

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ЗАДАЧАХ АЭРОДИНАМИКИ И ЭКОЛОГИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Н.Н. Федорова<sup>1</sup>, С.А. Вальгер<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,  
Институтская, 4/1, Новосибирск, 630090, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, Россия*

Многочисленные полевые исследования доказывают, что зеленые насаждения являются перспективным градостроительным решением, позволяющим улучшить микроклимат и качество воздуха в городе, и тем самым повысить устойчивость городов в условиях быстро растущего населения. Зеленая инфраструктура (деревья, изгороди, барьеры, стены и крыши) активно используются архитекторами и городскими планировщиками с целью защиты пешеходных зон от штормовых ветров [1], повышения температурной комфортности [2], снижения шумовых загрязнений [3]. Хорошо известно, что зеленые зоны способствуют адсорбции и удалению из атмосферы вредных газообразных примесей и пылевых частиц [4], сглаживают неблагоприятные последствия городского острова тепла и тем самым помогают снизить потребление энергии [6].

В то же время необходимо учитывать и отрицательные эффекты зеленых насаждений, которые затрудняют вентиляцию городских каньонов, сами при цветении выделяют пыльцу, пух и биогенные летучие органические соединения, которые в присутствии окислов азота приводят к образованию озона и мелких частиц [7]. Следует принимать во внимание, что при определенных аэродинамических и теплофизических условиях имеет место десорбция пыли и других загрязнителей, что приводит к увеличению их концентрации в атмосфере [8]. Обзор исследований показал, что зоны вегетации могут быть использованы для улучшения пешеходного комфорта. Однако локальное негативное влияние деревьев на аэродинамику может быть сильнее, чем положительные эффекты адсорбции примесей, поскольку снижение вентиляции приводит к повышению концентраций примесей. Таким образом, зоны вегетации не являются универсальным средством для повышения качества воздуха [9].

Планирование городской среды должно учитывать влияние зон вегетации на распространение примесей от различных источников, прежде всего, от автотранспорта. Наряду с нормативными методиками и экспериментальными исследованиями для определения ветровых нагрузок и пешеходной комфортности, предсказания тепловых режимов, распространение вредных примесей от различных источников широко применяются методы математического моделирования, основанные на интегральных, полуэмпирических и микроклиматических моделях. Для того, чтобы эффективно использовать этот достаточно затратный подход при планировании городской среды, необходима тщательная верификация используемых в расчете моделей.

В микроклиматических моделях, основанных на решении уравнений Навье-Стокса для воздушной среды, зеленые зоны могут быть учтены неявно, через граничное условие шероховатой поверхности, или явно, с помощью их представления в виде пористых объемов. Результаты [10] показали, что только явный подход позволяет получить адекватные результаты при описании аэродинамических эффектов. Влияние зон вегетации на импульс, параметры турбулентности, массо- и теплообмен описывается путем включения в уравнения движения источниковых членов, которые предложены в работах [11-15].

В настоящей работе представлено описание и проведено сравнение микроклиматических моделей, используемых для учета эффектов проницаемых экранов и зеленых насаждений, которые применяются для защиты автодорог от ветра, снижения амплитуды ветра в окрестности высотных зданий, а также для снижения концентрации вредных эмиссий от автомагистралей в городских микрорайонах. Приведены результаты расчетов, которые сопоставлены с данными натуральных и трубных экспериментов [8, 15-18]. Выполнен обзор современных работ, в которых разработанные модели зеленых насаждений использованы для расчета аэродинамической и экологической ситуации в условиях реального города [19-20].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-08-00755 А.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Maruyama T.** Large eddy simulation of turbulent flow around a windbreak // *J Wind Eng Ind Aerodyn* 2008. Vol. 96. P. 1998–2006.
2. **Salmond J.A. et al** Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment // *Environ. Health*. 2016. Vol. 1, No. 1. P. 36.
3. **Kalansuriya C.M., Pannila, A.S., Sonnadara, D.U.** Effect of roadside vegetation on the reduction of traffic noise levels // *Proceedings of the Technical Sessions Institute of Physics, Sri Lanka*. 2009. Vol. 25. P. 1–6. [http://www.academia.edu/2273952/Effect\\_of\\_roadside\\_vegetation\\_on\\_reduction\\_of\\_traffic\\_noise\\_levels](http://www.academia.edu/2273952/Effect_of_roadside_vegetation_on_reduction_of_traffic_noise_levels)
4. **Janhäll S.** Review on urban vegetation and particle air pollution—deposition and Dispersion // *Atmos. Environ*. 2015. Vol.105. P. 130–137.
5. **Gill S.E., Handley J.F., Ennos A.R., Pauleit S.** Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure // *Built Environ*. 2007. Vol. 33, No. 1. P. 115–133.
6. **Livesley S.J., McPherson E.G., Calfapietra C.** The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale // *J. Environ. Qual*. 2016. Vol. 45. P. 119–124.
7. **Calfapietra C., Fares S., Manes F., Morani A., Sgrigna G., Loreto F.** Role of biogenic volatile organic compounds (BVOC) emitted by urban trees on ozone concentration in cities: a review // *Environ. Pollut*. 2013. Vol. 183. P. 71–80.
8. **Abhijith K.V. et al** Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments—a review // *Atmos. Environ*. 2017. Vol. 162 P. 71–86.
9. **P.E.J. Vos, B. Maiheu, J. Vankerkom, S. Janssen.** Improving local air quality in cities: to tree or not to tree? // *Environ. Pollut*. 2013. Vol. 183. P. 113-122.
10. **Salim M.H., Schlünzen K.H., Grawe D.** Including trees in the numerical simulations of the wind flow in urban areas: should we care? // *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*. 2015. Vol. 144. P. 84–95.
11. **Green S.** Modelling Turbulent Air Flow in a Stand of Widely Spaced Trees // *J. Comp. Fluid Dyn. Appl*. 1992. Vol. 5. P. 294–312.
12. **Hiraoka H.** Modelling of turbulent flows within plant/urban canopies // *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*. 1993. Vol. 46-47. P. 173-182.
13. **Liu J., Chen J. M., Black T. A., Novak M. D.** E-ε modelling of turbulent air flow downwind of a model forest edge // *Boundary-Layer Meteorol*. 1996. Vol. 77. P. 21. <https://doi.org/10.1007/BF00121857>
14. **Svensson U.** A two-equation turbulence model for canopy flows // *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*. 1990. Vol. 35. P. 201-211.
15. **Mochida A., Tabata Y., Iwata T., Yoshino H.** Examining tree canopy models for CFD prediction of wind environment at pedestrian level // *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*. 2008. Vol. 96. P. 1667-1677.
16. **Gromke C., Buccolieri R., Di Sabatino S., Ruck B.** Dispersion study in a street canyon with tree planting by means of wind tunnel and numerical investigations – evaluation of CFD data with experimental data // *Atmos. Environ*. 2008. Vol. 42. P. 8640-8650.
17. **Gromke C.** A vegetation modeling concept for building and environmental aerodynamics wind tunnel tests and its application in pollutant dispersion studies // *Environ. Pollut*. 2011. Vol. 159. P. 2094-2099.
18. **Tominaga Y. et al** AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2008. Vol. 96. P. 1749–1761.
19. **Buccolieri R., Salim S.M., Leo L.S., Di Sabatino S., Chan A., Ielpo P., de Gennaro G., Gromke C.** Analysis of local scale tree–atmosphere interaction on pollutant concentration in idealized street canyons and application to a real urban junction // *Atmos. Environ*. 2011. Vol. 45. P. 1702-1713.
20. **Santiago J.-L., Rivas E., Sanchez B., Buccolieri R., Martin F.** The Impact of Planting Trees on NOx Concentrations: The Case of the Plaza de la Cruz Neighborhood in Pamplona (Spain) // *Atmosphere*. 2017. Vol. 8. P. 131.