

Роговой Андрей Сергеевич, д.т.н., доцент, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, asrogovoy@ukr.net
Гапон Александр Анатольевич, студент, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА УЧАСТКА ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ХАРЬКОВА

В последние десятилетия значительно возрос интерес к оптимизации городских условий для комфортного проживания жителей больших городов. Способствует этому две основных причины: значительный рост количества жителей в городах и соответствующий рост потребности комфортного проживания, а также рост вычислительных возможностей для моделирования микроклимата города [1], что позволяет приблизить условия проживания к надлежащему уровню. Начиная с 90-х годов прошлого века начала формироваться отдельная дисциплина, называемая городской (урбанистическая) физика [2]. К сфере интересов данной дисциплины обычно относят: изменение климата в больших и малых городах; энергетика и концентрация крупных промышленных предприятий; загрязнение воздуха в мегаполисах; безопасность; транспорт; здоровье людей, проживающих в городах. Все выделенные проблемы, изучаемые в урбанистической физике, являются взаимосвязанными. Например, оптимизация транспорта и маршрутов внутри города влияет на выбросы загрязняющих вредных веществ в атмосферу и соответственно на здоровье людей.

Одной из основных проблем, притягивающих внимание исследователей, является изменение в городском микроклимате, которое обычно называют «эффектом городского теплового города». Этот эффект начали рассматривать и фиксировать начиная с 80-х годов [3]. На сегодняшний день проведена масса исследований и этот эффект задокументирован в очень многих городах, например: Токио (Япония) [4], Сингапур (Сингапур) [5], Пекин (Китай) [6], Куала-Лумпур (Малайзия) [7], Куритиба (Бразилия) [8], Афины (Греция) [9], Аахен (Германия) [10], Рим (Италия) [11], Финикс (США) [12], и многих других по всему земному шару. Необходимо заметить, что нет ни одного известного авторам исследования для постсоветских стран.

Согласно [4-12] основными способами борьбы с проявлением теплового городского эффекта является: увеличение зеленых насаждений (50%), использование светлых цветов для покрытия крыш (29 %), использование светлых, «холодных» цветов для покрытия поверхностей дорог (21%). Естественно, что, на сегодняшний день, наилучший способ оценки проектных решений в области микроклимата города, является предварительное моделирование предлагаемых изменений в структуре насаждений и цвета покрытий крыш и фасадов, с помощью математического моделирования, что чаще всего осуществляется на основе моделирования CFD [1, 13, 14]. Для того, чтобы получить адекватные результаты необходимо при моделировании

комбинировать несколько моделей: модель течения воздуха при обтекании зданий и сооружений города, модель теплообмена с учетом солнечного излучения по времени и области нахождения Солнца, и соответственно, теней от зданий. Во многих случаях моделируют еще и выброс вредных веществ в атмосферу, что может менять тепловой баланс в городе, в связи с возникновением эффекта «теплицы». Эти задачи являются довольно сложными, и зачастую требуют нестационарного расчета на сетках с достаточно большим количеством элементов, что, в свою очередь требует значительных ресурсов компьютерной техники.

Учитывая все рекомендации по построению расчетной области в данной работе была создана сеточная модель исследуемого участка в г. Харьков (рис. 1).

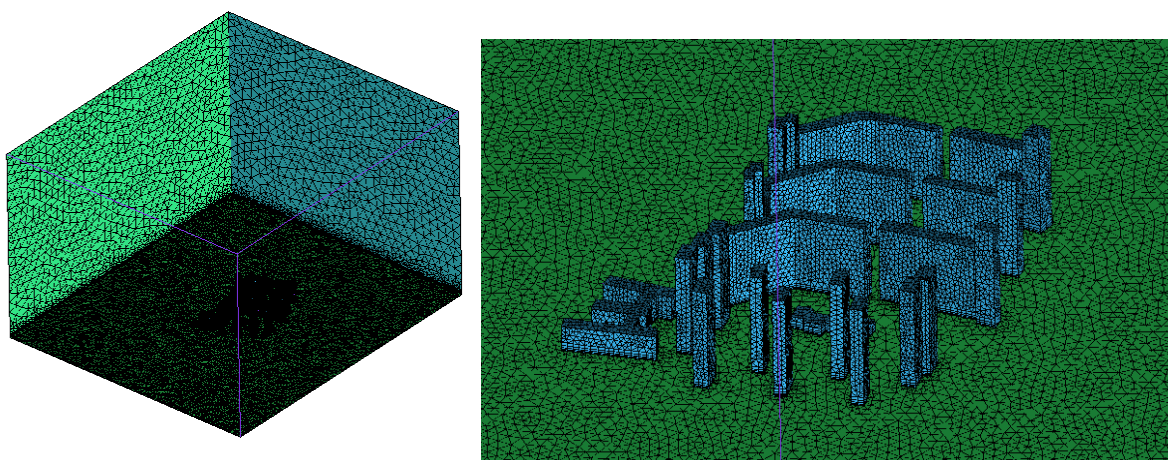


Рисунок 1 – Сеточная модель исследуемого участка городской застройки

Численная реализация представленной математической модели произведена в пакете прикладных программ OpenFoam. Течение жидкости (в данном случае воздух) рассматривалось как течение сжимаемой жидкости в нестационарной постановке. Использовался стандартный солвер пакета на основе метода контрольных объемов. Вычисления продолжались до обеспечения двух условий: достижение установленных значений невязок и значения расходов переставали меняться, или переставали меняться амплитуды и частоты колебаний расхода. Решение находилось в несколько этапов с последовательным переходом к более мелким сеткам. На первом этапе использовалась сетка с 500000 элементов.

На рис. 2 приведены результаты расчета температуры поверхности Земли исследуемой области в 18.00 (Солнце светит на рисунке снизу, интенсивность солнечного излучения 300 Вт/м^2). Здесь можно наблюдать повышение температуры поверхности в области попадания солнечных лучей, и, наоборот, уменьшение температуры в области тени.

На рис. 3 показано влияние солнечного излучения на нагрев зданий. Все графики приведены с одной шкалой изменения температуры. На рис. 31

приведено распределение векторов скорости воздуха в рассматриваемой области на высоте 1,8 м.

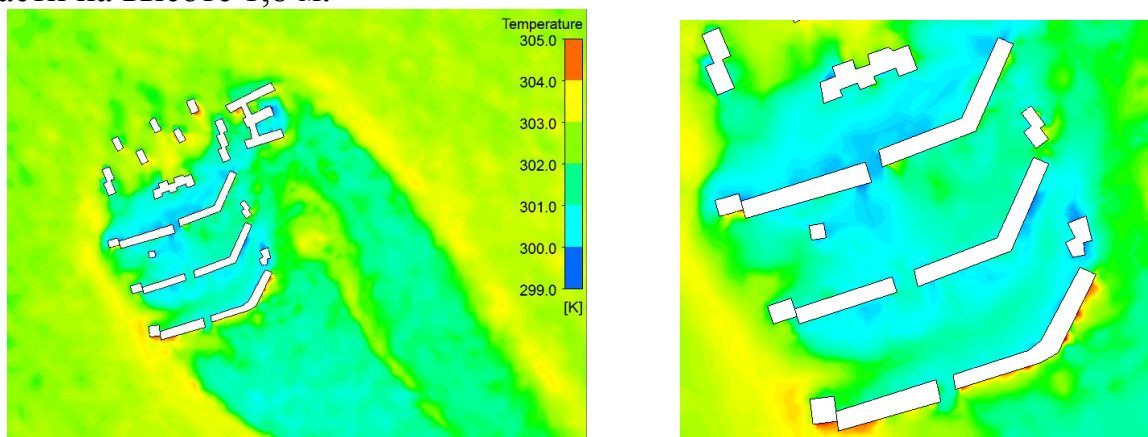


Рисунок 2 – Распределение температуры в вечернее время

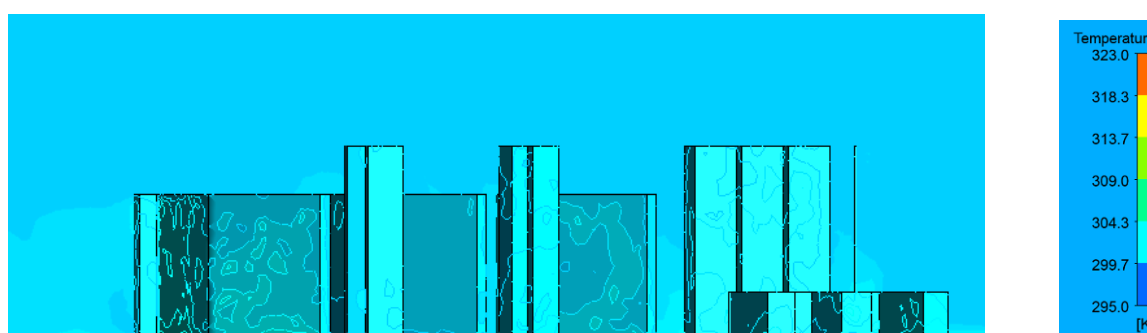


Рисунок 3 – Нагрев зданий с учетом солнечного излучения в 18.00

В работе на основе математического моделирования путем решения RANS уравнений, уравнений теплопереноса с учетом солнечной радиации, исследовано проявления эффекта «теплового городского острова» на примере участка городской застройки города Харькова. Получены картины изменения температуры воздуха в различное время в течение суток. Получено подтверждения наличия эффекта в Харькове, величина повышения температуры, по сравнению с сельской местностью, составляет примерно 2..4 °С возле многоэтажных зданий.

Произведено сравнение распределения температуры в рассматриваемом участке с учетом и без учета солнечной радиации. Получено, что учет солнечной радиации значительно влияет на перераспределение температуры в рамках городской застройки, что позволило рассчитать температуру радиационного нагрева крыш, стен зданий и дорожного покрытия. Так, температура дорожного покрытия превышает температуру, рассчитанную без учета солнечной радиации, на величину более 25 °С.

Литература

1. A.Rogovyi. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations

of the swirled flows in vortex apparatuses /A.Rogovyi// Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – 2016. – Vol. 16, No 3. – P. 57-62.

2. Blocken B. Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations / B. Blocken //Building and Environment. – 2015. – V. 91. – P. 219-245.

3. Landsberg H. E. The urban climate. – Academic press, 1981.

4. Ashie Y. Numerical simulation of urban heat island in a ten-kilometer square area of central Tokyo / Ashie, Y., Tokairin, T., Kono, T., & Takahashi, K. //Annual report of the earth simulator center April. – 2006. – C. 45-48.

5. Priyadarsini R. Microclimatic modeling of the urban thermal environment of Singapore to mitigate urban heat island / Priyadarsini R., Hien W. N., David C. K. W. //Solar energy. – 2008. – V. 82. – №. 8. – P. 727-745.

6. Liu Y. S. Study on micro-atmospheric environment by coupling large eddy simulation with mesoscale model / Liu, Y. S., Miao, S. G., Zhang, C. L., Cui, G. X., & Zhang, Z. S. //Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2012. – V. 107. – P. 106-117.

7. Shahidan M. F. An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials / Shahidan, M. F., Jones, P. J., Gwilliam, J., & Salleh, E. //Building and Environment. – 2012. – V. 58. – P. 245-257.

8. Krüger E. L. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil / Krüger E. L., Minella F. O., Rasia F. //Building and Environment. – 2011. – V. 46. – №. 3. – P. 621-634.

9. Gaitani N. Improving the microclimate in urban areas: a case study in the centre of Athens / Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Synnefa, A., Vassilakopoulou, K., Papadopoulou, K., Lagoudaki, A. //Building Services Engineering Research and Technology. – 2011. – V. 32. – №. 1. – P. 53-71.

10. Maras I. Investigating public places and impacts of heat stress in the city of Aachen, Germany /Maras, I., Buttstädt, M., Hahmann, J., Hofmeister, H., Schneider, //DIE ERDE–Journal of the Geographical Society of Berlin. – 2014. – V. 144. – №. 3-4. – P. 290-303.

11. Carnielo E. Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand / Carnielo E., Zinzi M. //Building and Environment. – 2013. – V. 60. – P. 56-65.

12. Hedquist B. C. Seasonal variability of temperatures and outdoor human comfort in Phoenix, Arizona, USA / Hedquist B. C., Brazel A. J. //Building and Environment. – 2014. – V 72. – P. 377-388.

13. A.S. Rogovyi. Comparative Analysis Of Performance Characteristics Of Jet Vortex Type Superchargers / A.S. Rogovyi, Ye. Voronova //Автомобильный транспорт. – 2016.– Вып. 38. С. 93–98.

14. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger / A.Rogovyi. // Energy – № 163. – 2018. – pp. 52-60.