

# Оценка точности навигации внутри помещений по данным Bluetooth устройств

В.М. Гриняк

Владивостокский государственный университет экономики и  
сервиса,

А.С. Девятисильный,

Институт автоматике и процессов управления ДВО РАН,

П.А. Цыбанов,

Дальневосточный федеральный университет

# Наработки в области навигации внутри помещений (Indoor navigation)

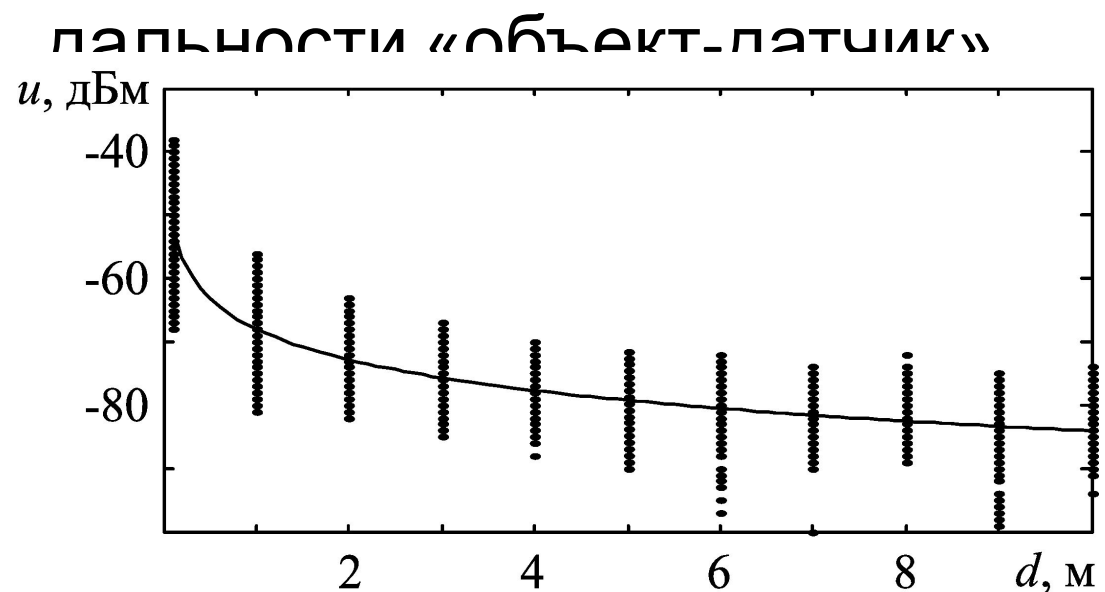
- Данные инерциальных датчиков
- Данные Wi-Fi / Bluetooth
  - Радиоотпечаток
  - Дальномерная система «объект-датчик»
- Система оптического типа
- Навигация по магнитному полю

# Особенности Bluetooth датчиков

Датчики SkyLab BLE  
от



Зависимость уровня сигнала



# Модель задачи навигации внутри помещений по данным Bluetooth устройств

Уровень принимаемого сигнала

$$u = u_* - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d/d_*)$$

Дальность «объект-датчик»

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$$

Уравнения измерений

$$u_i(t_k) = u_{*i} - 10 \cdot n \cdot \log_{10} \left( \sqrt{(x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2} / d_{*i} \right) + \eta_i(t_k),$$

# Модель задачи навигации внутри помещений по данным Bluetooth устройств

Модель движения объекта

$$x(t_{k+1}) = x(t_k) + v_x(t_k)(t_{k+1} - t_k)$$

$$y(t_{k+1}) = y(t_k) + v_y(t_k)(t_{k+1} - t_k)$$

Линеаризованные уравнения измерений с учётом эволюции координат

$$\begin{aligned} \delta u_i(t_k) = & \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (x(t_k) - x_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} \delta x(t_*) + \\ & + \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (x(t_k) - x_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} (t_k - t_*) \delta v_x(t_*) + \\ & + \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (y(t_k) - y_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} \delta y(t_*) + \\ & + \frac{-10 \cdot n \cdot d_{*i} \cdot (y(t_k) - y_i)}{\ln(10) \cdot ((x(t_k) - x_i)^2 + (y(t_k) - y_i)^2)} (t_k - t_*) \delta v_y(t_*) + \eta_i(t_k), \end{aligned}$$

# Модель задачи навигации внутри помещений по данным Bluetooth устройств

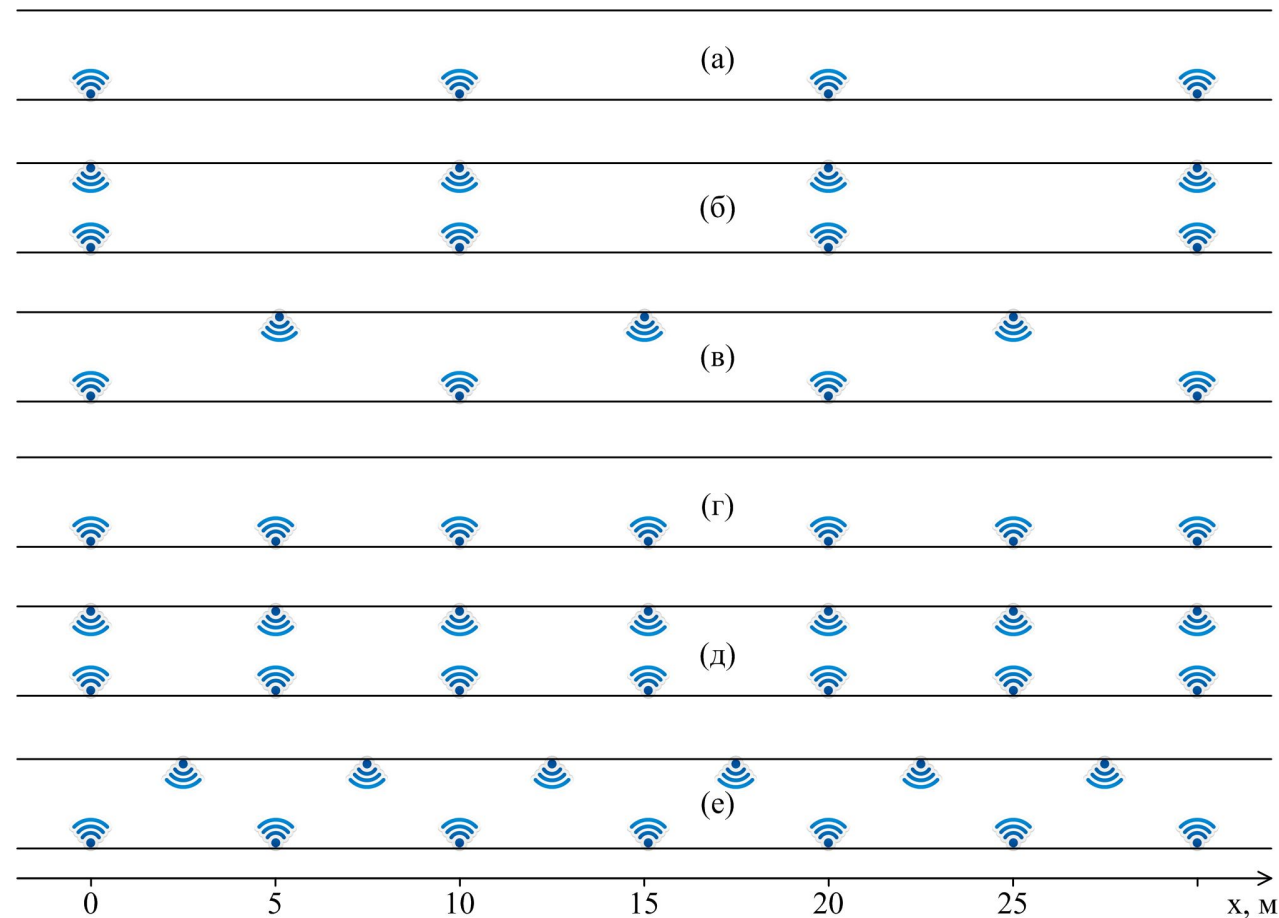
Задача метода наименьших квадратов

$$\delta Z = H \delta s(t_*) + \xi$$

$$H^T Q^{-1} \delta Z = H^T Q^{-1} H \delta s(t_*)$$

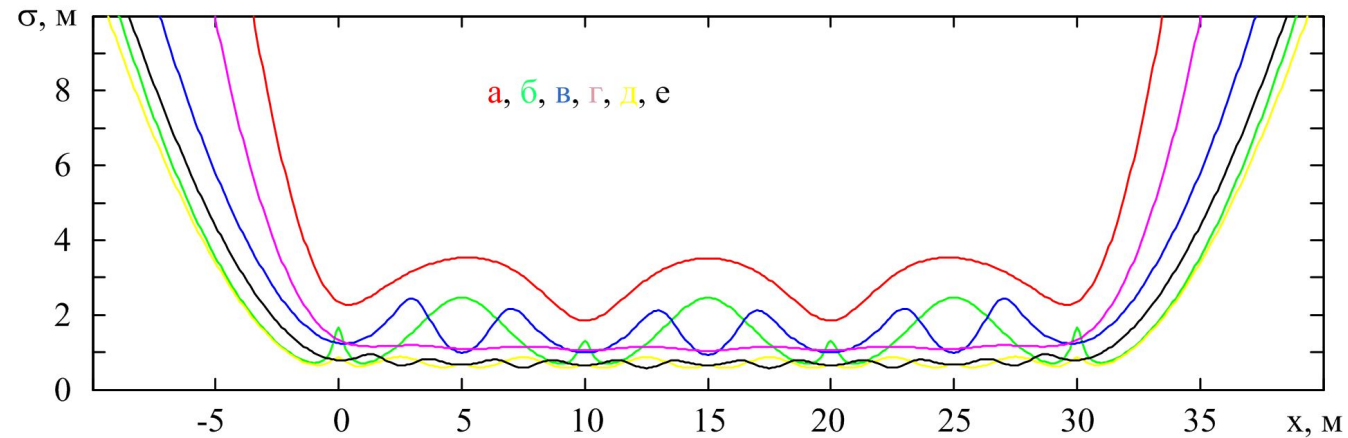
# Результаты численного моделирования

Моделируемое расположение датчиков: коридор



# Результаты численного моделирования

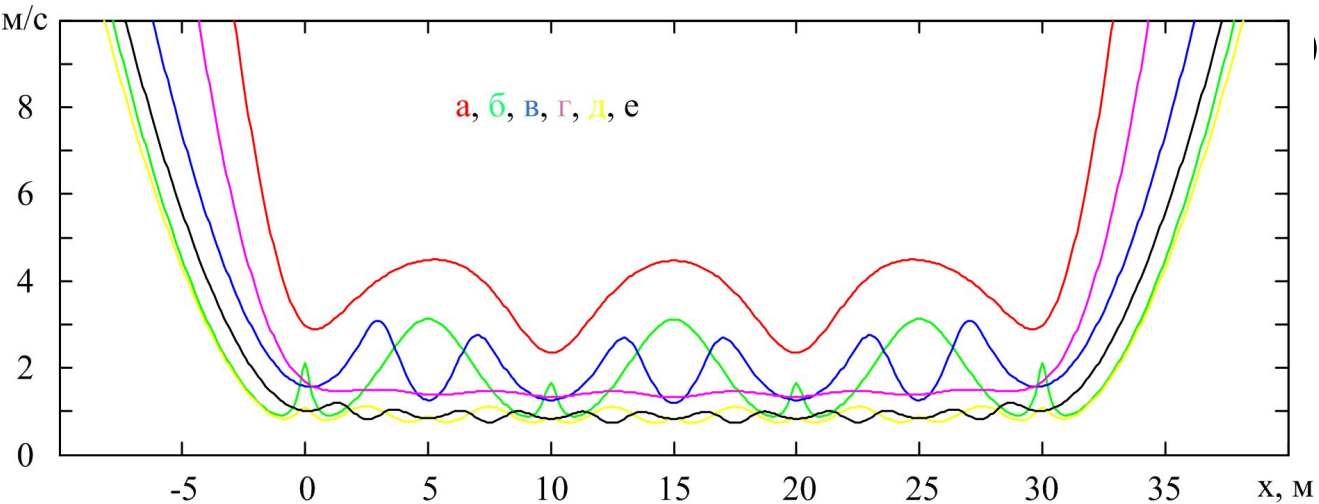
Погрешность координат при оценке координат и скоростей объекта



Погрешности

$\sigma$ , м/с

объекта

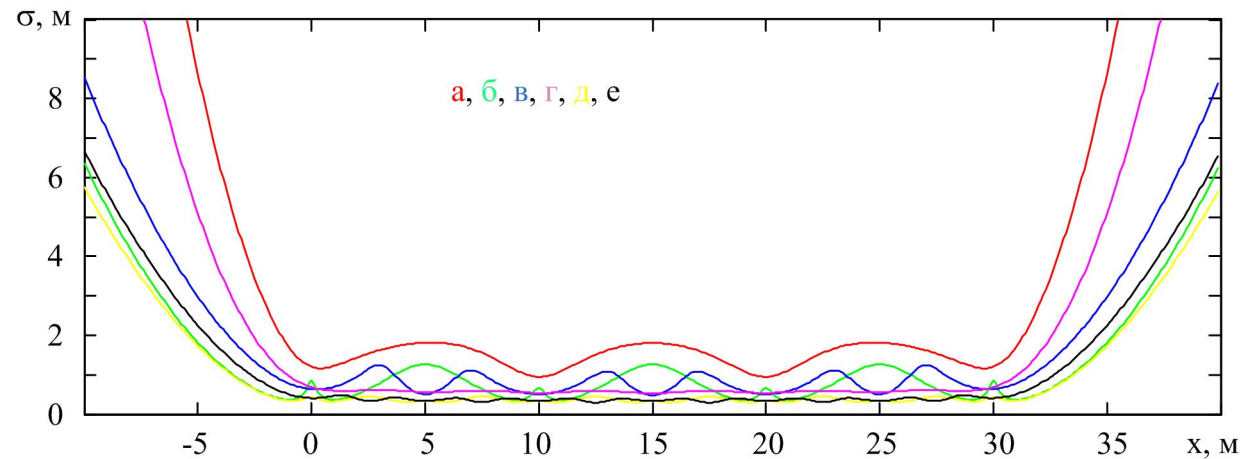


ностей



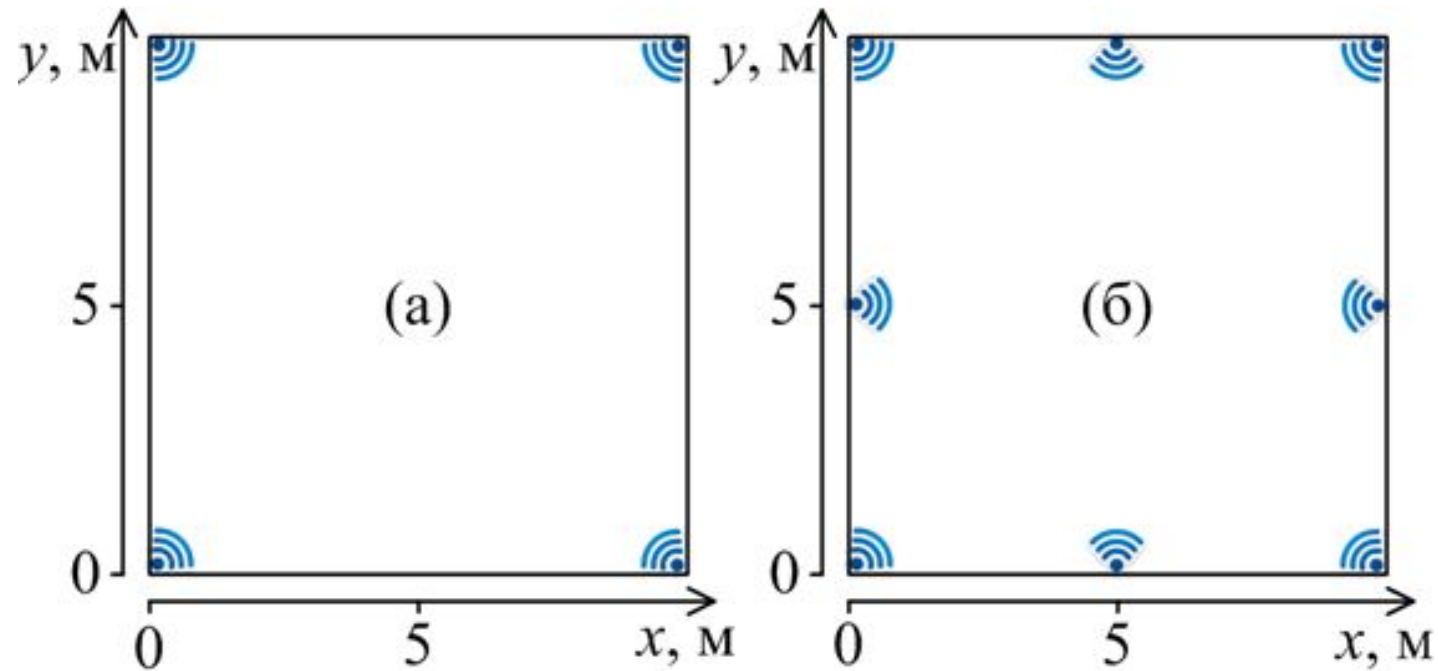
# Результаты численного моделирования

Погрешность координат при оценке только координат объекта  
(статическая задача)



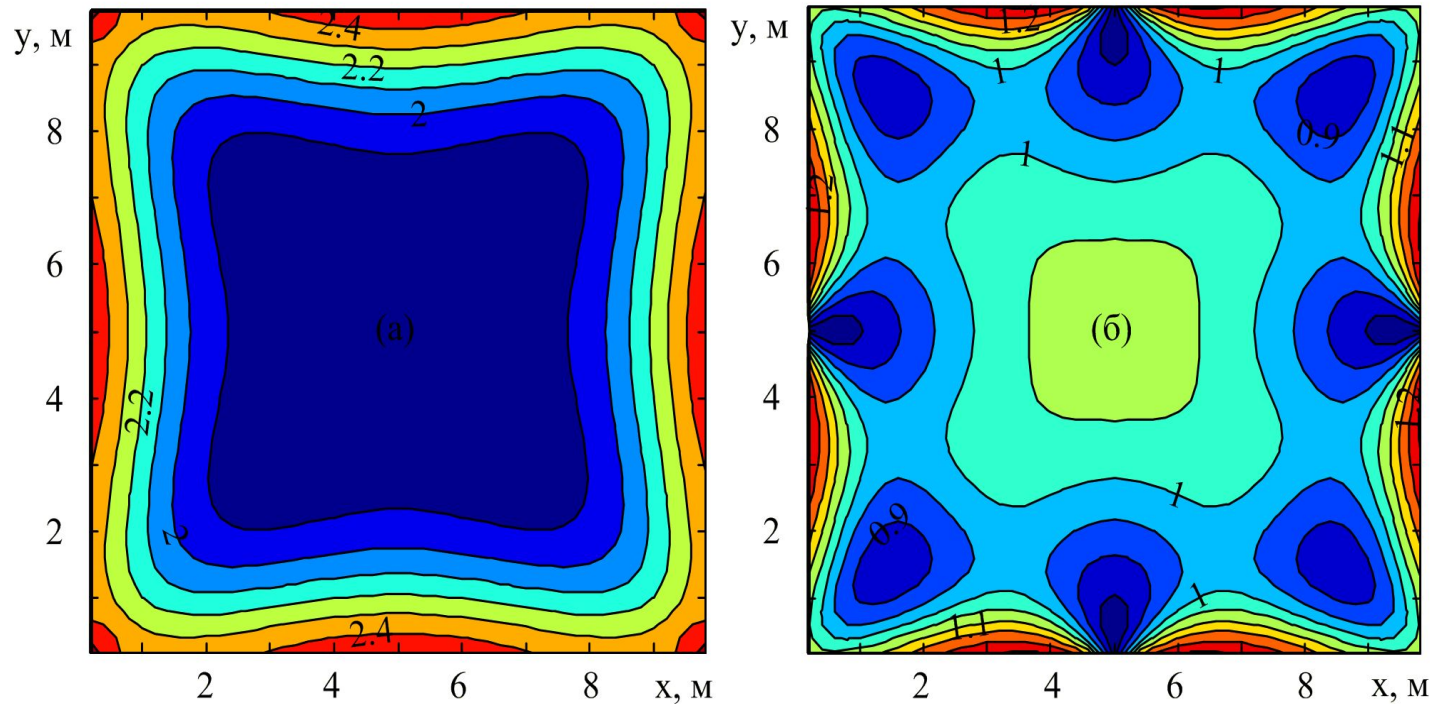
# Результаты численного моделирования

Моделируемое расположение датчиков: холл/комната



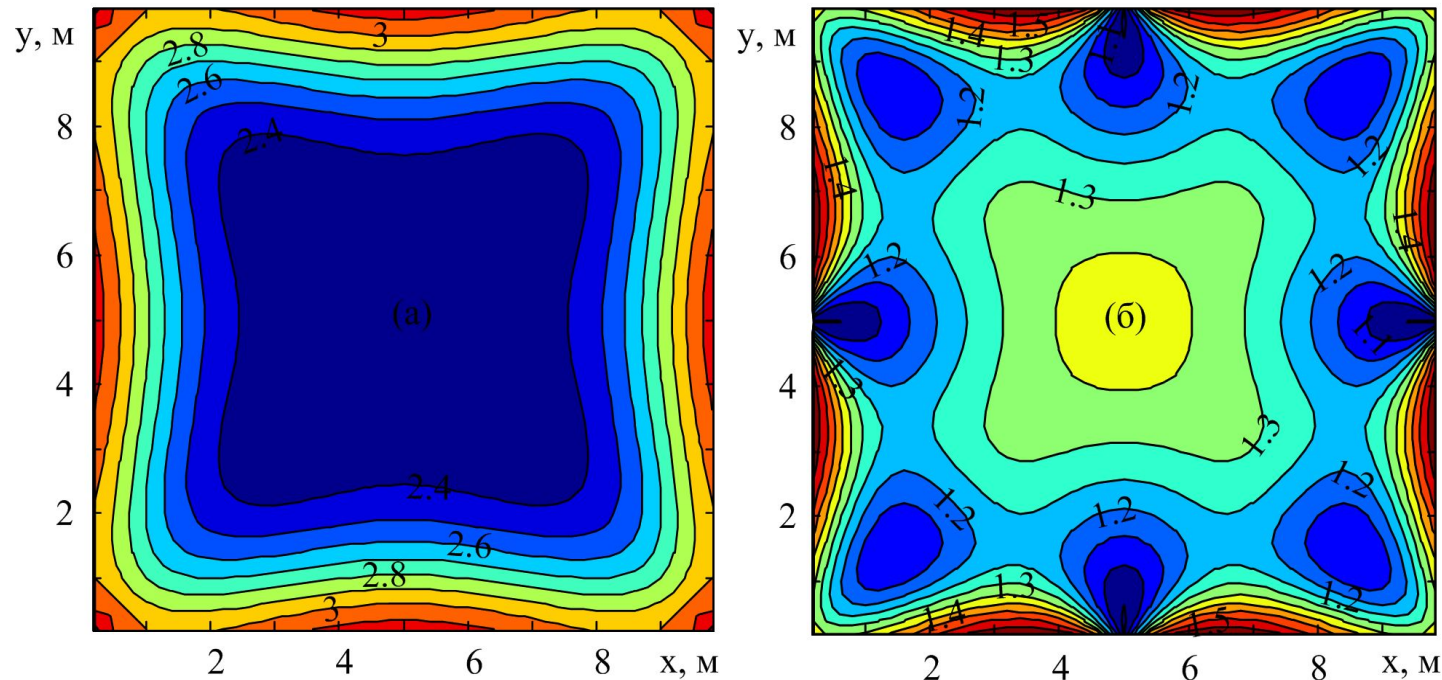
# Результаты численного моделирования

Погрешность оценки координат при оценке координат и скоростей объекта (кинематическая задача)



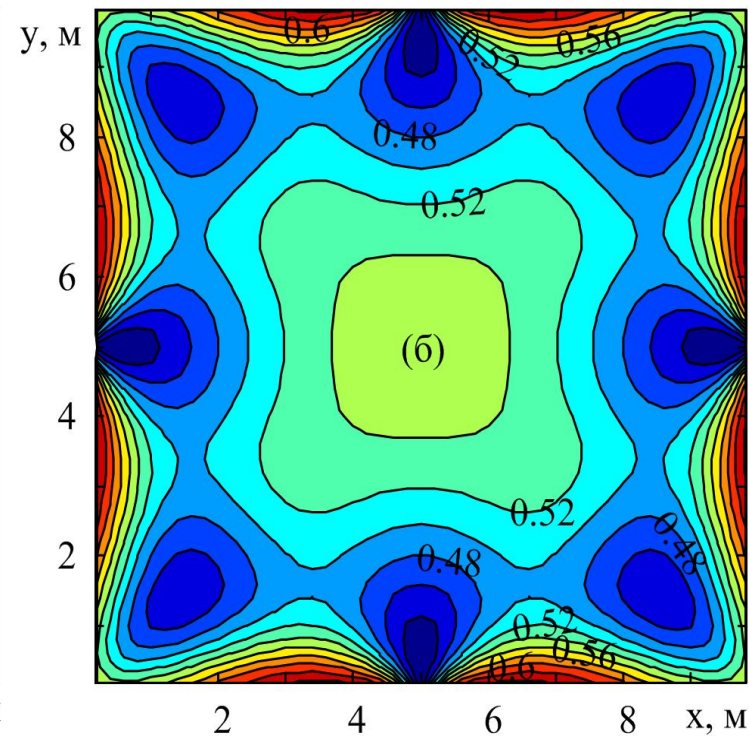
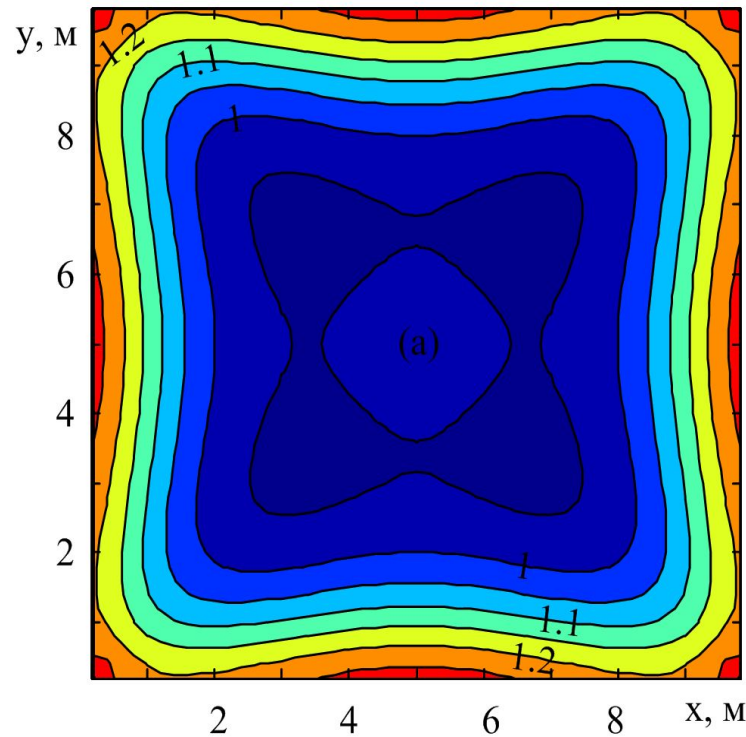
# Результаты численного моделирования

Погрешность оценки скорости при оценке координат и скоростей объекта (кинематическая задача)



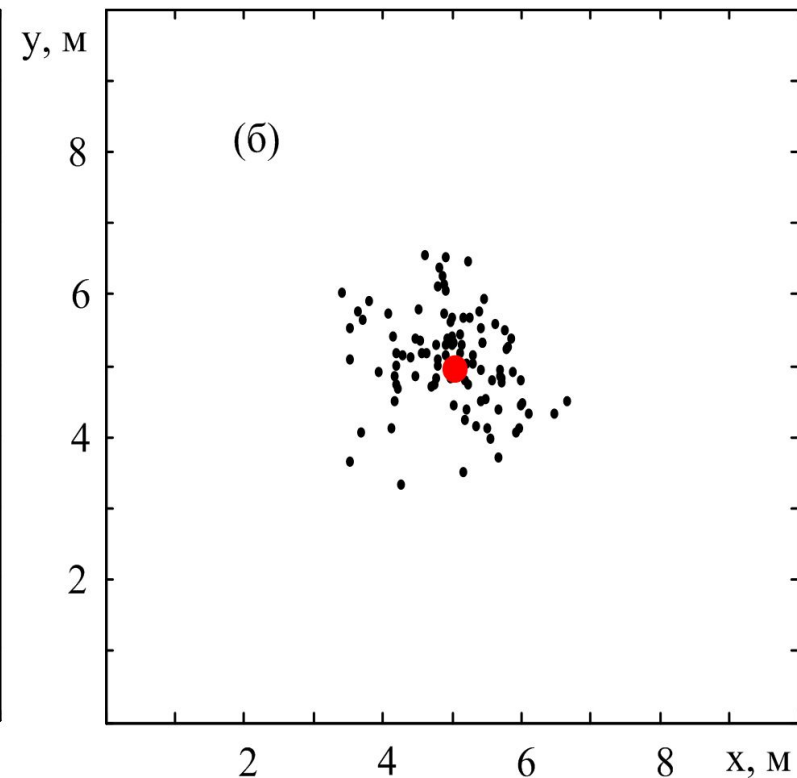
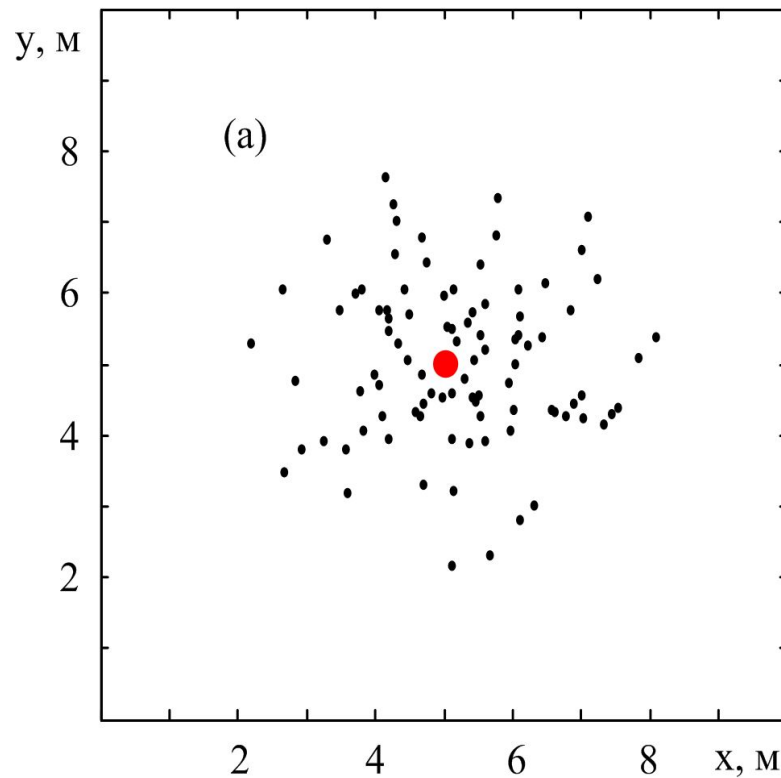
# Результаты численного моделирования

Погрешность оценки координат при оценке только координат объекта (статическая задача)



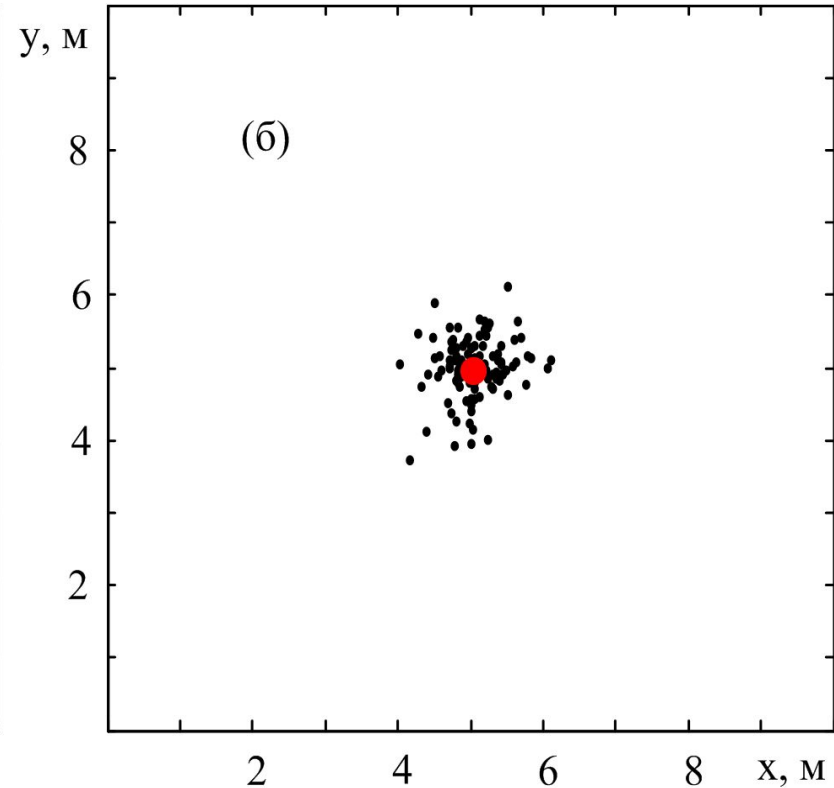
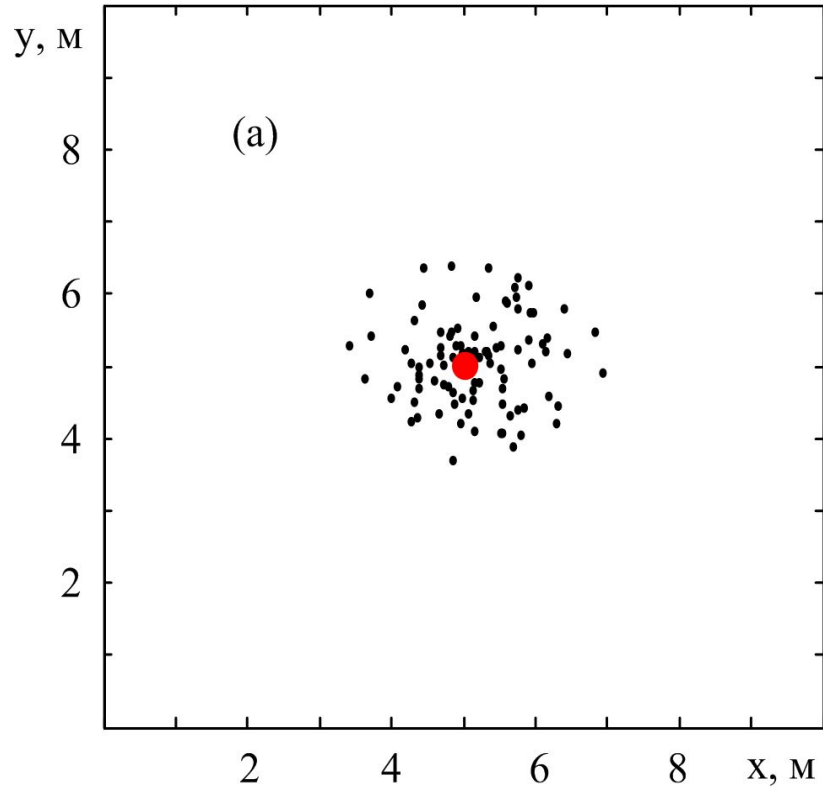
# Результаты натурального эксперимента

Результат оценки координат при оценке координат и скоростей объекта (кинематическая задача)



# Результаты натурального эксперимента

Результат оценки координат при оценке только координат объекта (статическая задача)





# Выводы

- Точность решения статической задачи существенно выше (примерно в 2 раза), чем кинематической.
- Игнорирование в модели задачи скорости объекта при его реальном движении приводит к её неудовлетворительному решению. Следует обязательно реализовать идентификацию модели движения.
- При характерном расстоянии между маяками и объектом 5м реально достижимая точность определения координат объекта составляет 1-2м. Этого достаточно для традиционных задач.
- Использование МНК модели позволяет оценить точность решения на этапе проектирования системы.