

Совершенствование механизмов управления пожароопасными событиями

Ф.А. Дали

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Аннотация: Работа посвящена исследованиям по совершенствованию механизмов управления пожароопасными событиями в социально-экономической системе объектов и населённых пунктов. Результаты моделирования дают возможность рассчитать вероятность прекращения пожара на определенных этапах в каждой зоне пожара, а также оценить относительную вероятность наступления пожароопасного события на рассматриваемых территориях.

Ключевые слова: объекты защиты, развитие пожара, территории, жилой сектор, социально-экономическая система, моделирование.

Ежегодно в нашей стране происходит около 400 тыс. пожаров. Подавляющее количество пожаров зарегистрировано на открытых территориях, в зданиях жилого назначения. Большинство таких объектов пожара сосредоточено в загородной или сельской местности [1-3]. Одним из направлений повышения эффективности борьбы с огнем на территориях социально-экономической инфраструктуры сельских поселений является прогнозирование развития опасных событий.

Прогнозирование опасных событий, связанных с пожарами на открытом пространстве, отличается большими масштабами, необходимостью учета географических и метеорологических условий, конструктивных особенностей зданий и сооружений, удаленности пожарных подразделений МЧС России, качеством дорог, наличием и расположением водоисточников, а также другими социально-экономическими и организационно-управленческими факторами, определяющими пожароопасную обстановку на рассматриваемой территории.

В целях улучшения качества готовности органов управления, расчета сил и средств оперативного реагирования, целесообразно разрабатывать информационно-аналитические модели, обеспечивающие оперативную

обработку информации, и выполняющие функции по прогнозированию возможного развития пожароопасных событий на конкретной (заданной) территории. Другими словами, задавая район, зная свойства объектов пожара, можно спрогнозировать развитие событий [4-6].

Существующие современные численные методы дают возможность специалистам находить различные параметры пожаров. Однако, платформа традиционных методов применительно к современным реалиям в пространственно-временном экстраполяции нуждается в адаптации и совершенствовании [5-7].

Для того, чтобы выделить область исследования и провести моделирование, необходимо было задать начальные условия. Как предполагалось, на рассматриваемой территории имеется участок, в котором образовался пожар, и который имеет свои определенные параметры и заданную скорость ветра. Формируется определённый фронт пожара, который развивается по территории за счет скорости потоков ветра. Фронт пожара оказывает на здания и сооружения тепловое воздействие за счет теплопереноса горящих частиц конвекции и т. д.

Схематически это можно представить следующим образом: обозначив через систему координат, оси x_1 , x_2 и x_3 , где x_1 , x_2 это координаты поверхности земли, а ось x_3 характеризует заданную высоту. Также по осям можно обозначить направление ветра. За основу были приняты исследования, проводимые специалистами из Томского политехнического университета [8], которые были адаптированы под модель управления пожароопасными событиями в сельских поселениях. На рис. 1 представлена модель данного процесса:

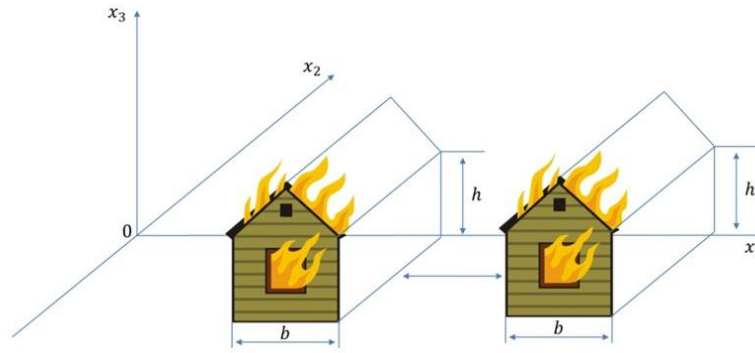


Рис. 1– Модель развития пожара:

b – ширина и h – высота здания или сооружения

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = -\frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho c_p v_j' \bar{T}') + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + k_g (cU_R - 4\sigma T^4);$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho v_j' c_\alpha') + R_5 \alpha - \dot{m} c_\alpha, \alpha = \overline{1,3}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_j} \right) - kcU_R = 4k_s \sigma T_s^4 + 4k_g \sigma T^4 = 0, k = k_g + k_s;$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i c_{pi} \varphi_i \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (cU_R - 4\sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s);$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2, \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0;$$

$$\sum_{\alpha=1}^3 c_\alpha = 1, \rho_e = \rho RT \sum_{\alpha=1}^3 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \vec{v} = (v_1, v_2, v_3), \vec{g} = (0, 0, g),$$

$$\dot{m} = (1 - c_\alpha) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3 + R_{53} + R_{54},$$

$$R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5, R_{52} = v(1 - \alpha_c) R_1 - R_{55},$$

Далее были выделены исходные и граничные условия:

$$t = 0: v_i = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, T_s = T_e, \varphi_k = \varphi_{ke}, i = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3; \alpha = \overline{1, 5}.$$

$$x_1 = -x_{1e}: v_1 = V_e(x_3), v_2 = 0, v_3 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e} - \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + cU_R/2 = 0.$$

$$x_3 = 0: v_1 = 0, v_2 = 0, (\rho v_3) = h_0 \bar{m},$$

$$T = T_s = \begin{cases} T_e + (T_0 - T_e) \exp(-((x_1 - x_{10})/\Delta_x)^2) t/t_0, & t \leq t_0 \\ T_e + (T_0 - T_e) \exp(-((x_1 - x_{10}) - x_f)/\Delta_x)^2), & t > t_0' \end{cases}$$

$$-\rho D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_3} + \rho v_3 c_\alpha = h_0 \bar{R}_{5\alpha}, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_3} = \frac{\varepsilon}{2(2 - \varepsilon)} (4\sigma T_s^4 - cU_R),$$

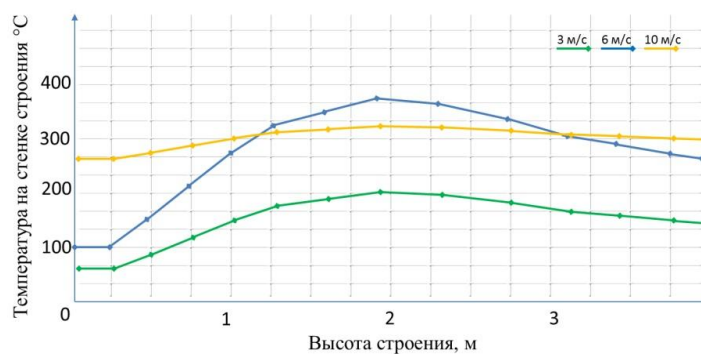
$$x_3 = x_{3e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_3} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_3} + \frac{c}{2} U_R = 0.$$

Поскольку большинство домов в сельской местности выполнены из строительных материалов 5 степени огнестойкости, были выбраны типовые характеристики деревянных строительных конструкций [9].

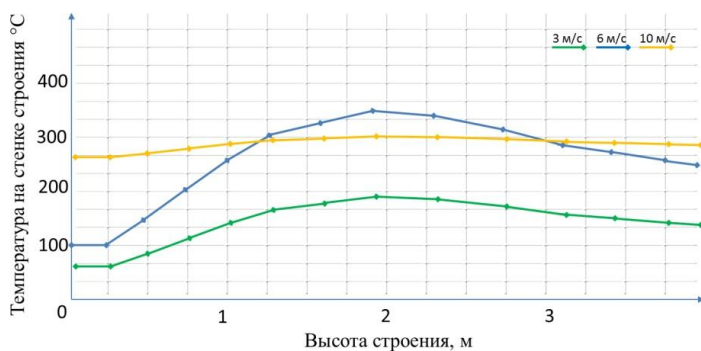
В рассматриваемой расчётной области также строениям была задана высота 3 м и длина 4 м по оси x_1 . Строения были отдалены друг от друга на различные расстояния. Рассматривались три ситуации, где строения были удалены от места возникновения пожара на 6 м, на 10 м и на 15 м. Обычно возгорание древесины происходит при 250-350°C, при его линейной скорости распространения пламени по поверхности, равной 1-10 мм/с [9].

Для определения температуры и длительности горения обугленного материала на стенке деревянной конструкции использовалась разработанная «пресс-форма измерения электрического сопротивления карбонизированных остатков органических материалов».

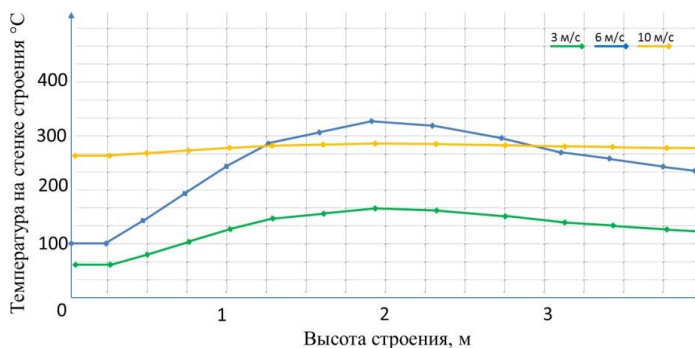
Расчеты проводились при определенных заданных скоростях ветра (3, 6 и 10 м/с), по всей высоте деревянной постройки строения (рис.2).



а)



б)



в)

Рис. 2 – Зависимость температуры от скорости ветра и высоты строения
а) расстояние от стенки до стенки строения 6 м; б) расстояние от стенки до
стенки строения 10 м; в) расстояние от стенки до стенки строения 15 м.

После того как были выявлены определенные теоретические и расчетные закономерности развития пожароопасного события, оставалось провести моделирование и применить результаты исследования на

рассматриваемой территории. Алгоритм проведения моделирования был подробно описан в ранее опубликованных материалах [10]. Итак, для проведения моделирования в работе были рассмотрены реальные ситуации с пожарами, в которых пожароопасное событие развивалось по своему стохастическому процессу:

Ситуация 1:

- характеристика участка на территории: жилой дом расположен в непосредственной близости от лесного массива. На земельном участке находится несколько хвойных деревьев. На участке имеется стойло с животным, в котором сосредоточенно наибольшая пожарная нагрузка в виде сена. Жилой дом полностью состоит из деревянных конструкций (5 степень огнестойкости). Огнезащитными составами жилой дом не обработан. Кровля крыши выполнена из щепы. Помимо этого, чердак в жилом доме захламлен горючими предметами и материалами. Нормативные противопожарные разрывы между строениями не соблюдены. В доме проживают 3 человека (1 мужчина 74 года и 2 женщины 68 лет и 95 лет);

- на всей территории сельского поселения – деревянные строения;

- развитие пожара по участку и территории населенного пункта спровоцировано сильным ветром. Добровольные пожарные дружины поселения пытаются потушить пожар, но, к сожалению, через 15 минут жилой дом полностью выгорает и огонь перекидывается на другие строения и жилые дома на территории (Рис.3). [11].



Рис. 3 – Ситуация 1

Ситуация 2:

- характеристика участка на территории: жилой дом расположен в непосредственной близости от лесного массива. На земельном участке находится несколько хвойных деревьев. На участке имеется сарай, в котором сосредоточена наибольшая пожарная нагрузка в виде сена. Жилой дом кирпично-деревянный. Огнезащитными составами жилой дом не обработан. Кровля крыши выполнена из шифера. Помимо этого, чердак в жилом доме захламлен горючими предметами и материалами. Нормативные противопожарные разрывы между строениями не соблюдены. На участке имеется баня. Баня выполнена из деревянных конструкций. Дополнительная пожарная нагрузка в бане представлена в виде дров для отопления печи. Печное отопление выполнено из кирпича. В доме проживают 2 человека (1 мужчина 72 года и 1 женщина 75 лет);

- на территории сельского поселения наряду с деревянными строениями присутствует несколько кирпичных строений. Некоторые кирпичные строения выступают в качестве «огнезаграждения» (противопожарных преград);

- развитие пожара по участку и территории населенного пункта спровоцировано сильным ветром. Через 20 минут баня полностью выгорает и огонь перекидывается на другие строения и жилые дома на территории (Рис.4) [11].



Рис. 4. – Ситуация 2

Далее, на рис. 5 показан прогноз развития пожароопасного события, когда пожар начинает развиваться в одном из домов в нулевой момент времени. На рис. 5 видны не горящие дома, окруженные горящими зданиями.



Рис.5. – Прогноз развития пожароопасного события

Для того, чтобы использовать результаты моделирования в оперативных целях (при принятии решения), нужно было разработать специальное программное обеспечение. При этом интерфейс должен был быть удобным и простым для расчетов. Для совершенствования механизмов управления пожароопасными событиями объектов социально-экономической системы было предложено разработать специальное программное обеспечение [12].

Разработанное программное обеспечение позволяет использовать несколько слоев, определяющих факторы влияния на заданной территории, например основанием («подложкой») служит план местности со своим географическими особенностями, на которую накладывается другой слой: «выбрать объект», «установить размер области», «указать направление ветра, температуру воздуха и влажность», «учесть приезд пожарных подразделений + 20 мин» (подача стволов на тушение, с учетом или без учета установки автоцистерны на водоисточник) (рис.6). С помощью кнопок пользователю предоставляется возможность управлять скоростью процесса моделирования. При нажатии на одну из этих кнопок происходит расчет

следующего состояния модели на разные итерации + 5 мин, +10 мин, + 20 мин.

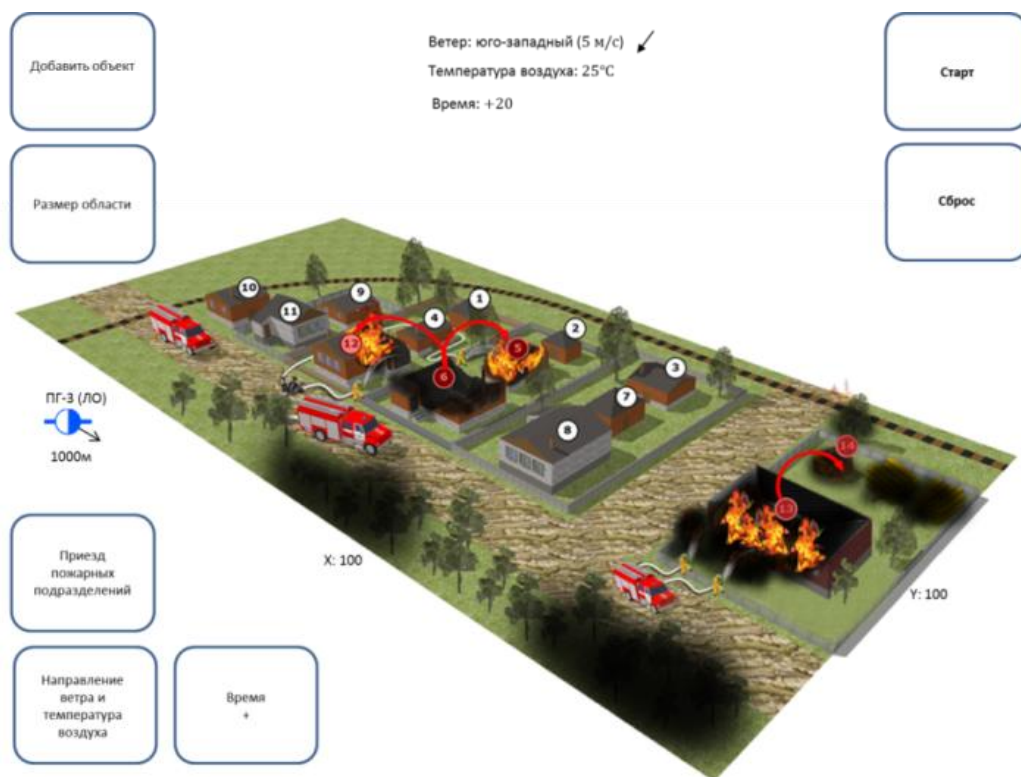


Рис.6 – Интерфейс программного обеспечения

Таким образом, исследование поможет специалисту принять своевременные решения со следующими результатами:

- определить возможность относительное время наступления полного выгорания объектов или его зон в зависимости от пожарной нагрузки и определенных условий обстановки в месте расположения жилого района;
- рассчитать вероятность прекращения пожара на определенных этапах в каждой зоне пожара;
- оценить относительную вероятность наступления пожароопасного события на рассматриваемых территориях.

Разработанные модели можно использовать в различных аспектах управления пожароопасными событиями: это поможет пожарным подразделениям сосредоточить все силы в зонах повышенного риска, а во

время пожара спланировать стратегию борьбы с пожаром, что позволит правильно провести боевое развёртывание, чтобы оставаться в безопасности.

Литература

1. Абдурагимов И. М. Проблемы тушения лесных (и торфяных) пожаров (чисто тепловая история тушения пожаров ТГМ на открытых пространствах и внутри зданий и сооружений): сб. статей. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 220-228 с.

2. Порошин А.А. Методика оценки потерь от пожаров в сельских населенных пунктах в зависимости от дислокации пожарной части // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. 2017. № 4 (74). С. 210-216.

3. Перминов В.А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров: дис. док. физ.-мат. наук: 01.02.05: утв. 27.08.10. 2010. 283 с.

4. Умаров А.Г., Меретуков З.А., Умаров Р.Г. К вопросу внедрения современных материалов и технологий в строительстве // Инженерный Вестник Дона. 2021. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6833.

5. Кузьмина Т.К., Большакова П.В., Зуева Д.Д. Выявление усредненных временных параметров прохождения процедур на этапе предпроектной и проектной подготовки объекта к строительству // Инженерный Вестник Дона. 2021. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6934.

6. Abramov I.L., Lapidus A.A. Systemic integrated method for assessing factors affecting construction timelines // MATEC Web of Conferences. 2018. p. 33.

7. Abramov I.L., Lapidus A.A. Implementing large-scale construction projects through application of the systematic and integrated method // Construction - The Formation of Living Environment conference proceedings. 2018. p. 64.

8. Патанкар С.В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течениях в каналах. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 312 с.

9. Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Лимонов Б.С и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах. М., Химия, 1990. 496 с.

10. Абдулалиев Ф.А., Иванов А.В. Описание развития пожара в сельских населенных пунктах на основе перколяционного процесса с использованием нейронных сетей // Электронный научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России», 2012. №1. С. 31-41.

11. Перевалова А.В. Пожар в деревне Захаровка 08.06.13. URL: youtu.be/wnQCwvDnt3s

12. Дали, Ф.А., Шидловский Г.Л., Вострых А.В., Терехин С.Н., Легенький Д.Ю. Решение задачи управления пожароопасными событиями в социально-экономической системе силами и средствами МЧС России // Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2020664473 от 13.11.2020 / М. ФИПС, 2021.

References

1. Abduragimov I.M. Problemy tusheniya lesnykh (i torfyanykh) pozharov (chisto teplovaya istoriya tusheniya pozharov TGM na otkrytykh prostranstvakh i vnutri zdaniy i sooruzheniy) [Problems of extinguishing forest (and peat) fires (purely thermal history of extinguishing TGM fires in open spaces and inside buildings and structures)]. М.: MSTU, 2012. pp. 220-228.

2. Poroshin A.A. Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti: internet-zhurnal. 2017. № 4 (74). pp. 210-216.

3. Perminov V.A. Matematicheskoye modelirovaniye vzniknoveniya verkhovykh i massovykh lesnykh pozharov [Mathematical modeling of the occurrence of crown and massive forest fires] M: 2010. 283 p.

4. Umarov A.G, Meretukov Z.A., Umarov R.G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6833.

5. Kuz'mina T.K, Bol'shakova P.V., Zuyeva D.D. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6934.

6. Abramov I.L., Lapidus A.A. Systemic integrated method for assessing factors affecting construction timelines. MATEC Web of Conferences. 2018. p. 33.

7. Abramov I.L., Lapidus A.A. Implementing large-scale construction projects through application of the systematic and integrated method. Construction The Formation of Living Environment conference proceedings. 2018. p. 64.

8. Patankar S.V. Chislennoye resheniye zadach teploprovodnosti i konvektivnogo teploobmena pri techeniyakh v kanalakh [Numerical solution of problems of heat conduction and convective heat transfer for flows in channels]. Moskva: MPEI Publishing House, 2003. 312 p.

9. Baratov AN, Korolchenko A.Ya., Limonov BS and others. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishing]. M., Chemistry, 1990.496 p.

10. Abdulaliev F.A., Ivanov A.V. Elektronnyj nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii», 2012.№1 pp. 31-41.

11. Perevalova A.V. Pozhar v derevne Zaharovka [Fire in the village of Zakharovka]. 08.06.13. URL: youtu.be/wnQCwvDnt3s

12. Dali, F.A., Shidlovsky G.L., Vostrykh A.V., Terekhin S.N., Legenky D.Yu. Resheniye zadachi upravleniya pozharoopasnymi sobytiyami v sotsial'no-ekonomicheskoy sisteme silami i sredstvami MCHS Rossii [Solving the problem



of managing fire hazardous events in the socio-economic system by the forces and means of the EMERCOM of Russia]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy na EVM No. 2020664473 dated 11/13/2020. М .: FIPS, 2021.