



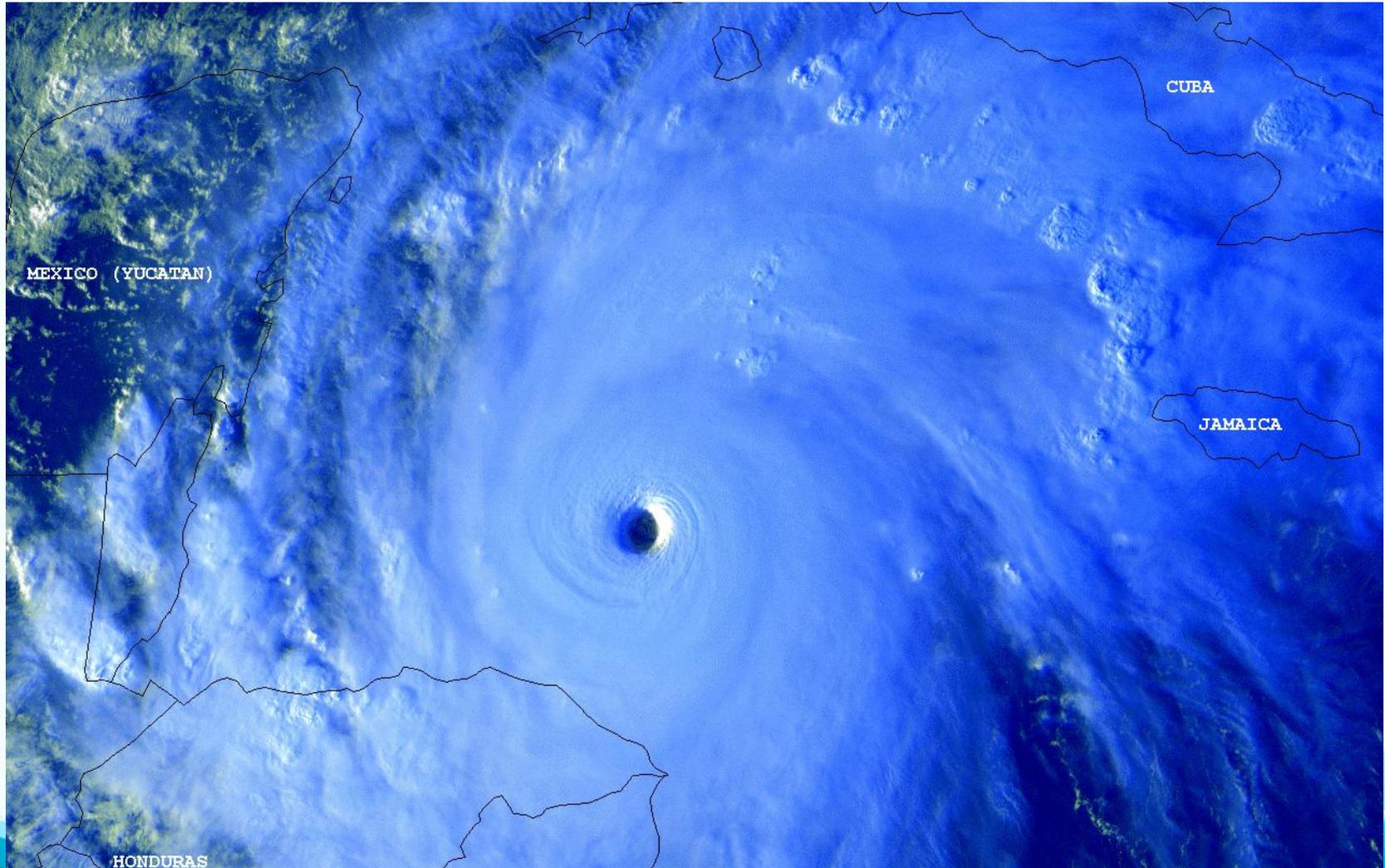
Система обработки экспериментальных данных в реальном времени на суперкомпьютерах: архитектура и применения



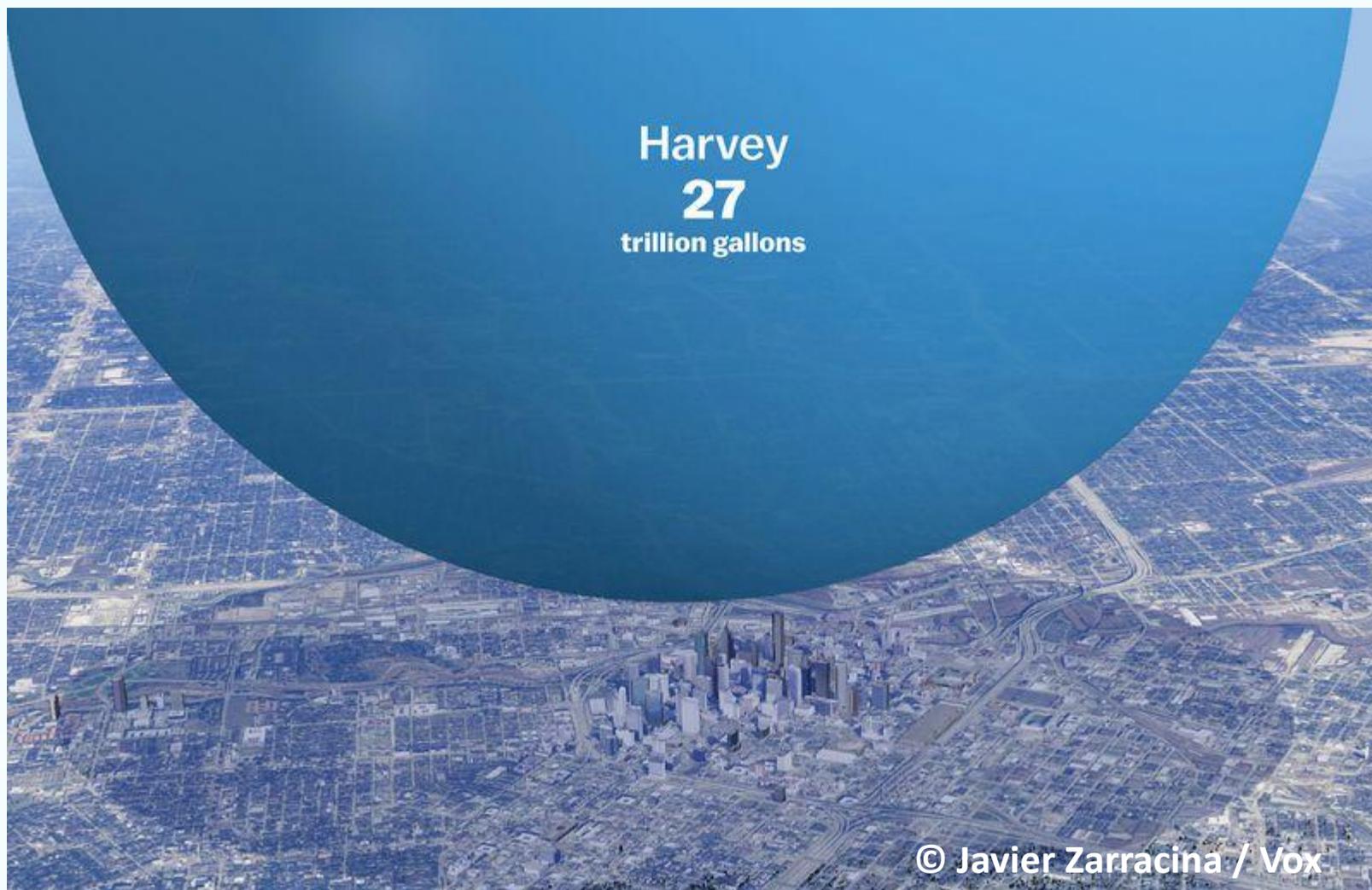
**Щапов В.А.^{1,2}, Павлинов А.М.¹,
Попова Е.Н.¹, Сухановский А.Н.¹,
Калюлин С.Л.², Модорский В.Я.²**
(1) – ИМСС УрО РАН; (2) – ПНИПУ.

Тропический циклон Митч (1998)

Общее количество погибших: 19 325 Максимальная скорость ветра: 285 км/ч



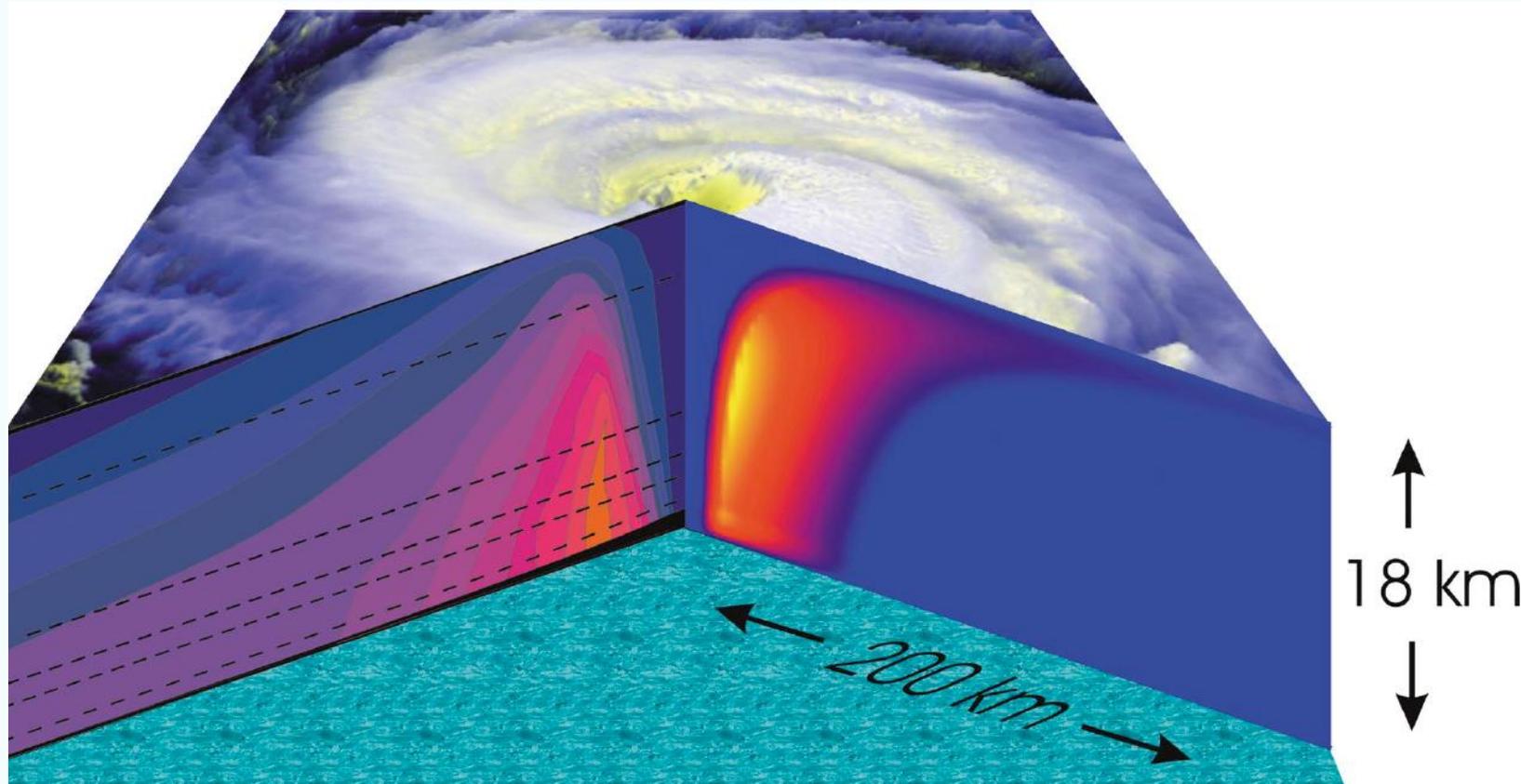
Суммарное количество воды принесенное в Техас и Луизиану тропическим циклоном Харви



Хьюстон август 2017 (Photograph by Richard Carson, Reuters)



Структура тропического циклона



Наверху спутниковое изображение облачной структуры урагана Fran (1996). В вертикальном сечении справа показано распределение вертикальной компоненты скорости (численное моделирование Emanuel 1995a). В вертикальном сечении слева показано распределение азимутальной компоненты скорости измеренной в урагане Inez в 1966 г. (Рисунок из Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2003.)

Проблемы

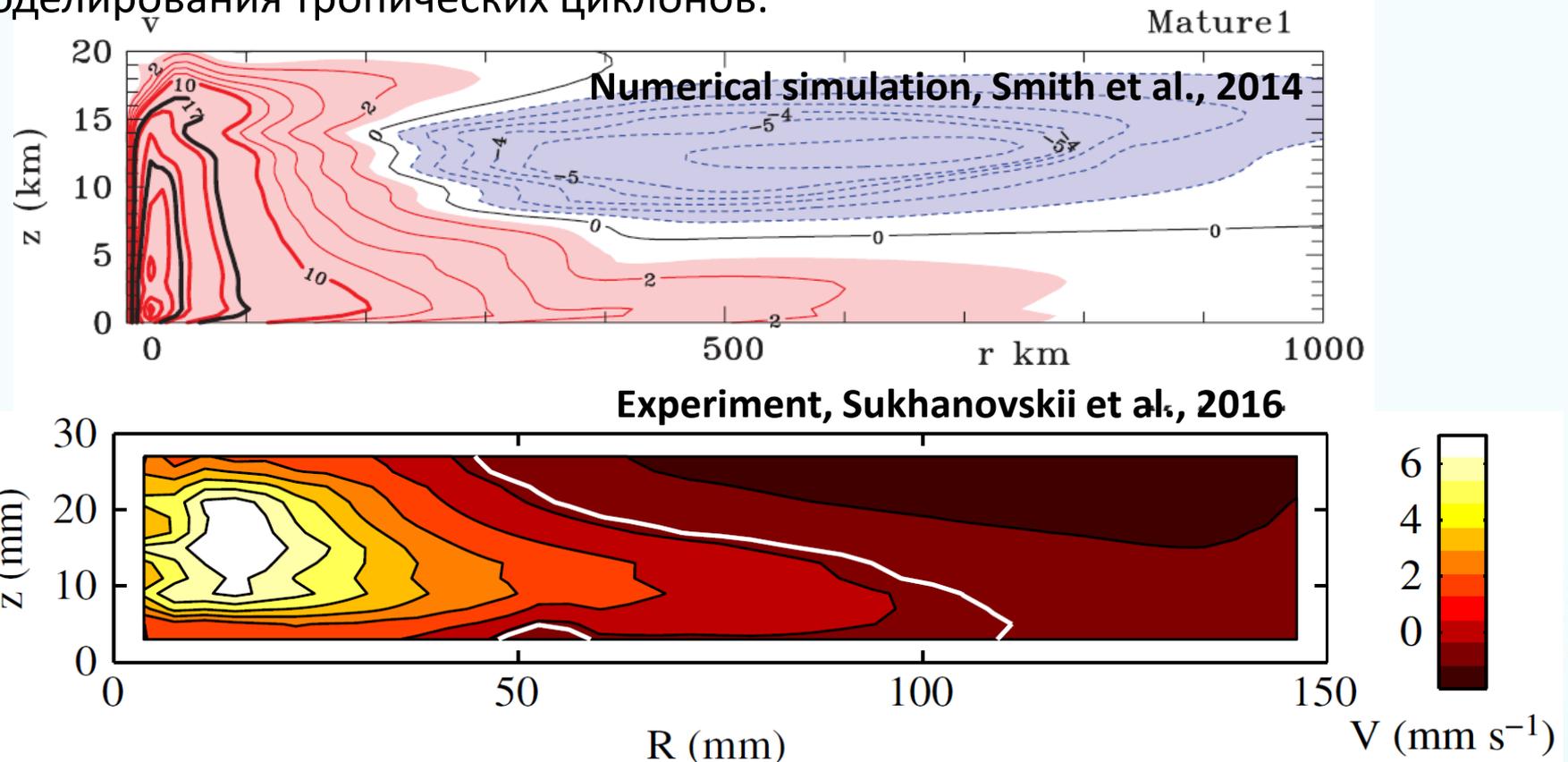
- Развитие и динамика тропического циклона в значительной степени определяется выделением тепла в результате конденсации влажного воздуха (latent heat). Именно скрытое тепло служит основным источником энергии для тропических циклонов, поэтому при выходе на сушу их интенсивность достаточно быстро ослабевает.
- Взаимосвязь скорости течения и выделения скрытого тепла является одной из ключевых, нерешенных до настоящего времени проблем. Некорректное описание теплообменных процессов в пограничном слое циклонов может служить причиной серьезных расхождений результатов прогностических математических моделей и натурных наблюдений.

Путь к решению – лабораторный эксперимент

- Лабораторный эксперимент в котором реализована обратная связь между скоростью течения и мощностью нагрева позволит приблизиться к решению этой проблемы.
- Сложности:
 - Большой объем данных лабораторного эксперимента, которые необходимо обрабатывать в реальном времени.
 - Ресурсоемкость алгоритмов обработки данных.
 - Технические задачи сопряжения различных элементов системы, таких как сбор данных, хранение данных, обработка данных и контроль нагрева.

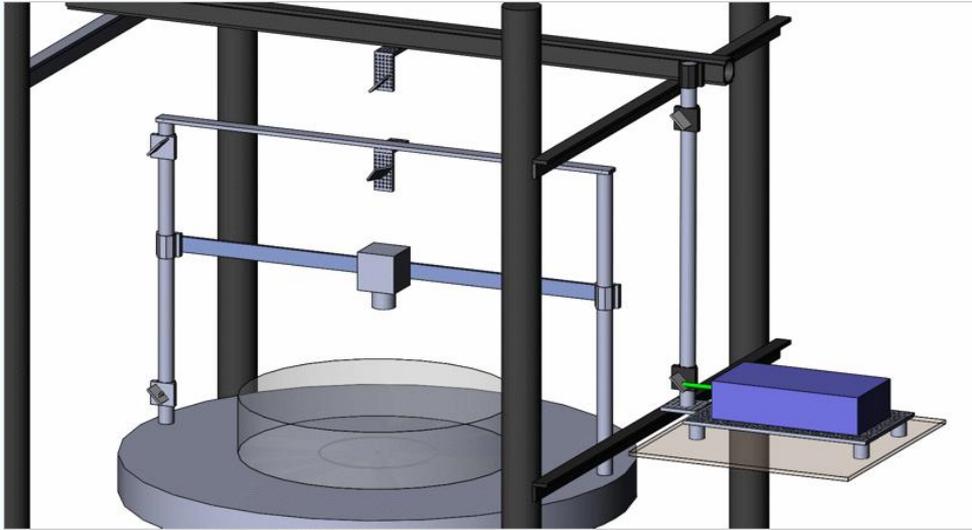
Верификация метода

Сравнение с натурными наблюдениями и полномасштабными численными моделями показало применимость предложенного подхода для моделирования тропических циклонов.

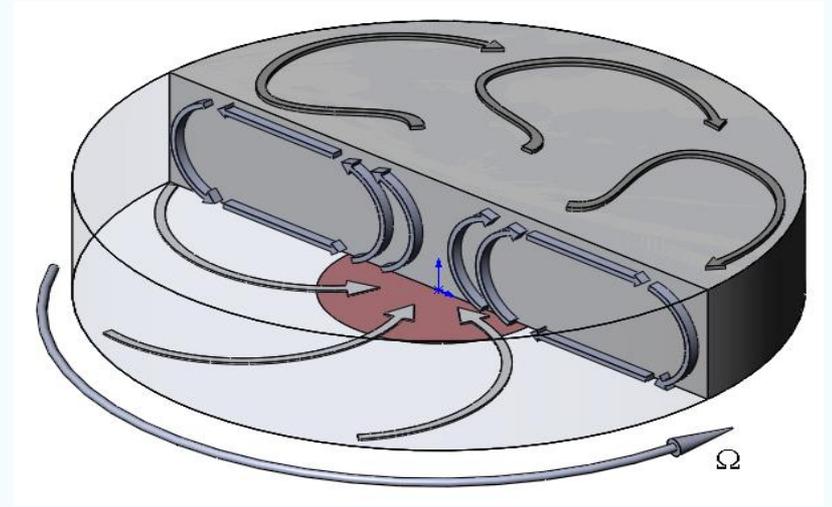


Средние поля азимутальной скорости в численной модели и эксперименте. Положительные значения – циклоническое движение, отрицательные – антициклоническое.

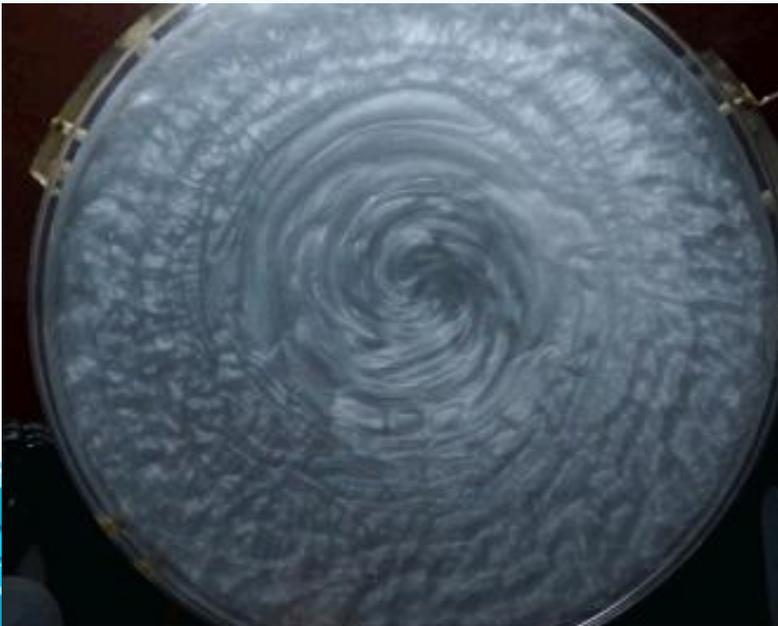
Лабораторная модель тропического циклона



Экспериментальный стенд

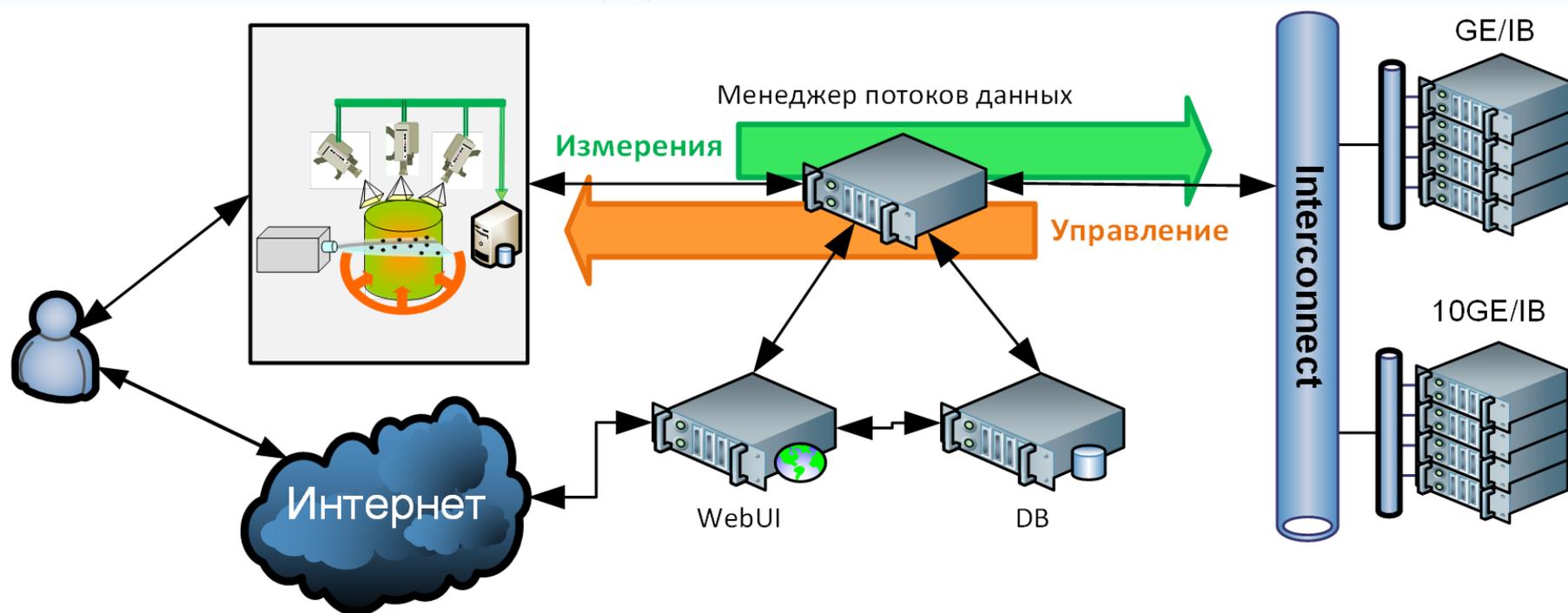


Структура течений во вращающемся слое с локализованным нагревом



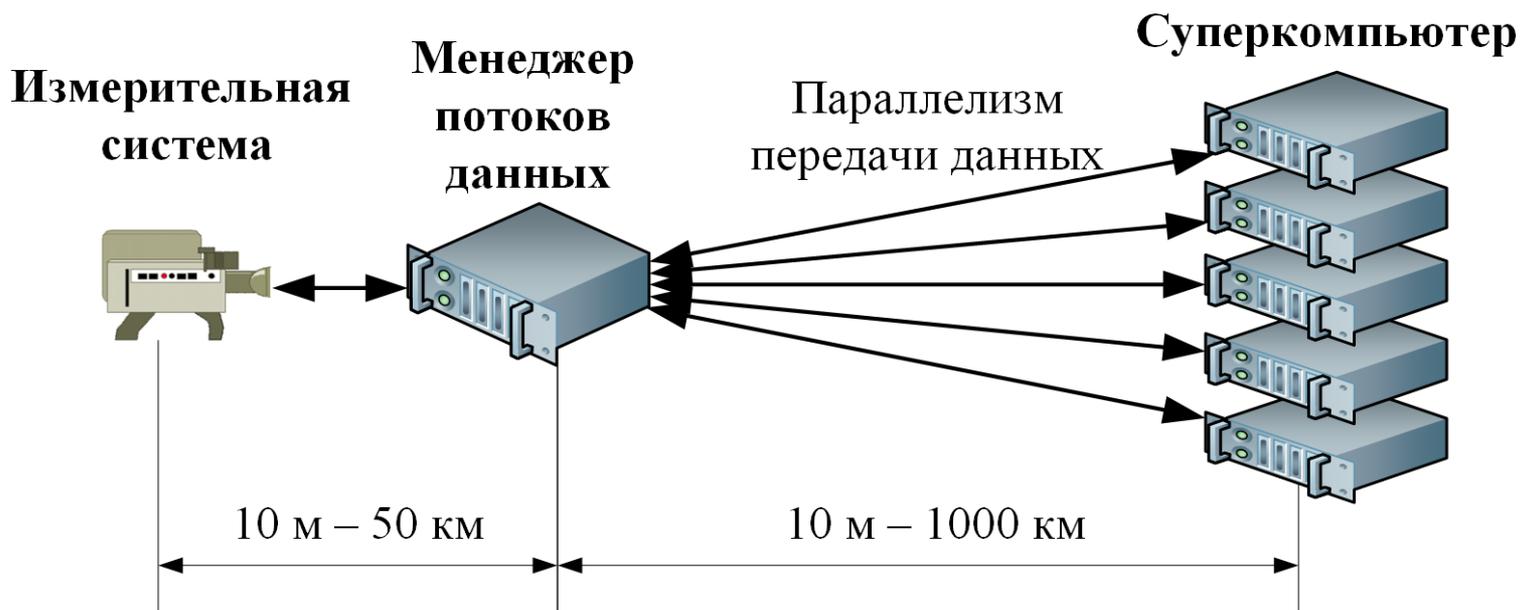
Визуализация при помощи алюминиевой пудры. Вид сверху, камера расположена на вращающемся столе.

Схема потоков данных



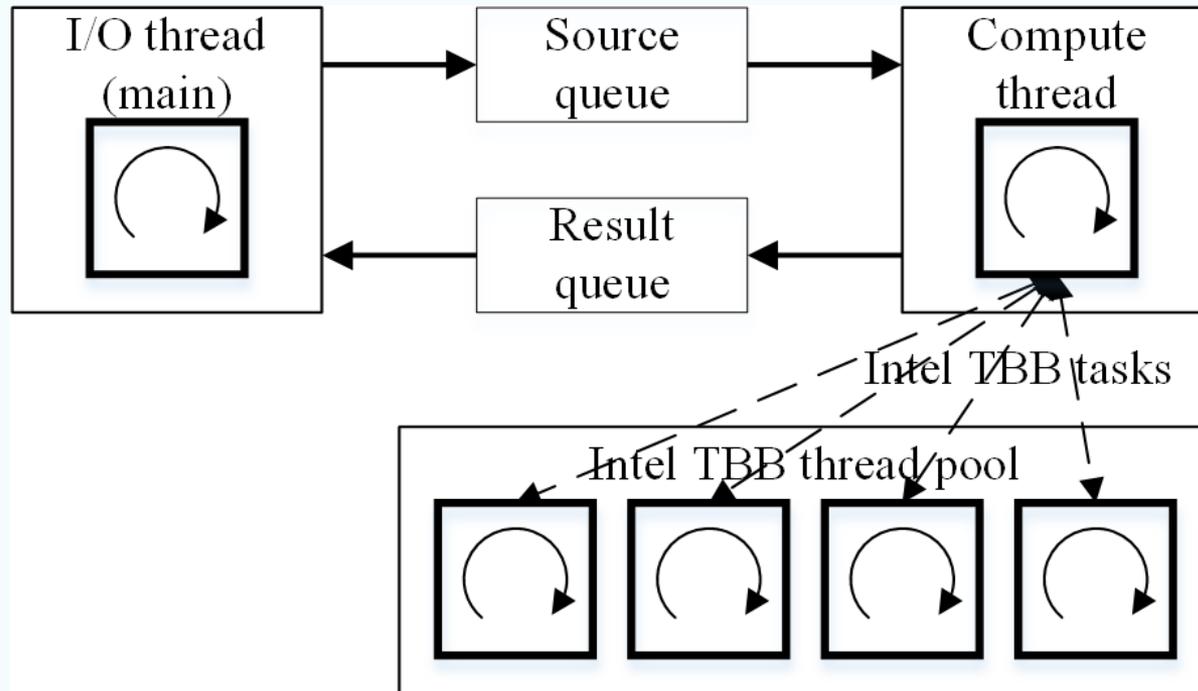
- Измерения состоят из пары фотографий.
- Поток измерений и результатов организованы в форме очередей в менеджере потоков данных. Стратегия передачи измерений – FIFO.
- Измерения одного эксперимента имеют сквозную нумерацию, что позволяет восстановить реальный порядок результатов обработки.

Параллелизм передачи данных



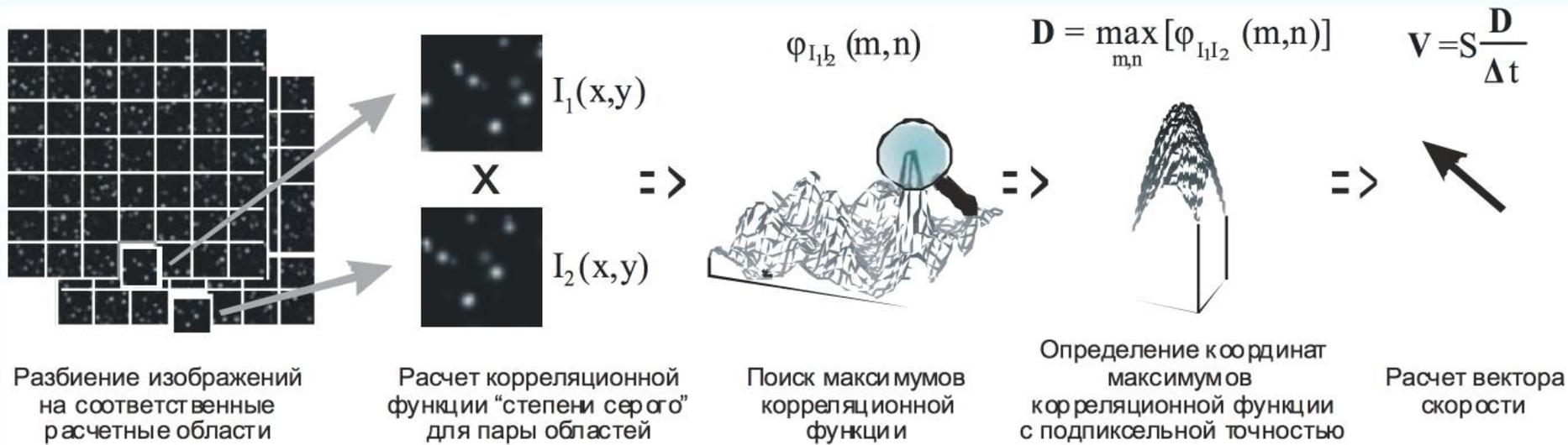
- Перенос задачи распределения данных по узлам на менеджер потоков данных.
- Каждый вычислитель запрашивает данных для обработки независимо от других узлов.
- Параллелизм передачи данных на участке от менеджера потока данных до суперкомпьютера получается естественным путем, что повышает эффективность передачи данных в случае использования удаленного суперкомпьютера.

Архитектура расчетного приложения



- Внутренние очереди для упреждающей загрузки исходных данных и фоновой отправки результатов обработки.
- Пул потоков для обработки расчетных областей.

Параллелизм обработки данных

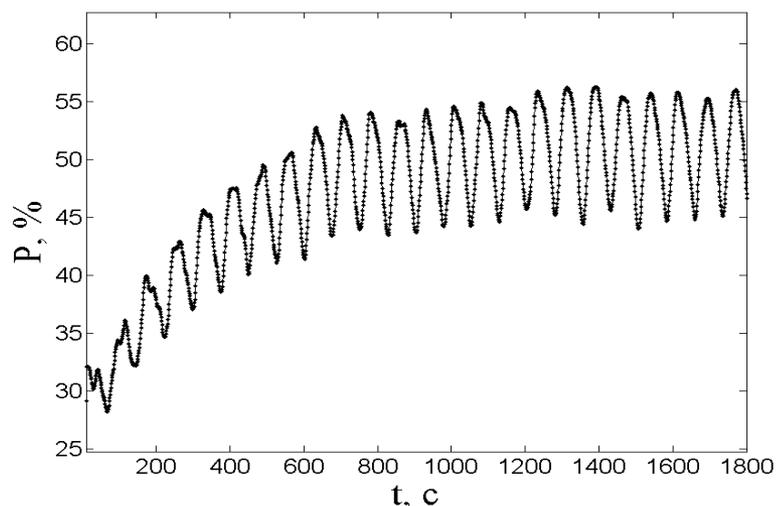


- Расчетные области обрабатываются независимо друг от друга параллельными потоками на разных ядрах вычислительного узла (Intel TBB). Оптимальное число ядер зависит от параметров расчета.
- Обработка изображений оптимизирована с помощью Intel MKL, Intel IPP и ручной векторизации алгоритмов.

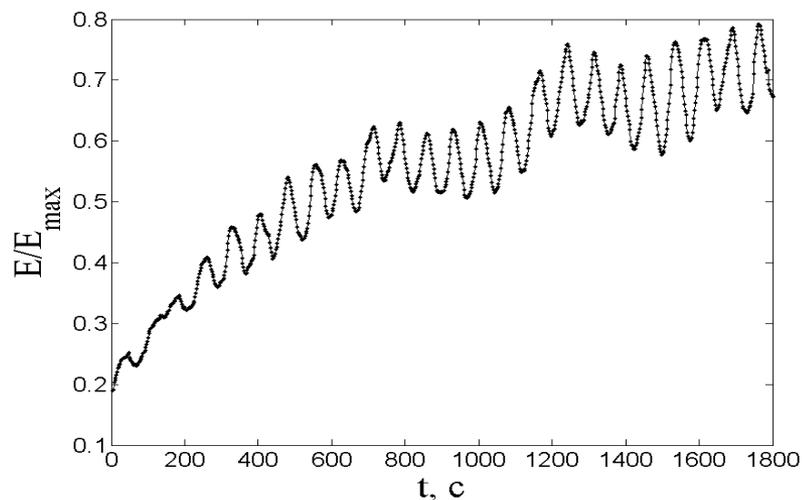
Тестовый эксперимент

Ход эксперимента:

1. Формирование твердотельного вращения (около 2 часов)
2. Начальное возмущение (нагрев в течение 30 секунд).
3. Переход к нагреву с обратной связью. Для тестового эксперимента задавалась линейная зависимость между средней радиальной скоростью и мощностью нагрева.

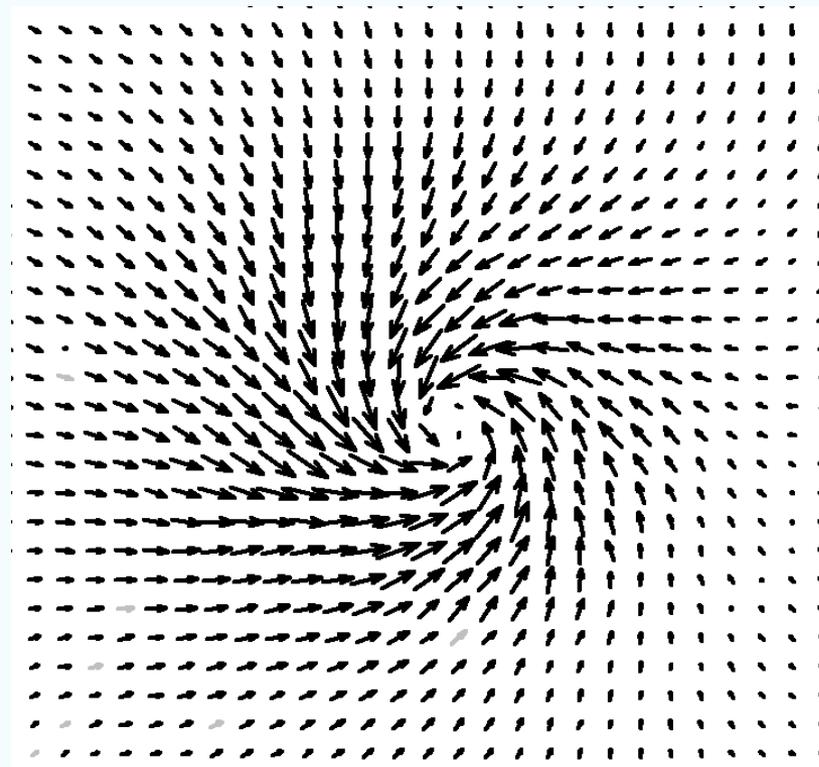
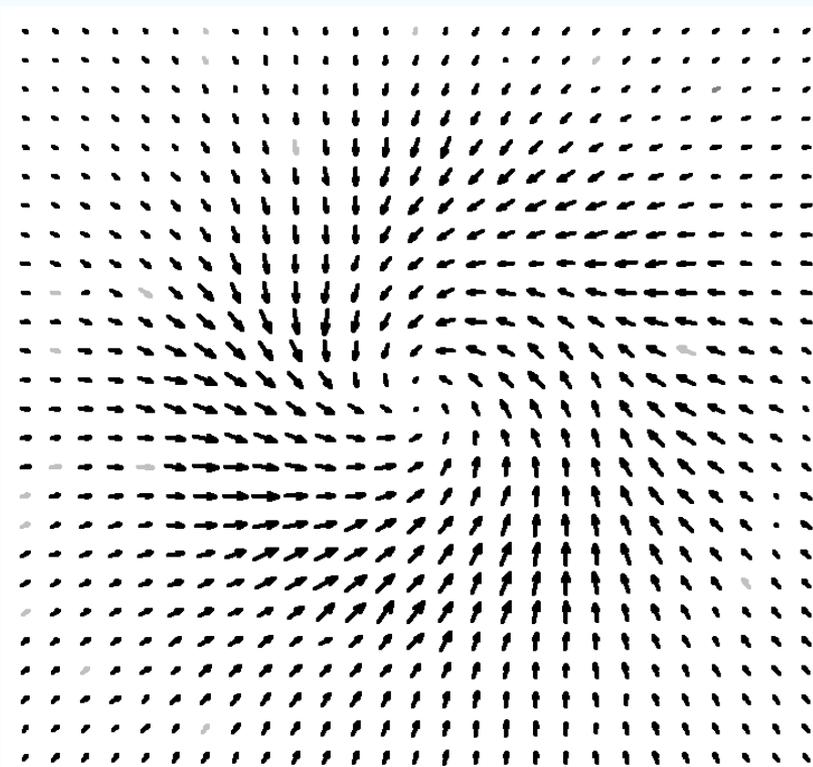


Зависимость мощности нагрева (в процентах от максимальной)



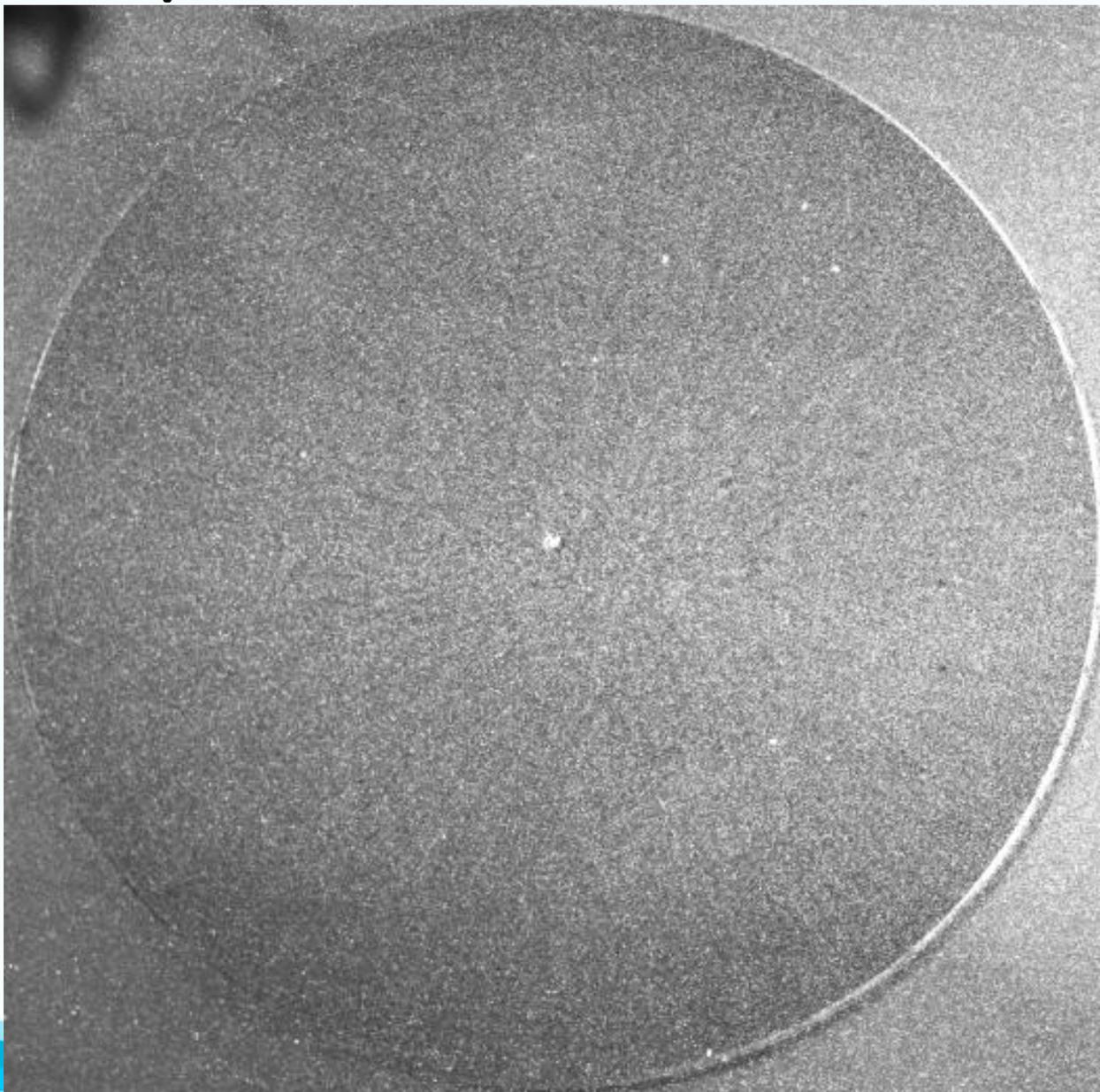
Зависимость кинетической энергии циклонического движения в области измерений.

Векторные поля скорости, слева для $t=100$ с, справа для $t=1500$ с.



Проведенный эксперимент показал работоспособность предложенной связки системы измерений, многопроцессорной вычислительной системы и системы контроля нагрева. В настоящий момент проводится детальное исследование влияния функциональных зависимостей между интенсивностью нагрева и структурой течения.

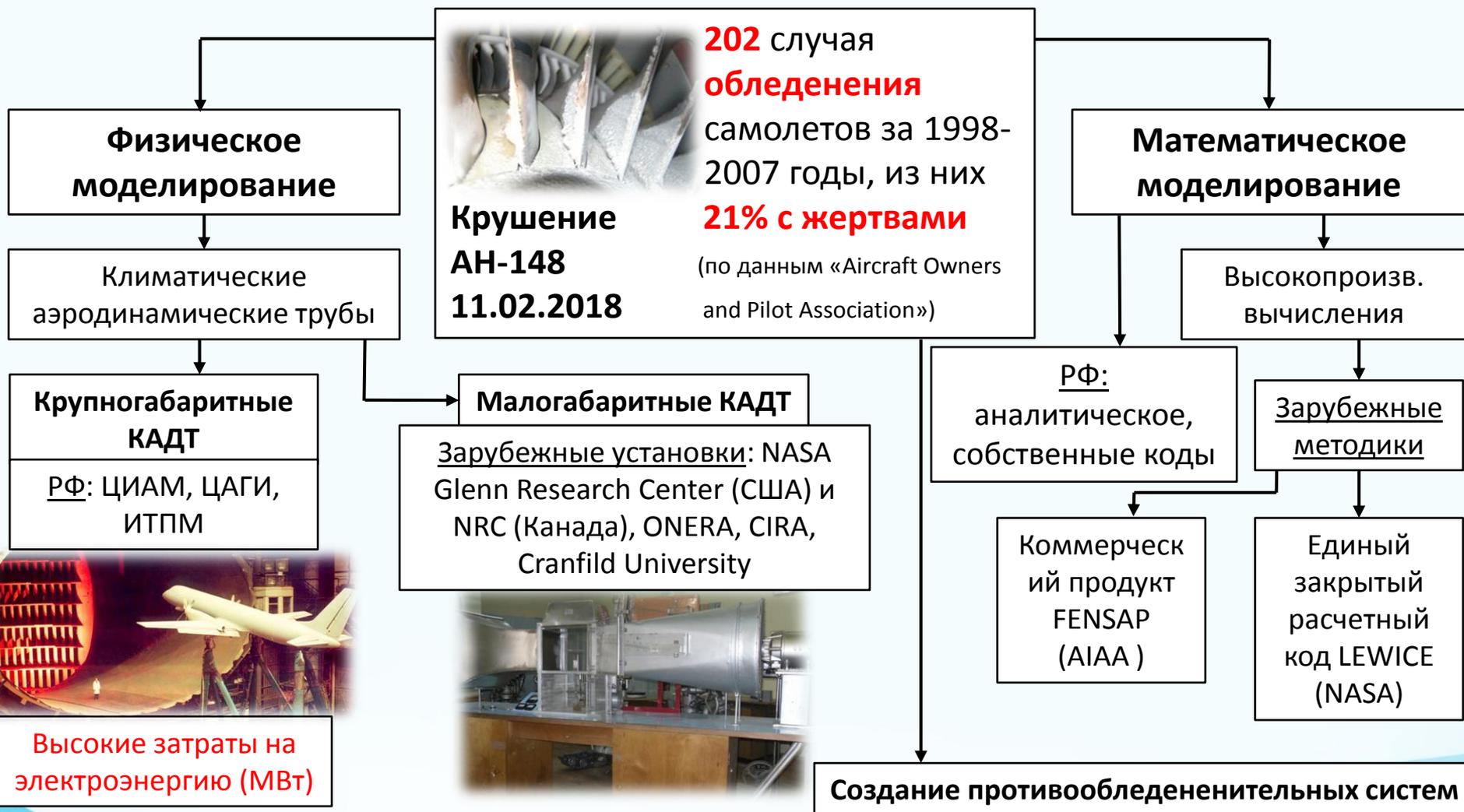
Ход эксперимента



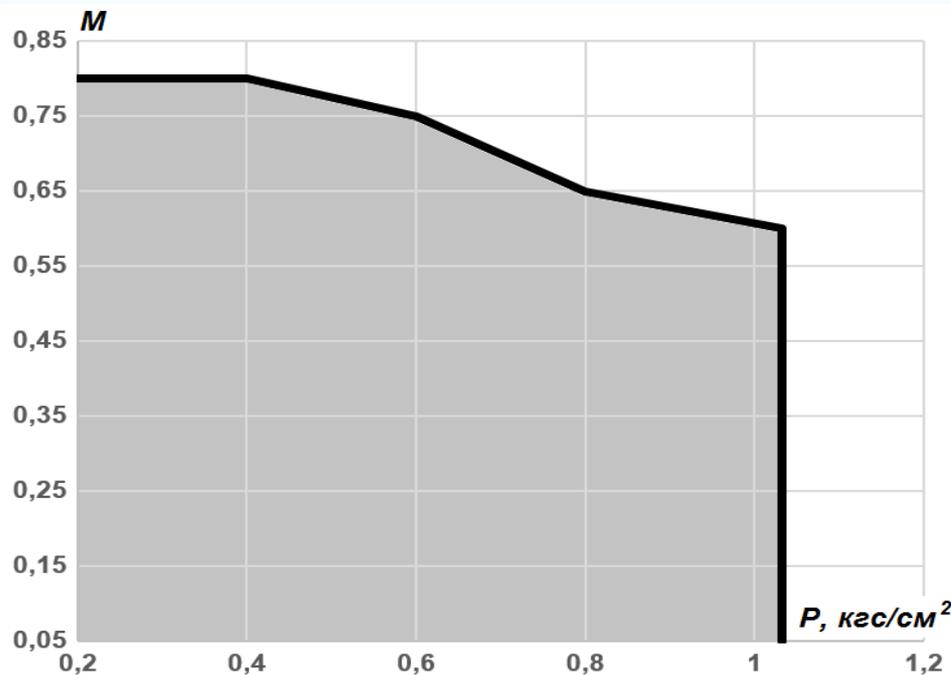


Применение методов регистрации и обработки быстропротекающих процессов для исследования процессов обледенения элементов конструкции летательных аппаратов

Актуальность исследования



Физическое моделирование процессов обледенения



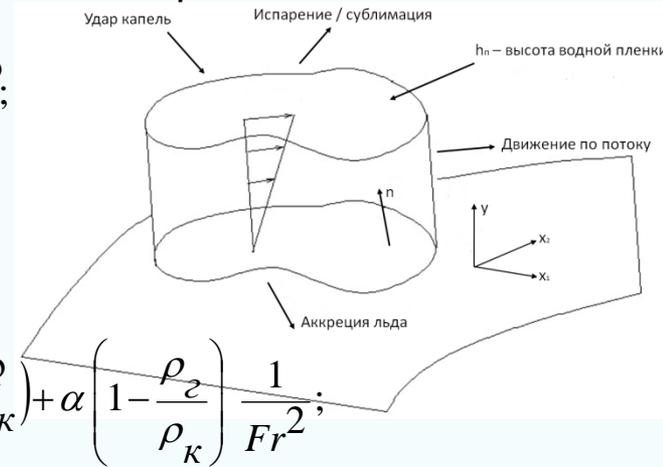
- В ПНИПУ предполагается создание малогабаритной климатической аэродинамической трубы (МКАДТ) для исследования процессов обледенения с использованием электродвигателя мощностью 0,3 МВт.

Численное моделирование процессов обледенения

1. Газодинамический этап, модель турбулентности Спаларта-Аллмараса

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_2 \mathbf{V}_2) = 0; \quad \frac{\partial \rho_2 \cdot \mathbf{V}_2}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_2 \cdot \mathbf{V}_2 \otimes \mathbf{V}_2) = \nabla \cdot \sigma^{ij} + \rho_2 \cdot \mathbf{g};$$

$$\frac{\partial (\rho_2 \cdot E_2)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_2 \cdot \mathbf{V}_2 \cdot H_2) = \nabla \cdot (k_2 (\nabla T_2) + \nu^i \tau^{ij}) + \rho_2 \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{V}_2;$$



2. Жидкостный этап

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \cdot \mathbf{V}_K) = 0; \quad \frac{\partial (\alpha \mathbf{V}_K)}{\partial t} + \nabla \cdot [\alpha \mathbf{V}_K \otimes \mathbf{V}_K] = \frac{C_D \text{Re}_K}{24K} \alpha (\mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_K) + \alpha \left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_K} \right) \frac{1}{Fr^2};$$

3. Этап моделирования ледяных наростов

$$\rho_s \left[\frac{\partial h_n}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\mathbf{V}}_n h_n) \right] = V_{\infty} f \cdot \beta - \dot{m}_{\text{испарения}} - \dot{m}_{\text{льда}};$$

$$\rho_s \left[\frac{\partial h_n c_s T_n}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\mathbf{V}}_n h_n c_s \tilde{T}_n) \right] = \left[c_n (\tilde{T}_{2,\infty} - \tilde{T}_n) + \frac{\|\mathbf{V}_K\|^2}{2} \right] V_{2,\infty} f \cdot \beta - L_{\text{исп}} \dot{m}_{\text{исп}} + (L_{\text{плавл}} - c_{\text{льда}} \tilde{T}) \dot{m}_{\text{льда}} - \lambda (\tilde{T}_n - \tilde{T}_{\text{льда}});$$

$$\begin{cases} h_n \geq 0; \dot{m}_{\text{льда}} \geq 0; \\ h_n \tilde{T}_n \geq 0; \dot{m}_{\text{льда}} \tilde{T}_n \leq 0 \end{cases}$$

– система неравенств, определяющих ограничения по фазовому переходу.

Процесс проведения совместного эксперимента



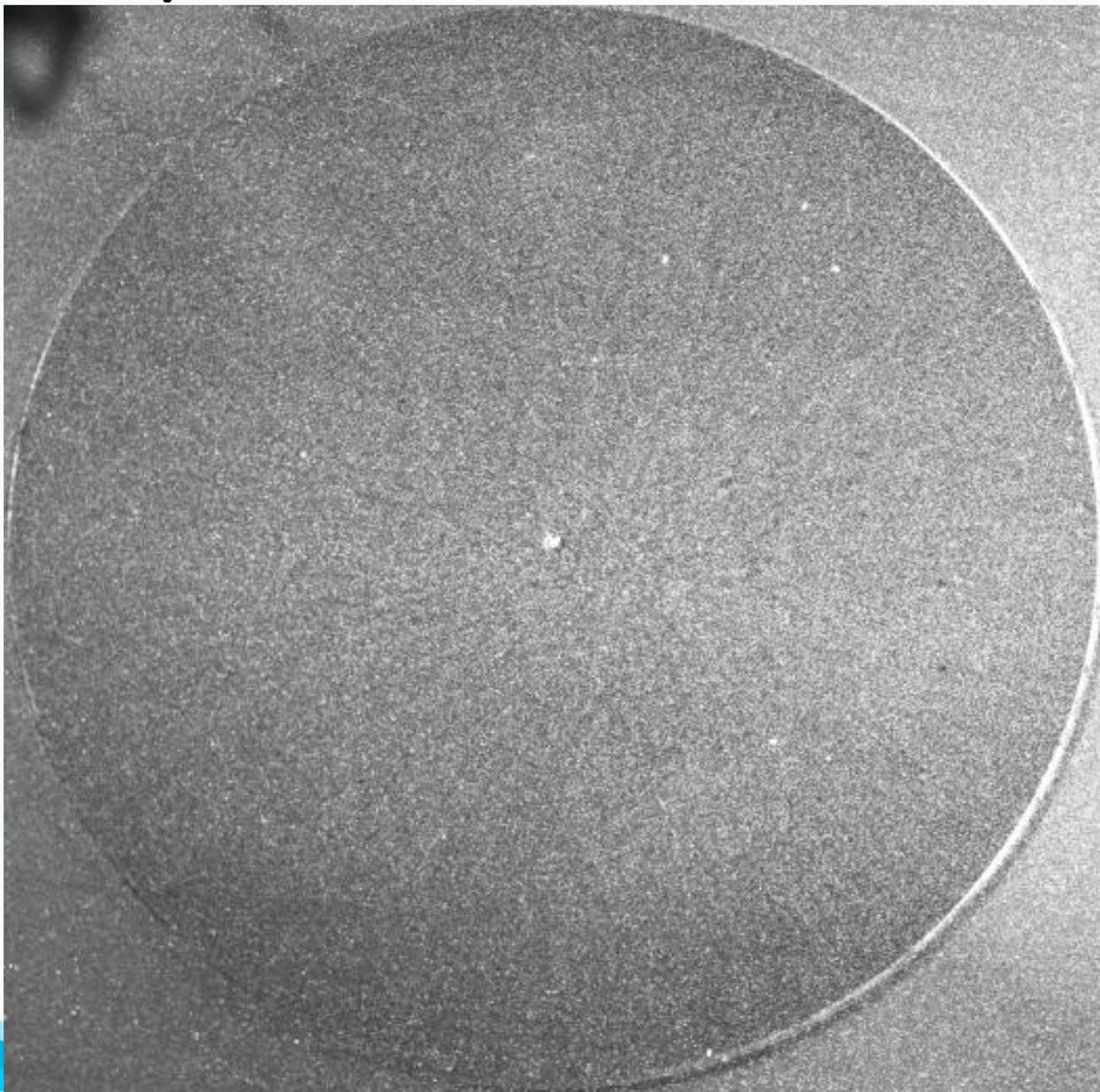


Спасибо за внимание!



**Щапов В.А.^{1,2}, Павлинов А.М.¹,
Попова Е.Н.¹, Сухановский А.Н.¹,
Калюлин С.Л.², Модорский В.Я.²**
(1) – ИМСС УрО РАН; (2) – ПНИПУ.

Ход эксперимента



Инфраструктура ЦКП. Оптическая сеть

Оптическая инфраструктура сети ПФИЦ УрО РАН

1. Объединяет институты ПФИЦ УрО РАН:
ГИ – Горный институт
ИЭГМ – Институт экологии и генетики микроорганизмов
ИТХ – Институт технической химии
ИМСС – Институт механики сплошных сред
Президиум ПНЦ
2. Сопрягается с сетями ПНИПУ, ПГНИУ (Пермь) и ИММ УрО РАН (Екатеринбург)
3. Имеет точки присутствия на площадках операторов связи: Транстелеком, НПО «Импульс»

ВОЛС ИМСС УрО РАН (2004 - 2017)
Протяжённость: 47,4 км (+ 456км DWDM)

CWDM каналы связи ($6 \times 10 \text{ Гбит/с} = 60 \text{ Гбит/с}$)
связывают ресурсы ИМСС с Президиумом ПНЦ



Инфраструктура ЦКП

Проекты



Инициатива GIGA



Распределённый PIV



Корпоративная оптическая сеть



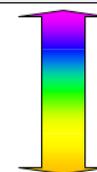
Распределённый interconnect

ЦОД ИММ



Суперкомпьютер
УРАН 240Tflops

Екатеринбург



DWDM 40G
L=456km

Пермь



ЦОД ИМСС



- 2 машинных зала
- 7 стоек с возможностью расширения
- 90 кВт подключение
- 70 кВт охлаждения
- Резерв для расширения

Вычислительный ресурс



832 процессорных ядра

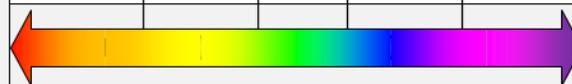


2Тб оперативной памяти



23.1 Тфлопс пиковой производительности

Институты ПФИЦ



CWDM 40G

Информационный ресурс



10+ физических серверов:
общее количество ядер 60,
памяти – 416Гб



запуск служб и сервисов в
облаке



2 дисковых массива – общее
пространство 40Тб

Пермь



ЦОД ПНЦ



- 2 машинных зала
- 7 стоек с возможностью расширения
- 50 кВт подключение
- 50 кВт охлаждения
- Резерв для расширения

Сетевой ресурс



40G внутри корпоративной сети
40G «Пермь-Екатеринбург»



Основной и резервный канал
между площадками ИМСС и ПНЦ