

Автоматизация обработки результатов численного моделирования развития пожара

И.Н. Пожаркова^{1,2}

¹*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железнодорожск*

²*Сибирский федеральный университет, Красноярск*

Аннотация: Статья посвящена методике повышения эффективности обработки результатов численного моделирования развития пожара за счет автоматизации выполнения соответствующих операций. Описана функциональная модель разработанной технологии и ее основные этапы. Проведена апробация предлагаемой методики на примере решения задачи формирования в высоком пространственном и временном разрешении массивов исходных данных для последующего исследования прогрева ограждающих конструкций тоннельного сооружения при пожаре. На основе сравнительного анализа показано, что скорость автоматизированной обработки результатов расчета на несколько порядков выше относительно методов, использующих функциональные возможности существующих программных решений, предназначенных для просмотра выходных данных моделирования развития пожара.

Ключевые слова: моделирование пожара, автоматизация, обработка данных, тоннельные сооружения, математическая модель, FDS.

Введение

На основе численного моделирования развития пожара решается множество различных задач, таких как оценка пожарного риска [1] и эффективности средств противопожарной защиты [2], исследование прогрева строительных конструкций до критических с точки зрения снижения их механической прочности температур [3] и т.д. При этом используются соответствующие математические модели, наиболее распространенной из которых является полевая, реализованная на базе вычислительного ядра FDS [4]. Основные достоинства данного программного средства заключаются в его свободном распространении и наличии обширной валидационной выборки, экспериментально подтверждающей его адекватность на различных сценариях пожара.

Результаты моделирования на основе FDS представляют собой большой объем данных, описывающих динамику различных параметров в пространстве исследуемого объекта. Для их просмотра и обработки

существуют готовые программные решения, реализующие соответствующий графический интерфейс [5, 6]. При этом функциональные возможности большинства из них ограничены анализом характеристик, которые необходимы для оценки пожарного риска [7]: поля опасных факторов пожара в заданных областях пространства, графики зависимости их величин от времени в отдельных точках и т.д. Однако для решения некоторых задач может потребоваться более сложная обработка результатов моделирования, например, построение с высоким пространственным и временным разрешением распределения температуры вдоль криволинейной поверхности при исследовании прогрева строительных конструкций [3] или синтезе соответствующего алгоритма охлаждения для пожарного робота [2]. Ручное преобразование данных, учитывая структуру выходных файлов, может потребовать значительного количества времени. Поэтому в рамках исследования, которому посвящена статья, была предложена соответствующая методика автоматизации обработки результатов численного моделирования развития пожара.

Методы

На рис. 1 представлена функциональная модель предлагаемой технологии.

Загрузка результатов моделирования (рис. 1, блок 1) с учетом форматов файлов заключается в считывании выходных данных (расчетных сеток, ограждающих конструкций, сечений трехмерного пространства, граничных величин и т.д.) в различные моменты времени. По завершении выполнения указанного этапа формируются сводные массивы, описывающие изменения значений исследуемых параметров в различных точках в течение всего расчетного периода.



Рис. 1. – Функциональная модель методики автоматизации обработки результатов численного моделирования развития пожара

Основная сложность при решении соответствующей задачи заключается в разрозненной структуре исходных данных: хранение результатов моделирования на основе FDS реализовано на основе большого количества отдельных неформатированных файлов [8]. А потому создание сводных массивов требует значительной обработки сохраненной информации, особенно при исследовании объектов со сложной геометрией, большом количестве расчетных сеток с разными размерами ячеек и т.д.

Выделение целевых характеристик и областей пространства модели (рис. 1, блоки 2, 3) заключается в формировании срезов массивов, построенных на предыдущем этапе. При необходимости на основе соответствующих методик производится расчет сложных параметров, описывающих исследуемые процессы. По результатам выполнения этапов 2, 3 (рис. 1) генерируются исходные для последующего преобразования множества данных. Обработка полученных массивов (рис. 1, блок 4) заключается в построении графиков, полей, таблиц, а также формировании

выходных файлов в формате, обеспечивающим возможность дальнейшего анализа в специализированном программном обеспечении.

Результаты

В рамках данной статьи разработанная методика была апробирована при решении задачи генерации по результатам моделирования исходных данных для исследования прогрева во время пожара ограждающих конструкций тоннельного сооружения [3] на основе уравнений теплопроводности [9]. На рис. 2 представлен фрагмент соответствующей трехмерной модели: область, ограниченная по оси Y диапазоном значений $[-3 \text{ м}, 3 \text{ м}]$.

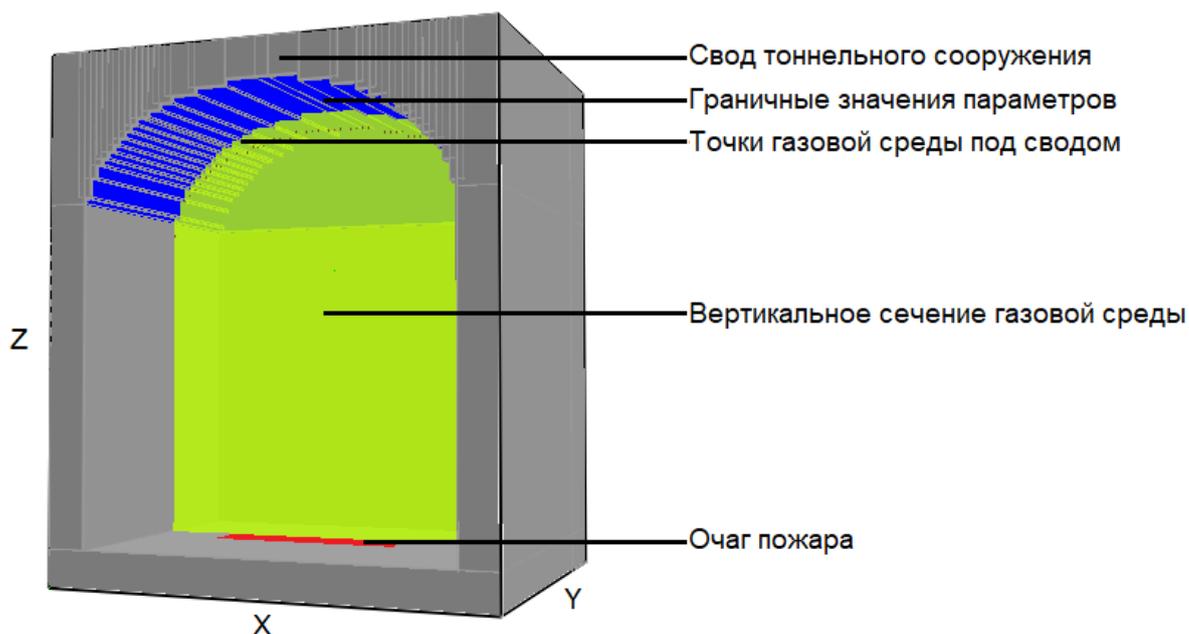


Рис. 2. – Фрагмент расчетной модели тоннельного сооружения

Стоит отметить, что существенной с точки зрения решаемой задачи особенностью данного объекта является криволинейная форма свода, что значительно усложняет обработку выходных файлов. А потому для записи значений целевых параметров (температура и плотность теплового потока в газовой среде и на поверхностях ограждающих конструкций) целесообразно использовать вертикальные сечения и граничные величины (рис. 2), которые

хранятся в выходных sf- и bf-файлах, структура которых описана в технической документации FDS [10]. На рис. 3 представлены обработанные с применением предлагаемой методики результаты моделирования развития пожара: на рис. 3а изображены графики зависимостей температуры газовой среды T в точках под сводом тоннельного сооружения от координаты X , а на рис. 3б, в – температурные поля в вертикальном сечении исследуемого сооружения в плоскости, проходящей через очаг пожара, в различные моменты времени t .

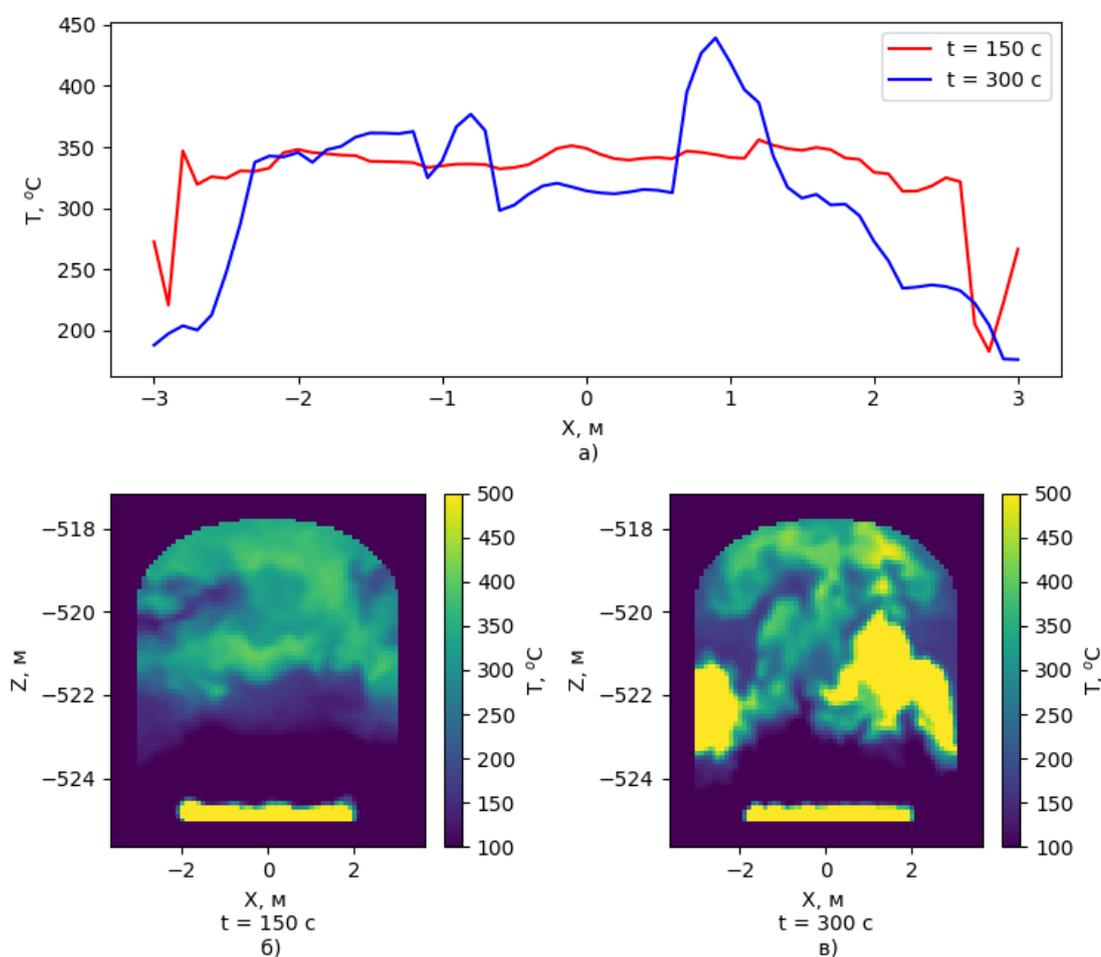


Рис. 3. – Результаты обработки выходных данных моделирования развития пожара

Пространственное разрешение полученных результатов определяется размером ячеек расчетной сетки. В данном случае – 0.1 м, что соответствует 60 значениям температуры T вдоль свода исследуемого объекта по оси X в

каждый момент времени t (более 1000 шагов). Определение данных величин в сопоставимом объеме вручную, в т.ч. и с использованием программ, реализующих графический интерфейс для просмотра результатов моделирования, имеет очень высокую трудоемкость. В рамках исследования, которому посвящена статья, был проведен соответствующий сравнительный анализ выполнения одних и тех же операций с применением разработанной методики и без нее (табл. 1).

Таблица № 1

Сравнительный анализ времени выполнения операций обработки результатов моделирования развития пожара

Наименование операции	Среднее время выполнения, с	
	Вручную на основе программных интерфейсов просмотра результатов моделирования	На основе разработанной методики
Формирование массива значений параметра газовой среды	342 (один временной шаг)	8 (весь период моделирования)
Формирование массива значений параметра на поверхности свода	294 (один временной шаг)	22 (весь период моделирования)

Средняя продолжительность выполнения операций формирования массивов значений ручным способом в табл. 1 указана для одного параметра (температуры или плотности теплового потока) и одного момента времени. Аналогичная величина при использовании разработанной методики приведена для обеих целевых характеристик на всем периоде моделирования (более 1000 шагов). Как видно, скорость автоматизированного решения задач в представленном примере значительно выше (на несколько порядков для всех исследуемых параметров и моментов времени) по сравнению с использованием ручного метода на основе программ просмотра выходных данных.

Заключение

Предлагаемая методика предназначена для повышения эффективности обработки результатов численного моделирования развития пожара на базе программного ядра FDS за счет автоматизации выполнения соответствующих операций. На ее основе можно получать данные, требуемые для решения различных исследовательских задач, с высокой точностью и в высоком пространственном и временном разрешении.

Литература

1. Недрышкин О.В., Гравит М.В. Программные комплексы моделирования опасных факторов пожара // Пожарная безопасность. 2018. №. 2. С. 38-46.
 2. Pozharkova I. Abdul-Zahra D.S., Ngo-Hoang D.L., Shavkatov N., Mohammed K.A., Salem K.H. Evaluating the effectiveness of fire robots for the protection of transport infrastructure facilities // Transportation research procedia. 2023. Vol. 68. pp. 499-504.
 3. Пожаркова И.Н. Технология оценки прогрева горной породы при пожаре в подземной исследовательской лаборатории // International journal of open information technologies. 2024. Т. 12. № 9. С. 71-83.
 4. Verda V., Borchiellini R., Cosentino S., Guelpa E., Tuni J.M. Expanding the FDS simulation capabilities to fire tunnel scenarios through a novel multi-scale model // Fire technology. 2021. Vol. 57. №. 5. pp. 2491-2514.
 5. Zhao X., Ni M., Wang W., Wang H., Wang J. Study on the fire characteristics of dual fire sources and the difference in power temperature of different fire sources in tunnel // Fire. 2024. Vol. 7. №. 8. pp. 273.
 6. Zhang Z., Kong H. Study on fire simulation in college dormitories based on pyrosim // International journal of advanced smart convergence. 2024. Vol. 13. №. 3. pp. 321-327.
-

7. Алимканов Ж.Ж. Требования к оценке пожарного риска для зданий образовательных организаций // Вестник науки. 2024. Т. 2. №. 12(81). С. 1649-1655.

8. Manea F., Ghicioi E., Suvar M.C., Prodan M., Vlasin N.I., Suvar N.S., Vlase T. FDS results for selecting the right scenario in the case of a building fire: A case study // Fire. 2022. Vol. 5. №. 6. pp. 198.

9. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator User's Guide // NIST special publication URL: www.nist.gov/publications/fire-dynamics-simulator-users-guide-sixth-edition

10. Maragkos G., Beji T. Review of convective heat transfer modelling in cfd simulations of fire-driven flows // Applied sciences. 2021. Vol. 11. №. 11. pp. 5240.

References

1. Nedryshkin O.V., Gravit M.V. Pozharnaya bezopasnost'. 2018. №. 2. pp. 38-46.

2. Pozharkova I. Abdul-Zahra D.S., Ngo-Hoang D.L., Shavkatov N., Mohammed K.A., Salem K.H. Transportation research procedia. 2023. Vol. 68. pp. 499-504.

3. Pozharkova I.N. International journal of open information technologies. 2024. Vol. 12. № 9. pp. 71-83.

4. Verda V., Borchiellini R., Cosentino S., Guelpa E., Tuni J.M. Fire technology. 2021. Vol. 57. №. 5. pp. 2491-2514.

5. Zhao X., Ni M., Wang W., Wang H., Wang J. Fire. 2024. Vol. 7. №. 8. pp. 273.

6. Zhang Z., Kong H. International journal of advanced smart convergence. 2024. Vol. 13. №. 3. pp. 321-327.

7. Alimkanov Zh.Zh. Vestnik nauki. 2024. Vol. 2. №. 12(81). pp. 1649-1655.



8. Manea F., Ghicioi E., Suvar M.C., Prodan M., Vlasin N.I., Suvar N.S., Vlase T. Fire. 2022. Vol. 5. №. 6. pp. 198.

9. McGrattan K. Fire Dynamics Simulator User's Guide. NIST special publication URL: www.nist.gov/publications/fire-dynamics-simulator-users-guide-sixth-edition

10. Maragkos G., Beji T. Applied sciences. 2021. Vol. 11. №. 11. pp. 5240.

Дата поступления: 26.12.2025

Дата публикации: 1.02.2025