

Чистякова А. В.

## МНОВОВАРИАНТНОЕ ЦИФРОВОЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКО- ПОСЕЛЕНИЯ В ЧЕЛЯБИНСКЕ

Рассмотрены особенности моделирования аэрационного режима территории, как актуального аспекта градостроительной экологии на этапе проектирования. Перечислены возможные результаты, которые могут быть получены в ходе аэрационного исследования территории, а также количественные показатели воздействия ветрового потока для благоприятного и неблагоприятного микроклимата.

В рамках реализации проекта Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета) по разработке эко-поселения в городе Челябинске, выявлена необходимость многовариантного цифрового аэродинамического моделирования планируемой территории с целью использования полученных результатов для расчета систем вентиляции и выбора ветровых электрогенерирующих установок проектируемых жилых зданий.

С участием автора проведено исследование и интерпретация данных спутниковых снимков высокого разрешения. Разработана трехмерная модель рельефа местности проектирования с элементами лесных массивов, а также моделей реально существующих и проектируемых зданий и сооружений. Выполнено многовариантное моделирование воздействия ветрового потока на полученной цифровой модели эко-поселения. Отмечены особенности благоприятного ветрового режима, обусловленного расположением лесных массивов вокруг территории проектирования. Предложены рекомендации для оптимизации ветрового режима по выявленным неблагоприятным направлениям воздействия ветрового потока. Получены значения скорости ветра на различных высотных отметках, необходимые для выбора оптимальной ветровой электрогенерирующей установки. Приведены показатели перепада давления на различных высотных отметках, необходимые для расчета системы вентиляции зданий проектируемого жилого комплекса.

Дальнейшая исследовательская работа по данному направлению предполагает разработку оптимальных вариантов планировочной структуры и объемно-пространственных решений жилых зданий комплекса эко-поселения с учетом полученных результатов многовариантного цифрового аэродинамического моделирования.

**Ключевые слова:** градостроительная экология, архитектурное проектирование, микроклимат городской среды, аэрационный режим, трехмерное моделирование, вычислительная гидродинамика.

Chistyakova A. V.

## MULTIVARIANT DIGITAL AERODYNAMIC SIMULATION OF ECO-VILLAGE IN CHELIYABINSK CITY

*The article discusses the features of modeling the aeration regime of the territory as an actual aspect of urban planning ecology at the design stage. The possible results that can*

be obtained during the aeration study of the territory, as well as quantitative indicators of the impact of the wind flow for a favorable and unfavorable microclimate, are listed.

In the framework of the project of the South Ural State University (national research university) on the development of eco-settlement in Chelyabinsk city, need for multivariate digital aerodynamic modeling of the planned territory was identified in order to use the results to calculate ventilation systems and select wind power generating stations of designed residential buildings.

Research and interpretation of high-resolution satellite imagery data has been carried out. A three-dimensional model of the relief of the design area with elements of forests, as well as models of actually existing and designed buildings and structures, has been developed. Multivariate modeling of the effect of the wind flow on the obtained digital model of eco-settlement has been performed. The features of a favorable wind regime due to the location of forests around the design area are noted. Recommendations are offered for optimizing the wind regime in the identified adverse directions of the wind flow. The values of wind speed at various elevations are obtained, which are necessary for choosing the optimal wind power generating installation. The values of the pressure drop at various elevations are obtained, which are necessary for calculating the ventilation system of the buildings of the designed residential complex.

Further research in this area involves the development of optimal options for the planning structure and volume spatial solutions of residential buildings of the eco-settlement complex, taking into account the results of multivariate digital aerodynamic simulation.

**Keywords:** urban planning ecology, architectural design, microclimate of the urban environment, aeration mode, three-dimensional modeling, computational fluid dynamics.

Главной задачей, которая решается в рамках градостроительной экологии в процессе планирования территории, является улучшение архитектурными и градостроительными средствами микроклимата городской среды. Аэрационный режим территории, как один из микроклиматических факторов, позволяет ранжировать зоны по степени благоприятности, определить влияние ветра на конструкцию или теплотехнику зданий. Для исследования аэрационного режима применяется метод вычислительной гидродинамики [8].

Основой метода ветро-моделирования является построение аэродинамического следа здания [10], выявление штилевых зон [4], а также зон повышения скорости ветра (сквозняков, эффекта аэродинамической трубы) [1]. Используя данные об интенсивности и повторяемости ветра в течение всего года возможно определить наиболее неблагоприятные периоды [3]. Результатами аэрационного исследования территории могут быть:

- определение неблагоприятных зон, где на протяжении длительного периода складывается дискомфортный микроклимат;
- определение значений скорости ветра для обоснования выбора ветровых установок с подходящими характеристиками;
- рекомендации по корректировке проектных планировочных решений.

Соответствием количественного показателя аэрационного режима и благоприятного микроклимата являются:

- скорость менее 2 м/с – слабое проветривание (требуется создание условий для аэрации территории);
- скорость ветра в пределах 2-4 м/с – оптимальная аэрация (дополнительные меры не требуются);
- скорость более 4-5 м/с – интенсивные ветры и сквозняки (необходимо создать ветрозащиту);
- при превышении нормативного критерия – не более 1000 часов в году достигаемая скорость ветра – 6 м/с на высоте 2 м (МДС 20-1.2006) необходимы кардинальные меры по защите территории.

Таким образом метод ветро-моделирования направлен на определение комфортных зон по скорости ветра и неблагоприятных направлений ветровых потоков, а также на выявление изменений показателей давлений на различных высотных отметках. Особое внимание должно уделяться наиболее повторяющимся ветрам зимнего периода.

В рамках реализации проекта Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета) по разработке эко-поселения в городе Челябинске, важнейшей задачей является необходи-

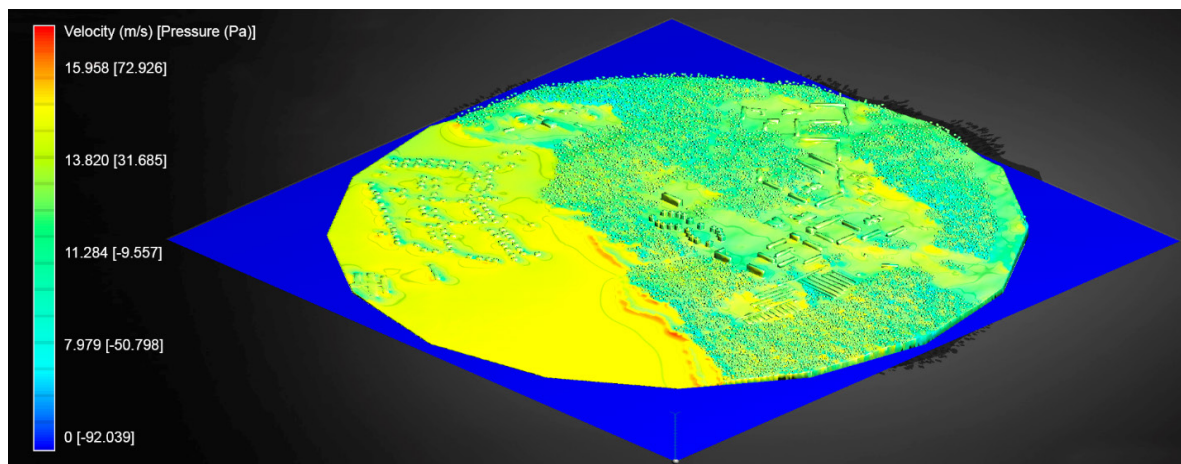


Рис. 1. Цифровая аэродинамическая модель рельефа

мость многовариантного цифрового аэродинамического моделирования на планируемой территории с целью использования полученных результатов для расчета систем вентиляции и выбора ветровых электрогенерирующих установок проектируемых жилых зданий.

Для получения цифровой аэродинамической модели эко-поселения были использованы данные о рельефе спутниковых снимков NASA [6] в базе интернет сервиса ASF (Alaska Satellite Facility) в формате GeoTIFF [2], включающие в себя двумерную карту рельефа высокого разрешения города Челябинска и окрестностей. Данный портал позволяет получить высококачественные спутниковые снимки местности [5], а также готовые и обработанные карты высот рельефа для необходимых участков местности [9].

Полученные данные были обработаны с помощью программного комплекса qGIS для получения карты высот рельефа и горизонталей в радиусе 1 км от места планируемого проектирования эко-поселения. Итоговый размер участка для последующего моделирования составил 2,2x2,2 км.

Цифровая трехмерная модель местности проектирования была получена, используя карту высот рельефа и инструменты программного пакета моделирования Autodesk 3DsMax. Дополнительно в трехмерной модели полученного рельефа были реализованы элементы лесных массивов, а также модели реально существующих и проектируемых зданий и сооружений.

Для численного моделирования ветрового потока был использован программный пакет Autodesk Fluid Design [7]. Многовариантное моделирование ветрового потока на полученной цифровой модели рельефа (рис. 1) с различных направлений позволило получить необходимые данные.

#### Результаты исследования

В результате анализа моделирования ветрового потока, скорость ветра возле верхней части проектируемых зданий, где планируется располагаться ветровая установка, может достигать до 3,5 м/с при общей моделируемой ветровой скорости 10 м/с, на отметке 24.0 м (ветровую установку необходимо проектировать с учетом этой скорости, чтобы она могла работать в условиях низкой скорости ветра от 2 до 4 м/с.). При этом скорость ветра на отметке 36.0 м может достигать 9 м/с, что сравнимо с общей моделируемой скоростью (высота отдельно-стоящей ветровой установки должна быть не менее 36.0 м, и ее характеристики должны учитывать работу при высоких скоростях и порывах ветра), наглядно отображенного на градиенте распределения скорости ветра цифровой модели (рис. 2).

В процессе изучения полученных данных определена закономерность распределения ветрового потока: скорость ветра вблизи верхних частей проектируемых зданий на высоте 24 м и скорость ветрового потока над зданиями на высоте 36 м составляют в среднем соответственно 30% и 90% от моделируемой скорости, что обусловлено расположением лесных массивов вокруг территории проектирования.

Многовариантное моделирование ветрового потока с различных направлений позволило сделать выводы о ветровом режиме дворового пространства проектируемого комплекса эко-поселения.

Во-первых, сильные порывы ветра около 10 м/с могут проявляться особенно явно с направлений «Север» и «Юг», а также незначительно с направлений «Запад», «Северо-Запад» и «Восток».

Во-вторых, благоприятными направлениями, при которых порывов ветра в дворовых пространствах проектируемого комплекса

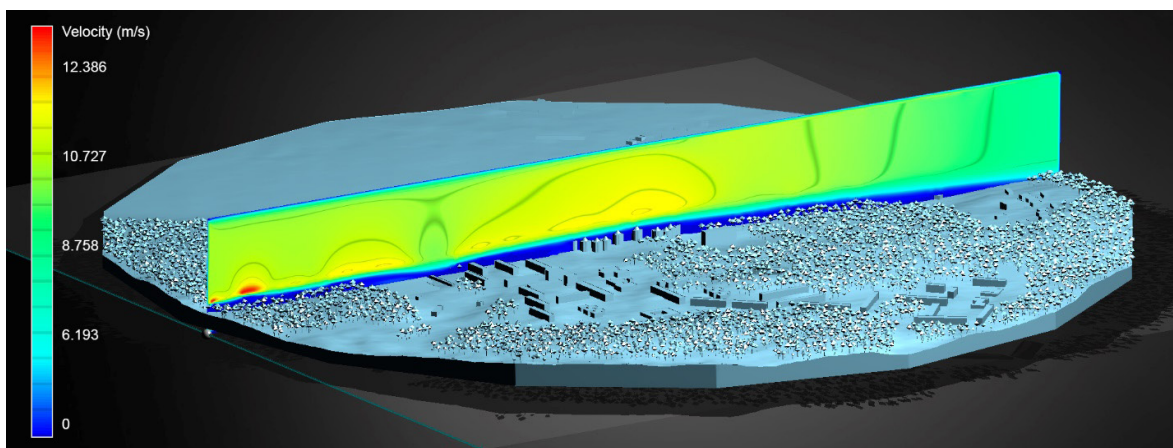


Рис. 2. Вертикальный градиент распределения скорости ветрового потока

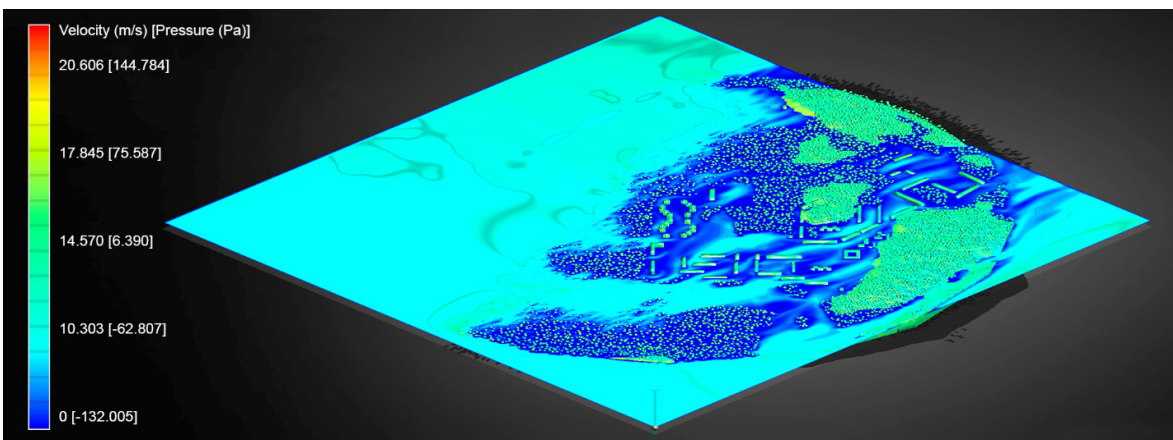


Рис. 3. Горизонтальный градиент распределения скоростей ветрового потока

эко-поселения не наблюдается, являются направления «Северо-Восток», «Юго-Восток» и «Юго-Запад» (рис. 3). Такие особенности ветрового режима обусловлены вариантом проектного расположения зданий, и могут быть улучшены за счет использования естественных преград – зеленых насаждений в дворовом пространстве, либо разработки другого планировочного решения.

В-третьих, из-за восходящих ветровых потоков, стремящихся вверх от лесных массивов, возникает разрежение (области отрицательного давления) над проектируемыми зданиями (рис. 3). Перепад давлений между высотных отметок 24м и 36м может составлять в среднем -52,5 Па, что благоприятно способствует возникновению приточной естественной вентиляции внутри проектируемых зданий.

#### Заключение

В процессе многовариантного цифрового аэродинамического моделирования эко-по-

селения получены необходимые данные для дальнейшего учета при проектировании и формирования комфортного микроклимата среды проживания. Выявлены следующие аспекты:

- отмечены особенности благоприятного ветрового режима, обусловленного расположением лесных массивов вокруг территории проектирования;
- предложены рекомендации для оптимизации ветрового режима по выявленным неблагоприятным направлениям воздействия ветрового потока;
- получены значения скорости ветра на различных высотных отметках, необходимые для выбора оптимальной ветровой электрогенерирующей установки;
- приведены показатели перепада давления на различных высотных отметках, необходимые для расчета системы вентиляции зданий проектируемого жилого комплекса.

#### Литература

1. Allegrini J., Dorer V., Carmeliet J. Wind tunnel measurements of buoyant flows in street canyons. *Building and Environment*, 2013, no 59, pp. 315-326.
2. Awrangleb M., Lu Guojun, Fraser C.S. Automatic building extraction from lidar data

covering complex urban scenes. The International Archives of ISPRS, Zurich, Switzerland, 2014. P. 25-32.

3. Chao Yuan, Edward Ng, Practical application of CFD on environmentally sensitive architectural design at high density cities: A case study in Hong Kong, *Urban Climate*, Volume 8, 2014, pp 57-77.

4. Francisco Toja-Silva, Carla Pregel-Hoderlein, Jia Chen, On the urban geometry generalization for CFD simulation of gas dispersion from chimneys: Comparison with Gaussian plume model, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volume 177, 2018, pp 1-18.

5. Karwel A.K., Ewiak I., Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008, P. 169-172.

6. Moe D., Sampath A., Christopherson J., Benson M. Self calibration of small and medium format digital cameras. *The International Archives of SPRS*. Vienna, 2010. P. 395-399.

7. Mohammadreza Shirzadi, Mohammad Naghashzadegan, Parham A. Mirzaei, Improving the CFD modelling of cross-ventilation in highly-packed urban areas,

8. *Sustainable Cities and Society*, Volume 37, 2018, pp 451-465.

9. Saddok Houda, Rafik Belarbi, Nouredine Zemmouri, A CFD Comsol model for simulating complex urban flow, *Energy Procedia*, Volume 139, 2017, pp 373-378.

10. T. Tadono, H. Ishida, F. Oda, S. Naito, K. Minakawa, H. Iwamoto : Precise Global DEM Generation By ALOS PRISM, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2014, Vol.II-4, pp.71-76.

11. Qunli Zhang, Yuqing Jiao, Mingkai Cao, Liwen Jin, Simulation Analysis on Summer Conditions of Ancient Architecture of Tower Buildings Based on CFD, *Energy Procedia*, Volume 143, 2017, pp 313-319.

## References

1. Allegrini J., Dorer V., Carmeliet J. Wind tunnel measurements of buoyant flows in street canyons. *Building and Environment*, 2013, no 59, pp. 315-326.

2. Awrangzeb M., Lu Guojun, Fraser C.S. Automatic building extraction from lidar data covering complex urban scenes. *The International Archives of ISPRS*, Zurich, Switzerland, 2014. P. 25-32.

3. Chao Yuan, Edward Ng, Practical application of CFD on environmentally sensitive architectural design at high density cities: A case study in Hong Kong, *Urban Climate*, Volume 8, 2014, pp 57-77.

4. Francisco Toja-Silva, Carla Pregel-Hoderlein, Jia Chen, On the urban geometry generalization for CFD simulation of gas dispersion from chimneys: Comparison with Gaussian plume model, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volume 177, 2018, pp 1-18.

5. Karwel A.K., Ewiak I., Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008, P. 169-172.

6. Moe D., Sampath A., Christopherson J., Benson M. Self calibration of small and medium format digital cameras. *The International Archives of SPRS*. Vienna, 2010. P. 395-399.

7. Mohammadreza Shirzadi, Mohammad Naghashzadegan, Parham A. Mirzaei, Improving the CFD modelling of cross-ventilation in highly-packed urban areas,

8. *Sustainable Cities and Society*, Volume 37, 2018, pp 451-465.

9. Saddok Houda, Rafik Belarbi, Nouredine Zemmouri, A CFD Comsol model for simulating complex urban flow, *Energy Procedia*, Volume 139, 2017, pp 373-378.

10. T. Tadono, H. Ishida, F. Oda, S. Naito, K. Minakawa, H. Iwamoto : Precise Global DEM Generation By ALOS PRISM, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2014, Vol.II-4, pp.71-76.

11. Qunli Zhang, Yuqing Jiao, Mingkai Cao, Liwen Jin, Simulation Analysis on Summer Conditions of Ancient Architecture of Tower Buildings Based on CFD, *Energy Procedia*, Volume 143, 2017, pp 313-319.

**Чистякова А.В.,**

Студентка, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

E-mail: anny-chi@mail.ru

---

**Chistyakova A.V.,**

Student, South Ural State University, c. Chelyabinsk, Russia. E-mail: anny-chi@mail.ru

---

*Поступила в редакцию 11.09.2019*