

59-я научная конференция МФТИ

**Оценка возмущений,
действующих на макеты малых
спутников
на аэродинамическом столе**

***Д.С. Иванов, М.Д. Коптев,
Н.Н. Прошунин, А.И. Федосеев,
М.О. Шачков***

Содержание

- Актуальность
- Источники возмущений
- Оценка возмущений вследствие неровности
- Измерение возмущений на столе
- Выводы

Аэродинамический стол



Задачи работы

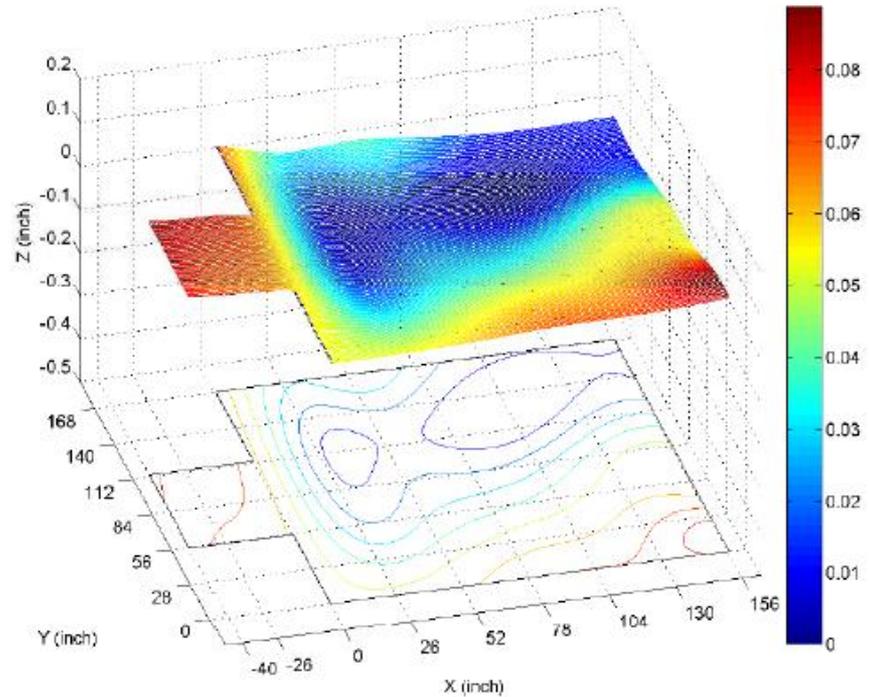
- Определить основные источники возмущений
- С помощью имеющихся средств измерить распределение ускорений на поверхности стола
- Оценить повторяемость возмущений и определить зависимость от величины воздушного потока

Аналогичные исследования

- Стенд ASTROS на воздушной подушке



Эпоксидный стол и макет с баллонами со сжатым воздухом



Неровность стола в дюймах

- Оценка гравитационных возмущений по измерениям инклинометра

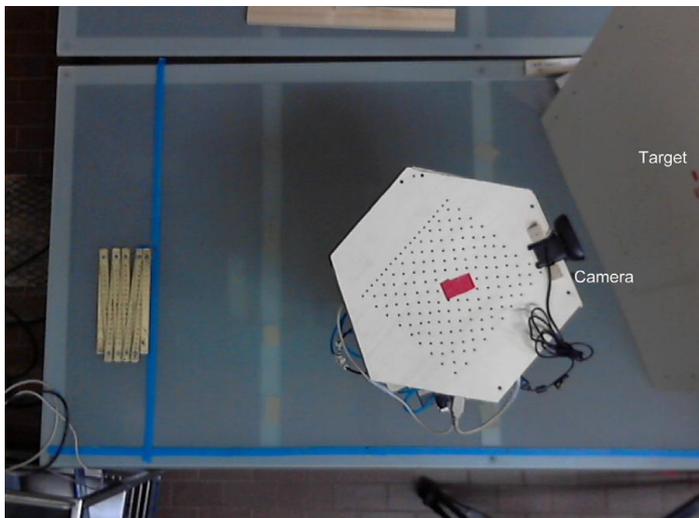
$$a \approx g \sin \theta,$$

$$a_{\max} = 6.7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$$

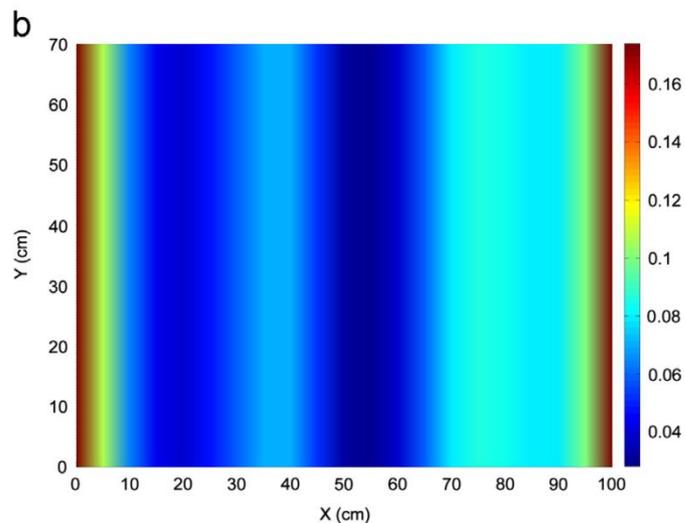
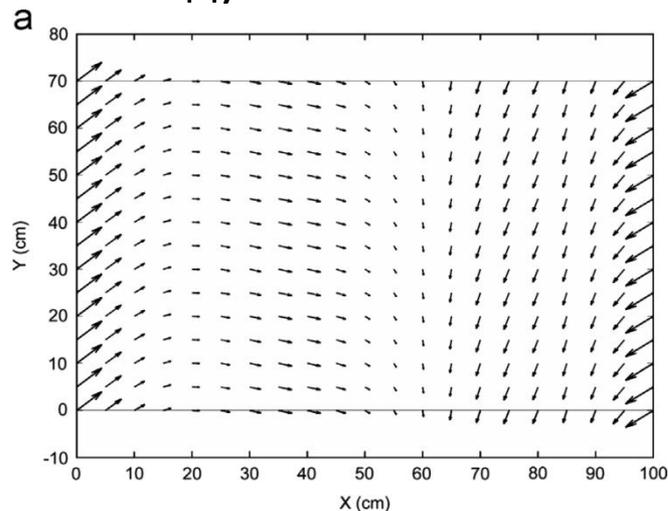
Tsiotras P. A 5dof Experimental Platform for Research in Spacecraft Proximity Operations // AAS Guid. Control Conf. 2014. Vol. 14, № 114. P. 14.

Аналогичные исследования

- Стенд PINOCCHIO на воздушной подушке



Стеклянный стол и макет с баллонами со сжатым воздухом



Направление и величина возмущений

- Оценка гравитационных возмущений по управляемому движению макета

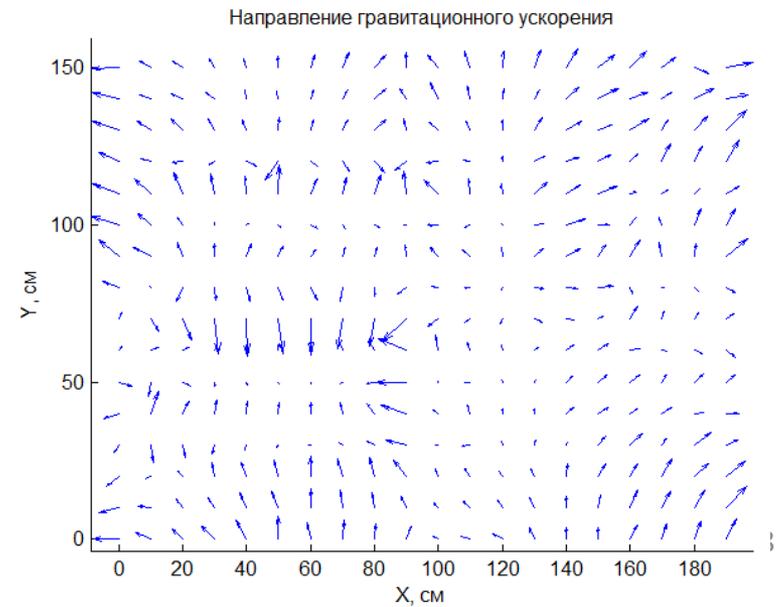
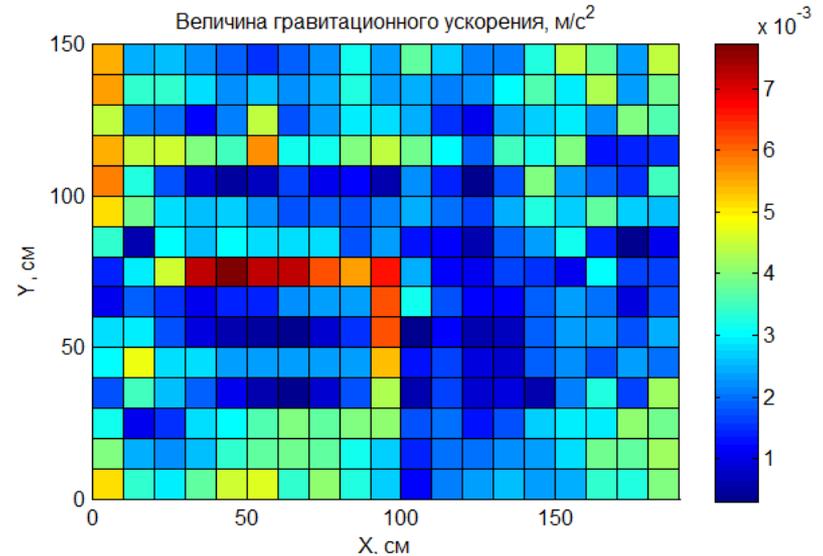
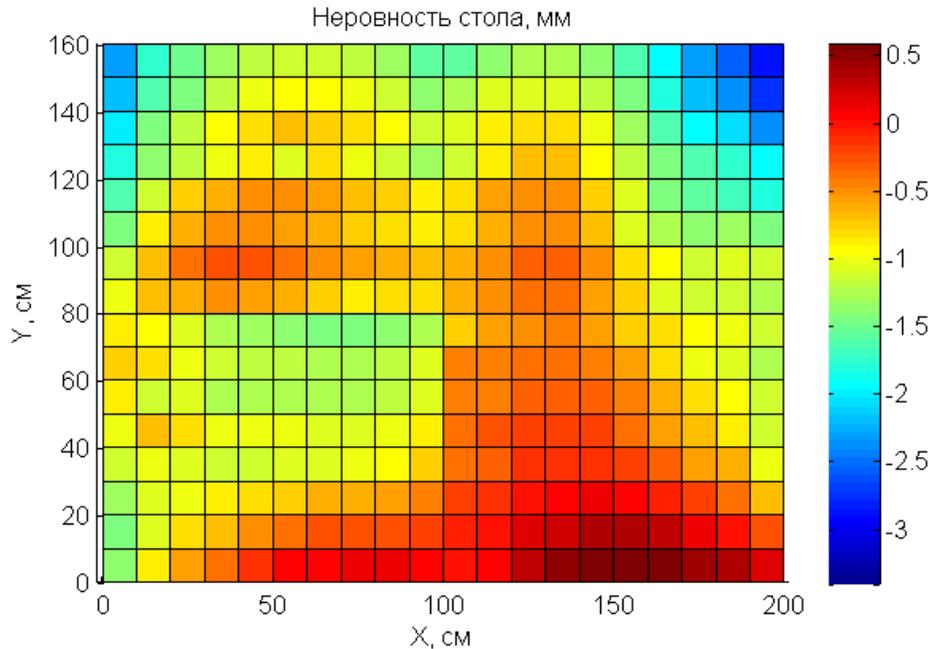
Sabatini M. et al. Image based control of the “PINOCCHIO” experimental free flying platform // Acta Astronaut. Elsevier, 2014. Vol. 94, № 1. P. 480–492.

Источники возмущений

- Гравитационные возмущения вследствие неровности стола
- Аэродинамические возмущения со стороны воздушной подушки
- Ошибки исполнения управляющих команд

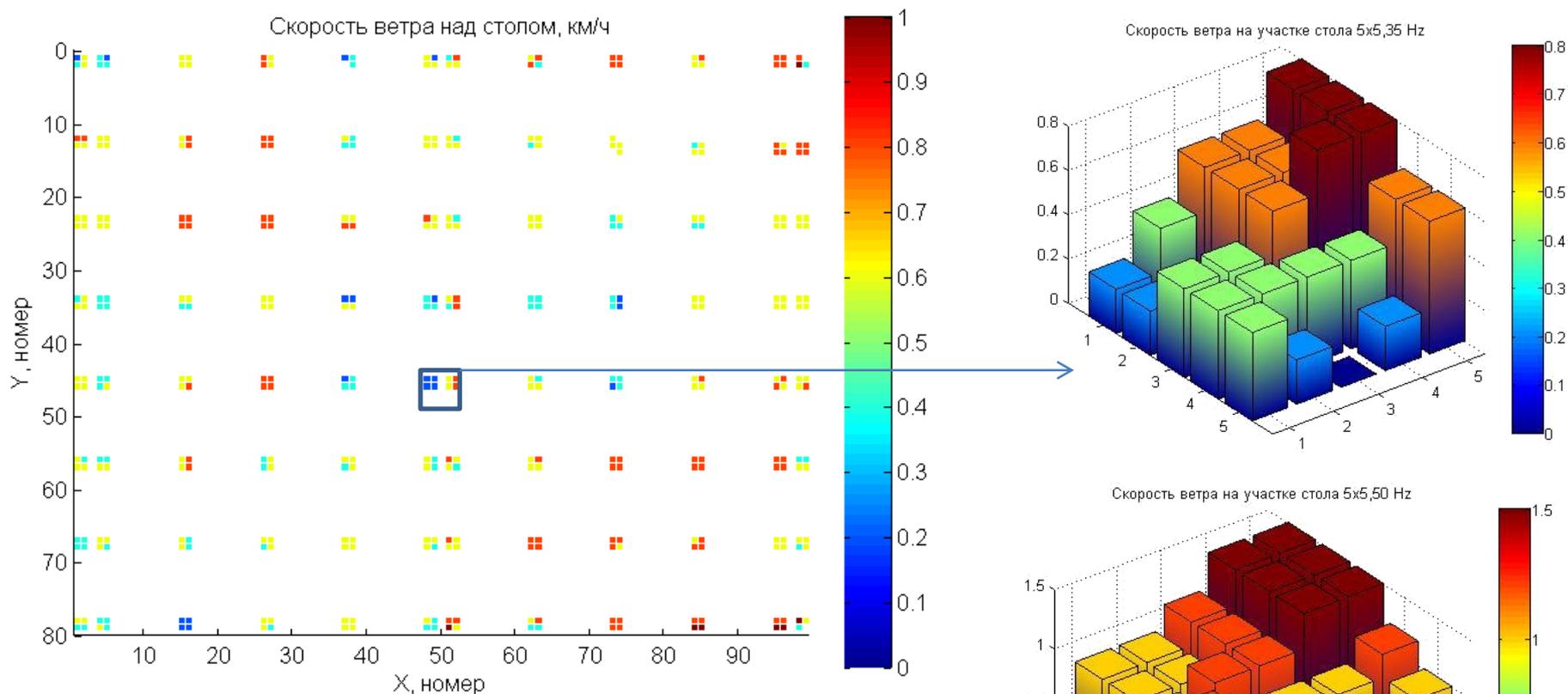
Необходимо
исследовать на этом
этапе работы

Неровность стола



- Неровность стола измерена с помощью специальной линейки
- По измерениям рассчитана проекция гравитационного ускорения на стол
- Наибольшее ускорение порядка 0.008 м/с^2

Скорость истечения из отверстий

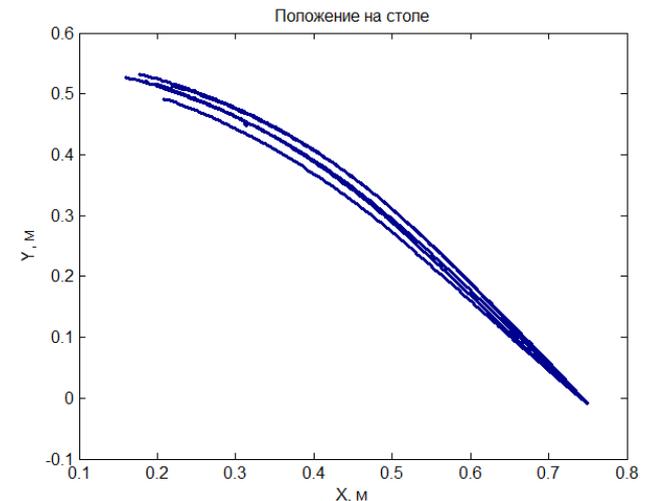
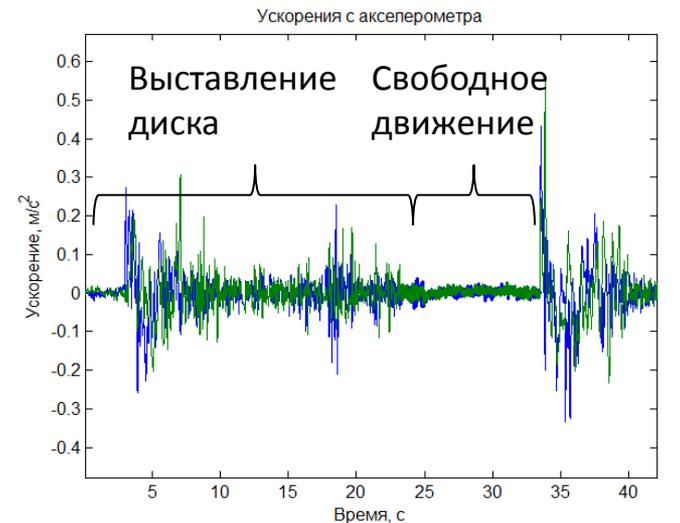


Выводы:

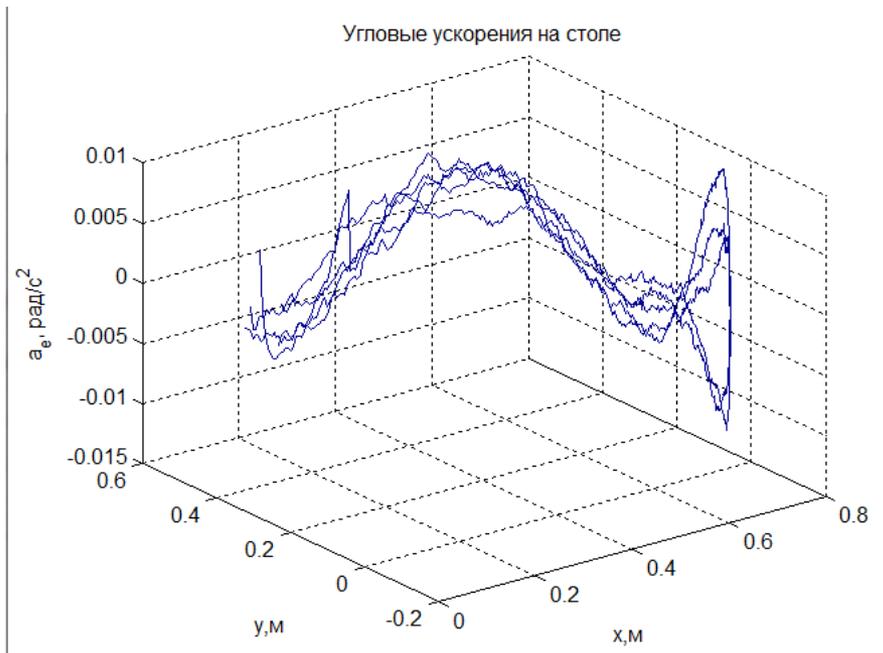
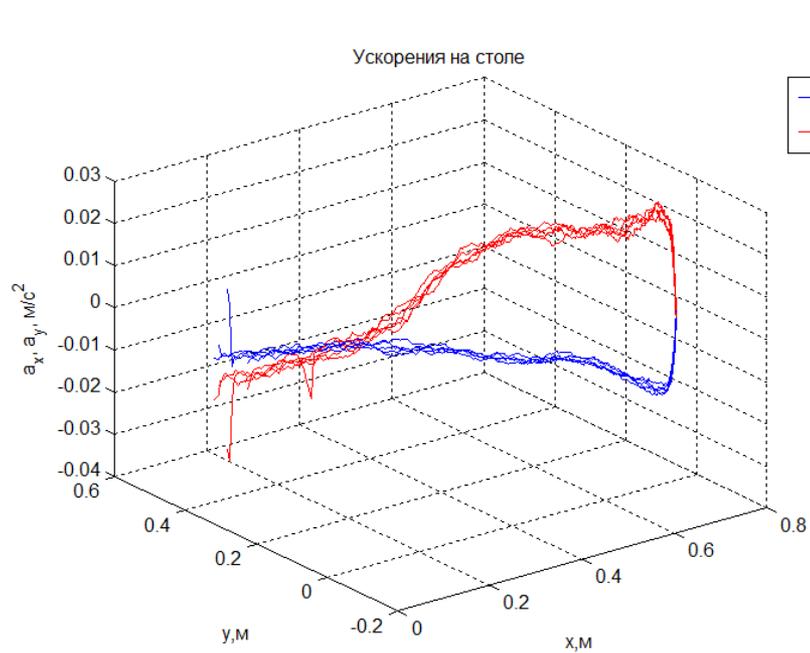
- Воздух из отверстий истекает сильно неравномерно по столу
- Есть пропорциональное изменение при различных частотах вращения вентилятора
- Необходимо измерить аэродинамическую составляющую возмущений

Методика измерения ускорений на столе

- На стол помещается диск с меткой и блоком инерциальных датчиков
- Диск помещается в заданную точку стола
- Диск совершает свободное движение
- Момент начала свободного движения отслеживается по уровню ускорения с акселерометра
- Измерения с видеокамеры обрабатываются с помощью фильтра Калмана

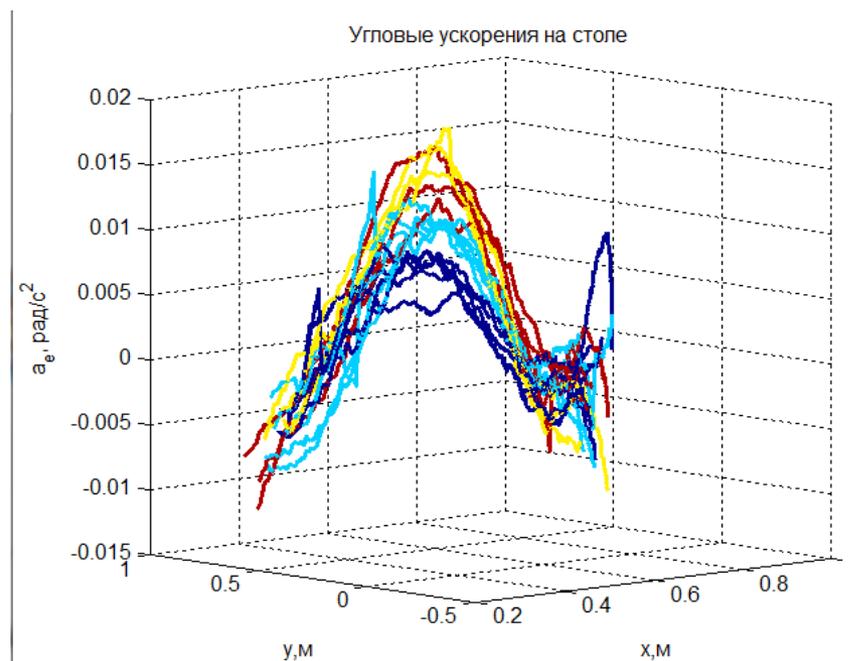
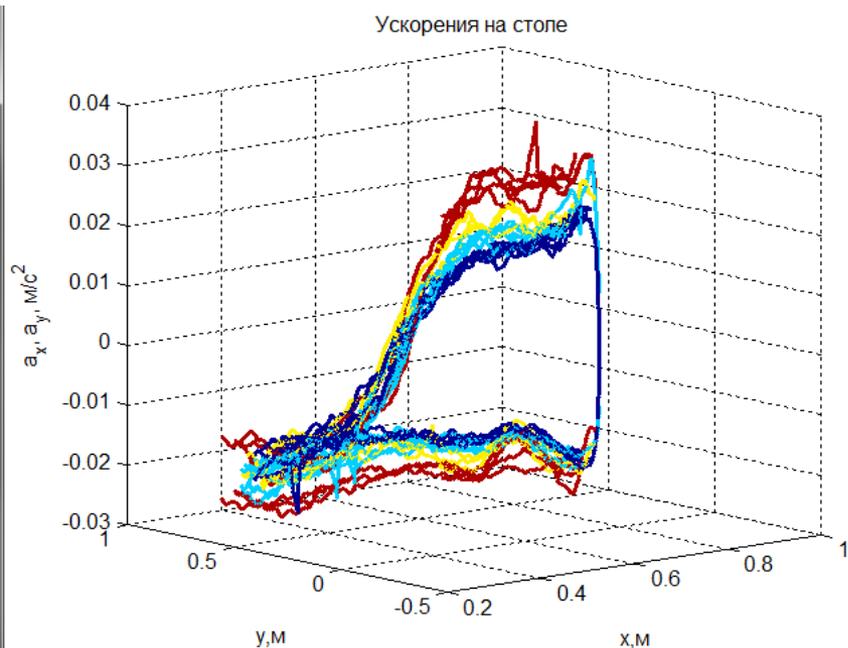


Ускорения для одной точки



Ускорения при разных частотах вентилятора

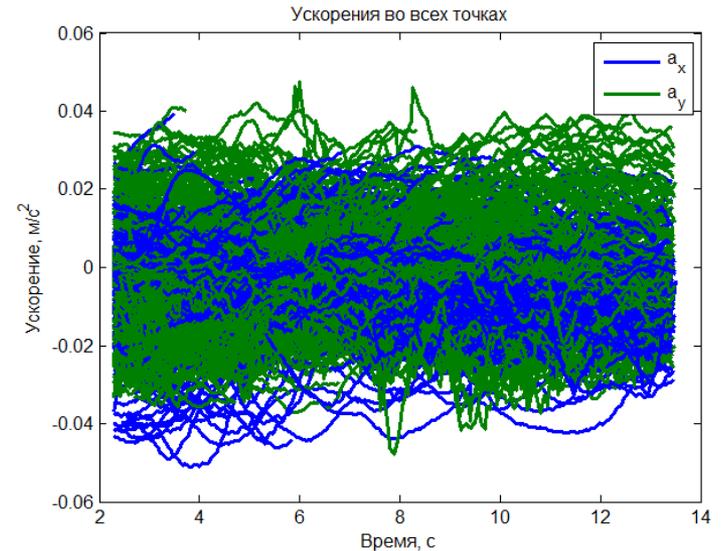
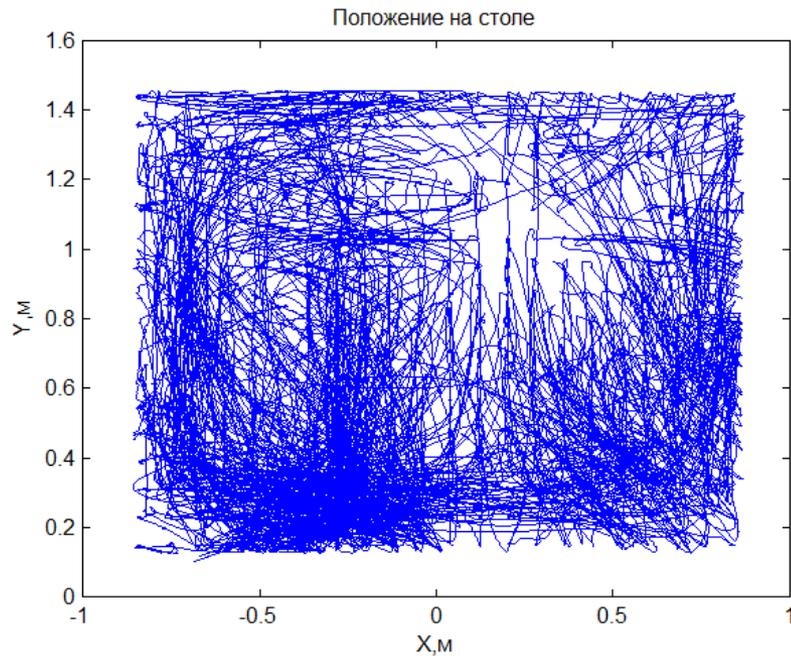
Ускорения с при старте с одной и той же точки при частотах вентилятора 35, 40, 45, 50 Гц



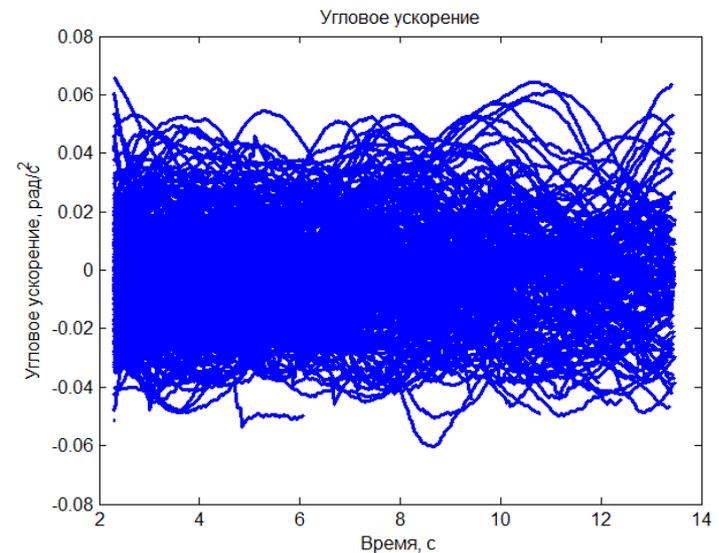
Выводы:

- Есть тенденция на пропорциональное увеличение ускорений при увеличении частоты

Эксперимент с множеством точек

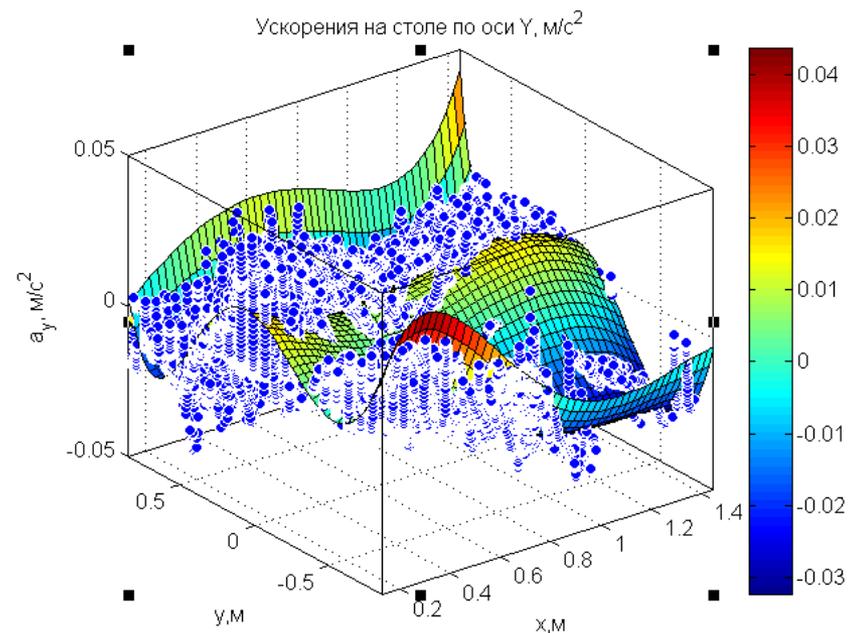
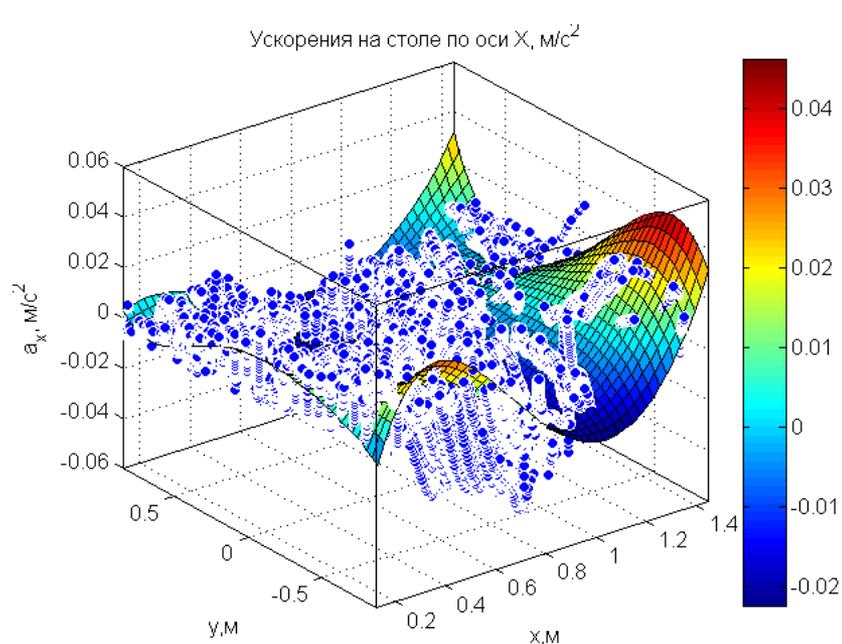


- Для построения карты возмущающих ускорений были исключены первые 2 секунды (сходимость фильтра Калмана) свободного движения и последние 3 секунды



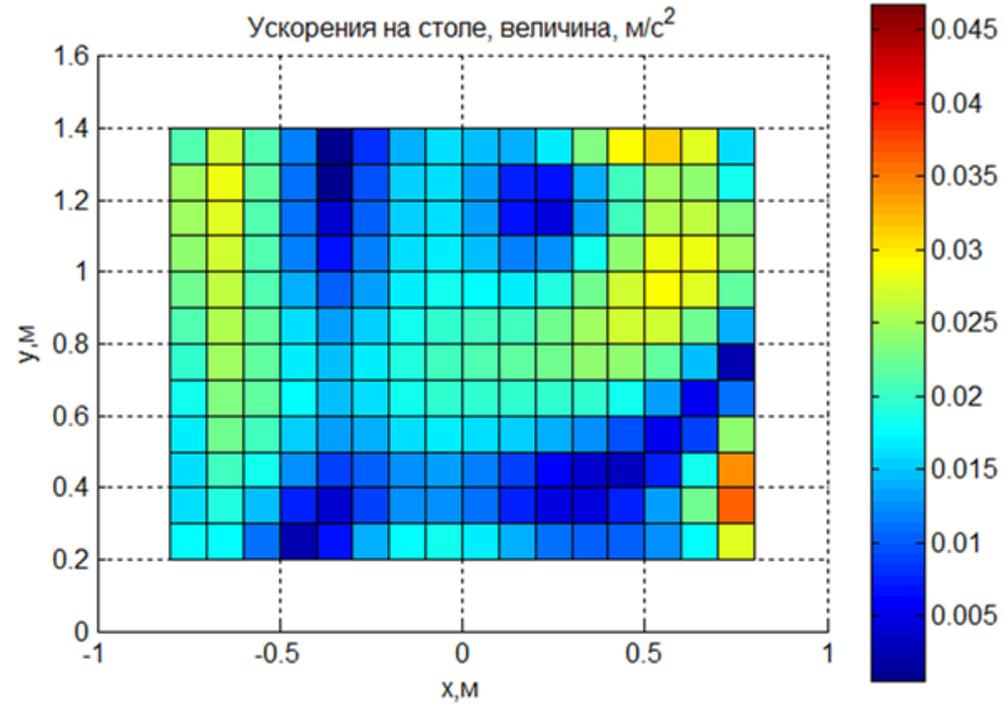
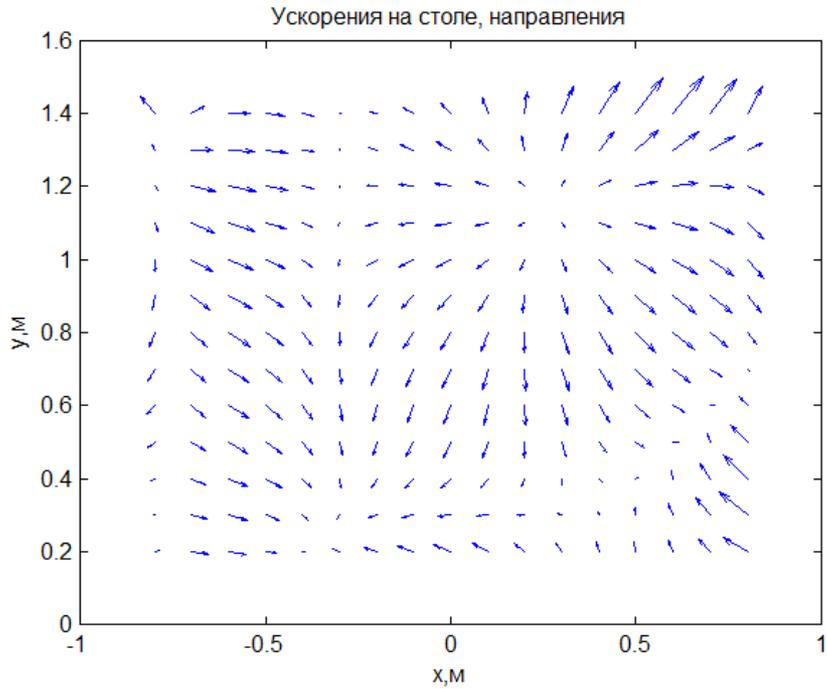
Нахождение приближающей поверхности

поверхности



- Ускорения были приближены полиномом 5-й степени

Ускорения



Заключение

- Было экспериментально определено, что возмущения со стороны аэродинамических эффектов почти на порядок превышают гравитационные
- При изменении частоты вращения вентилятора возмущения пропорционально изменяются

Спасибо за внимание!