

# ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИМЕРЫ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Таранчук В. Б., Баровик Д. В.

Кафедра компьютерных технологий и систем, Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: taranchuk@bsu.by, barovikd@gmail.com

*Выполненные вычислительные эксперименты, предложенные и использованные методы обработки и визуализации результатов позволили выявить, и в докладе будут предметом обсуждения, особенности распространения лесных пожаров при наличии неоднородностей в плотности лесного горючего материала, в частности, когда на площади имитируется наличие полян различных форм и размеров.*

## ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары в ряде регионов происходят с регулярной периодичностью, и при этом часто не подтверждается успешность в их предотвращении и тушении. Согласно данным Института мировых природных ресурсов [1] рост активности лесных пожаров стал особенно заметен в последние годы. Рекордные лесные пожары становятся нормой: 2020, 2021 и 2023 годы станут четвертым, третьим и наихудшим годом для глобальных лесных пожаров соответственно. Так, в 2023 году сгорело почти 12 миллионов гектаров – площадь сравнимая с размером Никарагуа, превысив предыдущий мировой рекорд примерно на 24%. На экстремальные лесные пожары только в Канаде в прошлом году пришлось более четверти (27%) от всех причин потерь древесного покрова в мире.

Актуальны новые технические решения, более эффективные методы организации и управления. Наиболее сложным при этом является этап ликвидации чрезвычайных ситуаций, когда для принятия оптимальных управленческих решений определяющим является наличие достоверных прогнозов распространения фронта горения. В правильных экспертных решениях обязательны учет конкретной обстановки, состава и состояния растительности, рельефа территории, истории и текущих погодных условий, совокупности других факторов. Понятно, что анализировать громадный объем информации в очень сжатые сроки затруднительно без использования информационных технологий, а проигрывать сценарии с оценками разных вариантов действий без моделей развития процессов вовсе невозможно. Выход – использовать созданные, проверенные компьютерные модели.

Разработки математических моделей лесных пожаров начались с середины прошлого века и активно продолжают в настоящее время, текущее состояние, основные публикации, обзоры упомянуты в [2–5]. В обзорах публикаций наряду с определенными достижениями, отмечаются ряд нерешенных вопросов, в частности: недостаточная обоснованность принимаемых в моделях

уравнений и входящих в них коэффициентов для описаний кинетики физико-химических превращений и реакций; сложность выбора адекватных моделей турбулентности в газовой фазе; незначительное число аналитических решений подобных задач, которые обязательны при оценках точности получаемых приближенных решений; отсутствие масштабных натуральных экспериментов, которые можно принять за эталон для верификации моделей. Наблюдается пробел между слишком упрощенными моделями, дающими прогнозы с неприемлемой для достоверных оценок погрешностью, и моделями с большим количеством параметров, расчеты по которым очень продолжительны [6–9].

В большинстве приведенных в литературе компьютерных моделей процесс распространения лесных пожаров описан, анализируется в однородных средах, хотя в реальности однородное распределение лесных горючих материалов (ЛГМ) встречается крайне редко. При этом известно, что многие наблюдаемые эффекты протекания лесных пожаров вызваны именно неоднородностью. Например, ускоренное распространение огня вдоль просек.

В докладе будут приведены результаты вычислительных экспериментов, которые позволили выявить особенности распространения лесных пожаров при наличии неоднородностей в плотности ЛГМ, в частности, когда на площади имитируется наличие полян различных форм и размеров. Отдельно и специально рассмотрены результаты обнаруженных эффектов в распределении цифровых полей температуры, концентраций кислорода и горючих газов, вызванных именно неоднородностями размещения на площади горючей растительности, в том числе с учетом влияния направления и силы ветра [7–9].

## I. О ПРИНЯТОМ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ.

Ввиду ограниченности объема тезисов, но для общего понимания сложности принятого математического описания (двумерное приближение с осреднением по высоте полога леса) и соответ-

ствующей реализованной компьютерной модели эволюции зоны горения ЛГМ на площади, ниже не приводятся уравнения краевой задачи, но отметим, какие параметры, их распределения по площади и эволюция (динамика по времени) определяются: температура лесного массива (сплошной многофазной реагирующей среды); объемные доли компонент ЛГМ (сухого органического вещества, содержащейся в древесине и растительности воды, коксика, золы, негорючей минеральной части); массовые концентрации компонентов газовой фазы (кислород, горючие газы, водяной пар, углекислый газ, инертные компоненты воздушной смеси и продуктов реакций пиролиза и горения). В решаемой начально-краевой задаче перечисленные величины являются определяемыми функциями модели, они зависят от времени и координат, связаны нелинейными дифференциальными уравнениями сохранения, химических реакций; в коэффициентах уравнений учитываются зависимости от температуры, концентраций, координат ([5 – 10]).

## II. О ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АСПЕКТАХ РЕАЛИЗОВАННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ.

Система дифференциальных уравнений модели решается численно. Применяются явные разностные схемы с равномерной сеткой по пространству и переменным временным шагом по времени. Текущие значения временного шага в расчетах уточняются из условий устойчивости численной схемы с учетом динамики фронта и скоростей протекания физико-химических процессов ([6, 7]). Вычислительные эксперименты реализованы в многофункциональном интерактивном программном комплексе, разработанном на языке Wolfram Language в системе компьютерной алгебры Mathematica. Соответствующие методические и технические решения поясняются отдельно. Необходимости адаптации хода вычислений (включая пространственную сетку, временной шаг) обусловлена длительностью расчетов каждого конкретного варианта, а “вмешательство” анализирующего промежуточные результаты специалиста, его выполняемые специально разработанными средствами уточнения числа расчетных узлов позволяют сократить ненужные пересчеты на отдельных участках.

Важными моментами организации вычислений являются: включенные в комплекс специальные средства протоколирования результатов; инструменты “ручной” коррекции параметров расчетной сетки; возможности пересчета для любого временного интервала на другой пространственной сетке; используемый дополнительный инструментарий, обеспечивающий интеллектуальный анализ и когнитивную интерактивную графическую визуализацию получаемых решений ([8 – 11]).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выступления предполагается демонстрация результатов расчетов развития лесного пожара при наличии в лесном массиве полян и водных преград различных форм, размеров и расположения, а также с учетом различной скорости и направления ветра (в том числе интерпретация результатов с применением инструментов интеллектуального анализа данных системы Wolfram Mathematica).

## III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MacCarthy, J. [et al]. The Latest Data Confirms: Forest Fires Are Getting Worse / J. MacCarthy, J. Richter, S. Tyukavina [et al] // [Electronic resource]. World Resource Institute. Published: 27.06.2024. <https://www.wri.org/insights/global-trends-forest-fires>
2. Pastor, E. [et al] Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behaviour / E. Pastor [et al] // Progress in Energy and Combustion Science. – 2003. – Vol. 29. – P. 139–153.
3. Sullivan, A. L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 2: empirical and quasi-empirical models / A. L. Sullivan // International Journal of Wildland Fire. – 2009. – N 18 (4). – P. 369–386. DOI: 10.1071/WF06142 – arXiv:0706.4128
4. Sullivan, A. L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 3: simulation and mathematical analogue models / A. L. Sullivan // International Journal of Wildland Fire. – 2009. – N 18 (4). – P. 387–403. DOI: 10.1071/WF06144 – arXiv:0706.4130
5. Баровик, Д. В. Состояние проблемы и результаты компьютерного прогнозирования распространения лесных пожаров / Д. В. Баровик, В. Б. Таранчук // Вестник БГУ. Серия 1, Физика, Математика, Информатика. – 2011. – № 3. – С. 78–84.
6. Barovik, D. V. Mathematical modelling of running crown forest fires / D. V. Barovik, V. B. Taranchuk // Mathematical Modelling and Analysis. – 2010. – Vol. 15, № 2. – P. 161–174.
7. Баровик, Д. В. К обоснованию математических моделей низовых лесных пожаров / Д. В. Баровик, В. И. Корзюк, В. Б. Таранчук // Тр. Ин-та матем. – 2013. – 21:1. – С. 3–14.
8. Баровик, Д. В. Компьютерная модель, примеры анализа влияния ландшафтно-метеорологических факторов на динамику низовых лесных пожаров / Д. В. Баровик, В. Б. Таранчук // Экономика. Информатика. – 2020. – № 3. – Т. 47. – С. 610–622. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-610-622
9. Barovik, D. Tools for the analysis and visualisation of distributions and vector fields in surface forest fires modelling / D. V. Barovik, V. B. Taranchuk // Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics. – 2. – 2022. – P. 82–93. (in Engl.)
10. Barovik, D. Surface Forest Fires Modelling: Temperature and Oxygen Dynamics near Fuelbreaks / D. Barovik, V. Taranchuk // Baltic J. Modern Computing. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – P. 226–240. DOI: 10.22364/bjmc.2023.11.2.01
11. Taranchuk, V. B. Examples of Integration of Intelligent Computing Modules and the System GeoBazaDannych / V. B. Taranchuk // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2024); ed.: V. V. Golenkov [et al.]. – Minsk, 2024. – Iss. 8. – С. 189–194.