

УДК 615.035.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА СТАЦИОНАРНЫМ ИСТОЧНИКОМ ОТ ДИАПАЗОНА ТЕМПЕРАТУР ЗОНЫ ПОДАЧИ ВОДЫ

¹Федосеева Т.А., ¹Постнов А.Д., ¹Беляев И.В., ^{1,2}Катаева Л.Ю., ¹Масленников Д.А.,
¹Лощилова Н.А., ¹Лошилов А.А.

¹ГОУ ВПО «Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижегород, e-mail: kataeval2010@mail.ru;

²ГОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ),
Нижегород, e-mail: tu@miit.ru

Рассмотрен вопрос о выборе оптимальной точки подачи воды при тушении лесного пожара стационарно стоящей водяной пушкой. На основе численных расчётов по физико-математической модели динамики тушения лесного пожара, исследуется влияние выбора точки подачи на массовый расход воды. Показаны поля температур и скоростей при различных параметрах тушения лесного пожара. При подаче воды в область низких температур вода тратится на поглощение энергии, часть которой рассеялась бы. Использование в качестве точки прицела области с высокими температурами, свойственными ядру очага, приводит к уменьшению рассеивания энергии на излучение, мощность которого пропорциональна четвёртой степени температуры, согласно закону Стефана-Больцмана, а это в свою очередь требует увеличения интенсивности подачи воды.

Ключевые слова: лесные пожары, водяная пушка, тушение пожара, численное моделирование

ABOUT EFFECT OF TEMPERATURE RANGE OF WATER DELIVERY AREA ON EFFICIENCY OF FOREST FIRE EXTINGUISHING WITH STATIONARY WATER SOURCES

¹Fedoseeva T.A., ¹Postnov A.D., ¹Belyaev I.V., ^{1,2}Kataeva L.Y., ¹Maslennikov D.A.,
¹Loschilova N.A., ¹Loschilov A.A.

¹Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, e-mail: kataeval2010@mail.ru;

²Moscow State University of Railway Transport, Nizhny Novgorod, e-mail: tu@miit.ru

We consider the problem of choosing the optimal point of water supply extinguishing a forest fire with stationary water gun. On the basis of numerical calculations for the physic-mathematical model of the dynamics of forest fire extinguishing, investigated the influence of the point of water supply on the mass flow rate. Showing the temperature and velocity fields for various parameters of extinguishing a forest fire. If the water is supplied to the low-temperature zone water will be spent on energy absorption, part of which would dissipate. Use as a point of sight region with high temperatures, characteristic kernel hearth reduces the dissipation radiation energy, with a capacity proportional to the fourth power of the temperature, according to Stefan-Boltzmann law, and this in turn requires an increase in the flow rate of water.

Keywords: forest fires, water cannon, fire-fighting, numerical modeling

Успешность борьбы с крупными лесными пожарами во многом определяется продуманностью стратегии тушения, основанной на анализе динамики взаимодействия пожара с подаваемой в очаг водой. Среди основных факторов, влияющих на процесс тушения, являются поглощение тепловой энергии на испарение и уменьшение доступа кислорода в зону горения за счёт образующегося водяного пара. Таким образом, эффективность тушения лесного пожара существенно зависит от режима и зоны подачи воды. Тушение лесных пожаров при ручном управлении процессом выбора точки прицела подачи воды зачастую приводит к снижению эффективности, т.к. точки уязвимости пожара, зачастую невидимы для глаза человека. В данной статье исследуется влияние температуры области, куда поступает вода на эффективность тушения пожара.

При моделировании тушения пожара рассмотрим сценарий, согласно которому предлагается подача воды в точку, ближайшую к водяной пушке, при условии, что её температура выше заданной. Согласно работам [0-0, 0] во фронте горения формируются несколько пространственных зон (прогрева, сушки, пиролиза или газификации, догорания конденсированных продуктов) с температурой, соответствующей преобладающему процессу, протекающему в конкретной зоне. Таким образом, задание критического значения температуры определяет потенциальную зону поражения в очаге горения.

При численном моделировании использовался метод крупных частиц [0] с оптимизацией размещения значений в памяти ЭВМ [0].

Проанализируем один из ключевых сценариев развития ситуации. Предположим, что интенсивности подачи воды недоста-

точно для тушения пожара, при этом он также будет распространяться, хотя и существенно медленнее, чем в случае, если бы

не было предпринято никаких мер по тушению. На рис. 1 показана динамика пожара при $T_{cr} = 450$ К, $w_{int} = 1,25$ кг/(м·с).

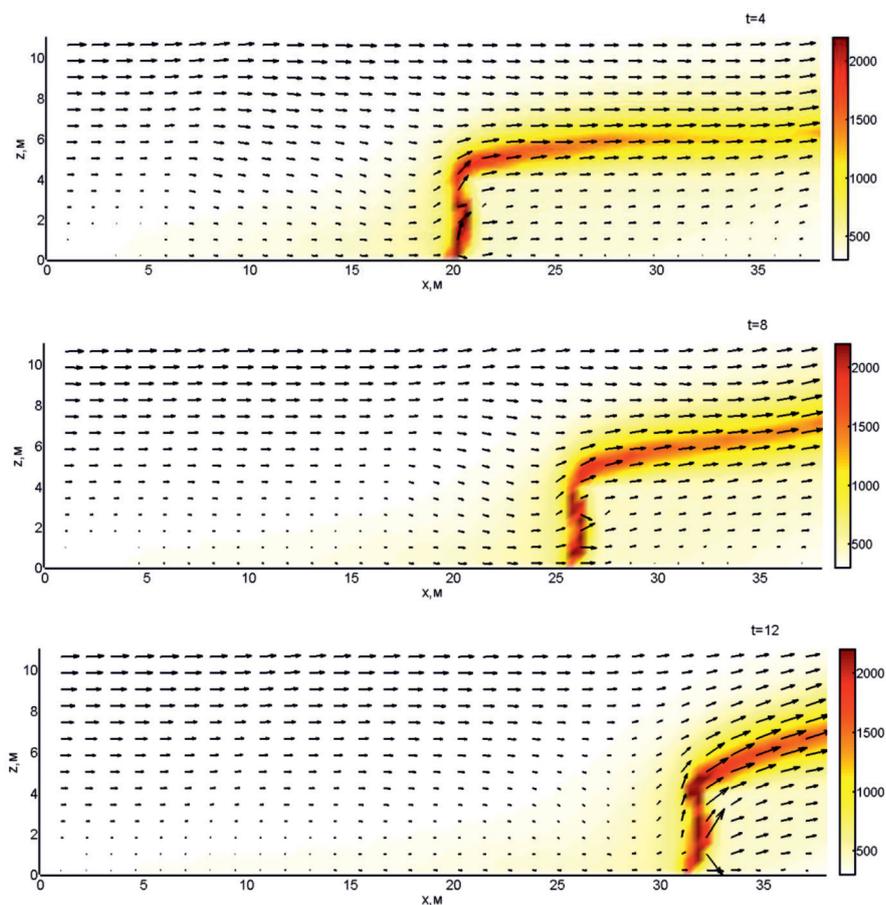


Рис. 1. Динамика распространения пожара при $T_{cr} = 450$ К, $w_{int} = 1,25$ кг/(м·с)

Из рис. 1 очевидно, что области высоких температур изменяются незначительно по мере распространения лесного пожара, а скорость газовой фазы существенно возрастает в области очага пожара и потока нагретых продуктов горения.

Для успешного тушения пожара [0] при температуре $T_{cr} = 450$ К, необходимое значение интенсивности воды $w_{int} = 2,38$ кг/(м·с). Динамика скоростей и температур для этого случая показана на рис. 2. Обратим особое внимание на некоторые моменты времени, например, в момент времени 6 с – имеет место разрыв фронта пожара, при этом скорость газовой фазы направлена в сторону распространения пожара в основном в средней (по вертикали) части полога леса. В момент времени 6,4 с структура фронта восстанавливается, однако при этом уменьшается скорость распространения пожара и как следствие его энергия. На момент времени 6,8 с вода тушит переднюю часть фронта пожара в середине полога

леса. Оставшиеся части очага выделяют недостаточно энергии для продолжения пожара и компенсации потерь энергии на испарение поступающей воды. Затем очаг пожара довольно быстро затухает.

Наиболее действенным, согласно проведённым расчётам, оказалось тушение пожара при $T_{cr} = 800$ К, что требует гораздо меньше воды ($w_{int} = 1,73$ кг/(м·с)). Динамика тушения пожара при указанных параметрах показана на рис. 3. На первоначальном этапе тушения происходит срезание верхней части фронта пожара, но это не приводит к тушению, так как конвекция из нижней части фронта пожара способствует быстрому разогреву верхнего слоя лесных легковоспламеняющихся материалов и возобновлению горения. Рассмотрим подробнее некоторые моменты времени, например, на момент 1,2 с фронт пожара становится более или менее устойчивым, но затем в момент времени 1,6 с температура в нём падает, что негативно

сказывается на скорости распространения и способности противостоять подаваемой воде. На момент времени 2,8 с происходит

вспышка в нижней части фронта, но на ней сосредоточен обстрел водной пушки, и пожар угасает.

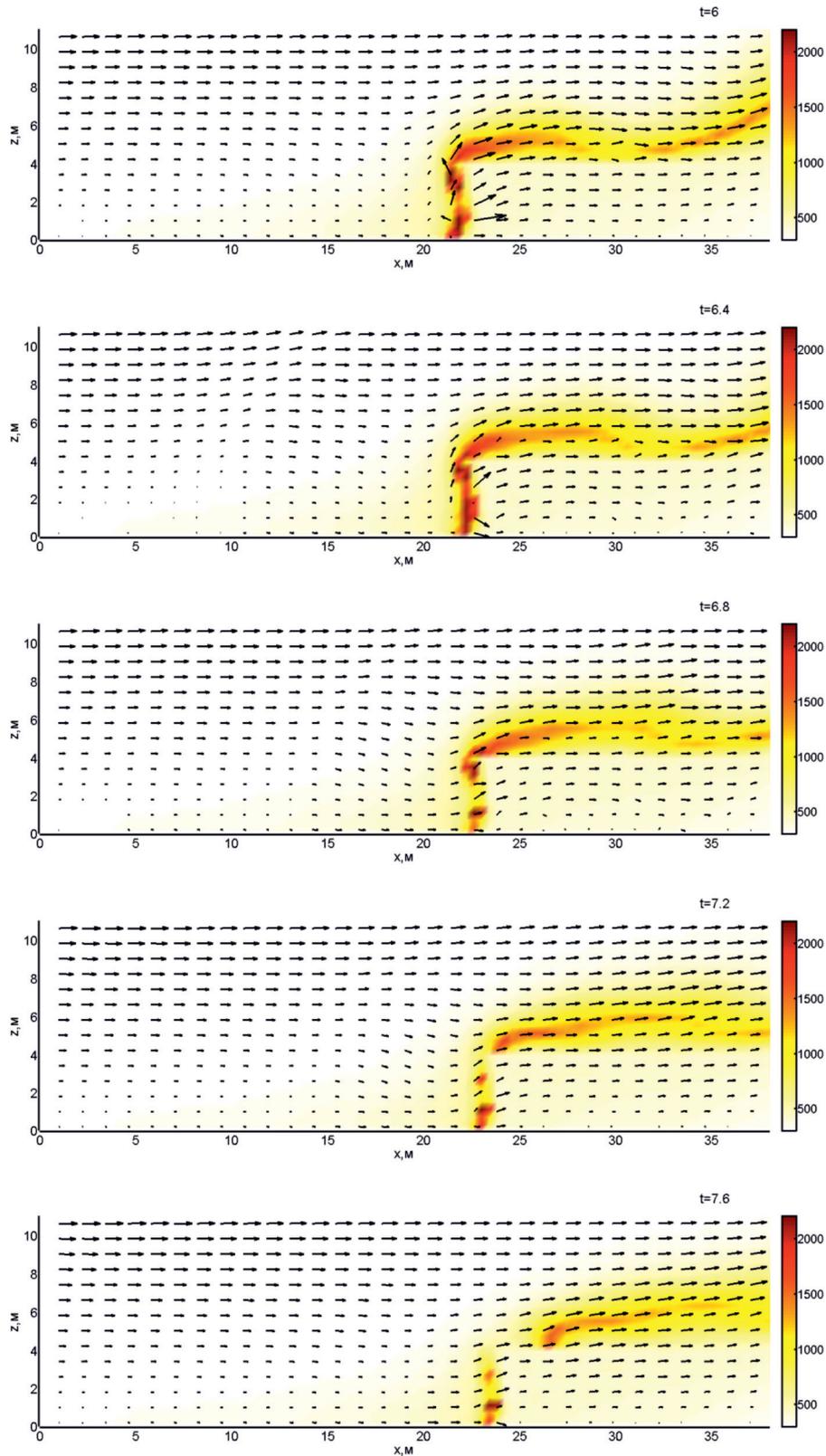


Рис. 2. Динамика распространения пожара при $T_{cr} = 450 \text{ K}$, $w_{int} = 2,38 \text{ кг/(м·с)}$

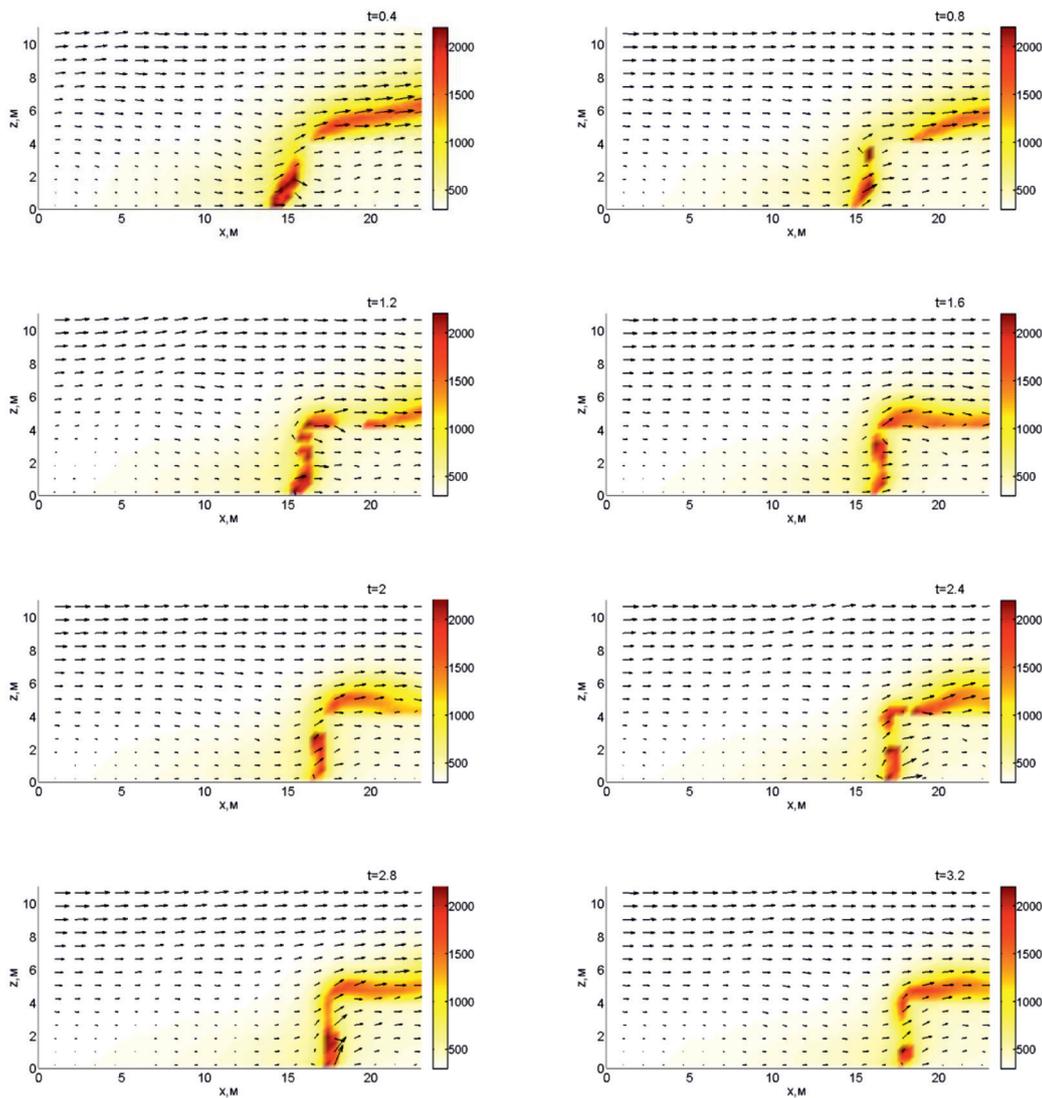


Рис. 3. Динамика распространения пожара при $T_{cr} = 800 \text{ K}$, $w_{int} = 1,73 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$

Динамика распространения пожара при температуре $T_{cr} = 1500 \text{ K}$ и $w_{int} = 2,68 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$ представлена на рис. 4. В момент времени 0,8 с – на начальном этапе подачи воды значительно падает температура в верхней части полога леса и происходит разрыв фронта горения. На момент времени 1,6 с прицел подачи воды спускается в приземную зону, в результате чего подача воды прекращается уже при температуре ниже 1500 K, температура во фронте пожара остается высокой для возобновления горения, и уже на 2,4 с, она повышается по всей высоте пожара. После успешного понижения температуры в верхней части фронта пожара, прицел переносится в приземный слой, и температура в нём существенно снижается с момента времени 3,2 с до 4,8 с. В результате чего температура

пожара становится недостаточной для его продолжения и его распространение прекращается.

Динамика движения точки прицела подачи воды, для случая интенсивности выше и ниже критической показана на рис. 5. На графиках видно, что до момента времени 0,3 с нет линий, так как моменту готовности источника подачи воды пожар находится вне досягаемости струи воды. В случае недостаточной интенсивности подачи воды (рис. 5, а), движение точки прицела носит беспорядочный характер, в основном выбираются точки в верхней части полога леса. На начальном этапе динамика точки прицела аналогична (рис. 5, б), однако можно наблюдать достаточно долгий промежуток времени подачи воды в нижнюю часть фронта пожара (2 – 2,8 с). Как вид-

но из рис. 3, к моменту времени 2 с, наибольшие температуры сконцентрированы в нижней части полога леса, и в результате

подачи воды энергия в меньшей степени распространяется вверх, что препятствует сохранению пожара.

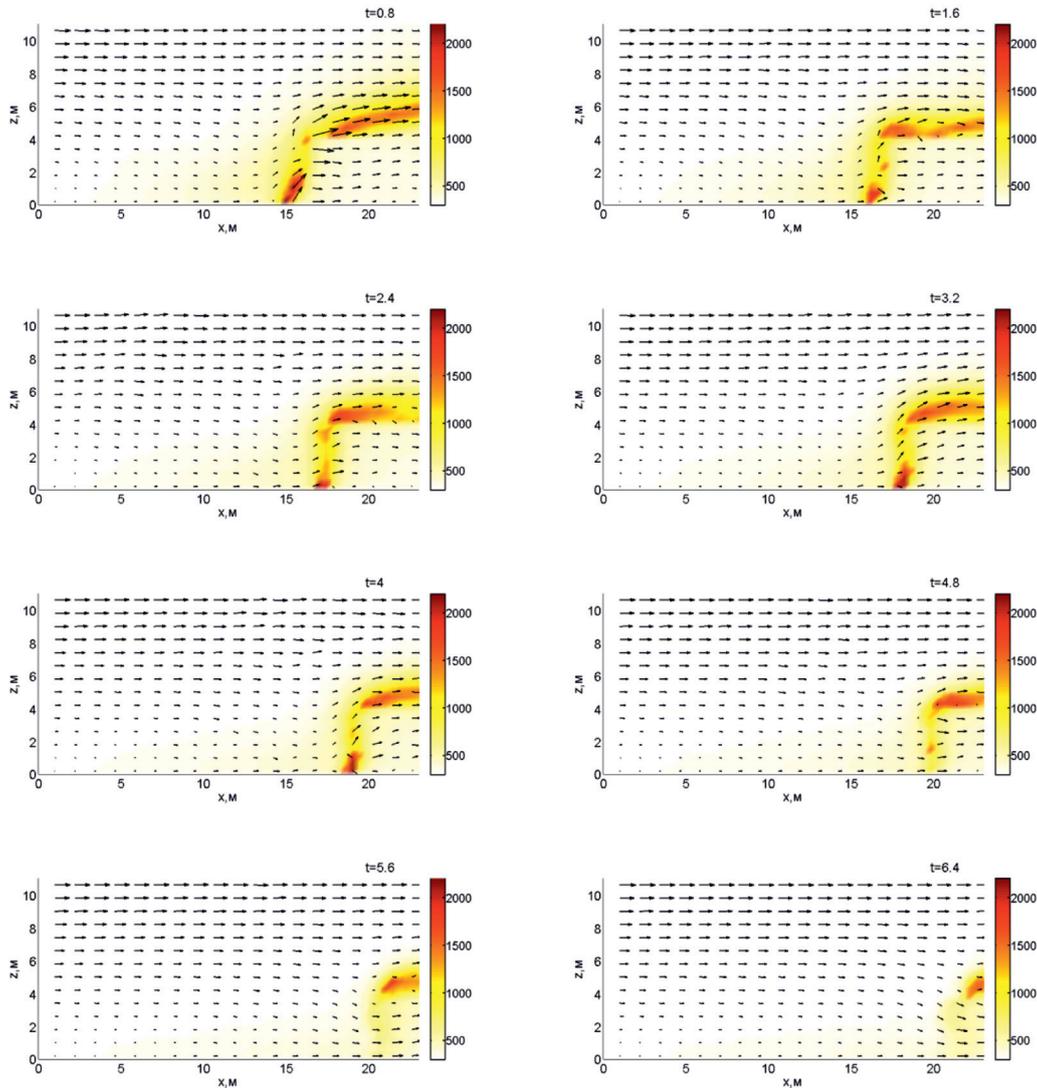


Рис. 4. Динамика распространения пожара при $T_{cr} = 1500\text{ K}$, $w_{int} = 2,68\text{ кг/(м·с)}$

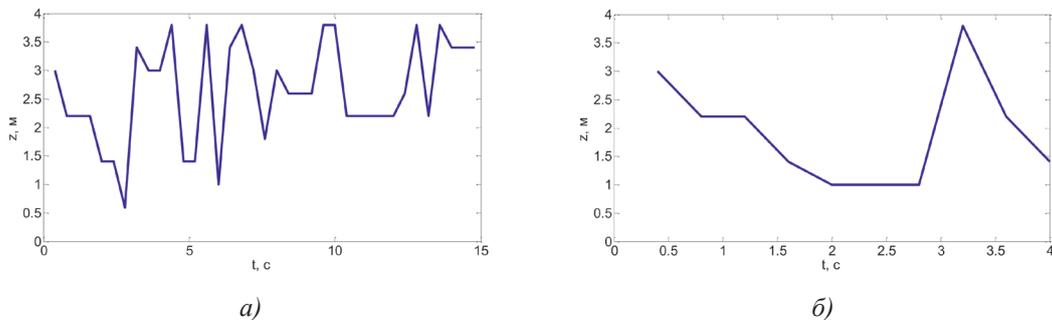


Рис. 5. Динамика движения точки прицела подачи воды при $T_{cr} = 800\text{ K}$,
 $a - w_{int} = 1,72\text{ кг/(м·с)}$, $b - w_{int} = 1,73\text{ кг/(м·с)}$

Результаты численных экспериментов по моделированию тушения пожара по предложенному сценарию, при помощи заданного потока воды в двумерной постановке приведены в таблице.

Зависимость эффективности подачи воды от значения критической температуры

Критическая температура, К	Критическая интенсивность подачи воды, кг/(м·с)
450	2,375
500	2,111
550	1,995
600	1,885
800	1,726
900	1,759
1100	1,796
1500	2,677

Таким образом, из результатов моделирования видно, что наиболее действенно тушение пожара при температуре 800 К. В случае если подача воды производится в область более низких температур, то есть вода тратится на охлаждение растительности, находящейся впереди кромки пожара, требуемая интенсивность увеличивается. Если вода не поступала бы в эту область, то часть тепловой энергии рассеялась бы за счёт внешнего поля скоростей. Выбор точки обстрела в области низких температур не приводит к катастрофическому росту требуемой интенсивности подачи воды. Использование в качестве точки прицела области с высокими температурами, свойственными ядру очага, приводит к уменьшению рассеивания энергии на излучение, мощ-

ность которого пропорциональна четвёртой степени температуры, согласно закону Стефана-Больцмана, а это в свою очередь требует увеличения интенсивности подачи воды. Уменьшение интенсивности распространения лучистой энергии приводит не только к уменьшению её потерь, но и к некоторому замедлению распространения пожара, и пожар угасает, хотя и с несколько большими затратами 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: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2009.
3. 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.
4. Катаева Л.Ю., Постнов А.Д., Лощилев С.А., Масленников Д.А. О влиянии водного барьера на динамику развития лесного пожара в зависимости от рельефа местности // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 1. – С. 30–37.
5. Катаева Л.Ю., Прокофьева М.В. Применение метода крупных частиц для численного решения задачи зажигания жидкого топлива // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 6 (14). – С. 1.
6. Перминов В.А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров: дис. доктора физ.-мат. наук. – Томск: Томский госуниверситет, 2010. – 282 с.
7. Романов А.В., Катаева Л.Ю. Метод Патанкара и возможности его оптимизации // Наука и техника транспорта. – М.: РГОТУПС, 2008. – № 3. – С. 88–97.