



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский
Томский государственный университет
НИИ прикладной математики и механики ТГУ



**IX Всероссийская молодежная научная конференция
«Актуальные проблемы современной механики
сплошных сред и небесной механики – 2019»**
г. Томск, 18–20 ноября 2019 г.

**IX All-Russian Youth Scientific Conference
«Current issues of
continuum mechanics and celestial mechanics – 2019»**
November, 18–20, 2019

Томск-2020

УДК 539.3.004
ББК 22.25; 22.251.22.62
М43

Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы М43 современной механики сплошных сред и небесной механики» 18–20 ноября 2019 г.: Материалы конференции / под ред. М.Ю. Орлова. – Томск: Изд-во «Красное знамя». 2020. – 340 с.

ISBN 978-5-6045081-1-4

Представлены пленарные и секционные доклады молодых ученых, изложенные на конференции «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики», прошедшей в г. Томске 18–20 ноября 2019 г.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

УДК 539.3.004
ББК 22.25; 22.251.22.62

ISBN 978-5-6045081-1-4

© Томский государственный университет, 2020
© Издательство «Красное знамя», 2020

Литература

1. *Xun G., Peng H., Wu S., Wu Z.* Active Shape Adjustment of Large Cable-Mesh Reflectors Using Novel Fast Model Predictive Control // *J. Aerosp. Eng.* 2018. Vol. 31(4), no. 04018038. DOI: 10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000858.
2. *Nakamura K., Nakamura N.* Concept Design of 15m class Light Weight Deployable Antenna Reflector for L-band SAR Application // 3rd AIAA Spacecraft Structures Conference, AIAA SciTech Forum(AIAA 2016-0701, San Diego, USA). DOI: 10.2514/6.2016-0701.
3. *Zheng F., Chen M.* New Conceptual Structure Design for Affordable Space Large Deployable Antenna // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation.* 2015. Vol. 63, №. 4. Pp. 1351–1358. DOI: 10.1109/TAP.2015.2404345.
4. *Azin A., Rikkonen S., Ponomarev S., Maritsky N., Kuznetsov S.* Designing a precision motor for the spacecraft reflector control system // *AIP Conference Proceedings.* 2019. Vol. 2103. No. 020001. Doi: 10.1063/1.5099865.

References

1. *Xun G., Peng H., Wu S., Wu Z.* Active Shape Adjustment of Large Cable-Mesh Reflectors Using Novel Fast Model Predictive Control / *J. Aerosp. Eng.* 2018. Vol. 31(4), no. 04018038. DOI: 10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000858.
2. *Nakamura K., Nakamura N.* Concept Design of 15m class Light Weight Deployable Antenna Reflector for L-band SAR Application. 3rd AIAA Spacecraft Structures Conference, AIAA SciTech Forum. San Diego, 2016. DOI: 10.2514/6.2016-0701.
3. *Zheng F., Chen M.* New Conceptual Structure Design for Affordable Space Large Deployable Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation.* 2015, Vol. 63. No. 4. Pp. 1351–1358. DOI: 10.1109/TAP.2015.2404345.
4. *Azin A., Rikkonen S., Ponomarev S., Maritsky N., Kuznetsov S.* Designing a precision motor for the spacecraft reflector control system. *AIP Conference Proceedings.* 2019. Vol. 2103. No. 020001. Doi: 10.1063/1.5099865.

ОБТЕКАНИЕ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

Е.М. Алексеенко, В.Д. Гольдин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
osh@mail.tsu.ru

Ключевые слова: природные пожары, очаг пожара, тепломассовыделение, турбулентность, излучение.

Аннотация. В условиях пожара вблизи здания могут возникнуть ситуации, угрожающие жизни и здоровью людей, находящихся возле здания. В данной статье рассматривается двумерная задача плоского обтекания модели здания при различных вариантах расположения очага пожара на поверхности земли вблизи здания и на его крыше. Расчет проводился с помощью пакета ANSYS FLUENT с использованием реалистичной $k-\epsilon$ модели турбулентности и математической модели «несжимаемого идеального газа». При расчете учитывался теплообмен излучением между твердыми по-

верхностями. Определены поля скоростей и температур при различных расположениях очага пожара. Определены максимальные скорости восходящего течения и максимальные значения температуры стенки здания, на которую приходит излучение от очага.

FLOW AROUND A BUILDING MODEL IN A FIRE

E. Alekseenko, V. Goldin

Tomsk State University, Russian Federation
osh@mail.tsu.ru

Keywords: wildland fires, surface fires, fire source, heat and mass input, realizable k- ϵ turbulence model, radiation.

Abstract. In the event of a fire near a building, there may be situations that threaten the life and health of people who are near the building. This article deals with the two-dimensional problem of flat flow around a building model with different variants of the location of the fire source on the ground surface near the building and on its roof. The calculation was performed by the ANSYS FLUENT package using a mathematical model of an "incompressible ideal gas" including a realistic k- ϵ turbulence model. The calculation took into account the radiative heat transfer between solid surfaces. The fields of velocities and temperatures at different locations of the fire source were calculated. The maximum velocities of the ascending flow and the maximum values of the temperature of the building wall, which receives radiation from the fire source, were determined.

Актуальность проблемы природных пожаров несомненна [1, 2]. Наиболее важной проблемой для людей является возникновение пожаров в непосредственной близости от населенных пунктов, так как пожар может быстро перейти на здания [2]. Очень важно уметь прогнозировать поведение таких пожаров, чтобы принять правильное решение при выборе мер по предотвращению возгораний близлежащих строений и для спасения населения. Для этого необходимо знать значения температуры на поверхности и вблизи зданий, находящихся возле фронта пожара, а также поведение основных газодинамических параметров газового потока вокруг построек при наличии фронта пожара в непосредственной близости с ними.

В данной статье рассматривается двумерная стационарная задача обтекания модели здания бесконечным свободным дозвуковым потоком воздуха в декартовой системе координат в условиях пожара. Расчет проводился в пакете ANSYS FLUENT. Течение рассчитывалось с использованием математической модели «несжимаемого идеального газа» [3], применимой для неизотермических течений с малыми дозвуковыми скоростями; характеристики турбулентности определялись на основе реалистичной «k- ϵ » модели турбулентности. Учитывался перенос излучения между твердыми поверхностями, а также влияние ветра на картину обтекания. Прогрев стен здания не учитывался.

Расчетная область ограничена входной свободной левой поверхностью, нижней подстилающей поверхностью (поверхностью Земли), поверхностью модели здания, верхней плоскостью и замыкающей правой выходной плоскостью. Размер расчетной области по горизонтали составляет 93.4 м и 50 м – по вертикали. Здание расположено на расстоянии 43.3 м от входной плоскости. Высота здания составляет 10 м, ширина – 6.6 м. Длина здания предполагается намного больше его ширины.

Пожар моделировался путем задания температуры поверхности в области источника тепломассовыделения, равной температуре горения $T_r = 1200$ К, а также путем задания массового расхода вдуваемого газа от пожара $(\rho v_n)_w = 2.3 \times 10^{-3}$ кг/(м²·с) [1].

В качестве граничных условий на левой входной границе в расчетной области задавались значения скорости и температуры. При этом в отсутствии ветра скорость равна нулю, а при наличии ветра распределение скорости задавалось по логарифмическому закону в зависимости от высоты над поверхностью земли [4]. При этом скорость ветра на высоте 10 м бралась равной 2 м/с. В обоих случаях температура воздуха задавалась равной 300 К.

На верхней и правой границах предполагалось, что давление совпадает с гидростатическим на тех участках этих границ, где наблюдалось течение внутрь области, задавалось значение температуры 300 К.

Рассмотрены три случая расположения пожара: пожар, протяженностью 10 м, расположен на поверхности земли перед моделью здания на расстоянии 5 м от стенки здания; пожар, протяженностью 10 м, расположен на поверхности земли позади модели здания на расстоянии 3.4 м от стенки здания; пожар, протяженностью 6.6 м, расположен на крыше модели здания.

Получены следующие картины обтекания здания: 1) в случае пожара перед моделью здания без учета ветра; 2) в случае пожара перед зданием с учетом ветра; 3) в случае пожара за моделью здания с учетом ветра; 4) в случае пожара на крыше модели здания с учетом ветра.

Результаты расчетов говорят о существенном влиянии ветра на картину обтекания. Определены значения максимальной скорости подъема нагретого газа v_{max} . Эти величины приведены в таблице. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными [5].

При пожаре с подветренной стороны воздух между пожаром и стенкой здания и сама стенка здания разогреваются сильнее, чем при пожаре с наветренной стороны. Это объясняется наличием вихря в расчетной области позади модели здания, который переносит прогретые массы воздуха от пожара к стенке модели здания, создавая возвратное течение.

Максимальные значения температуры стенки здания T_{max} , на которую приходит излучение от очага равны: 1) 825 К; 2) 685 К; 3) 725 К (см. табл.). Откуда следует, что наиболее опасным вариантом является первый случай.

Таблица. Результаты расчетов

Варианты расчетов, №	v_{\max} , м/с	T_{\max} , К
1	13–16	825
2	5.0	685
3	4.28	725
4	3.71	430

Между очагом пожара и стенкой здания во всех первых трех случаях достигаются температуры, угрожающие здоровью и жизни человека, так как ожог первой степени у человека возникает уже при температуре 318 К [1].

Первые три варианта расположения пожара представляют угрозу и для деревянных жилых построек, поскольку при быстром нагреве древесины до температуры выше 603 К может произойти воспламенение и при отсутствии открытого источника тепла (пламени и искр).

В четвертом случае расположения пожара на крыше модели здания на начальном этапе развития пожара в окрестностях здания воздух практически не перегревается. Только на высоте 2 м над кровлей здания максимальная температура воздуха T_{\max} достигает 430 К. Поэтому в начальный момент существования пожара этот пожар мало угрожает близлежащим постройкам и населению, находящимся на уровне земли.

Пожар, расположенный на поверхности земли возле здания, во всех трех рассмотренных случаях опасен как для здоровья людей, находящихся между зданием и очагом пожара, так и для самого здания, поскольку деревянное здание может легко воспламениться. Пожар, расположенный на крыше здания, не опасен для людей, которые находятся на уровне земли, а также не опасен для близлежащих построек в начальный момент существования пожара.

Литература

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981. 277 с.
2. Гришин А.М., Фильков А.И. и др. // Пожарная безопасность. 2013. №3. С. 52–58.
3. Лапин Ю.В., Стрелец М.Х. Внутренние течения газовых смесей. М.: Наука, 1989.
4. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1984.
5. Filkov A., Prohanov S. et al. // Proceedings of the Combustion Institute 36 (2017) 3263–3270. DOI: 10.1016/j.proci.2016.06.125.

References

1. Grishin A.M. Mathematical models of forest fires. Tomsk. Izdatel'stvo Tomsk. Universiteta. 1981. 277 p. (Rus.).
2. Grishin A.M., Filkov F.I. et al. Pozarnaya bezopasnost. 2013. No 3. Pp. 52–58. (Rus.)

3. *Lapin Yu.V., Strelets M.* Internal flows of gas mixtures. Moscow. *Nauka*. 1989. (Rus.)
4. *Matveev L.T.* Course of General meteorology. Atmospheric physics. Leningrad. Hydrometeoizdat. 1984. (Rus.)
5. *Filkov A., Prohanov S. et al.* // Proceedings of the Combustion Institute 36 (2017) 3263–3270. DOI: 10.1016/j.proci.2016.06.125.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГРАВИТАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОЙ ПОРИСТОЙ ПОЛОСТИ С МЕДНЫМ РАДИАТОРОМ И ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

М.С. Астанина, М.А. Шеремет

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
astanina.marina@bk.ru

Ключевые слова: охлаждение электроники, естественная конвекция, пористая среда, нагреватель.

Аннотация. В работе проведено математическое моделирование пассивной системы охлаждения тепловыделяющего теплопроводного источника энергии. Система представляет собой замкнутую пористую полость с радиатором в нижней части. Нагреватель находится в центре нижней стенки области. Горизонтальные стенки полости теплоизолированы. Математическая модель формулируется в безразмерных переменных «функция тока – завихренность – температура» и разрешается на основе метода конечных разностей. Полость заполнена ньютоновской теплопроводной жидкостью, вязкость которой зависит от температуры. Особое внимание было уделено анализу влияния геометрических характеристик радиатора на эффективность работы системы охлаждения. В результате были получены распределения линий тока и изотерм, а также значения средней температуры в нагревателе.

MATHEMATICAL SIMULATION OF THERMOGRAVITATIONAL CONVECTION IN A POROUS CAVITY WITH A COPPER RADIATOR AND A HEAT-GENERATING ELEMENT

M. Astanina, M. Sheremet

National Research Tomsk State University, Russian Federation
astanina.marina@bk.ru

Keywords: cooling of electronic devices, natural convection, porous layer, heater.

Abstract. Mathematical modeling of a passive cooling system for a heat-generating and heat-conducting element is performed. The system consists of a porous cavity with a radiator in the lower part. The heater is located in the center of the bottom wall of the chamber. The horizontal walls are adiabatic. The mathematical model is formulated in dimensionless variables «stream function – vorticity – temperature» and it is solved on the basis of the finite dif-