



УДК 533

П.П. Осипов – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудникТел.: (843) 231-91-17, e-mail: ossipov@kfti.knc.ru**Институт механики и машиностроения Казанского научного центра Российской академии наук (ИММ КНЦ РАН)**

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ЖИЛОЙ ГРУППЫ

АННОТАЦИЯ

Методами компьютерного моделирования изучаются задачи проектирования и оптимизации аэродинамики жилой группы. Демонстрируются возможности симулятора течений вязкого сжимаемого газа в произвольных двумерных областях, содержащих объекты разных масштабов. Приведены результаты расчетов аэродинамики жилых групп и дан их анализ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительная аэродинамика, симулятор течения вязкого сжимаемого газа.

P.P. Ossipov – doctor of physical-mathematical sciences, leading staff scientistTel.: (843) 231-91-17, e-mail: ossipov@kfti.knc.ru**Institute Mechanical engineers and Machine building of Kazan Scientific Centre of Russia Academy of Sciences (IMM KSC RAS)**

MODELING OF LIVING GROUP AERODYNAMICS

ABSTRACT

Methods of computer modeling of aerodynamics are applied to projection and optimization of living group. Facilities of simulator of viscous compressible flow in arbitrary 2D regions containing buildings with various scales are demonstrated. The numerical results for wind in living group are represented and discussed.

KEYWORDS: building aerodynamics, flow simulator for viscous compressible gas.

Введение

Вопросы аэрации, вентиляции, проветриваемости, снеготранспортировки современных жилых групп (ЖГ) в настоящее время имеют большое научно-практическое значение [1, 2, 3]. С одной стороны, замкнутые воздушные пространства имеют тенденцию создавать антропогенные проблемы, с другой стороны, слишком открытые места связаны с уменьшением комфортности условий жизни. При проектировании той или иной жилой группы желательно учитывать не только розу ветров, но и локальные направление и скорость ветра. Исследования характеристик ветра и их воздействия на сооружения проводятся либо экспериментально, либо с помощью численного моделирования. В первом случае макет жилой группы продувается в аэродинамической трубе и затем проводится масштабирование результатов [4]. При численном моделировании обычно используются дорогостоящие зарубежные пакеты программ, так называемые симуляторы (STAR-CD [5, 6], Fluent, Ansys и др.).

В настоящей работе исследуется вопрос о детальной картине воздушного обтекания в окрестности конкретной жилой группы при различных направлениях ветра. Продемонстрировано влияние

дополнительных построек и сооружений на картину линий тока и скорость ветра. Результаты получены на симуляторе двумерных течений газа и жидкости в областях с подвижными границами, созданном в Институте механики и машиностроения Казанского научного центра РАН.

Математическая модель

Уравнения. В симуляторе используется модель крупномасштабных вихрей. Уравнения, описывающие вихревое течение вязкой среды, были получены в 1822 г. французским инженером и ученым Навье и в 1845 г., независимо от него, английским физиком и математиком Стоксом (см. [7])

$$r \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial t_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial t_{xy}}{\partial y}, \quad (1)$$

$$r \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial t_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial t_{xy}}{\partial x},$$

$$\tau_{xx} = \mu \left(\frac{4}{3} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \xi \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right),$$

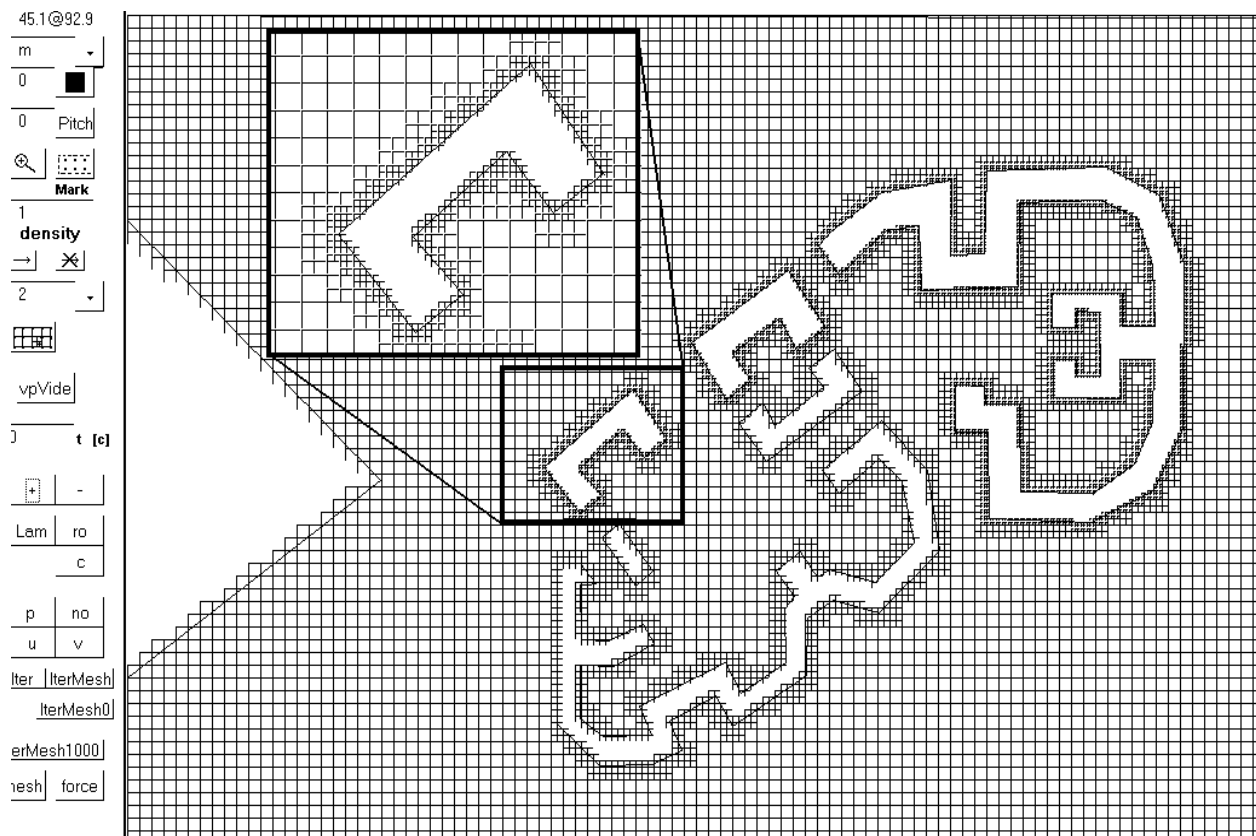


Рис. 1. Трехуровневая сетка части микрорайона

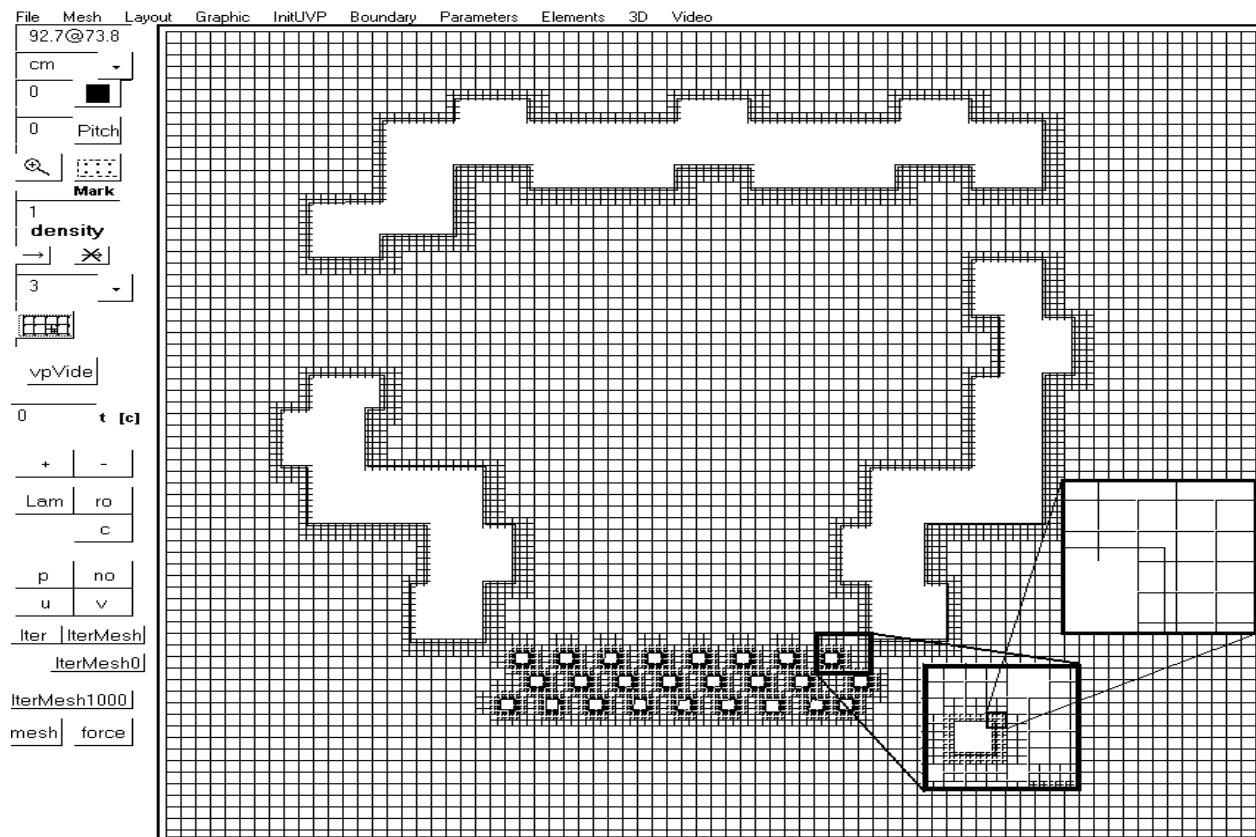


Рис. 2. Четырехуровневая сетка жилой группы

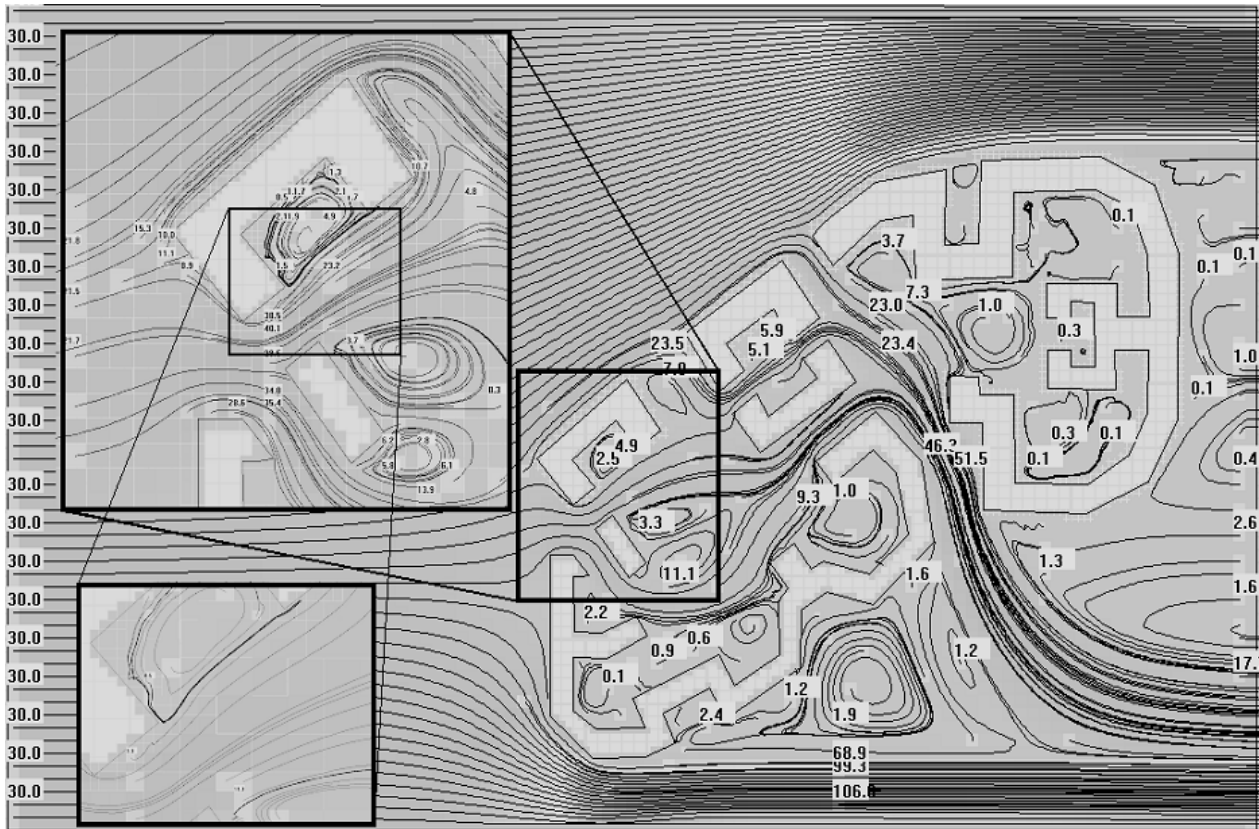


Рис. 3. Скорость и направление ветра в микрорайоне (западный ветер)

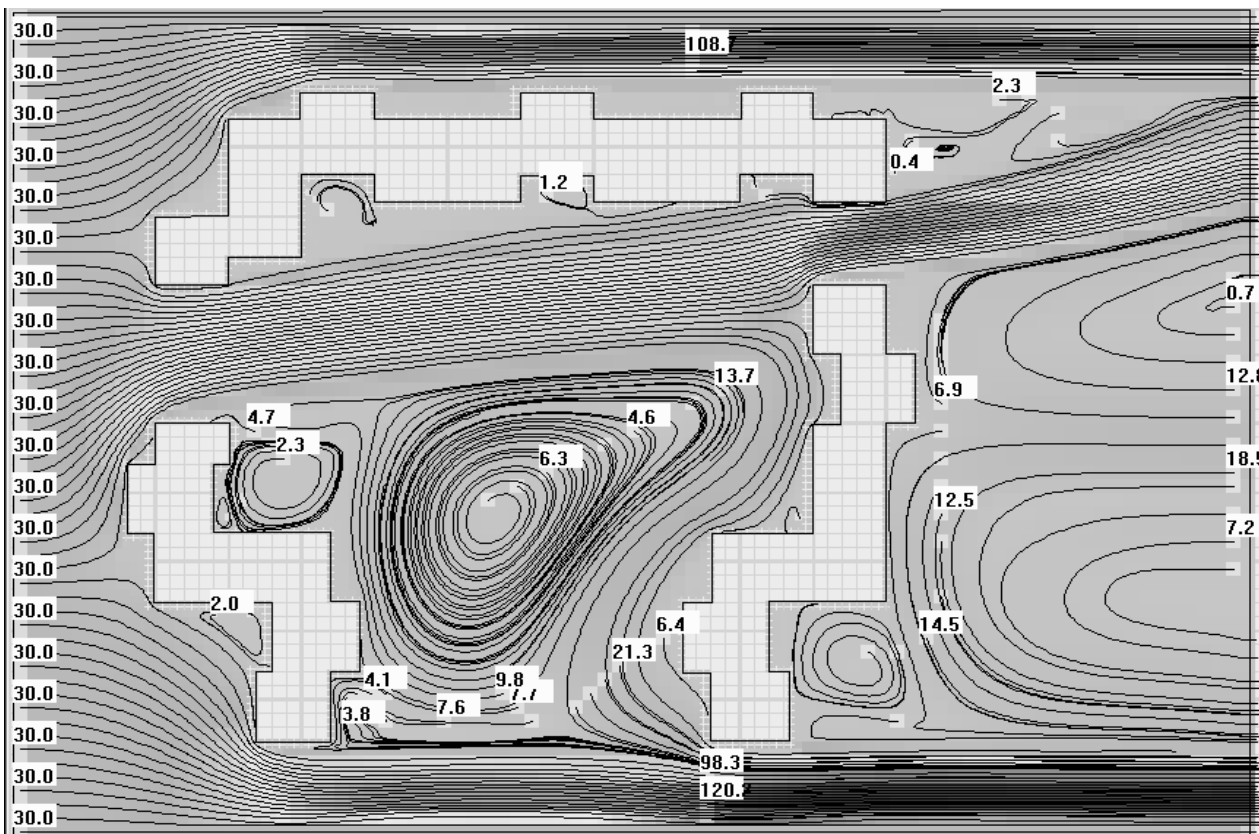


Рис. 4. Скорость и направление ветра в жилой группе (западный ветер)

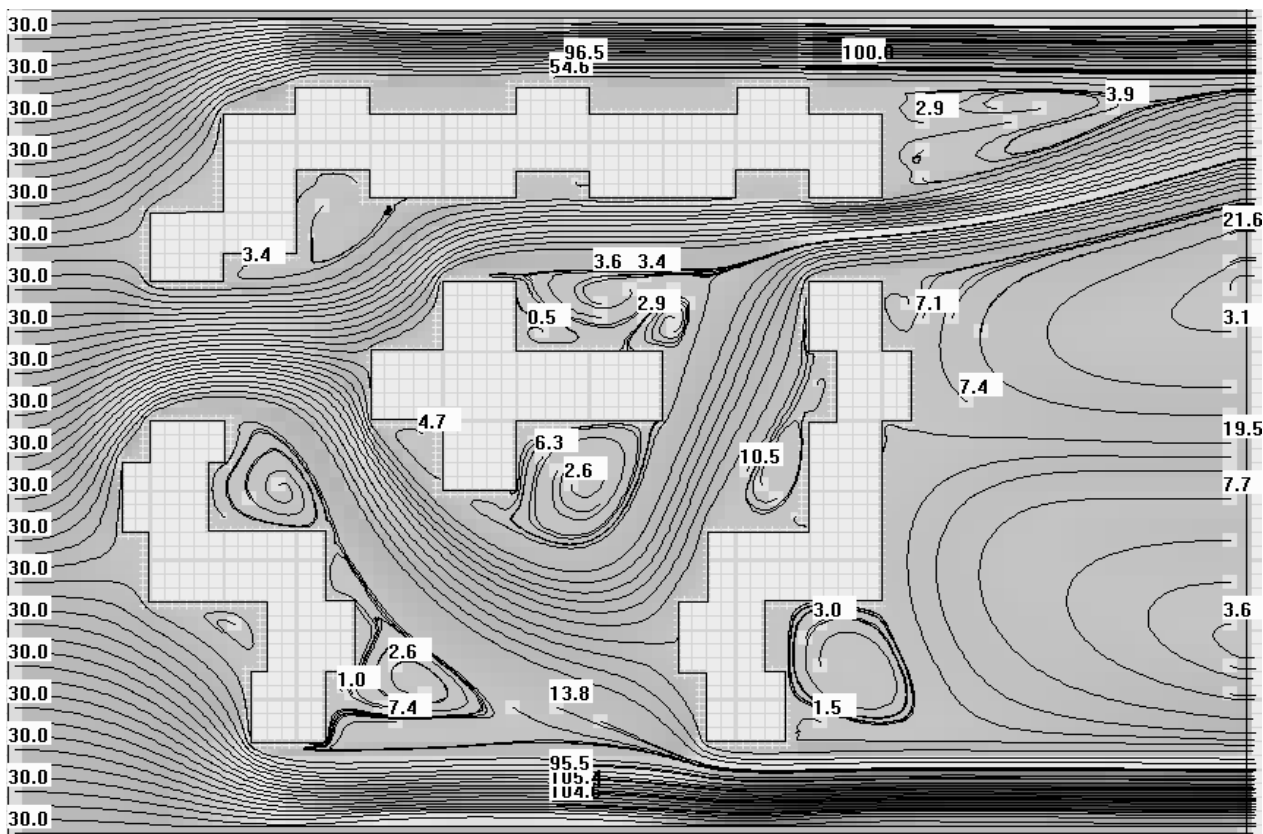


Рис. 5. Влияние дополнительной постройки в середине жилой группы

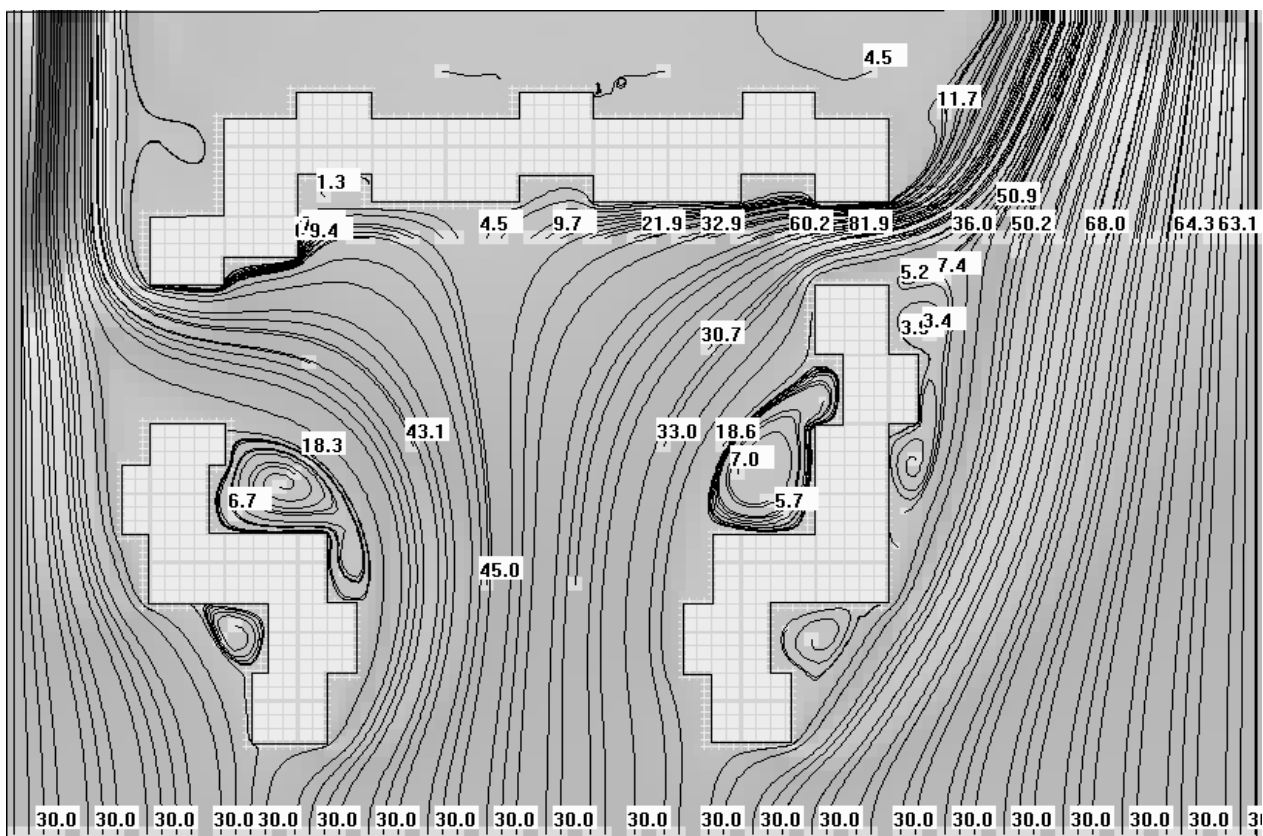


Рис. 6. Скорость и направление ветра в жилой группе (южный ветер)

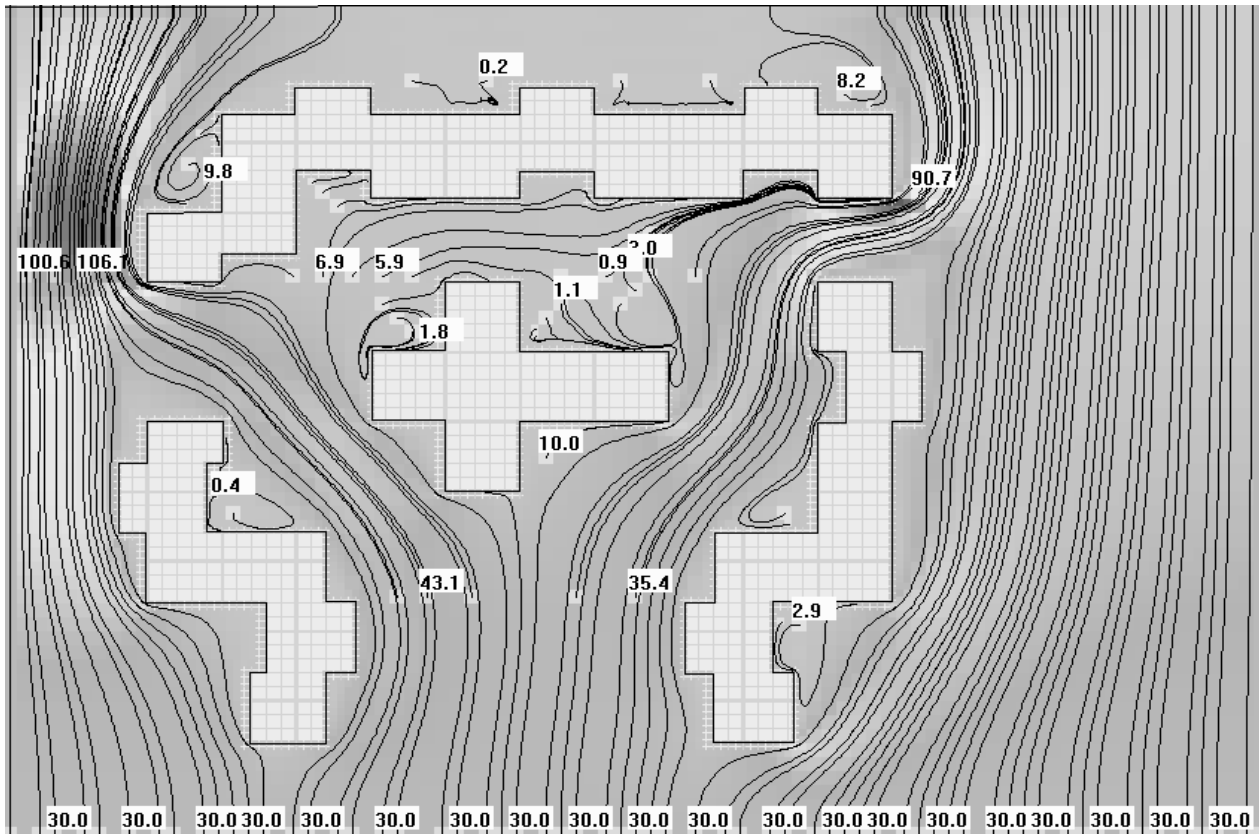


Рис. 7. Влияние дополнительной постройки в середине ЖГ

$$\tau_{xy} = \mu \left(\frac{4}{3} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \xi \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right),$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right),$$

где u, v – компоненты скорости, p – давление, ρ – плотность; μ – динамическая вязкость, ξ – вторая вязкость. Кроме этих уравнений, используется уравнение неразрывности

$$\frac{\partial r}{\partial t} + \frac{\partial ru}{\partial x} + \frac{\partial rv}{\partial y} = 0. \quad (2)$$

Для замыкания системы (1-2) взято уравнение состояния в изэнтропическом приближении

$$r/r_0 = (p/p_0)^{1/g}, \quad (3)$$

где r_0, p_0 – невозмущенные значения плотности и давления, g – показатель адиабаты.

Граничные условия. Основные граничные условия, применяемые в гидромеханике, приведены в [7]. В настоящей работе предполагается существование внешнего контура, охватывающего расчетную область течения, у которого можно различать вход, выход и боковые стороны. Внутренние контуры описывают

границы обтекаемых сооружений. На них используется условие прилипания. Окончательно граничные условия имеют вид:

а) Внешний контур:

на входе и боковых сторонах задана скорость (u, v) , на выходе – давление $p_{\text{вых}}$.

б) Внутренние контуры: (условие прилипания)

$$u = 0, v = 0.$$

Для более точного учета пограничных слоев вблизи обтекаемых поверхностей могут быть использованы пристеночные функции [5].

Генератор многоуровневых сеток

При расчете обтекания жилой группы или микрорайона необходимо создавать сетки для сложных многосвязных областей (см. рис. 1). При этом различные объекты могут иметь разные масштабы, что делает необходимым построение многоуровневых сеток (см. рис. 2). К многоуровневым сеткам приводит также необходимость минимизации числа ячеек. При этом малый размер ячеек необходим только вблизи границы (для ее достаточно точного моделирования). По мере удаления от границы размеры ячеек желательно увеличивать. Отметим, что идея использования многоуровневых сеток впервые была развита в работе [8].



Сетка, как правило, содержит огромное количество ячеек (порядка 10000 и выше), что делает невозможным быстрое и нетрудоемкое построение сеток вручную и приводит к необходимости создания генератора сеток. Этот генератор полностью автоматически строит сетку для многосвязной области, очерченной границами, заданными интерактивно.

Результаты расчета

На рис. 3 приведен результат расчета обтекания ветром микрорайона. Скорость вдоль проспекта, проходящего с северо-запада на юго-восток, превосходит скорость на входе. Скорость в жилых группах существенно меньше. На рис. 4 показаны вихри и их интенсивности в ЖГ. Рис. 5 демонстрирует влияние дополнительной постройки на вихреобразование внутри ЖГ.

На рис. 6-7 приведены линии тока и скорости ветра при южном ветре соответственно без и с дополнительным сооружением посередине жилой группы.

Заключение

Разработанный симулятор позволяет оперативно проводить многовариантные расчеты аэродинамических характеристик воздушных масс в жилой группе и микрорайоне. На основе таких расчетов проектировщик может оценивать детальную картину ветра: его скорость и направление, силу воздействия на то или иное строение. Отмеченные оценки дают

возможность сравнивать различные варианты и оптимизировать проект застройки. При достижении ветром критических значений проектировщик может изменить проект, добавить дополнительные сооружения.

Автор благодарит Мифтахутдинова И.Х. и Абдюшева А.А. за ценные советы и обсуждение статьи.

Литература

1. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1984. – 294 с.
2. Серебровский Ф.Л. Аэрация населенных мест. – М.: Стройиздат, 1985. – 170 с.
3. Lawson T. Building aerodynamics ISBN-1-86094-187-7, Imperial College Press, 2001. – 236 p.
4. <http://www.stroinauka.ru/d18dr6343m0rr4159.html>.
5. Гувернюк С.В., Гагарин В.Г. Компьютерное моделирование аэродинамических воздействий на элементы ограждений высотных зданий. Часть 1 // АВОК, 2006, № 8. – С. 18-24.
6. Гувернюк С.В., Гагарин В.Г. Компьютерное моделирование аэродинамических воздействий на элементы ограждений высотных зданий. Часть 2 // АВОК, 2007, № 1. – С. 16-22.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Изд-во Дрофа, 2003. – 840 с.
8. Simpson R.B. Automatic local refinement for irregular rectangular Meshes // Int. J. Num. Meth. Eng, 1979, vol. 14, P. 1665-1678.