

## REFERENCES

1. Anderson J.D., Wendt J. Computational fluid dynamics. – New York: McGraw-hill. – 2009. – V. 206. – P. 332.
2. Cruz P.A.D., Yamat E.J.E., Nuqui J.P.E., Soriano A.N. Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis of the heat transfer and fluid flow of copper (II) oxide -water nanofluid in a shell and tube heat exchanger // Digital Chemical Engineering. – 2022.
3. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.H., Friedman J.H. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction // New York: springer. – 2009. – V. 2. – P. 1–758.
4. Hughes T.J. Multiscale phenomena: Green's functions, the Dirichlet-to-Neumann formulation, subgrid scale models, bubbles and the origins of stabilized methods // Computer methods in applied mechanics and engineering. – 2009. – Vol. 127(1–4). – P. 387–401.
5. Deb K. Multi-objective optimisation using evolutionary algorithms: an introduction. In Multi-objective evolutionary optimisation for product design and manufacturing. – London: Springer London, 2011. – P. 3–34.
6. Trojovský P., Dehghani M. Pelican optimization algorithm: A novel nature-inspired algorithm for engineering applications // Sensors – 2022. – P. 855.

## ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТЫ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А.О. Малинин

*Томский политехнический университет,  
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, гр. АЗ-13*

Научный руководитель: Н.В. Барановский, к.ф.-м.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

Лесные пожары представляют собой природное явление, которое приводит к экономическим и социальным потерям во всем мире [1, 2]. Площадь лесного пожара в 3–5 % случаев достигает 100 гектаров [3]. В то же время только на 1 % крупнейших пожаров приходится 80–96 % выгоревшей площади [4]. Распространение зон АВП обеспечивает большой контакт между дикой растительностью и антропогенной активностью, что может привести к увеличению зон возможных источников возгорания и, как следствие, к усилению разрушительного воздействия [5, 6].

Существует множество моделей распространения лесных пожаров, от простых геометрических моделей [7] до более сложных [8]. В случаях, когда детерминированные модели представляют большие расчетные сетки либо имеют сложные итерационные расчеты время работы алгоритма может быть большим, что может ограничивать область применения.

Скорость работы алгоритмов расчета детерминированных моделей может быть увеличена за счет параллельных вычислений. Так, в работе [9] использование параллельных вычислений сократило время вычислений и объем требуемой памяти, что позволило добавить учет прогнозируемого индекса погоды.

Для численного решения дифференциального уравнения теплопроводности был использован метод конечных разностей, описанный в [10, 11]:

$$\rho_i c_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \lambda_i \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + q \cdot e^{(-k_i p_i x)} \quad (1)$$

$$\rho_i c_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \lambda_i \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} \quad (2)$$

где  $\rho, c, \lambda, T$  – плотность, теплоемкость, коэффициент теплопроводности и температура;  $k$  – коэффициент для закона, аналогичного закону Буге–Ламберта–Бира;  $t$  – время;  $x, z$  – координаты точки.

Конфигурация узла кластера:

- 2 процессора Intel Xeon Gold 6140, 2,3 ГГц, 18 ядер/36 потоков, 10,4 Гбит/с, 24,75 МБ кэш-памяти, Turbo, HT (140 Вт), DDR4 2666 МГц.
- 8 модулей памяти RDIMM по 32 ГБ, 2666 МТ/с.
- SATA 200 ГБ.

Параллельная программа написана на Python 3.x. В качестве интерпретатора использовалась Anaconda версии 4.6.2. Затем эффективность рассчитывается для каждого из расчетных блоков отдельно.

Производительность параллельных вычислений рассчитывается по формулам представленным в [12]:

$$E = \frac{T_0}{MT_M}, \quad (3)$$

где –  $T_0$  – время расчета в синхронном режиме.  $T_M$  – время расчета в каждом процессе  $M$  – количество процессов.

Данное соотношение позволяет рассчитать коэффициент эффективности без учета потерь.

В случае, когда при работе алгоритма присутствуют потери производительности на создание и закрытие процессов, а также потери на обмен данными. В таком случае время работы процесса будет описываться параметром  $T'_M$ . Эффективность рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{T_0}{MT'_M} = \frac{T_0}{M(T_M^0 + \alpha T_M^0)}, \quad (4)$$

где  $\alpha = \frac{T'_M}{T_M^0}$

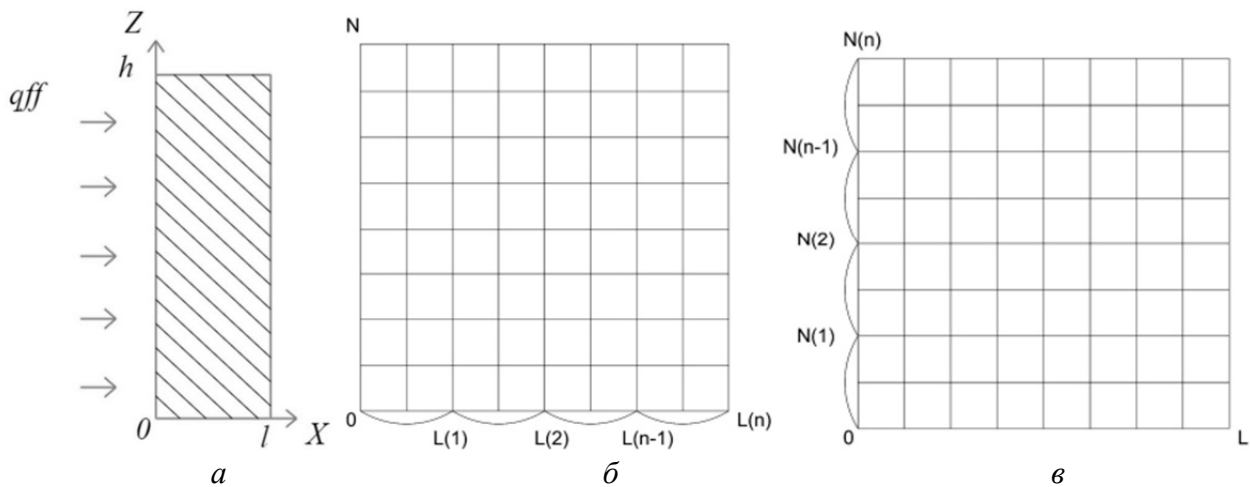


Рис. 1. Схема области решения и распределения областей решения по оси  $N(\delta)$ ,  $L(\epsilon)$

Ускорение можно рассчитать по формуле:

$$S_M = M/(1 + \alpha_M). \quad (5)$$

На рис. 2, 3 показано, как эффективность параллельной программы зависит от количества процессов, участвующих в вычислении для первого и второго вычислительного блока соответственно.

Зависимость ускорения от программы в первом и втором блоке показана на рис. 4, 5 соответственно.

Скорость работы оказалась противоречивой. С одной стороны, наблюдается рост производительности, но при увеличении числа процессов свыше 16 наблюдается замедление вычислений.

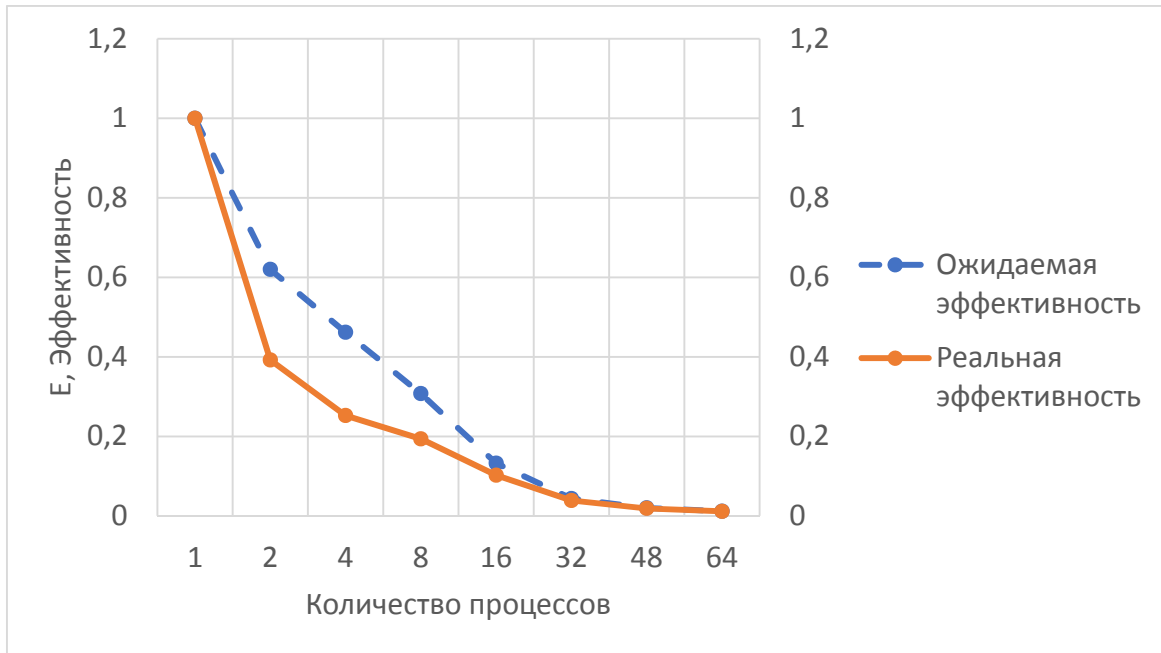


Рис. 2. Эффективность параллельной реализации первого расчетного блока

Таким образом, разработанный алгоритм имеет большое практическое значение. За счет распределения нагрузки на разные процессоры снижается скорость вычисления модели. Это позволяет применять более сложные математические модели и повышать точность расчетной сетки. Это также открывает простор для экспериментов по одновременному расчету задач с различными начальными условиями и условиями протекания процессов теплопередачи. Дальнейшая разработка позволит применять эти алгоритмы при расчете пожарной опасности целого населенного пункта при различных условиях воздействия фронта лесного пожара на конструкцию зданий.

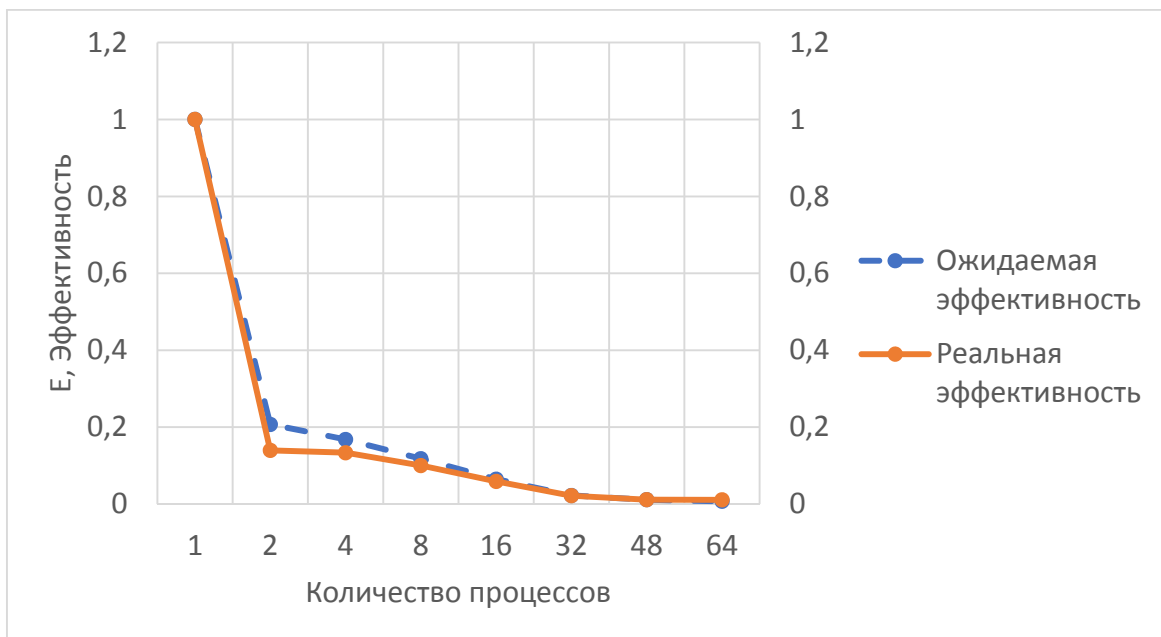


Рис. 3. Эффективность параллельной реализации второго расчетного блока

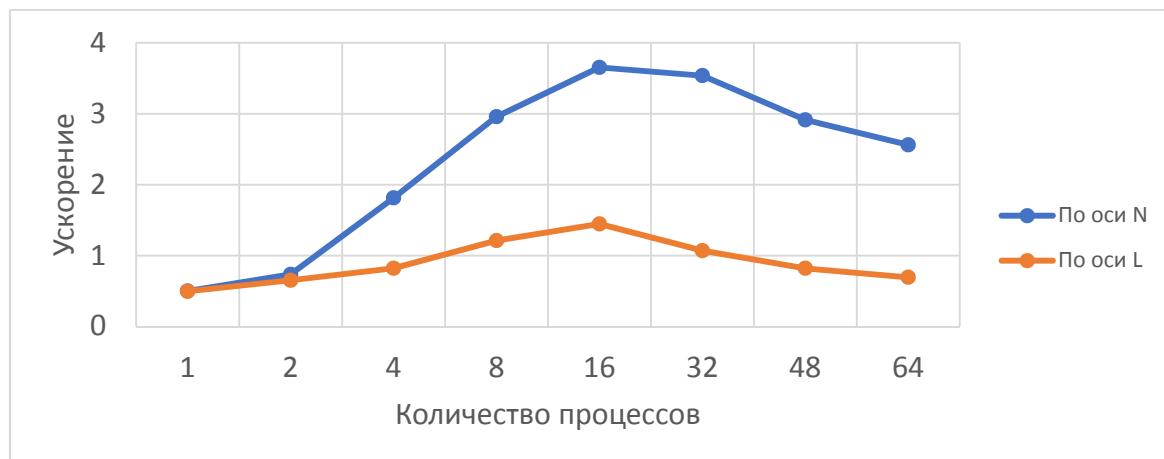


Рис. 4. Ускорение работы первого и второго расчетного блока

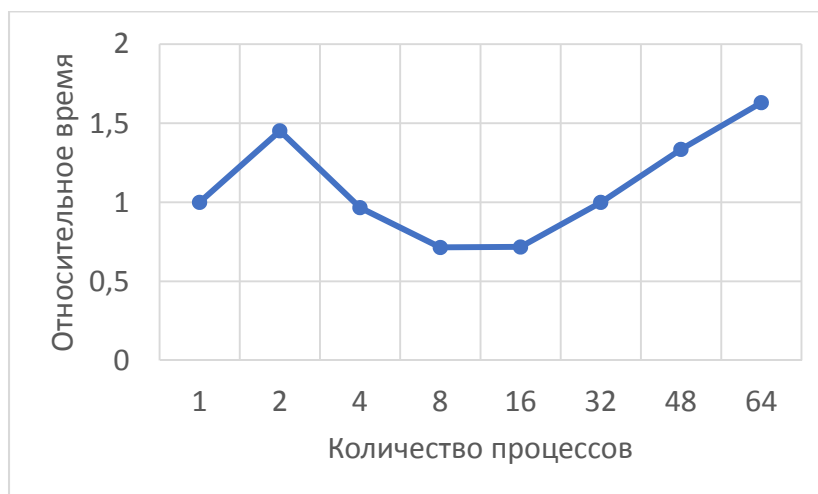


Рис. 5. График изменения времени работы алгоритма от количества запущенных процессов

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. McNamee M. et al. IAFSS agenda 2030 for a fire safe world // Fire Saf. J. – 2019. – Vol. 110. – P. 102889.
2. Liu D., Xu Z., Wang Z., Zhou Y., Fan C. Estimation of effective coverage rate of fire station services based on real-time travel times // Fire Saf. J. – 2021. – Vol. 120. – P. 103021.
3. Calkin D.E., Gebert K.M., Jones J.G., Neilson R.P. Forest service large fire area burned and suppression expenditure trends, 1970–2002 // J. For. – 2005. – Vol. 103. – P. 179–183.
4. Short K.C. A spatial database of wildfires in the United States, 1992–2011 // Earth Syst. Sci. Data. – 2014. – Vol. 6. – P. 1–27.
5. Monedero S., Ramírez J., Molina-Terrén D., Cardil A. Simulating wildfires backwards in time from the final fire perimeter in point-functional fire models // Environ. Model. Softw. – 2017. – Vol. 92. – P. 163–168.
6. Zárate L., Arnaldos J., Casal J. Establishing safety distances for wildland fires // Fire Saf. J. – 2008. – Vol. 43. – P. 565–575.
7. Plourde F., Doan-Kim S., Dumas J., Malet J. A new model of wildland fire simulation // Fire Saf. J. – 1997. – Vol. 29. – P. 283–299.
8. Novozhilov V., Moghtaderi B., Fletcher D., Kent J. Computational fluid dynamics modelling of wood combustion // Fire Saf. J. – 1996. – Vol. 27. – P. 69–84.
9. Singh, K.R. et al. Parallel SVM model for forest fire prediction/ Soft Comput. Lett. 2021. – Vol. 3. – P. 100014.
10. Samarskii A.A., Vabishchevich P.N. Computational Heat Transfer; Volume 1: Mathematical Modelling. – Wiley: Chichester, UK, 1995. – P. 418.
11. Samarskii A.A., Vabishchevich P.N. Computational Heat Transfer; Volume 2: The Finite Difference Method. – Wiley: Chichester, UK, 1995. – P. 432.
12. Baranovskiy N.V. Forest fire danger assessment using SPDM-model of computation for massive parallel system.