

Фронтир - движущаяся граница
варварства и цивилизации (Turner, 1921)

Фронтирные инженерные
проблемы и задачи с
примерами из разработки
«Искусственного интеллекта»

Александр Горбань

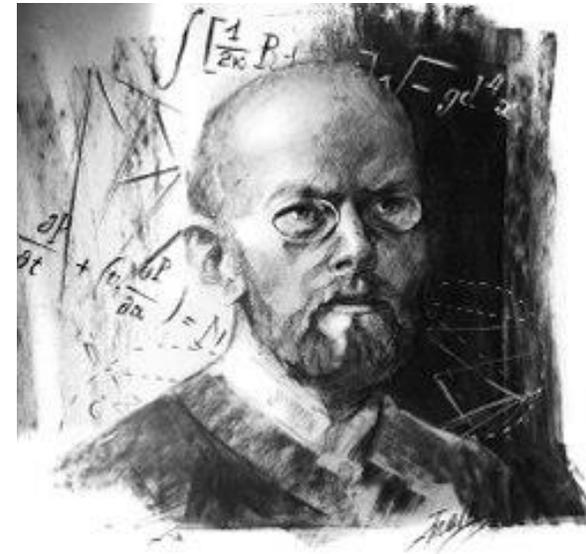
О границах в науке



Эмиль Генрих Дюбуа-Реймон, «О границах естествознания» — лекция на втором заседании 45-го Конгресса немецких естествоиспытателей и врачей 14 августа 1873 года.

- естествоиспытатель давно уже привык произносить с мужественным самоотречением своё „ignoramus“ ...
- но по отношению к загадке, что такое материя и сила и как они в состоянии думать, он раз навсегда должен обречь себя на тот гораздо труднее дающийся приговор: „Ignorabimus“

Давид Гильберт о границах естествознания: выступление по радио в Кёнигсберге 8 сентября 1930 года



- Нет для нас, математиков, никакого „Ignorabimus“ и, по моему убеждению, нет и для естественных наук вообще. Вместо дурацкого игнорабимус провозгласим наш контр-лозунг:
- *Мы должны знать — мы будем знать!* (Wir müssen wissen – wir werden wissen!)

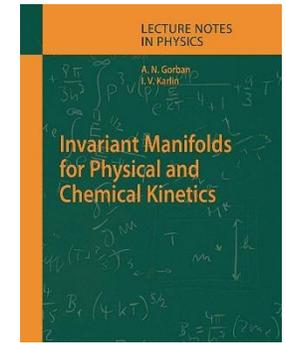
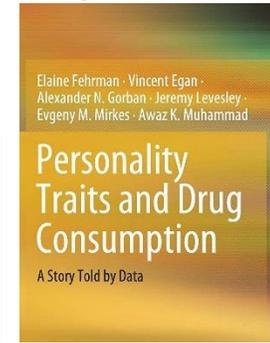
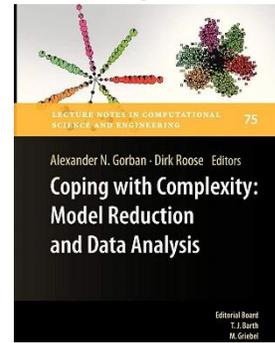
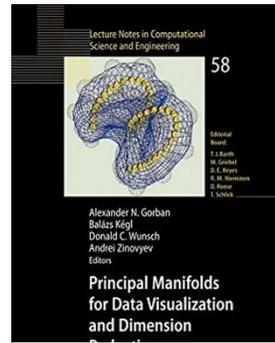
И тут я понял, что я не знаю, что такое «Фронтальные инженерные задачи». Что мы ими собираемся делать?



Зачем нужно понятие «Фронтальные инженерные задачи»?

- Чтобы анализировать прошлое;
- Чтобы представить себе карту значимых работ на будущее;
- Чтобы планировать свое место в распределении работ в будущем;
- В том числе, чтобы оформить «уровень притязаний» и выбрать себе задачи по этому уровню;
- Чтобы обсуждать планирование и перепланирование работ и организаций;
- Чтобы планировать образование и управлять им;
- Чтобы создавать программы развития на всех уровнях
-

Позвольте представиться (в ИИ)



Alexander N. Gorban (АН Горбань) ✎

✉ ПОДПИСКА ОФОРМЛЕНА

Professor of Applied Mathematics, [University of Leicester](#), UK

Подтвержден адрес электронной почты в домене le.ac.uk - [Главная страница](#)

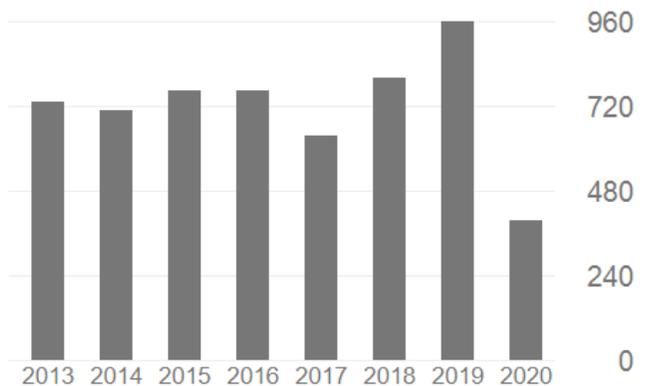
[Multiscale Analysis](#) [Model Reduction](#) [Kinetic Equations](#) [Mathematical Chemistry](#)
[Mathematical Neuroscience](#)

Прочитано

[ПРОСМОТРЕТЬ ВСЕ](#)

Все Начиная с 2015 г.

	Все	Начиная с 2015 г.
Статистика цитирования	11382	4339
h-индекс	51	32
i10-индекс	175	105



HAZVAME	+	:	ПРОЦИТИРОВАНО	ГОД
<input type="checkbox"/> Neural networks on personal computer			940 *	1996
AN Gorban, DA Rossiev Novosibirsk: the Science, 276				
<input type="checkbox"/> Training neural networks			625 *	1990
AN Gorban Moscow: USSR-USA JV" Paragraph", Russian. English translation: AMSE Trans ...				
<input type="checkbox"/> Neuroinformatika			582 *	1998
AN Gorban, WL Dunin-Barkowski, AN Kirdin, EM Mirkes, ... (Neuroinformatics). Novosibirsk: Nauka				

Позво



Оргкомитет девятнадцати ежегодных международных конференций
Нейроинформатика 1999 - 2017 и
Правление Российской ассоциации нейроинформатики

В знак признания выдающихся успехов в области теории и приложений искусственных нейронных сетей и за неоценимый вклад в организацию и проведение конференций присвоили

ПРОФЕССОРУ
ГОРБАНЮ АЛЕКСАНДРУ НИКОЛАЕВИЧУ

почётное звание

ПИОНЕРА РОССИЙСКОЙ НЕЙРОИНФОРМАТИКИ



Alexander N. Gorban

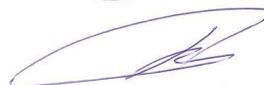
Professor of Applied Mathem
Подтвержден адрес электр
Multiscale Analysis Model I
Mathematical Neuroscience

Проректор НИЯУ МИФИ



В.В. Ужва

Председатель оргкомитета девятнадцати ежегодных международных конференций Нейроинформатика 1999-2017, профессор



Б.Н. Оныкий

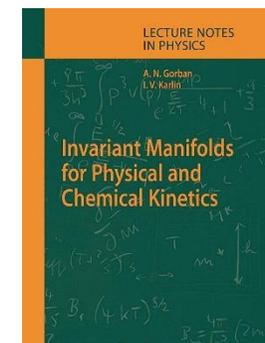
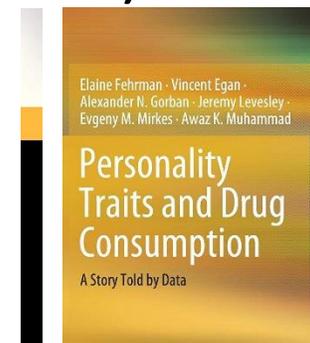
Президент Российской ассоциации нейроинформатики, член-корреспондент Российской академии наук



Б.В. Крыжановский

МОСКВА, 2 ОКТЯБРЯ 2017 г.

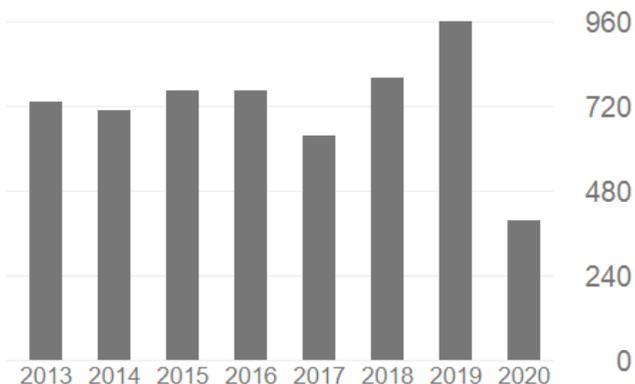
1И)



Прочитано

ПРОСМОТРЕТЬ ВСЕ

	Все	Начиная с 2015 г.
Статистика цитирования	11382	4339
h-индекс	51	32
i10-индекс	175	105



HA3BAHHE

Neural networks on personal computer

AN Gorban, DA Rossiev
Novosibirsk: the Science, 276

Training neural networks

AN Gorban
Moscow: USSR-USA JV" Paragraph", Russian. Engl

Neuroinformatika

AN Gorban, WL Dunin-Barkowski, AN Kirdin, EM Mirk
Neuroinformatics). Novosibirsk: Nauka

Позво

1И)



Оргкомитет девятнадцати ежегодных международных конференций
Нейроинформатика 1999 - 2017 и
Правление Российской ассоциации нейроинформатики

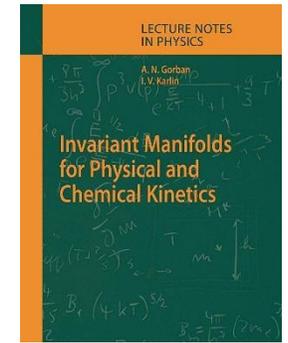
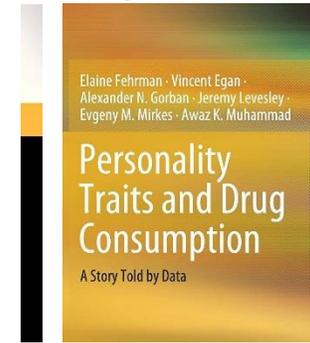
В знак признания выдающихся успехов в области теории и приложений искусственных нейронных сетей и за неоценимый вклад в организацию и проведение конференций присвоили

ПРОФЕССОРУ
ГОРБАНЮ АЛЕКСАНДРУ НИКОЛАЕВИЧУ

почётное звание

**ПИОНЕРА РОССИЙСКОЙ
НЕЙРОИНФОРМАТИКИ**

Таки пионер с фронта

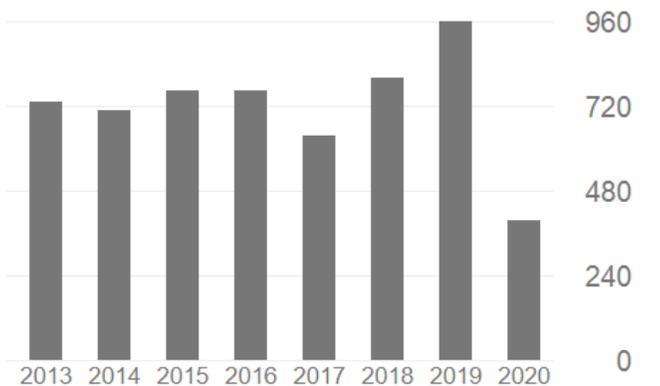


Прочитано

ПРОСМОТРЕТЬ ВСЕ

Все Начиная с 2015 г.

	Все	Начиная с 2015 г.
Индикаторы	11382	4339
h-индекс	51	32
i10-индекс	175	105



Alexander N. Gorban

Professor of Applied Mathem
Подтвержден адрес электр
Multiscale Analysis Model I
Mathematical Neuroscience

НАЗВАНИЕ

Neural networks on personal compute

AN Gorban, DA Rossiev
Novosibirsk: the Science, 276

Training neural networks

AN Gorban
Moscow: USSR-USA JV" Paragraph", Russian. Engli

Neuroinformatika

AN Gorban, WL Dunin-Barkowski, AN Kirdin, EM Mirk
Neuroinformatics). Novosibirsk: Nauka

Проректор

конференций
Нейроинформатика 1999-2017, профессор

Президент Российской ассоциации нейроинформатики,
член-корреспондент Российской академии наук



Б.Н. Оныкий

Б.В. Крыжановский

МОСКВА, 2 ОКТЯБРЯ 2017 г.

План

- Представление
- Великие глобальные инженерные вызовы XXI века, кому они адресованы
- Пионеры фронта и авторские инженерные проблемы
- Как авторская инженерная проблема обрастает проектами и программами
- Из личной истории: надежность и объяснимость нейросетевого ИИ
- Чего не хватило в России для реализации этих проектов?
- Фронтальные инженерные проблемы нейросетевого ИИ «для себя»
- Пять тезисов об образовании в области ИИ

Мировая практика – главные инженерные ДОСТИЖЕНИЯ XX века

National Academy of Engineering (NAE) USA

- Electrification
- Automobile
- Airplane
- Water Supply and Distribution
- Electronics
- Radio and Television
- Agricultural Mechanization
- Computers
- Telephone
- Air Conditioning and Refrigeration
- Highways
- Spacecraft
- Internet
- Imaging
- Household Appliances
- Health Technologies
- Petroleum and Petrochemical Technologies
- Laser and Fiber Optics
- Nuclear Technologies
- High-performance Materials

Мировая практика – великие глобальные инженерные ВЫЗОВЫ XXI века

Global Grand Challenges Summit 2019

Engineering in an *unpredictable* world,

UK, US and Chinese engineering academies, 16-18 September 2019, London

- Advance personalized learning
- Make solar energy economical
- Enhance virtual reality
- Reverse-engineer the brain
- Engineer better medicines
- Advance health informatics
- Restore and improve urban infrastructure
- Secure cyberspace
- Provide access to clean water
- Provide energy from fusion
- Prevent nuclear terror
- Manage the nitrogen cycle
- Develop carbon sequestration methods
- Engineer the tools of scientific discovery

Мировая практика – великие глобальные инженерные ВЫЗОВЫ XXI века

**Саммит Глобальных Великих Вызовов,
Инженерные решения в *непредсказуемом* мире**
Британская, Американская и Китайская инженерные академии,
16-18 сентября 2019 года в Лондоне

- Продвинутое персонализированное обучение
- Сделать солнечную энергию экономичной
- Усовершенствованная виртуальная реальность
- Обратный инжиниринг мозга (инженерный анализ от функции к структуре)
- Технология получения лучших и персональных лекарств
- Продвинутая медицинская информатика
- Восстановление и улучшение городской инфраструктуры
- Безопасное киберпространство
- Обеспечить доступ к чистой воде
- Получение энергии от термоядерного синтеза
- Предотвратить ядерный террор
- Управление азотным циклом
- Разработка методов связывания углерода
- Разработка инструментов научного открытия

Если мы принимаем идею фронта как движущейся границы варварства и цивилизации, то должны признать, что *страны, корпорации, системы образования, не принимающие фронтальных вызовов, проваливаются в зону инженерного варварства.*

Мировая практика – что главное для меня

- И достижения, и вызовы описывают не отдельные разработки-проекты, не устройства, изобретения или технологии, а связки (букеты) огромных программ.
- Эти связки программ имеют наднациональный формат.
- Ответы на вызовы формируются в глобальном формате, а более локальные (национальные, корпоративные) программы формируются в свете этих глобальных вызовов.
- Создание локальных программ должно, по всей видимости, производиться на карте глобальных вызовов с пониманием своего места в разделении труда и потенциала лидерства (где? как?).
- Не просто вызовы, а система обновления вызовов по слабым сигналам.

Динамика и системы обновления вызовов

- **Могут ли быть другие вызовы** – да, еще как – и в будущие достижения войдут, вполне вероятно, ответы на другие вызовы. Но карта вызовов нужна обязательно.
- **Вызовы могут меняться быстро и непредсказуемо** – недаром саммит имел подзаголовок «Инженерные решения в *непредсказуемом* мире».
- **Нужна система постоянного обновления вызовов.**
- Более того, эта система должна **работать по СЛАБЫМ СИГНАЛАМ** – иначе будет поздно.

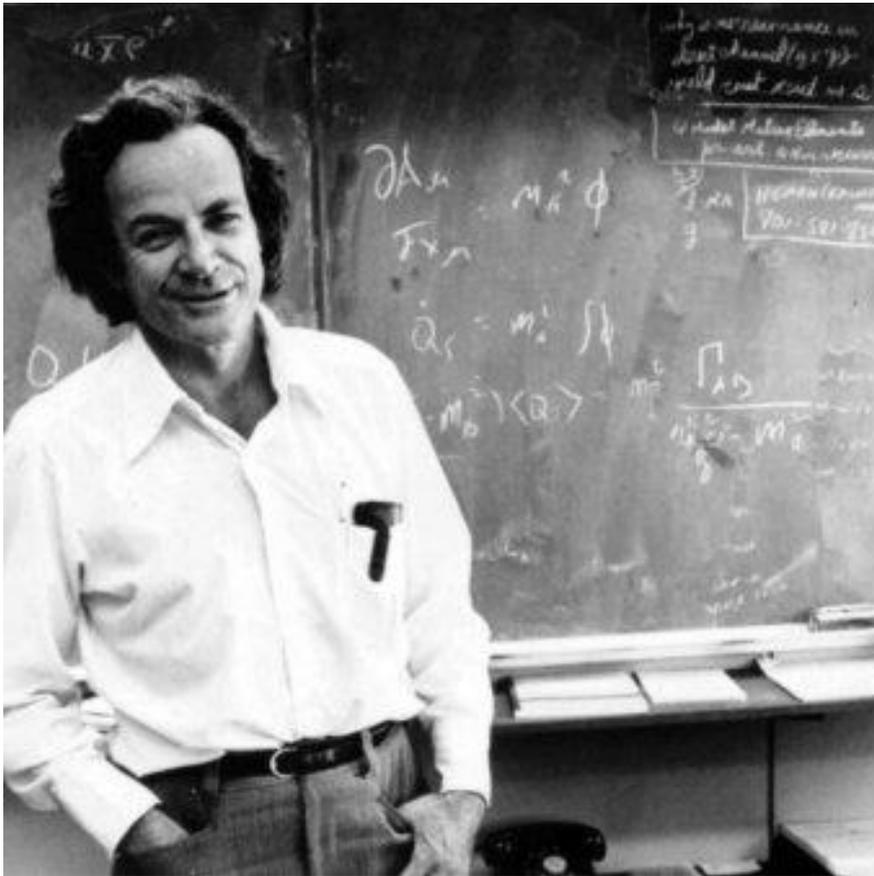
В чем очевидная разница между описанием достижений и вызовов

- Глобальные вызовы сформулированы как глобальные (не специфически-инженерные) проблемы, важные для человечества, для которых *надо найти инженерное решение* (возьмем, например, описание вызова «Продвинутое персонализированное обучение»: «Растущее понимание индивидуальных предпочтений и склонностей привело к более “персонализированному обучению”, в котором обучение адаптировано к индивидуальным потребностям студента. Учитывая разнообразие индивидуальных предпочтений и сложность каждого человеческого мозга, разработка методов обучения, оптимизирующих обучение, потребует инженерных решений будущего.»)
- Достижения же описываются как пакеты реализованных инженерных разработок, а сами проблемы находятся там, как правило, «в снятом виде».

Кому адресованы вызовы?

- Вызовы-проблемы-задачи должны иметь адресата-решателя, реального или представляемого-проектируемого.
- Так знаменитые фронтальные проблемы Гильберта в математике имели адресатов – математиков (и были представлены им на Всемирном Конгрессе Математиков).
- Кому адресованы «главные инженерные вызовы XXI века»?
- Правительствам? Крупным корпорациям? Системам образования?
- Мне представляется, что профессиональные инженерные фронтальные проблемы-задачи могут быть получены (если могут) из глобальных вызовов только в результате глубокой декомпозиции и серьезной профессиональной проработки.

Пионеры фронта и авторские инженерные проблемы «от идеи». 1



Ричард Фейнман (1918-1988)

- **Нанотехнологии** («Внизу полностью-полно места: приглашение в новый мир физики», 1959).
- **Квантовые компьютеры** (1981, хотя преамбула в форме детального анализа квантовых состояний и систем Штерна-Герлаха представлена в знаменитых Фейнмановских лекциях, 1963).

Достижения – на подходе.

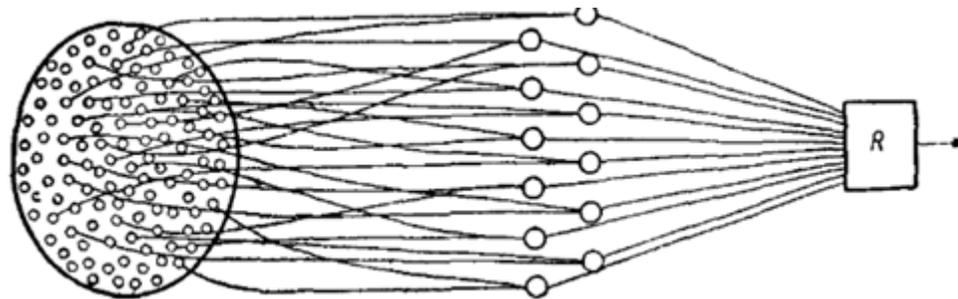
Пионеры фронта 2.

Нейросети и машинное обучение



Фрэнк Розенблатт (1928-1971)

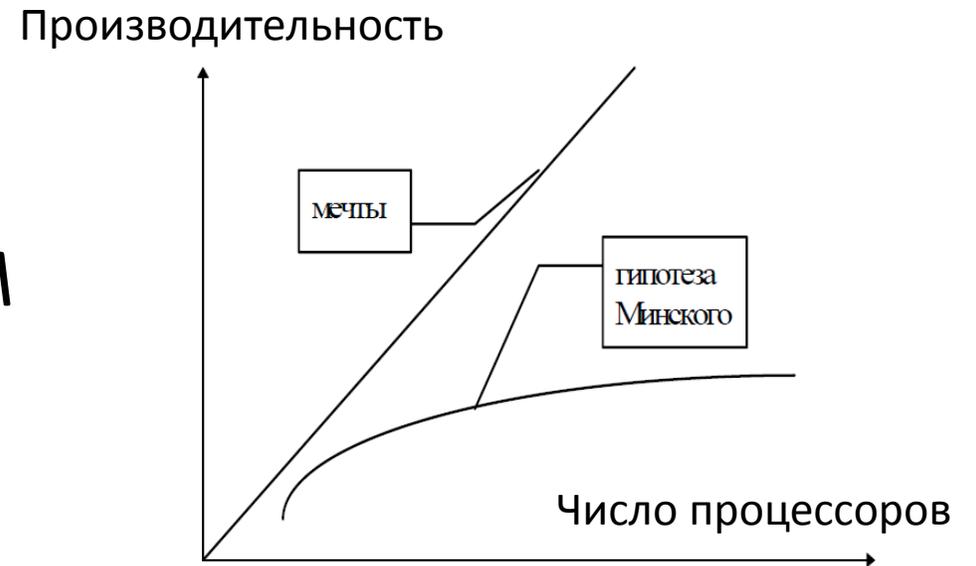
- *Нейрокомпьютер и механизмы мозга*



Признание достижений:

Йошуа Бенжио, Джеффри Хинтон, Ян ЛеКун - премия Тьюринга 2018 за «концептуальные и **инженерные** прорывы, которые сделали глубокие нейронные сети важнейшим компонентом вычислительной техники».

Пионеры фронта 3. Эффективный параллелизм



Марвин Минский (1927-2016)

- **Проблема эффективного параллелизма.** Давно канула в прошлое наивная идея: возьмем побольше процессоров и у компьютера пропорционально возрастет производительность. Хорошо известна «гипотеза М. Минского» производительность параллельной системы растет (примерно) пропорционально логарифму числа процессоров. Как ее обойти?

Как авторская инженерная проблема обрастает проектами и программами (примерно так)

- В академическом сообществе многие готовы работать «за статус», за признание, за интерес, просто из научно-технического энтузиазма. (Системы поддержания статуса – система академической коммуникации: журналы и конференции с рейтингами и т.п.)
- Подключаются правительственные гранты, если проблема вписывается в признанные актуальные приоритеты. Перспективные направления вписываются в программы развития.
- Бизнес поддерживает новые направления «для развития».
- Изобретаются бизнес-схемы, порождается система стартапов, перспективные схемы берутся предпринимателями в разработку и реализацию.
- Параллельно примериваются на использование новых идей в создании специальных средств (вооружение, безопасность, здоровье,...).
- Создаются новые секторы индустрии и рынка и новые программы их развития.

Обучаемые нейросети: от адаптивных сумматоров и элементарных перцептронов к глубоким сетям

- Розенблат изобрел перцептрон (1957) и издал книгу «Перцептроны...».
- Уидроу изобрел адаптивный сумматор «Адалин», реализовал его в виде устройства и начал развивать прикладные устройства на основе Адалин.
- До 1970 вышло около 1000 работ про перцептроны и около 500 про Адалин. Около 1.5 тыс. работ про искусственные нейронные сети. Адалин стал использоваться во многих адаптивных электронных устройствах.
- По сегодняшний день вышло около 250 тыс. работ про перцептроны и 20 тыс. про Адалин. Около 2 млн работ про искусственные нейронные сети. IT гиганты изобрели и развернули бизнес услуг на основе нейронных сетей. Многие устройства и программные продукты используют их.

Три пришествия нейронных сетей

- Розенблатт и Уидроу (конец 1950х - начало 1960х);
- Хопфилд и Хинтон с соавторами (1980е);
- GOOGLE, Amazon и другие гиганты (2000е - сейчас).

Технические возможности компьютеров накапливались монотонно. Интеллектуальные прорывы в области нейронных сетей опережали технические возможности, а потом замедлялись до появления нового поля возможностей.

Причины третьего пришествия

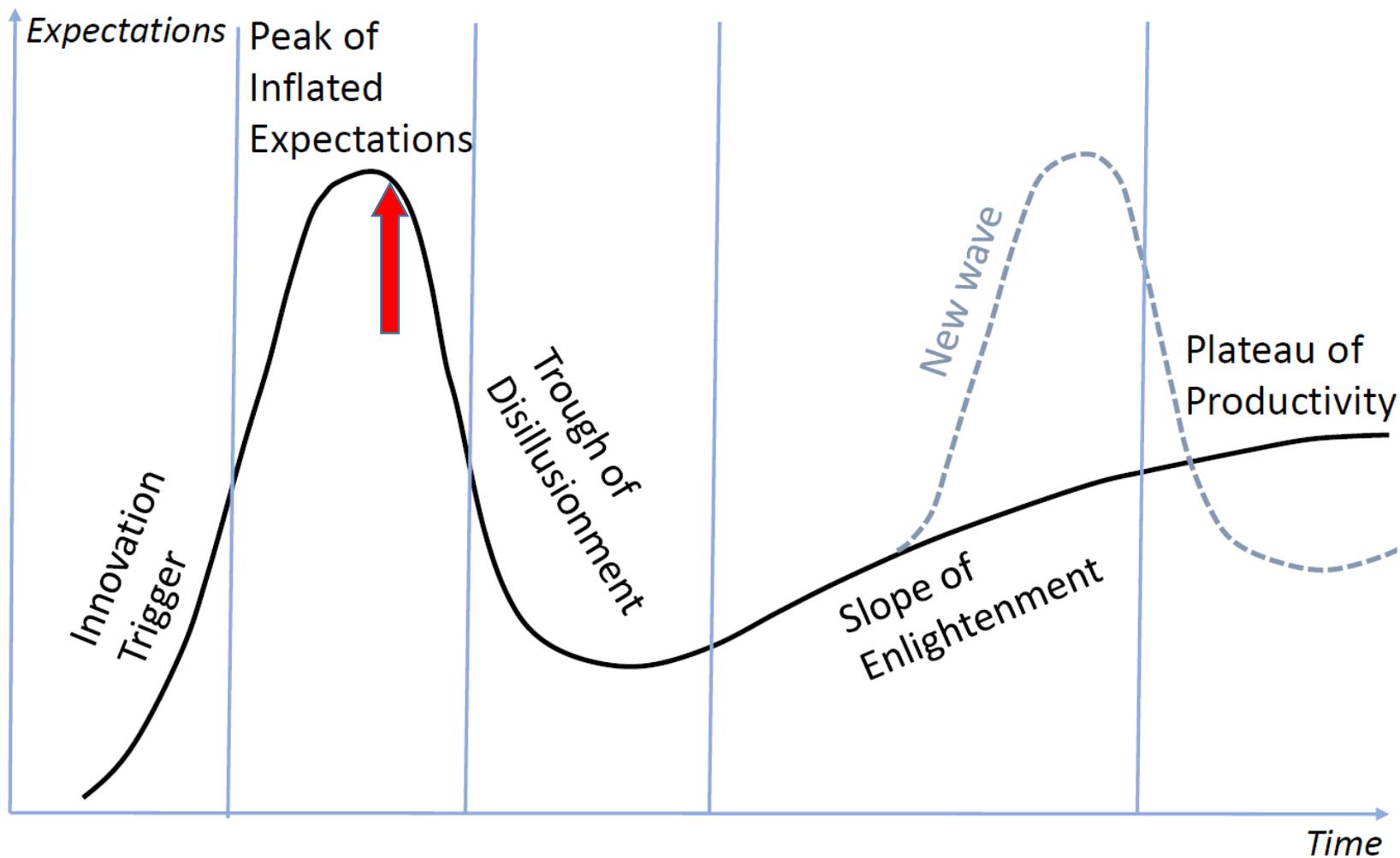
- Компьютеры стали достаточно мощными;
- Информационные гиганты (GOOGLE, AMAZON, FACEBOOK, MICROSOFT) в достаточной мере развили бизнес сетевых услуг;
- 10 марта 2000 года, индекс NASDAQ упал более чем в полтора раза при закрытии;
- Необходимость диверсификации дот-комов;
- Красивые технологические находки, оформленные в 1990х-2000х.

GOOGLE, Amazon продают

- Услуги нейронных сетей по распознаванию;
- Услуги стартапам по выращиванию нейронных сетей: «Google Cloud's AI provides **modern machine learning services, with pre-trained models** and a service to generate **your own tailored models.**»
- Услуги, использующие нейронные сети: «Major Google applications use Cloud machine learning, including Photos (image search), the Google app (voice search), Translate, and Inbox (Smart Reply).»

СОЗДАЕТСЯ АППАРАТНАЯ, ПРОГРАММНАЯ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ И РЫНОЧНАЯ СТРУКТУРЫ; НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ВОШЛИ ВО ВСЕ ГОС. ПРОГРАММЫ НАУЧНОГО РАЗВИТИЯ И ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ КОРПОРАЦИЙ.

По волнам цикла инновации по Gartner Group: мы в начале спуска



Почему мы скатываемся?

Что выходит на фронтир?

Из личной истории: надежность и объяснимость нейросетевого ИИ



Две проблемы торпедируют развитие нейросетевого ИИ:

- 1. Неожиданные ошибки;**
- 2. Необъяснимость решений.**

И понимание, и основы технологий были уже в 1990.

Эти проблемы тесно связаны, и без возможности логического прочтения ошибки ИИ будут оставаться необъяснимыми.

Сейчас накапливаются примеры ошибок

- Широко известны ошибки системы IBM “Watson” - ошибочные рекомендации по диагностике и лечению рака.
- Из-за ошибок систем распознавания лиц полиция Южного Уэльса провела 2400 ложных задержаний невинных людей.
- В ЕС принимаются законы, ограничивающие и запрещающие использование логически не объяснимых решений систем ИИ, там, где от них зависят люди.

Недостаточность инфраструктуры в России - пример вырожденной системы с объединением проектирования и экспертизы

- Министерство науки и технологий Российской Федерации за свою недолгую жизнь (1997-2000) открыла подпрограмму «Перспективные информационные технологии», а в ней направление «Нейроинформатика».
- Оно продержалось год и было закрыто по инициативе лидеров Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации РАН с объяснением: «Проекты по нейроинформатике нуждаются в квалифицированной экспертизе – их надо разобрать по имеющимся направлениям, где уже есть квалифицированные кадры».
- После этого ни один проект по нейроинформатике в рамках программы поддержан не был. Основные разработчики разошлись по небольшим IT фирмам или уехали.

Неожиданные ошибки; Необъяснимость решений

И понимание и основы технологий были уже в 1990.

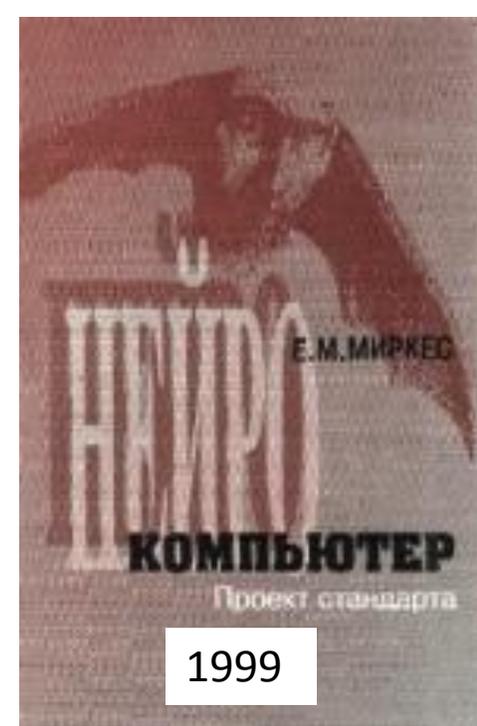
Но не было инфраструктуры и не было массового осознания разрыва.

- А сейчас в гонке за объяснимым и надежным ИИ участвуют GOOGLE, DeepMind, Amazon, а также университетские лаборатории в партнерстве с бизнесом.
- В 2017 г. Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA) стартовало программу «Explainable artificial intelligence (XAI)» (объяснимый искусственный интеллект). Согласно опубликованному DARPA отчету, «программа стремится создать системы искусственного интеллекта, чьи обученные модели и решения могут быть понятны пользователям-людям и вызывать должное доверие».
- Данная программа привела к интенсификации работ по всему миру.
- Старые находки переоткрываются.

Проблемы «для себя»

1. Объяснимые системы нейро-ИИ

- «Необъяснимость» решений нейронных сетей является частью массовой мифологии и результатом ограниченности массово применяемых методов.
- Необходимость прочтения навыков и логического обоснования принимаемых решений становится острой при использовании ИИ в «чувствительных областях».
- Еще в 1990 мы ввели понятие «логически прозрачных нейронных сетей», доступных для прочтения, и создали основы технологии проявления навыков (включая упрощение структуры, уменьшение разрядности и т.п.).
- **Нейросети способны производить знания для дальнейшего использования.** Надо довести эти основы технологии до общеприемлемых решений и встроить в структуры потребления/применения.



Проблемы «для себя»

2. Технология быстрой обработки ошибок

- Что тормозит развитие ИИ? Все системы делают ошибки, и эти ошибки – «нечеловеческие».
- Система работает хорошо, но иногда ошибается. Необходима коррекция: **быстрая, дешевая, не разрушающая навыки и, желательно, обратимая**
- Задача: Разработать неитеративные методы для коррекции ошибок существующих систем искусственного интеллекта.



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Physics of Life Reviews 29 (2019) 55–88

PHYSICS of LIFE
reviews

www.elsevier.com/locate/plrev

Review

The unreasonable effectiveness of small neural ensembles
in high-dimensional brain

Alexander N. Gorban^{a,b,*}, Valeri A. Makarov^{b,c}, Ivan Y. Tyukin^{a,b,d}

Cognitive Computation (2020) 12:388–397
<https://doi.org/10.1007/s12559-019-09667-7>

How Deep Should be the Depth of Convolutional Neural Networks:
a Backyard Dog Case Study

Alexander N. Gorban^{1,2} · Evgeny M. Mirkes^{1,2} · Ivan Y. Tyukin^{1,2,3}

Information Sciences 484 (2019) 237–254



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Information Sciences

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ins

One-trial correction of legacy AI systems and stochastic
separation theorems

Alexander N. Gorban^{a,e}, Richard Burton^{a,c}, Ilya Romanenko^d,
Ivan Yu. Tyukin^{a,b,e,1,*}

Проблемы «для себя»

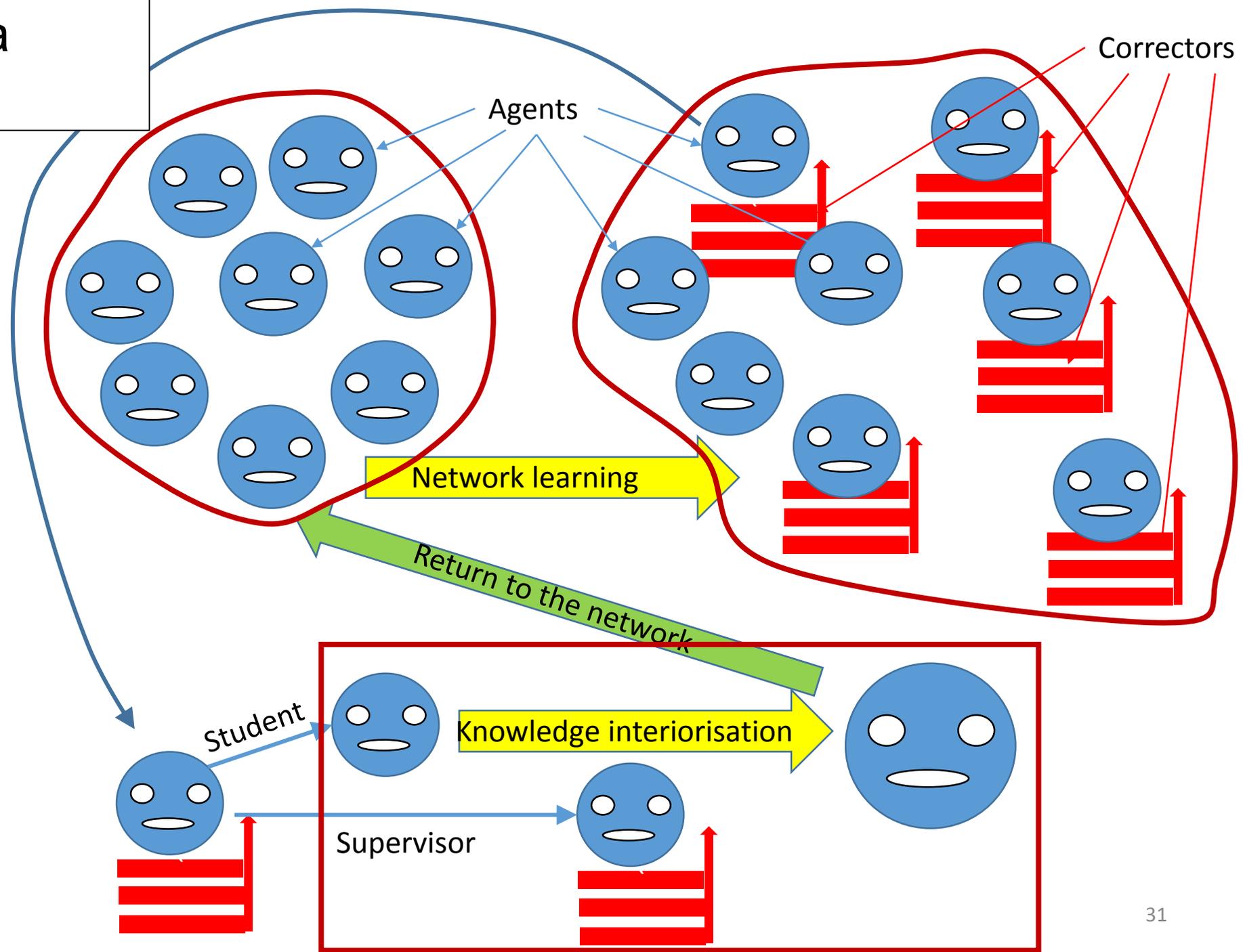
3. Проектирование сообществ и социальных сетей ИИ

- **Кто исправляет ошибки ИИ?** Люди? Другие (более квалифицированные) системы ИИ (передача знаний)? Ансамбли подобных систем (самокоррекция сетей ИИ)?

Надо создавать:

- **Общение между нейронными сетями:** обмен сигналами при решении задачи. Критерий обучения – эффективность совместной работы. Рождение языка.
- **Фейсбук нейронных сетей** с группами по интересам (и общением на внутренних языках).
- **Проблема в управлении** этим потоком.
- **Проблемы развития взаимодействия** общества людей и сообществ ИИ.

Эскиз сообщества ИИ систем



Нейродвойник

Инженерная проблема №4 «для себя», которая может служить локомотивом для трех основных проблем

- Предполагается подготовка для каждого пациента непрерывно обучаемых "нейросетевых двойников".
- Нейросетевые двойники ассимилируют разнородную медицинскую информацию, включая данные с персональных мобильных медицинских датчиков.
- Они используют также доступ к базе всех пациентов с подобными диагнозами и ансамблю всех их нейросетевых двойников.
- Система должна служить:
 - ☑ для прогнозирования динамики состояния пациентов в реальном времени;
 - ☑ для непрерывной оценки риска на различных масштабах времени, от краткосрочных (риск ситуации неотложной помощи) до долгосрочных (риск постепенного развития заболеваний и нежелательных состояний).

Нейродвойник – *локомотивная проблема*

- **ЛОКОМОТИВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ** – специальный инструмент фронта.
- Они могут не решать стратегически важных задач напрямую, но требовать их решения «по ходу дела».
- Канонический пример: поймать муху на Луне.
- *В разработке нейродвойника мы будем обязаны*
 - ☑ *развить нейросетевые технологии,*
 - ☑ *продвинуться в проблеме эффективного параллелизма,*
 - ☑ *разработать новые методы исправления ошибок ИИ,*
 - ☑ *создать и реализовать новые подходы к объяснимому ИИ,*
 - ☑ *разработать, реализовать и апробировать новые технологии проектирования сообществ ИИ.*

Пять тезисов об образовании в области ИИ

1. Требуются десятки (сотни?) тысяч специалистов.
2. Есть сотни специалистов, они сконцентрированы в нескольких центрах.
3. Чтобы ассимилировать важнейшие мировые достижения необходимы широкие международные контакты, которые проще всего организовать в сети.
4. Традиционная (стандартная) система преподавания неадекватна современному динамичному развитию ИИ.
5. Необходимо проектно-ориентированное и игровое (геймифицированное) образование, разворачивающееся в сетевом пространстве, где географическая отдаленность и государственные границы не являются препятствием.

Этот подход может обеспечить обновление фронтальных задач, более того, он может быть специально на это направлен.

Резюме

- Фронтир - движущаяся граница варварства и цивилизации.
- Фронтирные инженерные проблемы создаются либо «стратегическими комитетами» (по широкому фронту), либо пионерами фронта.
- Стратегические «вызовы комитетов» нуждаются в специальных системах вовлечения пионеров фронта в работы по этим вызовам (системы «статуса» и «поддержки»).
- Нужен также перевод этих вызовов на инженерный язык.
- Авторские проблемы пионеров фронта нуждаются в инфраструктуре «статуса» и «поддержки».
- Полный цикл работы с фронтирными инженерными проблемами включает иерархию вовлеченного бизнеса и властных структур и процессы воспроизводства этой вовлеченности.
- Не бывает истинных (а не ФДП) проблем без адресата,
- Не бывает проблем навсегда – ***нужны структуры и процессы по обновлению проблем по слабым сигналам в непредсказуемом мире.***

Не бывает фронтальных проблем навсегда:
когда-то *и это было* фронтиром. Присоединиться?



Спасибо

Вопросы?

Ссылки на публикации доступны в GOOGLE Scholar

<https://scholar.google.com/citations?user=D8XkcCIAAAAJ&hl=ru>

Оттиски частично есть в ResearchGates

https://www.researchgate.net/profile/Alexander_Gorban2

или в arXiv

<https://arxiv.org/search/?query=gorban&searchtype=all&source=header>

Или на сайте мегагранта в ННГУ <http://dalab.unn.ru/>

Проект «Нейродвойник» и всякие другие оттиски – запрашивайте по e-mail gorbanster@gmail.com