

Факультет вычислительной математики и кибернетики



МГУ имени М.В. Ломоносова

**Суперкомпьютерный потенциал:
Ускорение открытий и инноваций в
образовании и науке**

Алексей Евгеньевич Маслов

**Лаборатория
суперкомпьютерных
вычислений**





Суперкомпьютеры МГУ

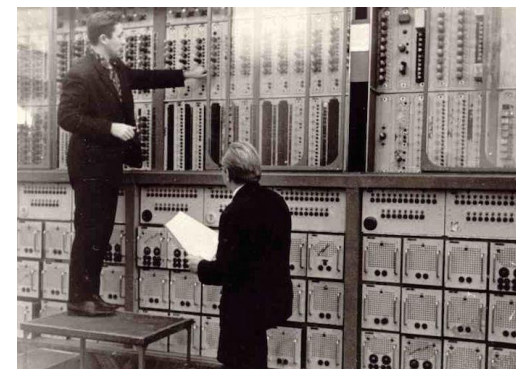
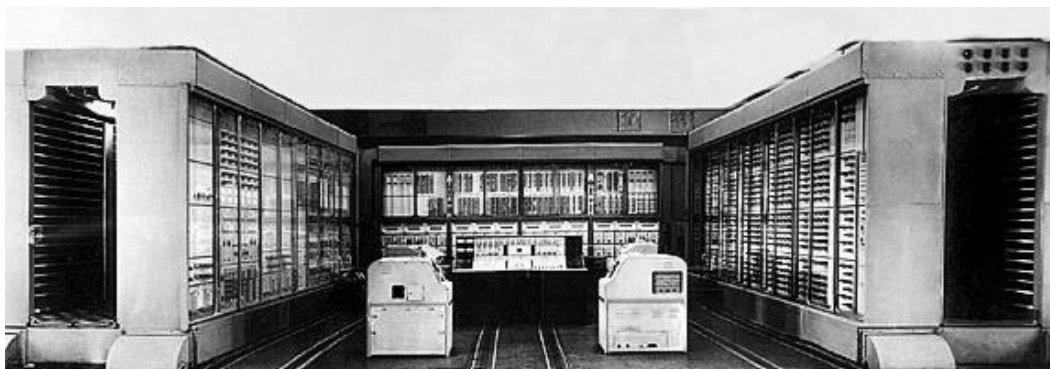
краткая справка



В середине 1950-х годов именно Московский университет стал первым вузом в стране с собственным вычислительным центром. И сегодня он является лидером в России в области суперкомпьютерных технологий. Центр суперкомпьютерного моделирования и вычислений МГУ располагает одними из самых мощных вычислительных ресурсов в стране, которые активно используются для решения задач в науке, промышленности, экономике и других сферах.

Основные суперкомпьютеры МГУ

1. **«Стрела»** - советская электронно-вычислительная машина первого поколения, появившаяся в МГУ в 1956 году. Занимаемая площадь составляла 200 квадратных метров. Производительность **2000 операций/сек.** Количество ламп 8000.





Суперкомпьютеры МГУ

краткая справка



Основные суперкомпьютеры МГУ

2. «**Чебышёв**» — один из первых суперкомпьютеров МГУ, разработанный на основе суперкомпьютерной программы «СКИФ-ГРИД» и запущенный в работу в МГУ в **2008 году**. Он позволил МГУ войти в международный рейтинг TOP500 самых мощных суперкомпьютеров мира. Суперкомпьютер «Чебышёв» стал важным этапом в развитии суперкомпьютерных технологий университета и послужил основой для последующих проектов.

- Число вычислительных узлов/процессоров — 625/1250
- Тип процессора — четырёхъядерный Intel Xeon E5472, 3,0 ГГц
- Пиковая производительность — **60 TFLOPS**
- Производительность в тесте Linpack — **47,17 TFLOPS** (78,6 % от пиковой)
- Тип сети DDR InfiniBand (Mellanox ConnectX)
- Скорость передачи сообщений между узлами — не менее 1450 Мб/сек
- Оперативная память — 5,5 ТВ
- Дисковая память узлов — 15 ТВ
- Объём системы хранения данных — 60 ТВ
- Занимаемая площадь — 96 м²





Суперкомпьютеры МГУ краткая справка



Основные суперкомпьютеры МГУ

- Blue Gene.** С 2008 года на факультете ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова работает суперкомпьютер IBM Blue Gene, который является одной из первых систем данной серии среди установленных в мире. В 2009 году суперкомпьютер Blue Gene вошел в TOP5 самых высокопроизводительных компьютеров стран СНГ.

На факультете уже установлены две аппаратные стойки системы Blue Gene/P. Каждая из этих стоек содержит по 1024 четырехъядерных процессоров с общей пиковой производительностью 27,8 триллионов операций в секунду (**27,8 Тфлопс**).

Архитектура Blue Gene спроектирована для вычислительных кодов, которые хорошо масштабируются до сотен и тысяч процессоров. Несмотря на то, что индивидуальные процессорные ядра системы Blue Gene работают на относительно низкой частоте, для приложений, способных эффективно использовать большое число процессорных элементов, удается достигнуть значительно более высокой производительности по сравнению с традиционными суперкомпьютерами





Суперкомпьютеры МГУ краткая справка



Основные суперкомпьютеры МГУ

4. «**Ломоносов-1**». суперкомпьютер, построенный компанией «Т-Платформы» для МГУ им. М.В. Ломоносова. Суперкомпьютер «Ломоносов» — первый гибридный суперкомпьютер такого масштаба в России и Восточной Европе, был запущен в **2009**. В нём используется 3 вида вычислительных узлов и процессоры с различной архитектурой. В данный момент не функционирует.

Технические характеристики после модернизации

- Пиковая производительность **1,7 PFLOPS**
- производительность на тесте Linpack **0,901 PFLOPS**
- число ядер : 78660
- RAM — 92 TB
- HDD — 1,75 PB
- узлы : T-Platforms T-Blade2/1.1, Xeon X5570/X5670/E5630 2.93/2.53 GHz, Nvidia 2070 GPU, PowerXCell 8i
- сеть : Infiniband QDR





Суперкомпьютеры МГУ

краткая справка



Основные суперкомпьютеры МГУ

5. **«Ломоносов-2»**. Суперкомпьютер «Ломоносов-2» — суперкомпьютер, построенный компанией «Т-Платформы» для МГУ им. М.В. Ломоносова. Установлен в НИВЦ МГУ. **был запущен в 2019 году**. По состоянию на ноябрь 2020 года по данным суперкомпьютерного рейтинга Top500 производительность суперкомпьютера составляет **2,478 петафлопс**, а пиковая — **4,947 петафлопс**.

Параметры суперкомпьютера (По данным <https://top50.supercomputers.ru/>):

- Количество узлов: 1696
- Количество CPU: 1696
- Количество ядер CPU: 23424
- Количество GPU-ускорителей: 1856
- Количество мультипроцессорных блоков GPU: 40960
- Количество GPU-ядер/CUDA-ядер: 5570560
- Всего ядер: 64384



Архитектура (после модернизации):

- узлов: 1536 [Intel Xeon E5-2697v3, 64 GB RAM; Acc: 1x NVIDIA Tesla K40M]
- узлов: 160 [Intel Xeon Gold 6126, 96 GB RAM; Acc: 2x NVIDIA Tesla P100]
- Сеть: FDR Infiniband



Суперкомпьютеры МГУ краткая справка



Основные суперкомпьютеры МГУ. Новая эра вычислений

6. МГУ-270. В 2023 году в МГУ был создан Супервычислитель специальной архитектуры.

Компьютер с новой архитектурой, основанной на активном использовании графических процессоров.

Суммарная производительность нового суперкомпьютера составляет **400 AI Петафлопс**.

Архитектура компьютерной системы была «вдохновлена» передовыми образцами реализованных проектов суперкомпьютеров в лучших университетах мира, а используемые технологии основаны на практиках и существующих разработках ведущих производителей.

В качестве вычислительной сети используется сеть с пропускной способностью 200 Гбит/с.

В супервычислительный комплекс также входят новые системы энергообеспечения, охлаждения и коммуникации. При создании комплекса активно применялись отечественные узлы и компоненты. **Развернут на базе факультета ВМК**



270 МГУ
1755 2025





Факультет ВМК МГУ



Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ имени Михаила Васильевича Ломоносова, основанный в 1970 году по инициативе и благодаря усилиям одного из крупнейших российских ученых XX века - **академика Андрея Николаевича Тихонова**, является сегодня ведущим учебным центром России по подготовке кадров в области фундаментальных исследований по прикладной математике, вычислительным технологиям и информатике.

Первым деканом факультета в 1970–1990 годах был академик АН СССР **Андрей Николаевич Тихонов**. С марта 2019 года исполняющим обязанности декана стал выпускник факультета, академик РАН **Игорь Анатольевич Соколов**. В ноябре 2019 года он избран деканом факультета ВМК.

В структуру факультета ВМК входят **19 кафедр**, при которых работают **18 научных лабораторий**. На факультете работают **более 600 человек** (включая штатных совместителей), в том числе около 300 профессоров и преподавателей, свыше 200 научных сотрудников и представителей научно-вспомогательного персонала.

Факультет ВМК МГУ выпускает специалистов высокой квалификации **по проблематике, связанной с применением вычислительной техники и алгоритмов решения различных задач**.



Роль МГУ-270 в исследованиях и учебном процессе



3 основных направления, в которых используется кластер МГУ-270:

1. Образовательная программа и практика для студентов

Одним из важных направлений, является обучение студентов и ведение их научных работ.

- В рамках образования МГУ-270 активно используется для обучения студентов решению прикладных задач
- Также МГУ-270 используется в рамках учебно-научной деятельности студентов (зачётные работы, дипломная практика).

2. Научная-исследовательская работа коллективов (преподаватели и научные сотрудники)

Данное направление характеризуется наличием длинных, требовательным к вычислительным ресурсам задач в рамках исследований. И МГУ-270, и Ломоносов-2 активно используются в данных задачах.

3. Научно-практические задачи, решаемые в рамках выполнения условий грантов, гос. заданий и других форм поддержки научно-исследовательской деятельности.

Роль МГУ-270, как основного инструмента реализации сложных расчетов, обработки данных и, особенно, реализации технологий ИИ нельзя недооценить, особенно при наличии и доминировании проектов с высокой вычислительной нагрузкой – технологии ИИ.



Применение МГУ-270 Направления деятельности



1. Общее применение

- **Моделирование процессов:** анализ поведения различных систем, решение оптимизационных многокритериальных задач с применением ИИ
- **Глубокое обучение:** МГУ-270 хорошо оптимизирован для работы с моделями глубокого обучения. Он способен обучать большие архитектуры, включая трансформеры, что позволяет значительно ускорять процесс обучения.
- **Симуляции:** Суперкомпьютер может выполнять сложные симуляции, например, в области метеорологии и климатологии, что позволяет более точно прогнозировать климатические изменения.

2. Обработка естественного языка (входит в перечень наиболее востребованных)

- **Исследования больших языковых моделей:** изучения и апробация существующих передовых моделей, разработка и адаптация моделей отечественных производителей, разработка собственных моделей для анализа текста, извлечения важных признаков для систем учета, поддержки принятия решений.
- **Обработка и резюмирование документов на естественном языке:** используется для разработки и обучения моделей, которые понимают и анализируют человеческий язык, что находит применение в чат-ботах, системах автоматического перевода и при создании научных библиотек (библиотек различного назначения).
- **Генеративные модели на базе GPT:** дообучение моделей на специализированных корпусах текстов в целях формирования баз знаний, научных библиотек.



Применение МГУ-270



3. Техническое зрение

- **Системы распознавания объектов и лиц:** большой перечень задач обработки изображений и видео для задач, связанных с распознаванием и классификацией объектов, устойчивости к помехам и преднамеренным искажениям, противодействию распознаванию с помощью алгоритмов ИИ.
- **Генерация и преобразование изображений:** используется в генерации изображений с помощью технологий, таких как, GAN (Generative Adversarial Networks), что позволяет создавать синтетические наборы данных (условно-реальные данные для отладки задач).

4. Обработка больших данных

- **Анализ данных:** позволяет проводить анализ больших массивов данных, что критично для таких областей, как медицинские исследования, ситуационный анализ, планирование операций.
- **Облачные вычисления:** использование МГУ-270 для разработки и отладки облачных платформ, предоставляющих доступ к мощным вычислительным ресурсам для обработки данных и выполнения ИИ-задач органов власти и силовых структур.

5. Технологии управления на основе данных (нарастающий тренд)

- Разработка методов и алгоритмов сбора и предобработки больших объемов разнородных слабоструктурированных данных (**Big Data**) в целях извлечения признаков.
- Моделирование, эксперименты с игровым интеллектом, **разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений.**

Проектный парадокс – всегда не хватает времени и денег (+ специалистов и вычислителей)



Пирамида освоения суперкомпьютерных вычислений



Используют все преимущества МГУ-270

10 (1/10) студентов

Используют преимущества нескольких GPU

100 (1/5) студентов

Используют преимущества GPU (TensorFlow, PyTorch)

500 (1/2) студентов

Считают процессором на ноутбуке (Python, TensorFlow, PyTorch)

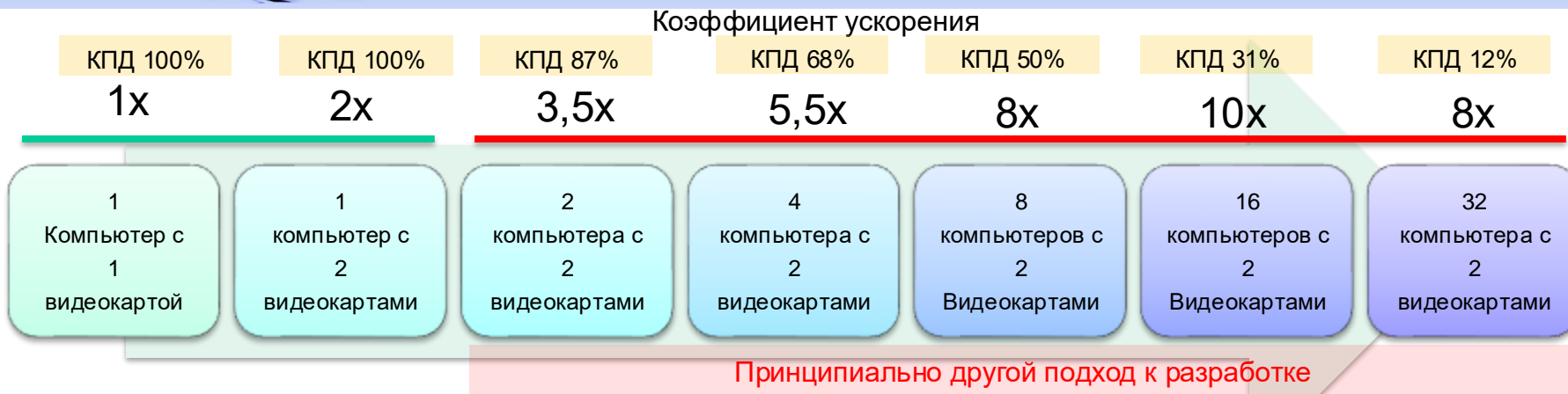
1 000 (студентов)

Считают в различных симуляторах (R, Matlab)

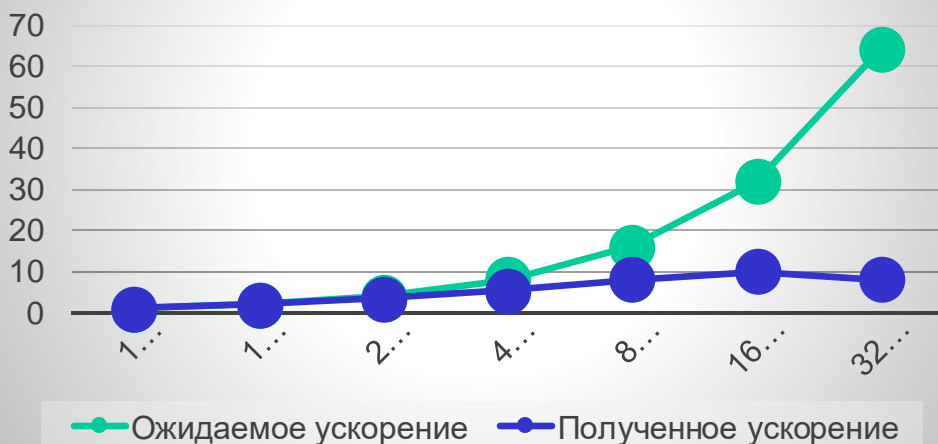
много студентов



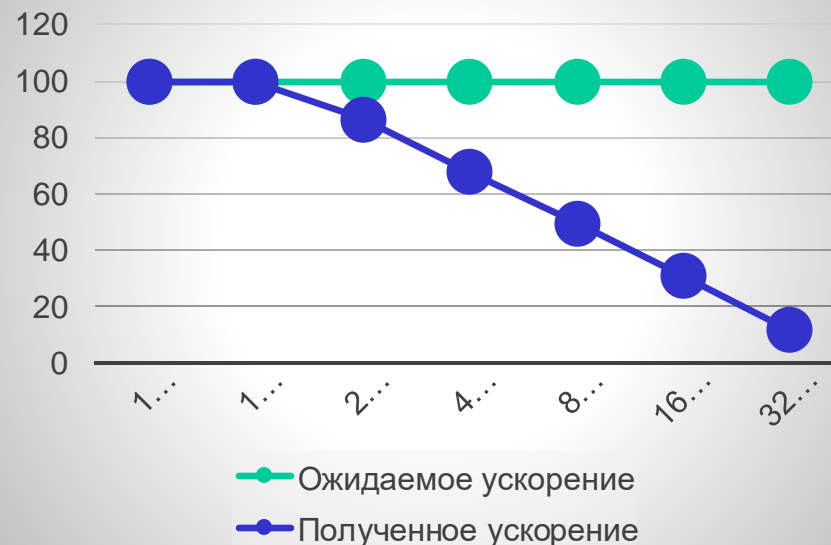
Как пользователи приходят к суперкомпьютерным вычислениям



Нелинейность ускорения из-за потерь в сети Ethernet (ожидаемое и полученное)



КПД



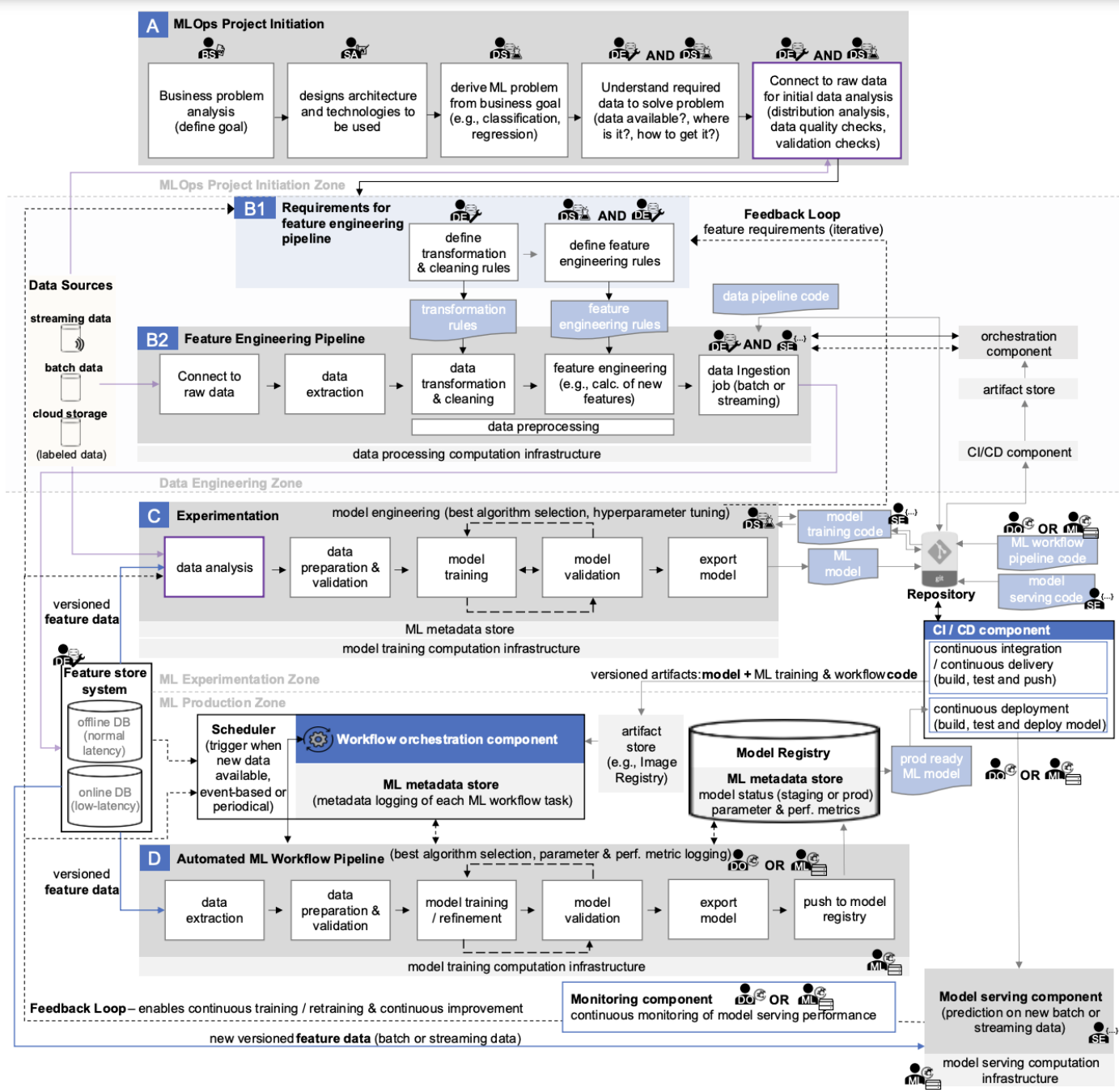


Сложности



С какими сложностями сталкиваются представители научных коллективов и разработчики:

1. Трудоемко масштабировать вычисления на несколько GPU - нужно модернизировать (если это возможно) часть кода для распараллеливания подачи данных на несколько GPU, обмениваться градиентами при обучении и далее учитывать запуск и отладку для различных сред: без GPU, с GPU, с несколькими GPU. Нужны: 2 и более GPU
2. Необходимо знать, уметь и правильно переписать часть кода, связанную с запуском обучения моделей на нескольких узлах и нескольких GPU на каждом, наладить обмен по сети, все отладить. Для этого нужна еще соответствующая отладочная среда. Необходимо знать и правильно применять библиотеку NCCL (OpenMPI, Horovod) Это совсем другое, нежели [п.1]
Нужны: 2 и более узлов с 2 и более GPU на каждом для разработки и отладки (тестовая и отладочная среда) и для длительных вычислений – недели-месяцы (среда вычислений)
3. Как обрабатывать большие данные, где их хранить – нужны мощные сервера и емкие хранилища данных, быстрые специализированные базы данных и системы обработки
4. Как собрать команду для большого проекта – нужны IT Solution Architect, Data Scientist, Data Engineer, Software Engineer, DevOps Engineer, ML Engineer, разработчики ML/DL, архитекторы, аналитик и много кто еще)
5. Как начать работать в составе команды, на больших данных, на большом вычислителе - ?



LEGEND

- Business Stakeholder
- IT Solution Architect
- Data Scientist
- Data Engineer
- Software Engineer
- DevOps Engineer
- ML Engineer
- General process flow
- Data Engineering flow
- Model / Code flow
- - - - Feedback loop flow
- Versioned Feature Flow



Целевое состояние



Варианты использования и команда поддержки	Инфраструктура под задачу (ЦКП)	Лаборатория под задачу	Среда разработки	Центр производства
Варианты использования				
Инфраструктура в аренду				
Разовое конфигурирование аппаратной части под задачу (CPU, GPU, MEM, HDD)	+	+	+	+
Доступ к дистрибутивам ОС, сред разработки, СУБД, фреймворкам	+	+	+	+
Софт и инфраструктура по запросу				
Доступ к персональной среде разработки и тестирования (развернутой под задачу)		+	+	+
Гибкое выделение аппаратной части под задачу (CPU, GPU, MEM, HDD)		+	+	+
Среда разработки и вычислений по запросу				
Доступ к развернутой групповой инфраструктуре разработке и тестирования			+	+
Гибкое перераспределение аппаратной части под вычисления			+	+
Команда по запросу				
Команда разработки				+
Среда разработки и тестирования, инфраструктура				+
Команда поддержки Заказчика				
Инженер по оборудованию (SI)	+	+	+	+
Системный администратор (SA)		+	+	+
Инженер по суперкомпьютерным вычислениям (SCI)		+	+	+
Инженер данных (DI)			+	+
Инженер по тестированию и сборке (QA, DevOps, MLOps)			+	+
Разработчик кода (Dev), Разработки ML (ML Dev)				+
Инженер аппаратной поддержки (целевых доверенных компонентов)				+
Дата-аналитик (DA), аналитик (A), руководитель проекта (PM), архитектор решения (Ar)				+



Необходимые среды и репозитории





Портал накопления и распространения знаний



Портал должен предложить следующее:

- Обновляемая коллекция SOTA (state-of-the-Art) **моделей и методов решения задач в области**: Computer Vision, Natural Language Processing, Time Series, Graphs, Medical, Audio, Computer Code, Playing Games, Adversarial, Knowledge Base, Robots)
- Пополняемая коллекция датасетов и генераторов
- База экспериментов с описаниями кода и результатов, со ссылками на публикации, на датасеты, модели, и полученные результаты
- Научные статьи и публикации по темам исследований

Идеи для создания своего портала взяты из:

- <https://paperswithcode.com/>
- <https://www.kaggle.com/>
- <https://huggingface.co/>
- <https://arxiv.org>



Тех. Поддержка МГУ-270



Роль	Кол-во
Заведующий лаборатории СКВ	1
Руководитель службы эксплуатации	1
Дежурная смена	
дежурный электрик по системам электропитания и обеспечения бесперебойной подачи электроэнергии	4
дежурный специалист по системам охлаждения	4
дежурный пожарный	4
Руководитель службы учета имущества и ремонтов	1
Инженер по ремонту вычислительной техники и средств отображения	1
Инженер по сетевым устройствам и кабельной инфраструктуре	1
Специалист по учету и организации ремонтов	1
Руководитель технической поддержки	1
Первая линия поддержки	
Диспетчер технической поддержки (первая линия)	2
Вторая линия технической поддержки	
Инженер по системам хранения	1
Инженер по СУБД	1
DevOps инженер	2
Инженер по ML -инфраструктуре, обработке и анализу данных	1
Инженер по системам мониторинга	1
Инженер по контейнеризации приложений и системам оркестрации, управления вычислениями	2
Инженер по развертыванию и поддержке инференс-среды	1
Инженер поддержки и развития баг-трекинговой системы, системы управления заявками, портала результатов экспериментов	1
Руководитель разработки	1
Разработчик ML TensorFlow, PyTorch, NCCL, OpenMPI	2
Разработчик портала и базы знаний	2
ИТОГО	36



Суперкомпьютерный потенциал: Ускорение открытий и инноваций в образовании и науке



Итого, что бы полностью раскрыть суперкомпьютерный потенциал и обеспечить ускорение открытий, инноваций в образовании и науке необходимо:

- 1. Создать среду «вызревания» подготовленных специалистов,** обеспечить их результативность сперва на небольших проектах, научить культуре командной работы с кодом, моделями, инструментами развертывания на суперкомпьютерном кластере, что бы те смогли претендовать и получить бОльшие задачи и проекты.
- 2. Обеспечить творческие научные коллективы специалистами и поддержкой в различных ИТ областях:** обработки данных, использованию специализированных хранилищ и баз данных, в области параллельных вычислений, фреймворков и моделей ИИ, в области запуска больших вычислений и оркестрации - чтобы максимально раскрыть потенциал научных команд помноженный на суперкомпьютерные вычислительные возможности, дать возможность сфокусироваться именно на передовых достижениях и открытиях, а не на инструментах достижения.
- 3. Обеспечить концентрацию знаний и вычислений что,** как следствие, **даст приток умов и энтузиастов** - что является необходимым условием («концентрация и избыточность») возникновения открытий и инноваций. *И наконец – завершающее слагаемое успеха*
- 4. Нужна команда увлеченных энтузиастов, кто все это подготовит и будет предлагать самые удобные среды разработки и вычислений, обеспечивать разработчиками и инженерами со всеми возможными технологиями, накапливать и передавать полученный опыт.**



Команда увлеченных энтузиастов МГУ и не только



1. Мы открытая виртуальная команда ученых и специалистов различных областей и ВУЗов (преимущественно МГУ, но не только, приглашаем всех) – наука, технологии, прикладные решения. Мы объединены целью - сделать наше государство, науку и наши коллективы более сильным и передовыми за счет развития, обмена, накопления и распространения знаний и лучших практик.
2. Нас объединяет желание решать сложные задачи и наращивать компетенции.
3. Мы создаем удобную площадку для коммуникаций, **обмена опытом**, поиска и привлечения специалистов в проекты, сами постоянно участвуем в интересных проектах, мы увлечены идеей и самим движением, пропитанным духом науки и инноваций.
4. Мы готовим специалистов для работы в научных проектах любых масштабов и таким образом передаем опыт и знания, получая взамен, все большее сообщество и «нетворкинг», среду профессионалов.



Суперкомпьютерный потенциал: Ускорение открытий и инноваций в образовании и науке



Спасибо за внимание

Заведующий лабораторией
суперкомпьютерных вычислений
ВМК МГУ

Алексей Маслов
+7 916 834 3007
Telegram @MaslovAlexey
Mail amaslov@cs.msu.ru

