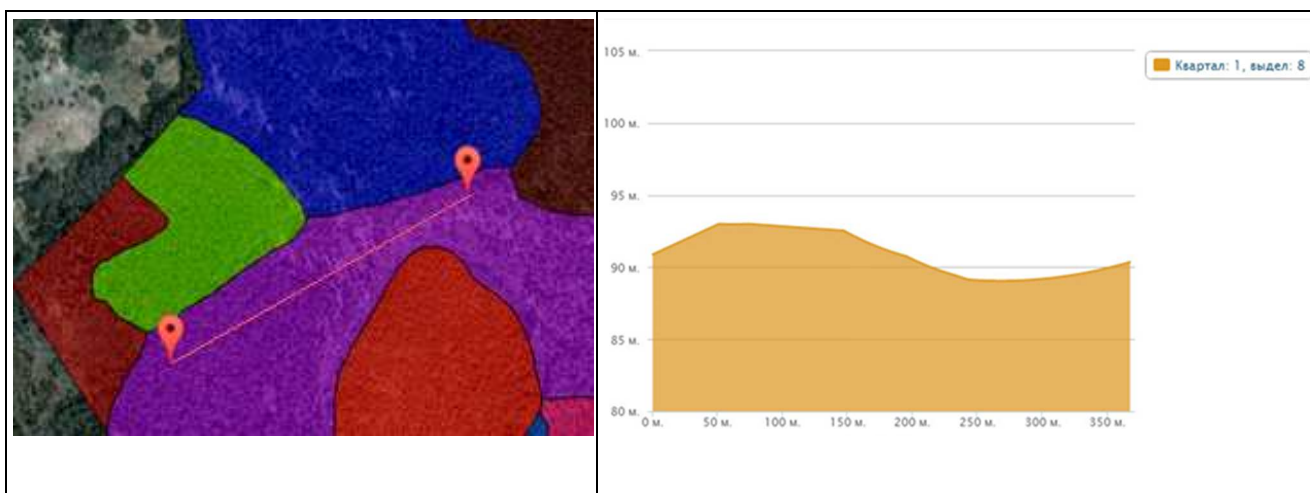


Рис. 1 – Выбор отрезка для моделирования пожара (слева) и рельеф на нём (справа)

На момент времени 10 секунд, пожар подходит к наветренному склону, при этом, в отличие от картины распространения по подветренному слою, высокая температура имеет место по всему фронту горения, тогда как в случае с подветренным склоном, можно видеть, что нижней части слоя лесных горючих материалов температура ниже 1000 К. Дальнейший ход распространения пожара показывает, что в нижней части слоя на подветренном слое возникает небольшой очаг горения позади основного фронта. Также следует отметить, что фронт в большей степени наклонён вперёд при распространении по наветренному склону

Таблица 1

Структура данных о местности и растительности

| Дистанция от левой границы отрезка, м | Широта, ° | Долгота, ° | Высота рельефа, м | Энергия активации сушки, Дж/моль | Предэкспонента сушки, 1/с |
|---------------------------------------|-----------|------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 0 | 56,571990 | 44,109720 | 91,872 | 45291 | 252315 |

| | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|--|--------------|----------------|---|
| 1,004 | 56,571995 | 44,109733 | 91,911 | 45291 | 252315 |
| 2,008 | 56,572000 | 44,109746 | 91,950 | 45291 | 252315 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Энергия активации пиролиза, Дж/моль | Предэкспонента пиролиза, 1/с | Плотность сухого органического вещества, кг/м ³ | Влажность, % | Высота леса, м | Тип почвы (0 – песчаная, 1 – суглинистая, 2 – торфяник) |
| 60653 | 11540 | 2 | 15 | 23 | 0 |
| 60653 | 11540 | 2 | 15 | 23 | 0 |
| 60653 | 11540 | 2 | 15 | 23 | 0 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

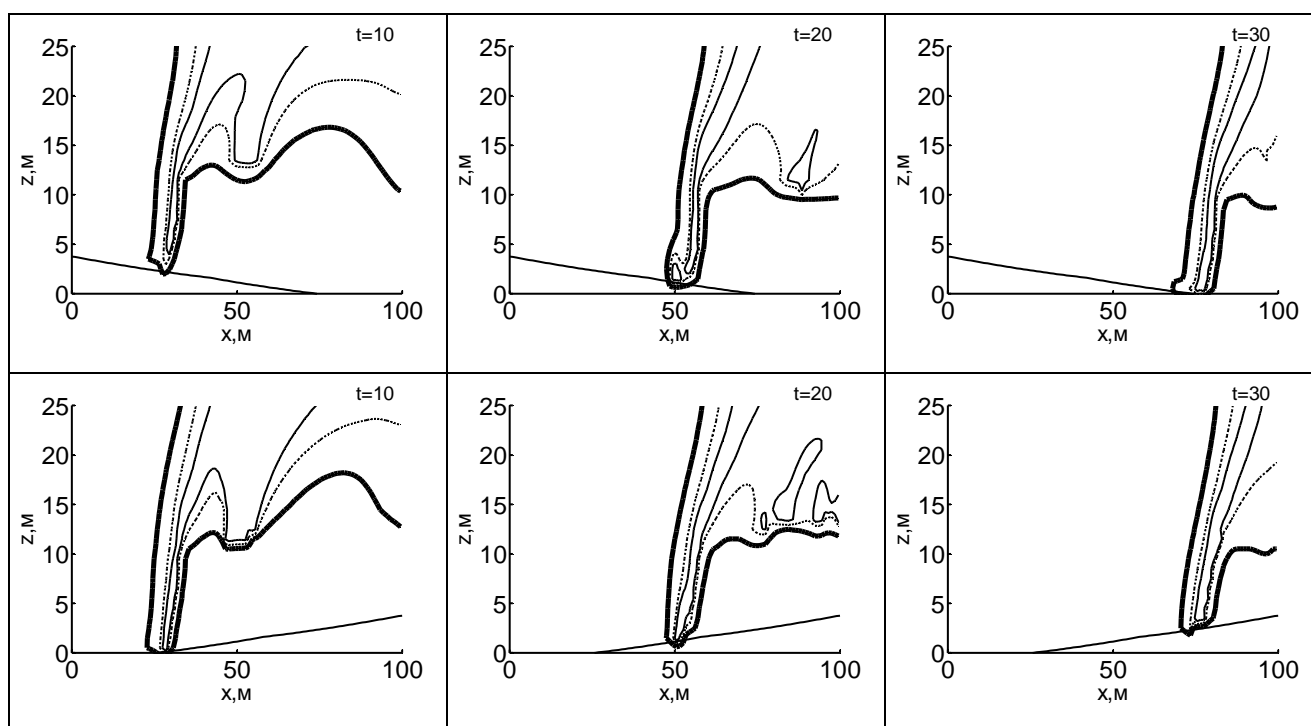


Рис. 2 – Изотермы для различной конфигурации рельефа на различные моменты времени

На рис. 3 представлены линии уровня концентрации кислорода для подветренного и наветренного склона на моменты 10, 20, 30 секунд, жирная линия соответствует концентрации 20%, тонкая штриховая – 10%, тонкая сплошная – 1%.

На рис. 4 представлены линии уровня концентрации летучих продуктов пиролиза для подветренного и наветренного склона на моменты 10, 20, 30 секунд, жирная линия соответствует концентрации 1%, тонкая штриховая – 10%, тонкая сплошная – 30%. На рис. 2-4 на момент 20 секунд в случае наветренного слоя можно видеть очаг горения летучих

продуктов пиролиза около границы области, характеризующийся ростом температуры, снижением концентрации кислорода и летучих продуктов пиролиза.

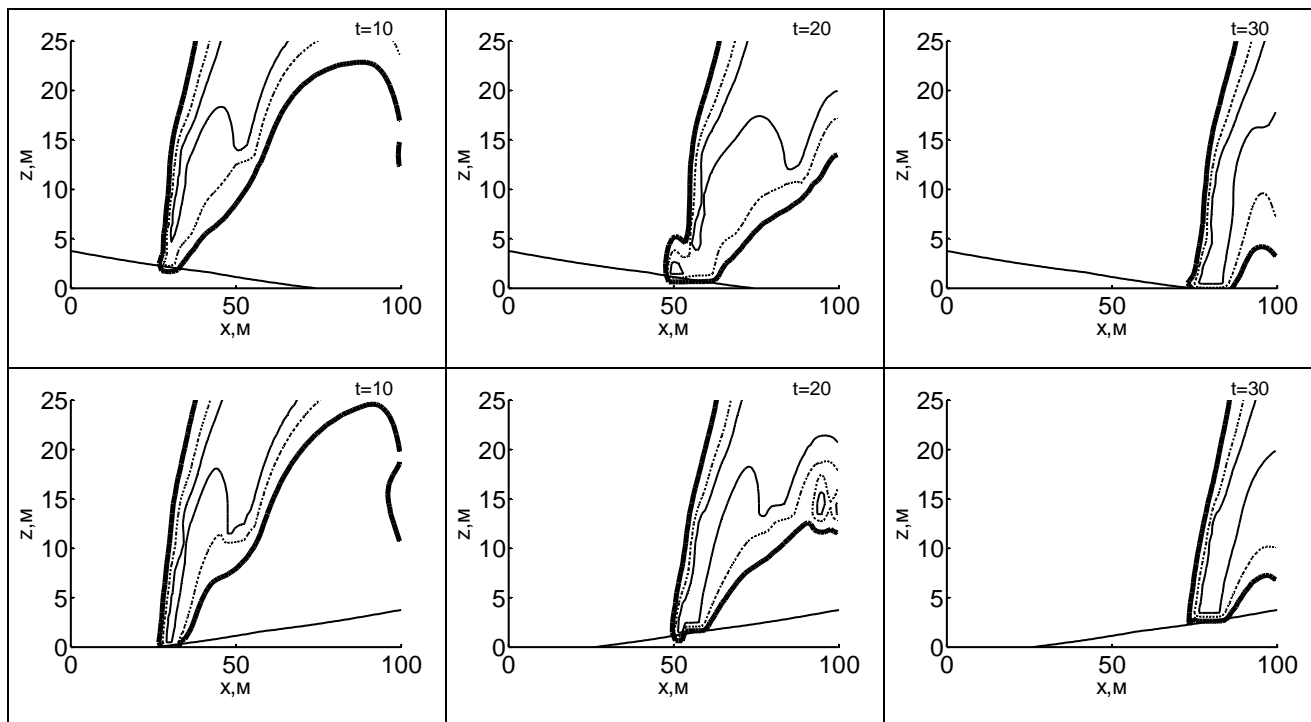
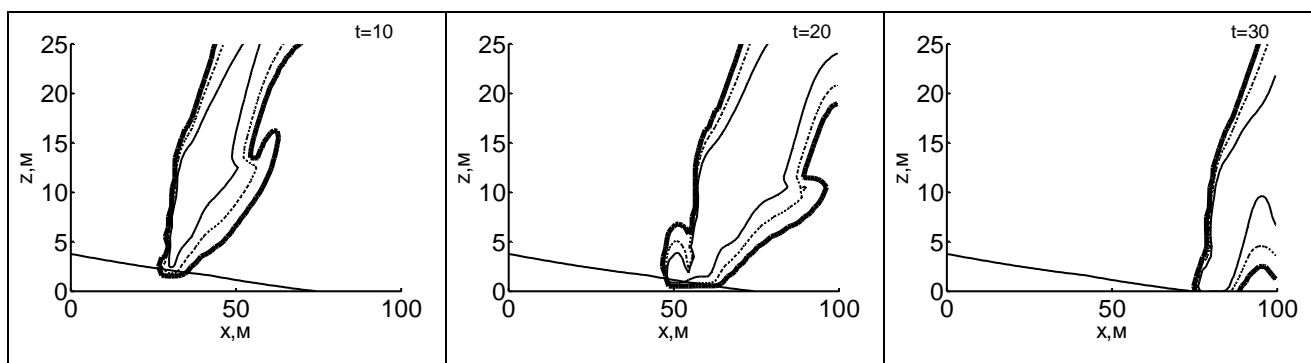


Рис. 3 – Линии уровня концентрации кислорода для различной конфигурации рельефа на различные моменты времени

На рис. 5 представлены поля скоростей для подветренного и наветренного склона наклона на моменты 10, 20, 30 секунд. Длины стрелок на каждом из представленных на рисунке результатов пропорциональны величине скоростей. При подходе к концу подветренного склона (на момент 20 секунд) наблюдается эффект сдувания пожара, что характеризуется большей величиной ветра скорости вокруг очага.



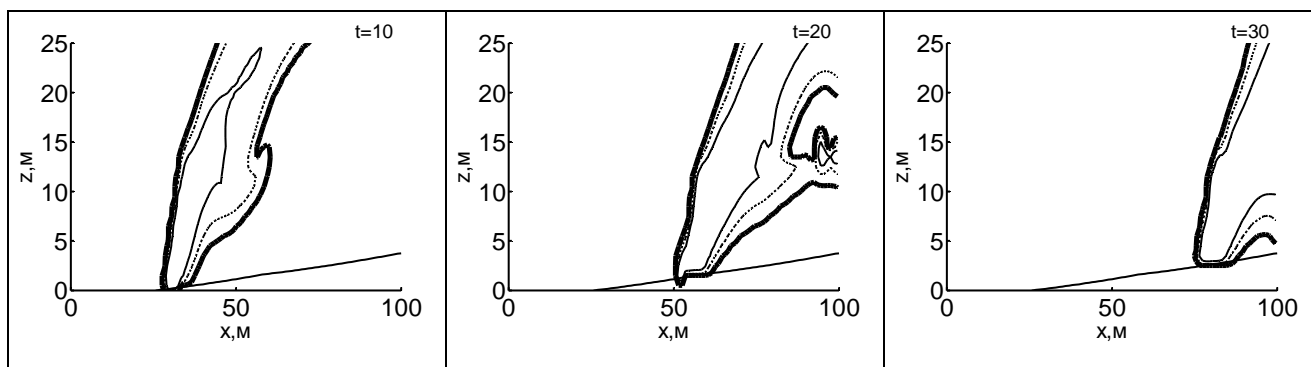


Рис. 4 – Линии уровня летучих продуктов пиролиза для различной конфигурации рельефа на различные моменты времени

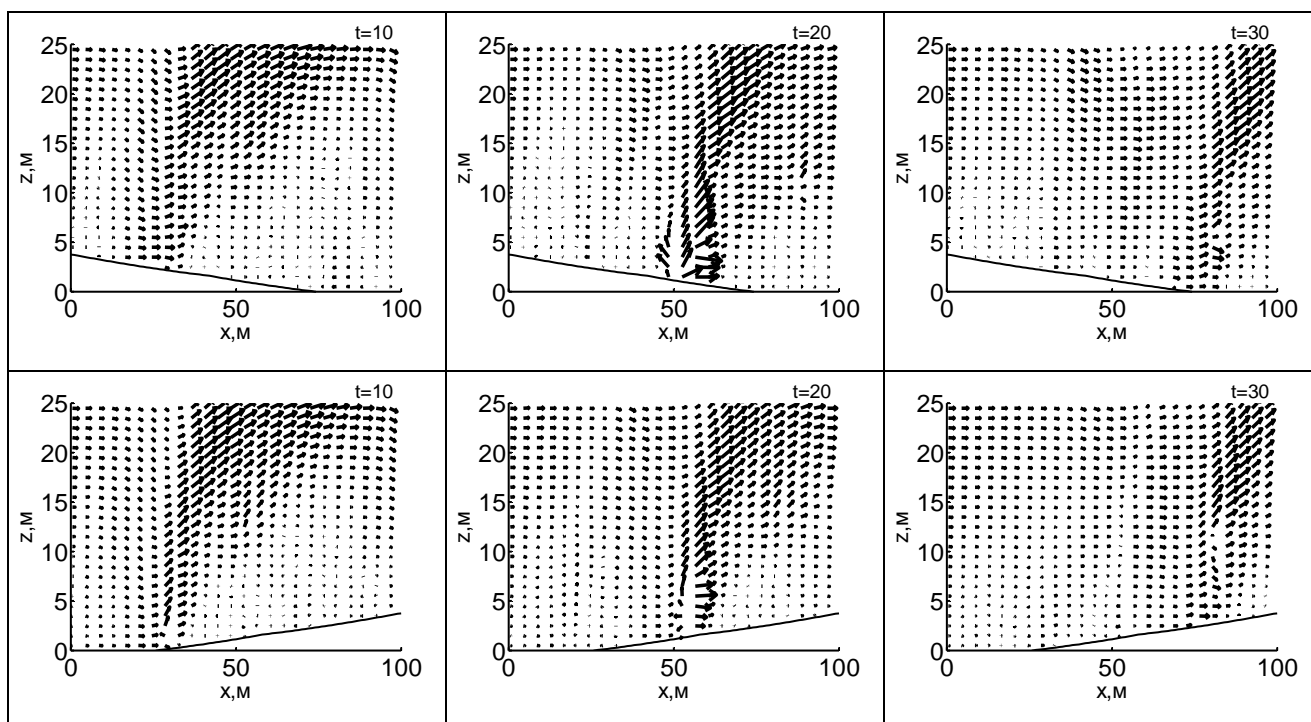


Рис. 5 – Поля скоростей для различной конфигурации рельефа на различные моменты времени

Из рис. 1-5 видно, что ввиду малого угла уклона, неоднородности рельефа Высокоборского лесничества Борского района Нижегородской области оказывают малое влияние на динамику пожара. Созданная геоинформационная система позволяет не только визуализировать рассматриваемую территорию, но и обеспечивать выгрузку данных в удобном формате для использования в качестве входных данных для моделирования ландшафтных лесных пожаров.

Список литературы

1. Карты Google — [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.google.ru/maps/preview> (дата обращения 20.12.2013).
2. Катаева Л.Ю. Анализ динамических процессов аварийных ситуаций природного и техногенного характера: дис. ... д-ра. физ.-мат. наук. – Нижний Новгород, 2009.
3. Катаева Л.Ю. Моделирование динамики пожара с учетом рельефа местности и внешнего поля скоростей / Л.Ю. Катаева, Д.А. Масленников, И.Е. Белоцерковская // Пожаровзрывобезопасность. М.: Пожнаука, — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 49 – 58.
4. 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
5. 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.
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, 2008. М.:РГОТУПС.
9. API Google Карт — Google Developers — [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <https://developers.google.com/maps/?hl=ru> (дата обращения 20.12.2013)
10. The Google Elevation API — Google Maps API Web Services — Google Developers: — [электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/elevation/> (дата обращения 20.12.2013)

Рецензенты:

Юнаковский А.Д., д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН), г. Нижний Новгород.

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