

Некоторые количественные статистические характеристики результатов верификации модели скорости ветра в условиях сложной трехмерной геометрии городской застройки или промышленного объекта.

Благодатских Д.В., Дзама Д.В.,  
Сороковикова О.С., Устинов Г.А.

# Микромасштабные метеорологические модели

В европейских странах и США последние десятилетия бурно развиваются так называемые микромасштабные метеорологические модели



Основные задачи микромасштабных моделей – оценки климатической комфортности для условий города (wind comfort), распространение загрязнений любого характера в условиях города или промышленного объекта, аварийного реагирования, городского планирования.

Примеры программных комплексов специально приспособленных под данный класс задач (ADERA , M2UE, MISKAM ) и общего назначения (FLUENT, STAR-CD,CFX)

**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"**

14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

# Верификация моделей

- Для развития и верификации этих современных моделей был создан международный проект COST (European Cooperation in Science and Technology), исследователями из 20 стран
- Одной из наиболее представительных и при этом находящейся в открытом доступе баз данных в рамках этого проекта является CEDVAL ( Compilation of Experimental Data for Validation of Microscale Dispersion Models ), создаваемая и расширяемая по сегодняшний день лабораторией прикладной метеорологии Гамбургского университета

# База данных CEDVAL

- Экспериментальные данные представлены серией экспериментов в аэродинамических трубах с разной степенью сложности геометрией моделируемых препятствий
- Ряд туннельных экспериментов повторяют проводившиеся ранее натурные эксперименты (MUST, Oklahoma-city) с целью обоснования применимости туннельных исследований для верификации и расширения неполноты информации, полученной в натурных экспериментах

# Модель Оклахома-сити



**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"**

**14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015**

# Модель одного из районов Гамбурга



**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"**

**14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015**

# Критерии качества моделирования

Созданные многотысячные базы данных измерений позволили создать и использовать новые количественные статистические характеристики качества моделирования



К сожалению, в России данные методики не использовались до настоящего времени. Данная работа посвящена оценке качества моделирования по этим методикам блока расчета аэротермодинамики на примере одного верификационного эксперимента по скорости ветра в 1242 точек. Верификация проведена по полю ветра вокруг строения в форме прямоугольного параллелепипеда

**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"**

14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

# FAC2 (Factor of two of observations)

$$FAC2 = \frac{N}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \quad N_i = \begin{cases} 1 & \text{when } 0.5 \leq \frac{U_{calc}}{U_{obs}} \leq 2.0 \\ 1 & \text{when } |U_{obs}| \leq W \quad \text{u} \quad |U_{calc}| \leq W \\ 0 & \end{cases}$$

XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"

14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015



# Hit Rate (HR)

$$q = \frac{N}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \quad N_i = \begin{cases} 1 & \text{when } \left| \frac{U_{calc} - U_{obs}}{U_{obs}} \right| \leq D \quad \text{or} \quad |U_{calc} - U_{obs}| \leq W \\ 0 & \end{cases}$$

XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"

14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

# SAA (Scaled Average Angle differences)

$$SAA = \frac{\sum_{i=1}^N |U_i| |\phi_i|}{\sum_{i=1}^N |U_i|}$$

$\phi_i$  - угол между расчетной и измеренной скоростью

$|U_i|$  - модуль расчетной скорости в точке  $i$

# Pearson's coefficient

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N (U_{cal_i} - \bar{U}_{cal})(U_{obs_i} - \bar{U}_{obs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (U_{cal_i} - \bar{U}_{cal})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (U_{obs_i} - \bar{U}_{obs})^2}}$$

$\bar{U}_{cal}$  - средняя рассчитанная скорость

$\bar{U}_{obs}$  - средняя измеренная скорость

XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"

14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

# BIAS

$$BIAS = \bar{U}_{cal} - \bar{U}_{obs} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U_{cal_i} - U_{obs_i})$$

$\bar{U}_{cal}$  - средняя рассчитанная скорость

$\bar{U}_{obs}$  - средняя измеренная скорость

XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"

14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

# KS (параметр Колмогорова-Смирнова)

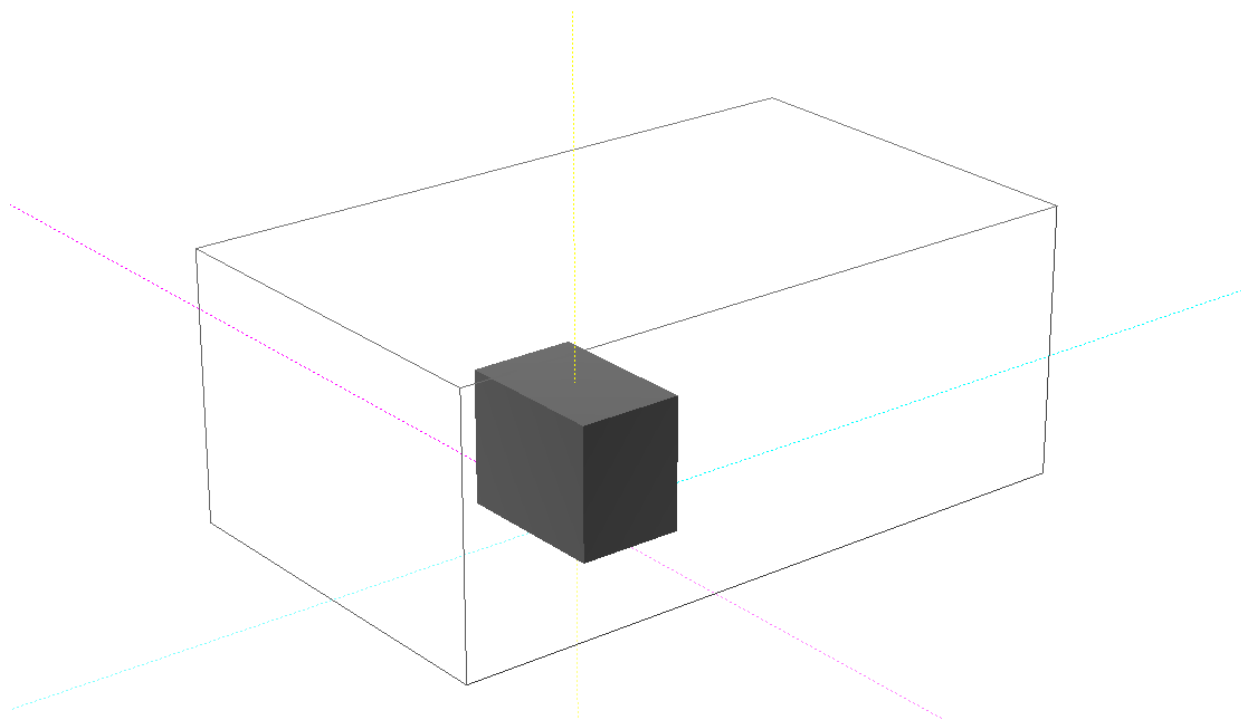
$$KS = \max_i \left| F_1(U_{cal_i}) - F_2(U_{obs_i}) \right|$$

$F(U) = \frac{K(U)}{N}$  , где  $K(U)$  - количество таких  $U_i$ , которые удовлетворяют неравенству  $U_i < U$

**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"**

14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

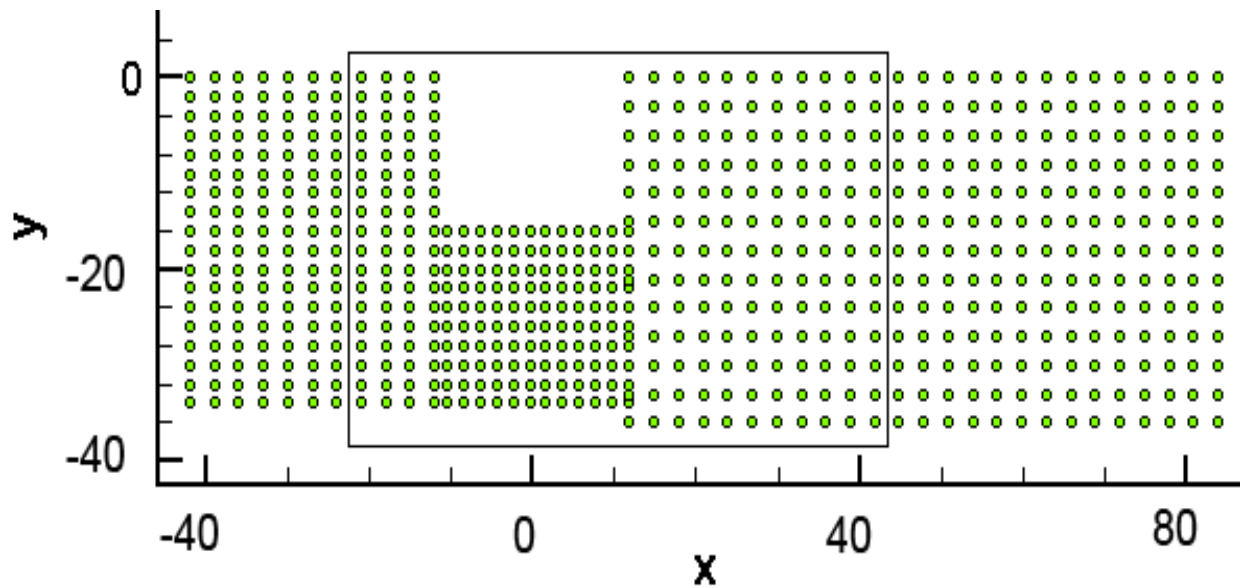
# Геометрия задачи



**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"**

**14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015**

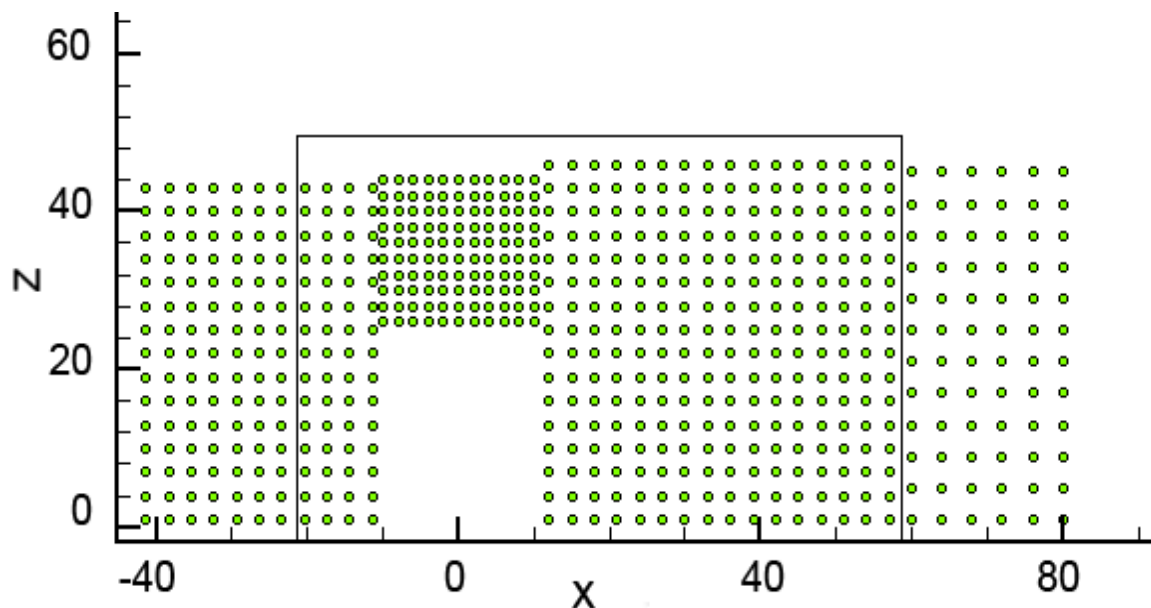
# Измерительная сеть детекторов в сечении $z=7$ м



XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"

14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

# Измерительная сеть детекторов в сечении $y=0$ м



XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"

14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015



# Горизонтальная плоскость. Продольная скорость.

| Критерий | Результат | Эталон |
|----------|-----------|--------|
| FA2      | 90 %      | 100%   |
| HR       | 77 %      | 100%   |
| BIAS     | -0.44605  | 0      |
| PCC      | 0.94164   | 1      |
| SAA      | 7.86836   | 0      |
| KS       | 0.07932   | 0      |

XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"  
14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

# Горизонтальная плоскость. Поперечная скорость.

| Критерий | Результат | Эталон |
|----------|-----------|--------|
| FA2      | 81 %      | 100%   |
| HR       | 89 %      | 100%   |
| BIAS     | -0.05157  | 0      |
| PCC      | 0.8897    | 1      |
| SAA      | 7.86836   | 0      |
| KS       | 0.06998   | 0      |

XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"  
14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

# Вертикальная плоскость. Продольная скорость.

| Критерий | Результат | Эталон |
|----------|-----------|--------|
| FA2      | 89 %      | 100%   |
| HR       | 86 %      | 100%   |
| BIAS     | -0.08214  | 0      |
| PCC      | 0.96049   | 1      |
| SAA      | 7.12577   | 0      |
| KS       | 0.08292   | 0      |

XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"  
14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015

# Вертикальная плоскость. Вертикальная скорость.

| Критерий | Результат | Эталон |
|----------|-----------|--------|
| FA2      | 64%       | 100%   |
| HR       | 69%       | 100%   |
| BIAS     | -0.03593  | 0      |
| PCC      | 0.81382   | 1      |
| SAA      | 7.12577   | 0      |
| KS       | 0.16750   | 0      |

**XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ШКОЛА МОЛОДЫХ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ"**

**14-19 сентября, Абрау-Дюрсо, 2015**

# Критерий качества

- В ходе реализации международного проекта выработаны критерии какую модель можно считать хорошей (приемлемая точность для задач такого типа) (Hit Rate  $\geq 66\%$  FACS2  $\geq 50\%$  )

# Заключение

- Создан пакет вспомогательных программ в соответствии с международными рекомендациями для оценки качества моделирования поля ветра
- Результаты расчетов показали, что без использования настроечных параметров получаются результаты удовлетворяющие критериям хорошего качества расчета
- В отличие от других расчетов не использовано измельчение сетки к поверхности