



С.С.Щербаков

Технологии искусственного интеллекта для реального сектора экономики и социальной сферы

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Щербаков С.С. Технологии искусственного интеллекта для реального сектора экономики и социальной сферы // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 7-й Международной конференции (15-17 февраля 2024 г., Москва). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2024. — С. 38-60. — <https://keldysh.ru/future/2024/1-3.pdf>
<https://doi.org/10.20948/future-2024-1-3>

Размещено также [видео выступления](#)

Технологии искусственного интеллекта для реального сектора экономики и социальной сферы

С.С. Щербаков

Отделение физико-технических наук НАН Беларуси

Аннотация. Работа посвящена теме развития технологий искусственного интеллекта (ИИ). Предложено прикладное определение ИИ. На основе ряда исследований технических систем ответственного назначения рассмотрены соответствующие технологии в сравнении с математическим моделированием. Обсуждены некоторые риски и перспективы, связанные с развитием ИИ.

Ключевые слова: искусственный интеллект, прикладная математика, стратегия развития, компьютерные расчеты, машиностроение, технические системы

Artificial intelligence technologies for the real sector of the economy and social sphere

S.S. Sherbakov

NAS B Department of Physical and Technical Sciences

Abstract. I describe the development of artificial intelligence (AI) technologies and propose an applied definition of it. Based on a number of studies of technical systems for critical purposes, I consider the corresponding technologies in comparison with mathematical modeling. I discuss some of the risks and prospects associated with the development of AI.

Keywords: artificial intelligence, applied mathematics, development strategy, computer calculations, mechanical engineering, technical systems

Введение

В открытом письме на сайте Future of Life Institute от 28 марта 2023 г. “Pause Giant AI Experiments: An Open Letter. We call on all AI labs to immediately pause for at least 6 months the training of AI systems more powerful

than GPT-4”¹ написано: «Системы искусственного интеллекта с интеллектом, конкурирующим с человеком, могут представлять серьезную опасность для общества и человечества... Мы должны спросить себя: должны ли мы позволять машинам наводнять наши информационные каналы пропагандой и неправдой? Должны ли мы автоматизировать все рабочие места, в том числе выполняющие? Должны ли мы развивать нечеловеческие умы, которые в конечном итоге могут превзойти нас численностью, перехитрить, сделать устаревшими и заменить нас? Должны ли мы рисковать потерей контроля над нашей цивилизацией?»

Илон Маск на Саммите по безопасности ИИ (1-2 ноября 2023 г, Великобритания) в частности сказал: «Впервые мы сталкиваемся с ситуацией, когда у нас есть нечто, что будет намного умнее самого умного человека... Неясно, сможем ли мы контролировать это, но я думаю, что нужно стремиться направить [технологии] в выгодном для человечества направлении... Но, по-моему, это одна из экзистенциальных угроз, с которыми мы сталкиваемся, и, возможно, самая насущная, если рассматривать временной масштаб и темп развития».

Это цитаты специалистов, глубоко погруженных в область ИИ, не о возможностях и перспективах ИИ, а о том, что ИИ является, скорее, «экзистенциальной угрозой», «опасностью для общества и человечества». И все же, угроза для какой конкретно части человечества на самом деле имеется в виду?

Начнем анализ с определения ИИ.

Определения искусственного интеллекта

Есть много различных определений ИИ, данные, например, энциклопедией Британика: “artificial intelligence (AI), the ability of a digital computer or computer-controlled robot to perform tasks commonly associated with intelligent beings”; Оксфордским словарем: “the theory and development of computer systems able to perform tasks normally requiring human intelligence, such as visual perception, speech recognition, decision-making, and translation between languages”; Википедией: “Artificial intelligence (AI) is the intelligence of machines or software, as opposed to the intelligence of humans or animals. It is also the field of study in computer science that develops and studies intelligent machines. "AI" may also refer to the machines themselves”.

Однако все эти определения даны нами – людьми.

А что о себе думает сам искусственный интеллект? Рассмотрим определение ИИ данное большой языковой моделью ChatGPT: “Artificial

¹ Приостановить гигантские эксперименты с искусственным интеллектом: открытое письмо. Мы призываем все лаборатории ИИ немедленно приостановить как минимум на 6 месяцев обучение систем ИИ, более мощных, чем GPT-4.

intelligence (AI) refers to the ability of machines or computer systems to perform tasks that typically require human intelligence, such as learning, reasoning, problem-solving, perception, and natural language processing. AI involves the development of algorithms, models, and systems that can analyze data, learn from experience, and make decisions based on the patterns and insights derived from the data. AI technologies can be used in various applications, such as speech recognition, image and video analysis, autonomous vehicles, and personalized recommendation systems”.

Возможно, это наилучшее из определений представленных здесь. Действительно, кому как не искусственному интеллекту дать себе определение.

Отметим, что все эти определения едины в одном: ИИ выполняет задачи, характерные обычно для людей. Эти задачи включают обучение, размышления, решение задач восприятия, обработку визуальной и текстовой информации, перевод.

В чем же отличие технологии искусственного интеллекта от традиционного математического моделирования?

Не секрет, что сейчас некоторые студенты пользуются различными системами ИИ чтобы генерировать, например, свои дипломы. Воспользуемся их актуальным опытом и попросим решить эту задачу ChatGPT: “Mathematical modeling based on physical principles is not typically considered to be part of the domain of artificial intelligence (AI). While mathematical modeling is an important aspect of many fields, including AI, it is generally not considered to be AI in and of itself.

AI generally refers to the development of algorithms and models that enable machines to perform tasks that would normally require human intelligence. This often involves techniques such as machine learning, natural language processing, and computer vision, which are used to enable machines to perceive, reason, learn, and adapt to changing environments. These techniques are typically not used in mathematical modeling based on physical principles, which instead relies on mathematical equations and physical laws to describe and predict the behavior of physical systems.

That being said, there are certainly areas where AI and mathematical modeling can overlap. For example, AI techniques can be used to optimize and improve the accuracy of mathematical models, or to extract insights from large datasets generated by physical systems”.

Логично, что этот ответ следует из данного выше определения и говорит о том, что технологии ИИ, соответствующие алгоритмы и модели позволяют машинам решать задачи, которыми обычно занимаются люди. Например, на рис. 1 показано, как работают системы компьютерного зрения, которые позволяют сопровождать человека, определять пустые места на парковке, идентифицировать специфические микроорганизмы при биологических лабораторных исследованиях [1,2].

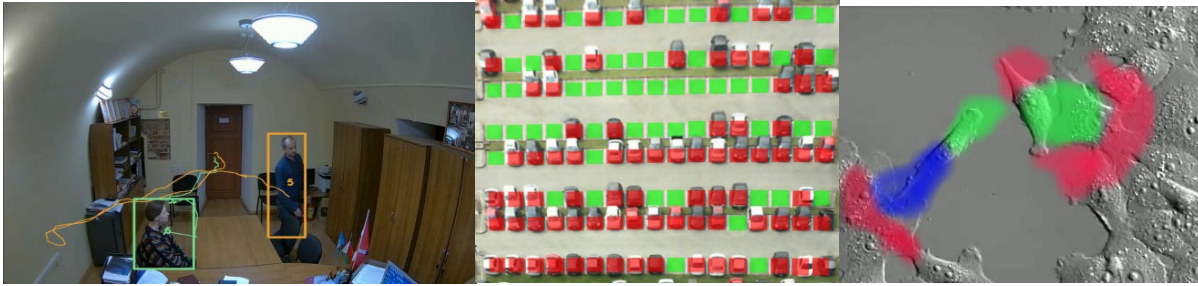


Рис. 1. Примеры применения технологий искусственного интеллекта

В свою очередь, математическое моделирование основано не на человеческом опыте и возможностях, а на физических принципах. Оно позволяет узнать о механических состояниях таких исследуемых объектов, как режущий инструмент сельскохозяйственного комбайна, вентилятор, наши зубы, то что человеку неподвластно (см. рис. 2) [3,4].

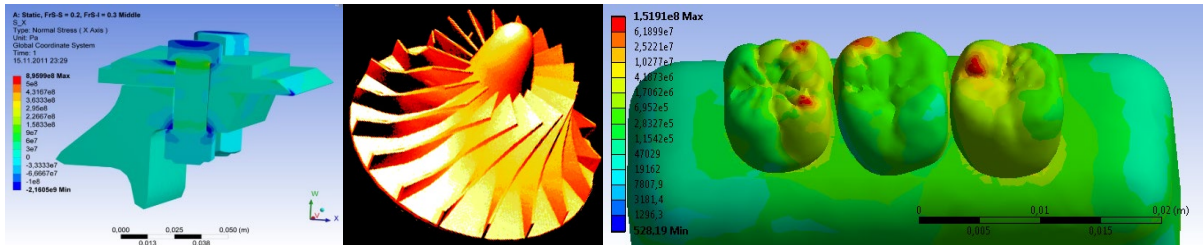


Рис. 2. Примеры применения математического моделирования

Разница кажется понятной. А что, если обратиться к более сложным объектам? Кто справится с задачей анализа и принятия правильных решений лучше – технологии искусственного интеллекта или математического моделирования?

Трибофатическая бомба

Рассмотрим явление катастрофического характера, которое получило название трибофатической бомбы [5-7].

В восьмидесятых годах прошлого века в Советском Союзе было принято решение провести модернизацию Костромской тепловой электростанции до мощности 1200 МВт. Это должно было стать большим шагом вперед, так как в то время действующие в Союзе электростанции обладали лишь половиной такой мощности. В США такие мощные электростанции уже были. Но их развитие шло постепенно 300, 500, 600, 800 МВт. Было принято решение в Костроме пропустить промежуточные этапы. Был построен специальный турбогенератор диаметром около 1 м и длиной 23 м (см. рис. 3).

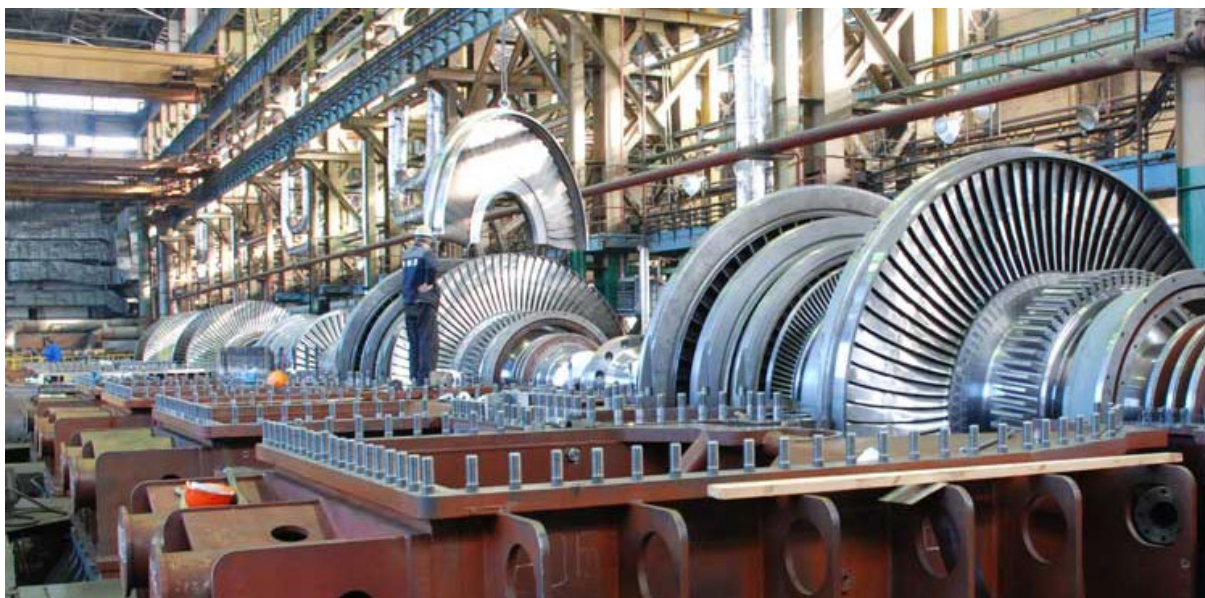


Рис. 3. Пример мощного турбогенератора

Строили его два года. Планировалось, что до капитального ремонта турбогенератор будет работать 25 лет, но всего лишь через 4 месяца турбогенератор был выведен из эксплуатации. Это произошло из-за интенсивного трещинообразования в нем. Для ремонта он был непригоден, и пришлось еще длительное время изготавливать новый турбогенератор. В это время сотрудники оставались без работы, экономические потери были огромны. Что же произошло?

Взорвалась так называемая *трибофатическая бомба*.

На рис 4. показана кривая усталости для стали, из которой был изготовлен турбогенератор. Для его изготовления была использована лучшая сталь с пределом усталости 370 МПа. Обычно при изготовлении объектов машиностроения применяется коэффициент запаса 1,4, т.е. действующие напряжения должны быть примерно в полтора раза меньше чем предельные полученные в эксперименте. Для особо значимых систем коэффициент запаса может быть четыре и даже пять. Поскольку Костромская электростанция – это особо значимый объект, то коэффициент запаса был выбран равным 11. И, тем не менее, даже при таком большом коэффициенте запаса, когда действующее напряжение были равны примерно 33 МПа и были в 11 раз меньше чем предел усталости, трибофатическая бомба взорвалась – началось интенсивное трещинообразование в турбогенераторе.

Почему она взорвалась? Специальная государственная комиссия, расследовавшая причины катастрофы, показала, что трещины начали появляться в неожиданном месте: на краях вентиляционного отверстия на поверхности вала турбогенератора. Эта область считалась практически ненагруженной, поскольку контактное давление между вентиляционным клапаном и краями вентиляционного отверстия было очень малым.

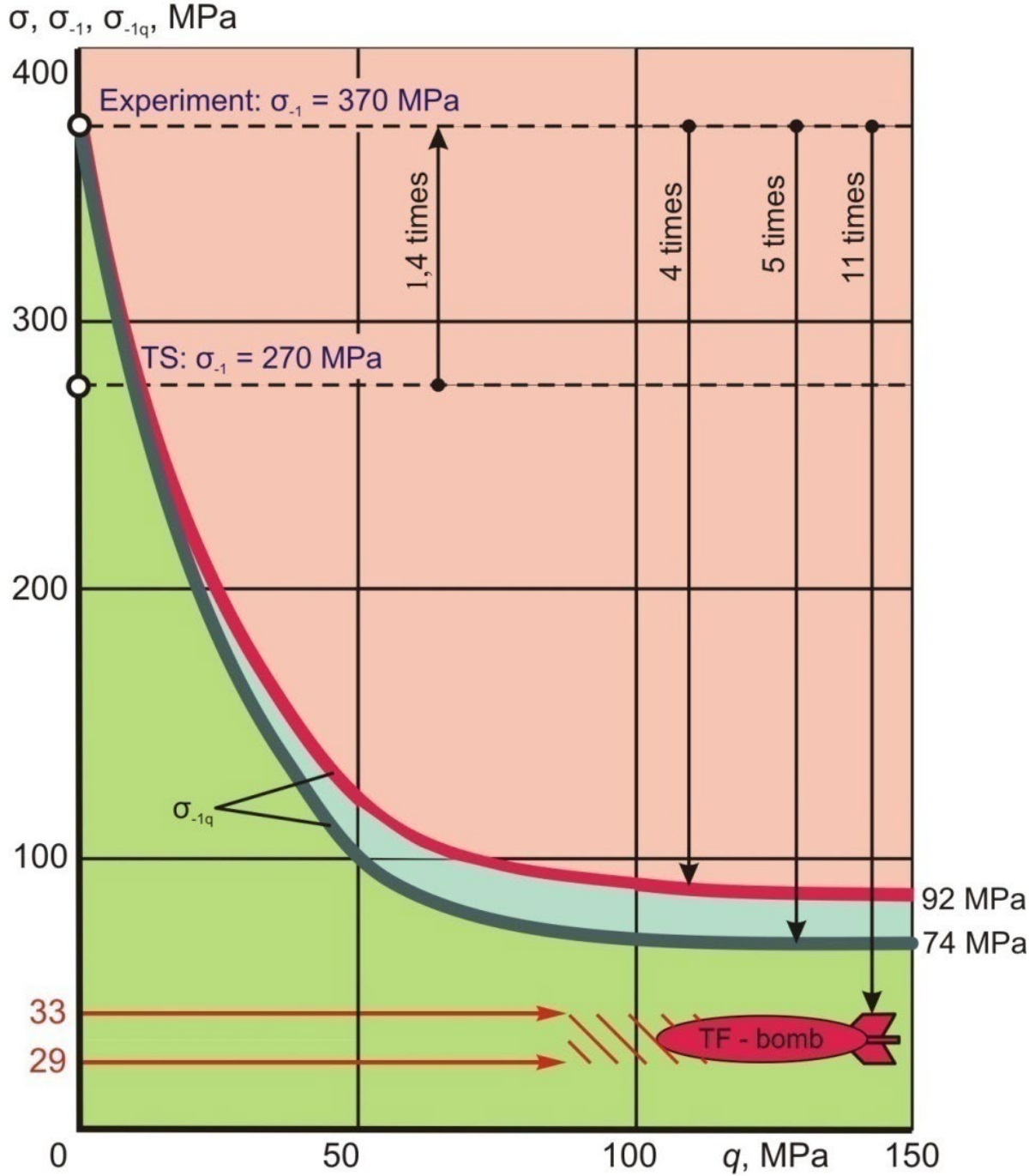
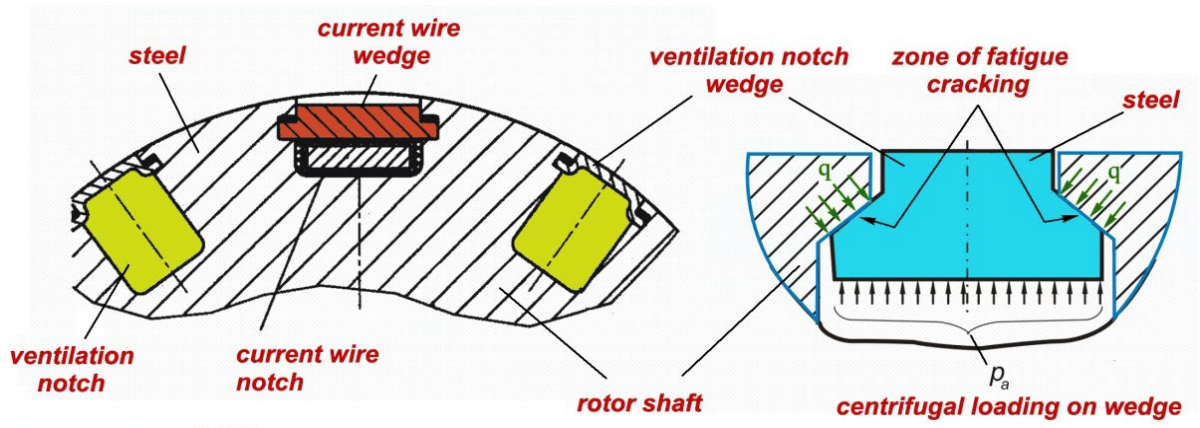


Рис. 4. К анализу трибофатической бомбы

Оказалось, что взаимодействие малых локальных контактных напряжений и малых усталостных напряжений вследствие объемного циклического деформирования привело к взрывному росту повреждений в условиях так называемого фреттинга усталости.

Чтобы спрогнозировать такое явление недостаточно было обычных механико-математических моделей, основанных на сложении или суперпозиции напряжений. Необходимо было разработать новые модели, которые позволяли бы прогнозировать наступление катастрофических повреждений при малых нагрузках и напряжениях.

Обратимся к другому примеру катастрофического повреждения.

В справочниках для железнодорожного транспорта известны более сотни специфических повреждений рельсов: трещины, сколы, износ различной формы. Однако в этих справочниках нет резкого изгиба рельса и разрушения рельса на мелкие части, как показано на рис. 5. А ведь именно такие катастрофические повреждения могут привести не только к большим экономическим потерям, но и к потерям человеческих жизней.

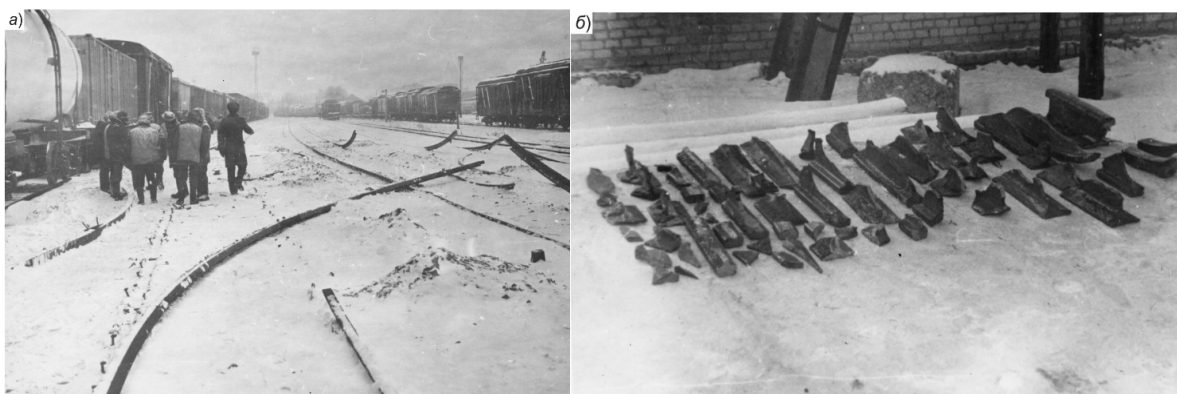


Рис. 5. Катастрофические разрушения рельсов

Могли бы в этом деле помочь современные технологии искусственного интеллекта в том виде, как мы их понимаем: искусственные нейронные сети, распознавание образов, глубокое обучение? Скорее всего, они оказались бы мало полезными, поскольку данные катастрофические явления редки, и искусственную нейронную сеть для их предсказания не на чем было бы обучать.

Для того чтобы прогнозировать подобные явления нужны также особые модели и технологии, позволяющие дать необходимые практические рекомендации.

Прикладное определения искусственного интеллекта

Начнем обсуждение этих моделей и технологий с прикладного определения искусственного интеллекта, с помощью которого сможем сформулировать требования к этим моделям.

Под искусственным интеллектом предлагается понимать автоматизированные (компьютерные) системы, способные собирать данные, анализировать их, синтезировать новую информацию, принимать решения, осуществлять их выполнение.

Чем это определение существенно отличается от определений, данных ранее? Оставим пока этот вопрос открытым.

Применение прикладного определения искусственного интеллекта для трибофатических систем: сбор данных

Пройдемся по списку из этого определения и начнем со сбора данных. На рис. 6 показан ряд систем ответственного назначения: система колесо-рельс, шина-асфальтобетон, поток нефти-участок нефтепровода, режущий инструмент сельскохозяйственного комбайна и даже биомеханическая система зубочелюстного аппарата человека [7-9].

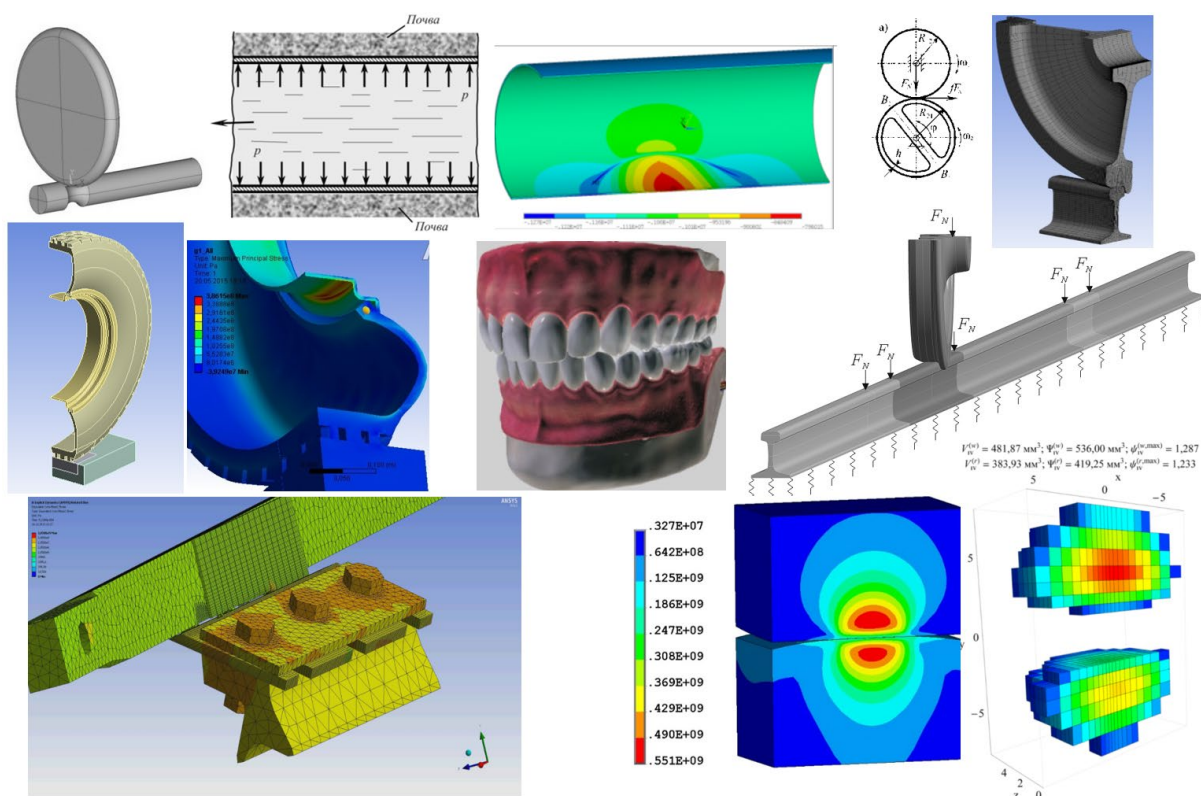


Рис. 6. Примеры деформируемых механических систем

На первый взгляд, эти системы ничем не связаны. Однако все они объединены тем, что состоят, по крайней мере, из двух взаимодействующих по некоторой площадке контакта тел, и при этом по крайней мере одно из взаимодействующих тел испытывает неконтактное объемное деформирование: растяжение-сжатие, изгиб или кручение.

Анализ данных

Для анализа таких сложных систем профессором Л.А. Сосновским было создано новое научное направление, получившее название *трибофатика*. Трибофатика изучает износоусталостные повреждения и отказы силовых систем машин и компонентов. В свою очередь, под силовой системой подразумевается механическая система, в которой одновременно реализуется процесс трения в любом его проявлении и внеконтактная переменная нагрузка.

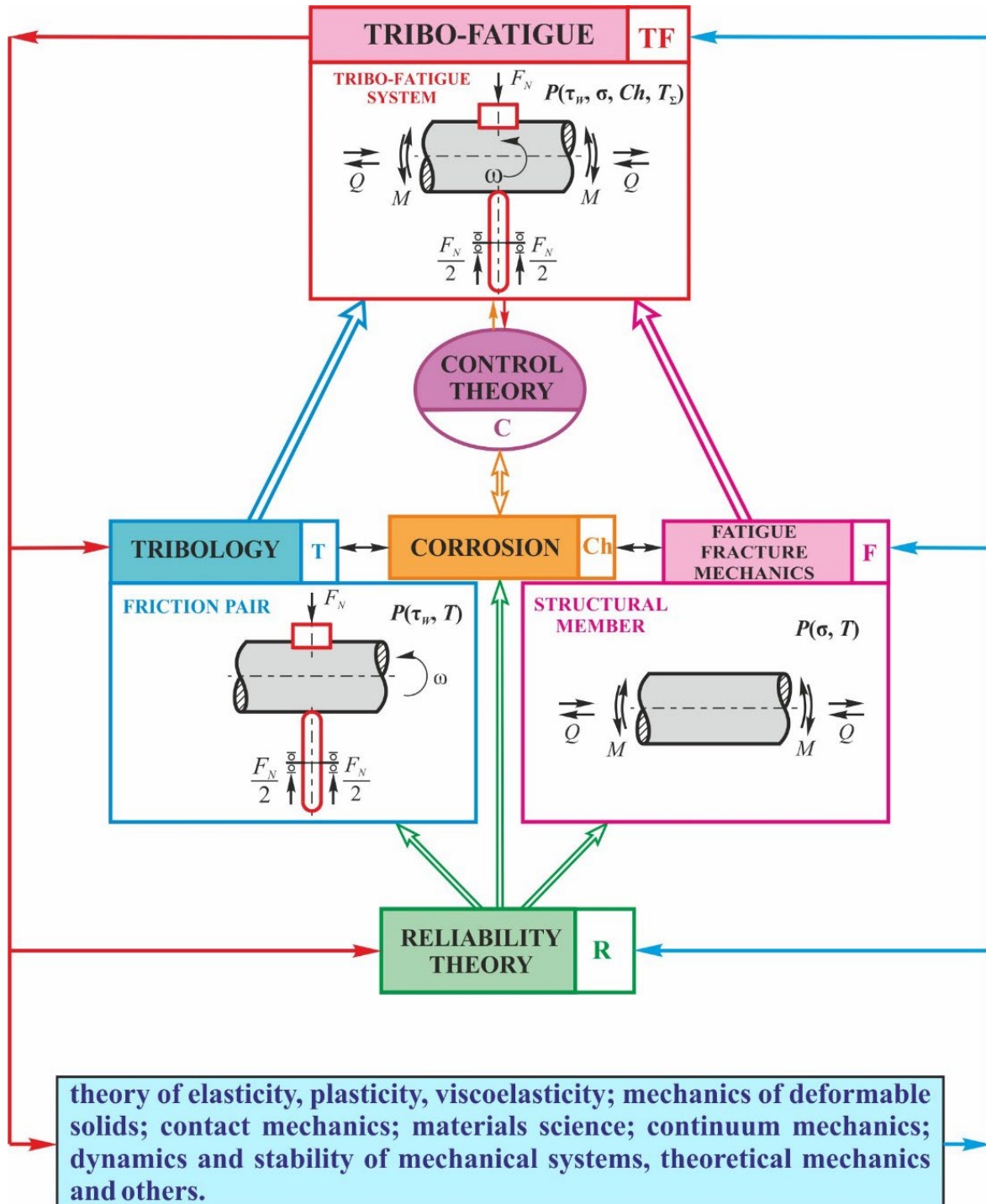


Рис. 7. К описанию методологии трибофатики

На рис 7 слева представлена пара трения качения или скольжения, которые изучаются в трибологии [6,9]. Также рис 7. справа представлен конструкционный элемент, работающий в условиях переменного нагружения, изучаемый механикой усталостного разрушения. Сверху показана силовая или трибофатическая система, в которой одновременно реализуется и локальное контактное взаимодействие, и объемное неконтактное деформирование.

Изучение напряженно-деформированного состояния подобных систем может вестись методами конечных или граничных элементов.

При реализации метода конечных элементов необходимо разбить на элементы всю изучаемую область твердого тела, решив дискретный аналог уравнений в частных производных.

При реализации метода граничных элементов достаточно разбить только элементы поверхности изучаемого объекта, что сокращает на единицу размерность задачи. Затем требуется определить распределение поверхностных усилий на граничных элементах, решив дискретный аналог интегральных уравнений.

Для описания поверхностных усилий применяются так называемые фундаментальные решения. В качестве таких решений можно рассмотреть, например, решение Кельвина о действии сосредоточенной силы в пространстве или плоскости.

Данные решения позволяют эффективно реализовать высокопроизводительные квантовоподобные параллельные вычисления с помощью графических акселераторов. На рис. 8 результат сорокакратного ускорения подобных параллельных вычислений распределения потенциала по сравнению с последовательными [10].

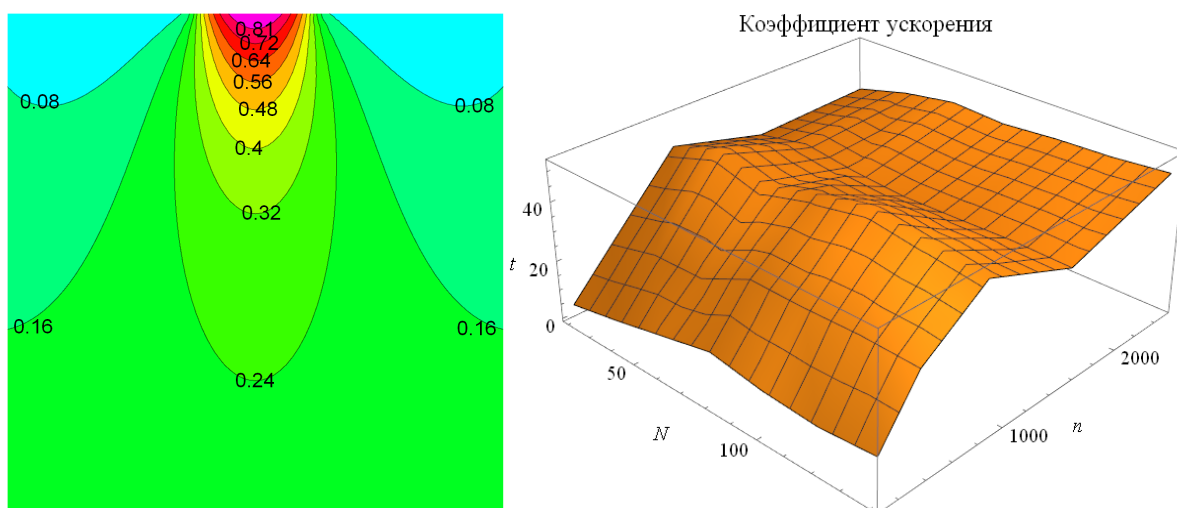


Рис. 8. Распределение потенциала в полуплоскости и ускорение его вычислений с помощью графического акселератора в зависимости от числа граничных элементов и расчетных точек

Все это позволяет определить комплексное напряженно-деформированное состояние трибофатической системы ролик-вал, применяемой в износоусталостных испытаниях. Из рис. 9 видно что напряженное состояние при чистом контакте (левый столбец распределений) существенно отличается от напряженного состояния при контакте с трением (средний столбец распределений) и при контакте с трением и неконтактным изгибом (правый столбец распределений) [8].

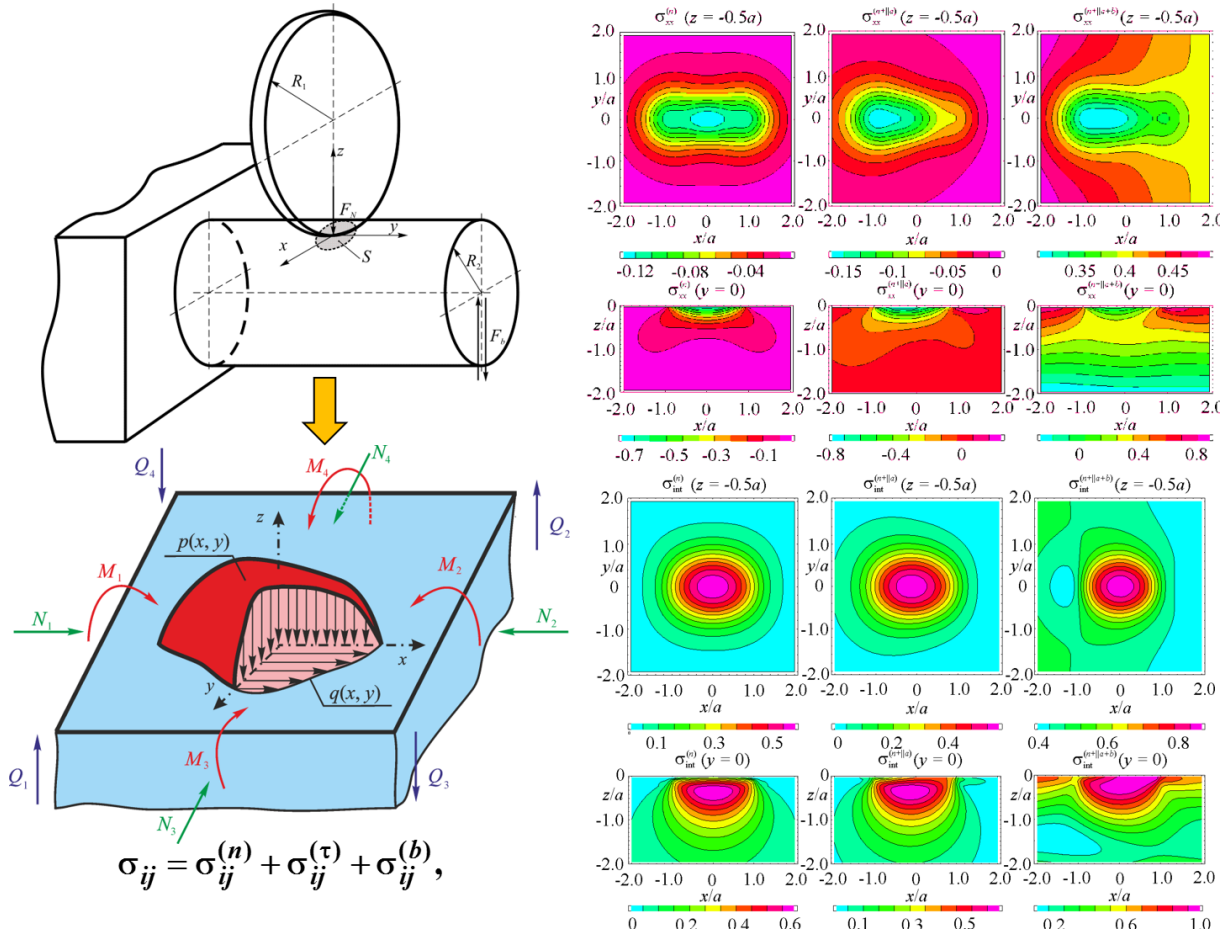


Рис. 9. Напряженно-деформированное состояние трибофатической системы ролик/вал

Это подтверждается и данными износоусталостных экспериментов, проведенных на специально разработанном центре для трибофатических испытаний. Из школьной программы мы знаем, что сила трения определяется нормальной нагрузкой и коэффициентом трения. Однако в результате трибофатических испытаний оказалось, что сила и технический коэффициент трения могут изменяться до 40% в зависимости от уровня неконтактной нагрузки (см. рис. 10) [8]. При этом в области неконтактного сжатия коэффициент трения качения увеличивается, а в области растяжения уменьшается.

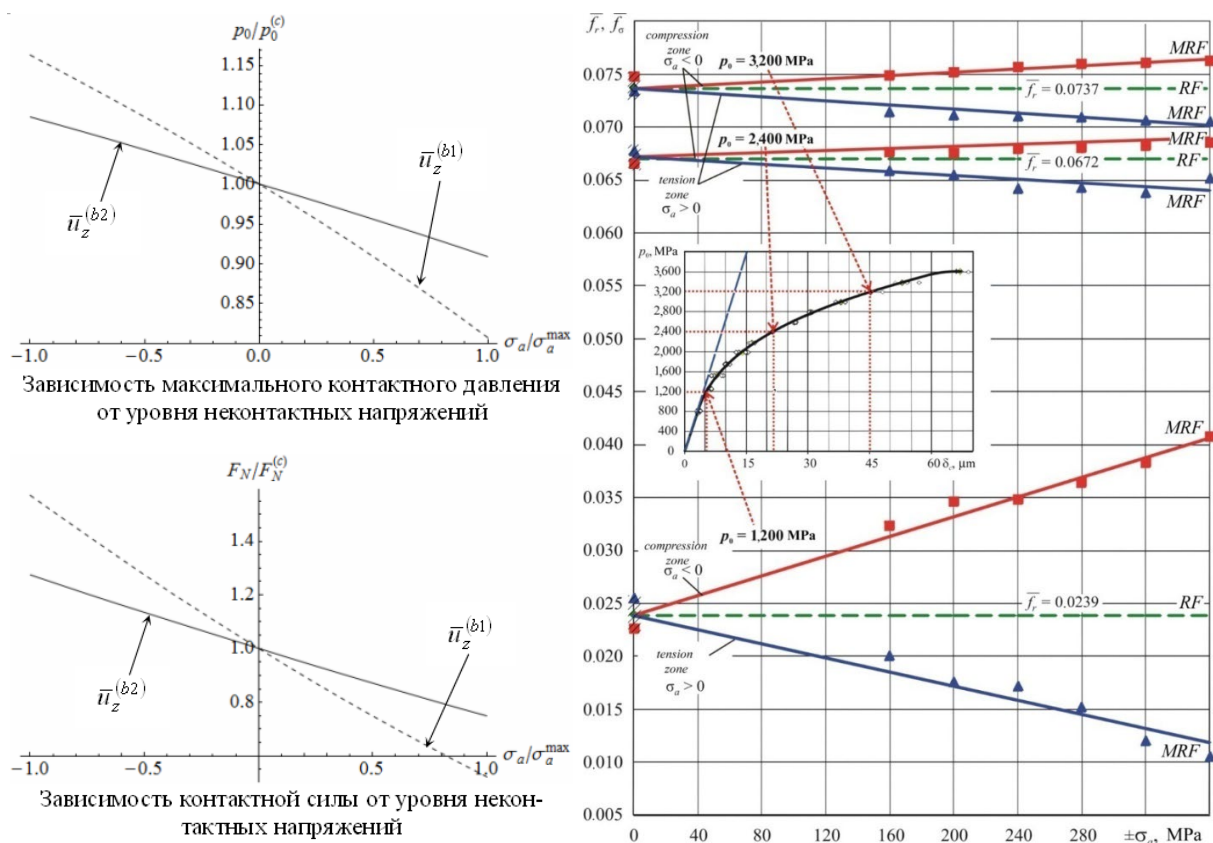


Рис. 10. Изменение расчетного контактного давления и экспериментально-го коэффициента трения качения

Синтез новой информации

Рассмотрим теперь синтез новой информации в соответствии с данным ранее прикладным определением искусственного интеллекта.

Традиционный анализ напряженно-деформированного состояния в соответствии с методологией и механикой материалов на этом можно было бы и завершить. Действительно, распределение напряжения получены, осталось лишь сравнить их максимальные значения с предельными напряжениями и сделать соответствующее заключение.

Однако, как показывает практика, трещины образуются не только в области максимальных напряжений, но и в ее окрестности. Поэтому для интегральной оценки системы не по одной точке с максимальными напряжениями, а по некому множеству точек были предложены модели с опасным поперечным сечением, опасной поверхностью.

В трибофатике была предложена модель деформируемого твердого тела с опасным объемом (см. рис. 11) [4-9]. Под опасным объемом в данном случае понимается трехмерная область тела, в каждой точке которой действующие напряжение больше или равны предельному. В качестве физического ограничителя опасных объемов было принято выбирать предел механической усталости, а точнее, нижнюю границу его статистического распределения.

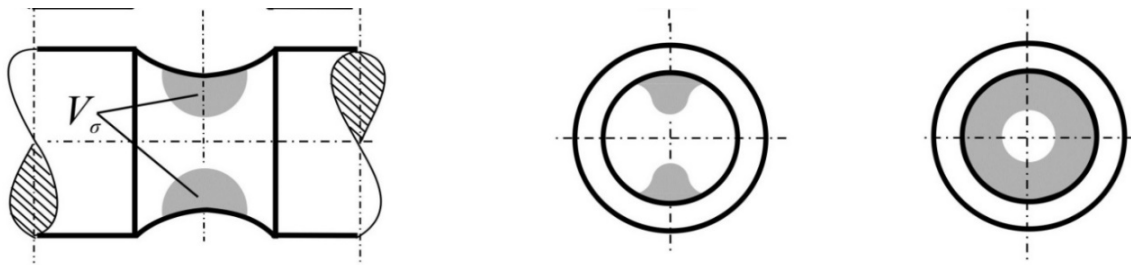


Рис. 11. Схематическое изображение опасного объема (серая область) в элементе конструкции

Эта модель оказалась очень эффективной. Она позволила оценить локальную повреждаемость как соотношение в каждом элементарном объеме действующих напряжений и предельных. Также она позволила оценить опасный объем всей системы как его интегральную меру повреждаемости.

Трибофатическая методология была успешно применена к изучению такой классической системы как колесо-рельс. Российские железные дороги давно борются с так называемым колесно-рельсовым вирусом. Это явление сверхнормативного износа, не поддающегося прогнозированию традиционными моделями. Мы показали, что это связано с необходимостью учитывать в модели не только контактное взаимодействие между колесом и рельсом, но и изгиб рельса всем составом. Игнорирование изгиба рельса в традиционной модели приводит к существенной, до 40%, недооценке как напряжений, так и опасных объемов в системе (см. рис 12).

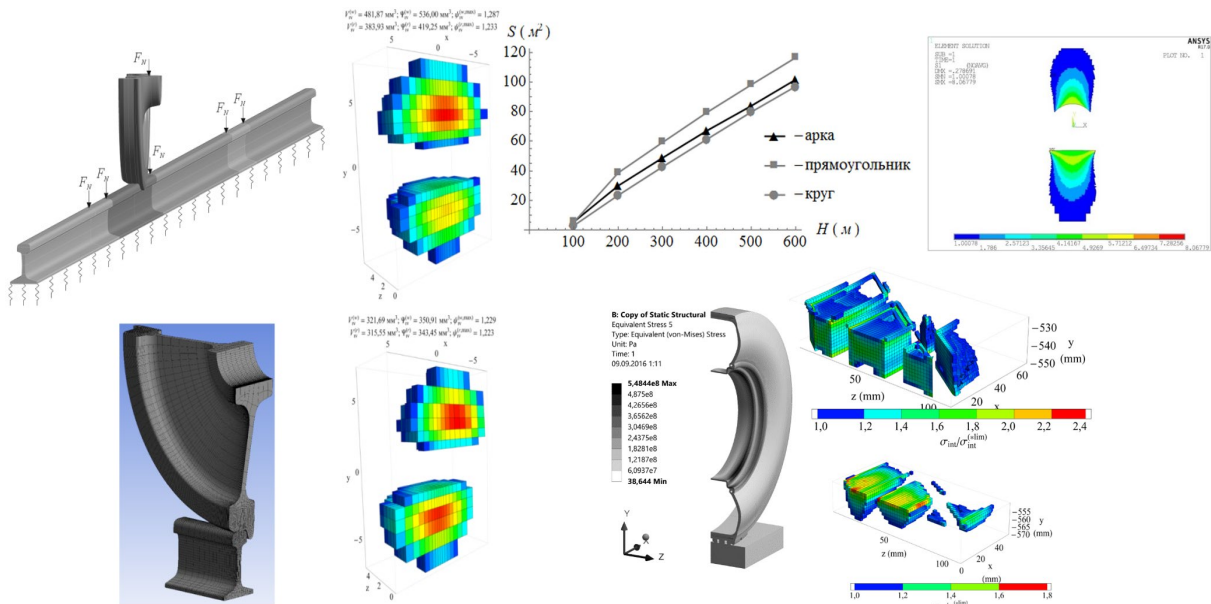


Рис. 12. Опасные объемы в системе колесо/рельс, окрестности горной выработки и системе шина/асфальтобетон

Аналогичным образом можно оценить опасные объемы как в шине, так и в асфальтобетоне при их взаимодействии.

Опасные объемы позволяют эффективно работать с системами не только на макроуровне, но и на микроуровне. Моделирование распространения трещин является очень сложной задачей, оно требует специальных программных пакетов и навыков, априорного знания направления и скорости распространения трещины в каждый момент времени.

Моделирование распространения трещиноподобного повреждения было проведено путем последовательного удаления малых опасных объемов из вершины трещины на каждом шаге нагружения (см. рис 13). Этот простой алгоритм позволил получить зависимость между коэффициентом интенсивности напряжений и скоростью распространения трещины, в качественном отношении хорошо согласующуюся с данными экспериментов [4].

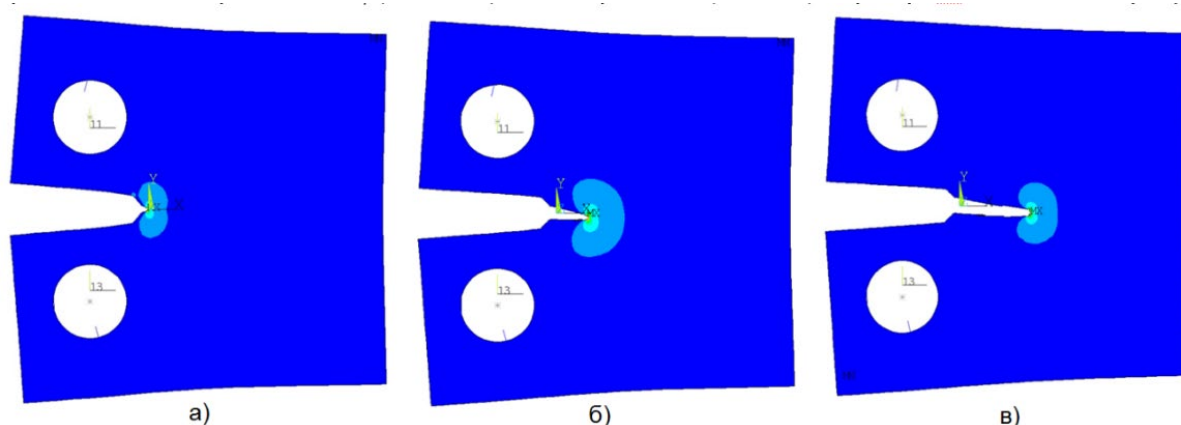
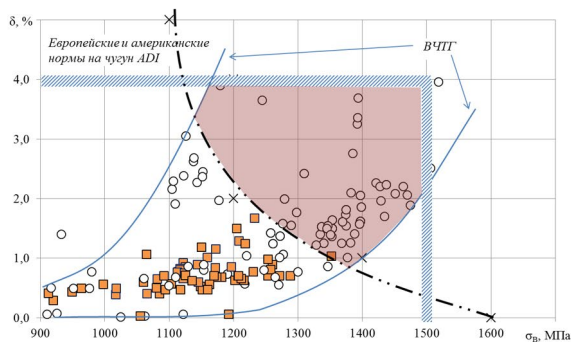


Рис. 13. Распространение трещиноподобного повреждения на а) 10-й, б) 40-й, в) 74-й итерации, моделируемое удалением на каждой итерации опасных объемов

Опасный объем оказывается чувствительным к изменению граничных и входных условий. Справа сверху на рис. 12 показано распределение напряжений в окрестности подземной выработки. Само по себе оно мало, как показывает практика. Но специалистам известна так называемая *зона трещиноватости*. Именно опасные объемы позволили определить ее величину и расположение. Кроме того, они позволили оптимизировать форму поперечного сечения выработки повреждаемости. Из графика видно, что наименьший повреждаемостью на всех глубинах залегания имеет круговая выработка.

Принятие решений и их внедрение

Одним из ключевых решений, направленных на увеличение долговечности и надежности трибофатических систем стала разработка нового конструкционного материала Моника на основе высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (см. рис. 14). Это материал два в одном: прочность и выносливость стали, а также технологичность чугуна [11].



Материал	HB_{\min}	HB_{\max}	Предел контактной усталости, МПа		Предел выносливости при изгибе, МПа	
			$P_{f\min}$	$P_{f\max}$	$\sigma_{-1\min}$	$\sigma_{-1\max}$
ЧУГУН с шаровидным графитом (ISO 6336-5:2003(E))	200	300	550,0	700,0	210,0	248,0
Легированная термоупрочненная СТАЛЬ (ISO 6336-5:2003(E))	200	390	706,6	1123,1	302,6	370,6
МОНИКА	320	360	900	1050	270	310



Рис. 14. К применению нового конструкционного материала Моника

Прочность данного материала достигает 1500 МПа, как и у высокопрочных сталей, при относительно высокой пластичности в 4%. Предел контактной усталости у Моника выше по сравнению как с обычными высокопрочными чугунами, так и с легированной термоупрочненной сталью. Выносливость при изгибе у Моника значительно выше, чем у высокопрочного чугуна и лишь немного отстает от высокопрочной стали. Из данного материала были изготовлены зубчатые колеса бортовых редукторов, ножи режущего инструмента сельскохозяйственного комбайна, железнодорожные рельсы. Все эти ответственные технические системы показали большую долговечность и устойчивость к повреждениям.

Применение модели деформируемого твердого тела с опасным объемом позволило интегрально оценить повреждаемость системы нож – противорежущий брус – зеленая масса в условиях сложной интерференции волн напряжений и деформаций. Были даны заключения о том, что наименьшая повреждаемость наблюдается у системы, в которой нож изготовлен из Моника, а брус – из стали.

По результатам данных исследований были проведены масштабные работы по импортозамещению зарубежных стальных ножей отечественными, изготовленными из Моника. Это привело не только к большому экономическому эффекту для предприятия, но и предотвратило срывы поставок ножей из-за рубежа.

Особая задача – это исследование взаимодействия разных сплошных сред, например, жидкости и твердого тела, как в случае нефти и участка нефтепровода. Важной прикладной задачей для данной системы является учет влияния коррозионных внутренних повреждений в трубах, бывших в длительной эксплуатации более 30 лет. Расчеты показывают значительное влияние данных коррозионных повреждений на величину пристеночного трения вследствие появления турбулентных завихрений.

Кроме того, истончение трубы в области дефекта само по себе приводит к увеличению напряжений. Для изучения напряженно-деформированного состояния в окрестности коррозионного повреждения была проведена серия из нескольких десятков численных экспериментов для различных значений внутритрубного давления, глубины повреждения, его длины и ширины.

В инженерной практике проведение таких расчетов на системной основе, конечно, затруднительно. Поэтому для построения автоматизированной системы поддержки принятия решения по ремонту или замене труб была построена аппроксимация полученных расчетных данных с помощью как искусственной нейронной сети, так и полинома, построенного на основе метода наименьших квадратов (см. рис. 15).

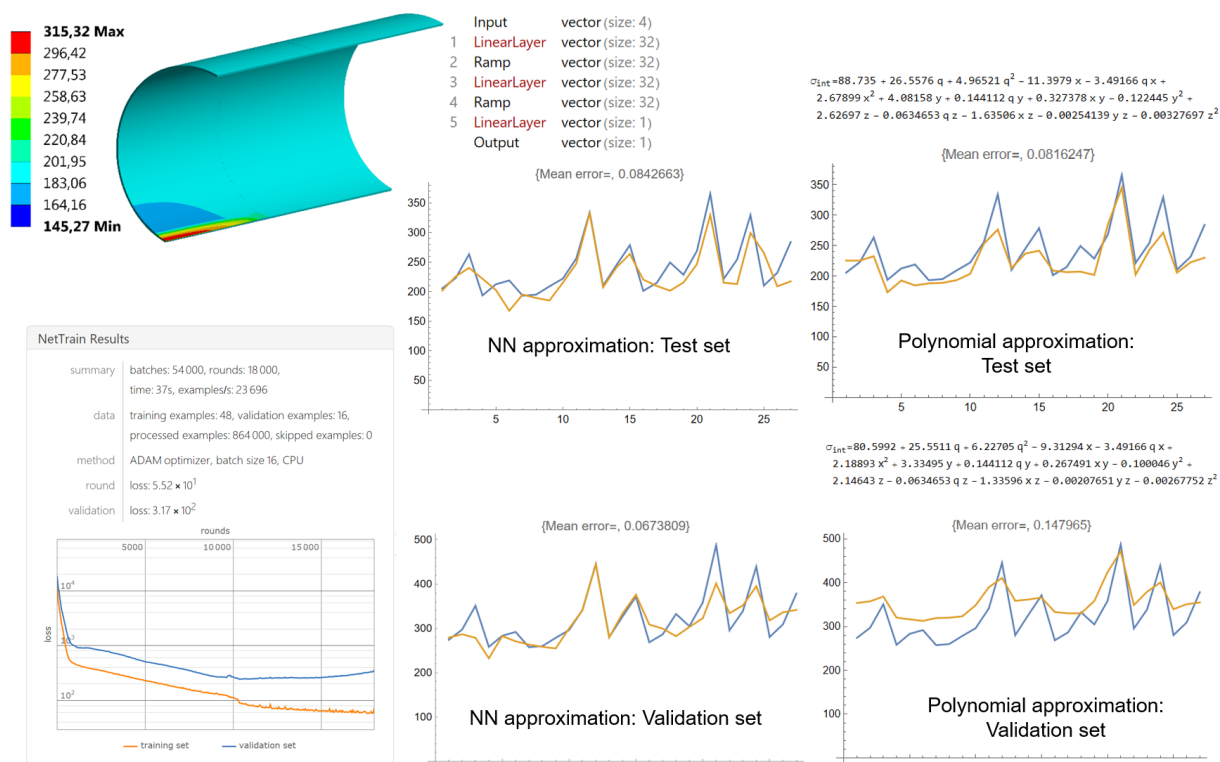


Рис. 15. К применению нейронных сетей для прогнозирования максимальных напряжений в окрестности коррозионных повреждений в магистральном трубопроводе

Оказалось, что для решения задачи интерполяции между расчетными точками внутри границ численного эксперимента подходят оба метода. Они дают погрешность около 8%. Однако для решения задачи экстраполяции за границей данных численного эксперимента лучше подходит искусственная нейронная сеть: ее погрешность вдвое меньше чем у полиномиальной аппроксимации. Это важное заключение о большом потенциале применения искусственной нейронной сети, позволяющей за счет своей многослойной архитектуры учитывать сложные нелинейные эффекты.

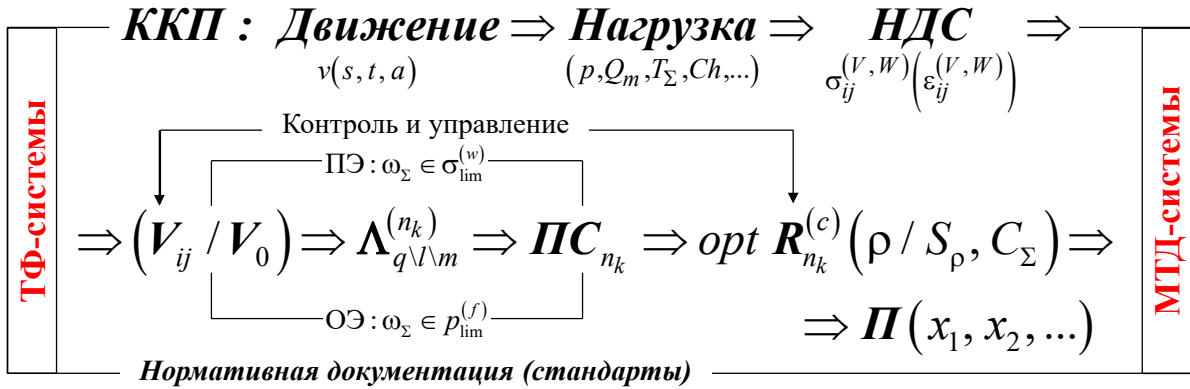
Данные результаты позволяют прогнозировать напряженно-деформированное состояние для сложной конфигурации коррозионных повреждений, полученной методами внутритрубной диагностики. Такой прогноз становится основой для принятия технологических решений.

Для обеспечения интегрального качества рассмотренных изделий ответственного назначения была создана соответствующая методология последовательной постановки и решения задач (см. рис. 16). Это модели взаимодействия n деформируемых тел при комплексном нагружении, совмещенного трехмерного напряженно-деформированного состояния (НДС), объемной повреждаемости, прогнозирования рисков, предельных состояний, регулярных волнообразных остаточных повреждений (троппи).



Рис. 16. Методология последовательной постановки и решения задач

Задачи: механико-математическое моделирование и расчет *динамики, прочности, износостойкости и надежности* машин, оборудования и материалов с прогнозированием и *оптимизацией* контролируемого и управляемого ресурса изделия и обеспечением его интегрального качества в соответствии с требованиями рынка, в том числе по критериям *безопасности* для людей, *техногенного и экологического риска* эксплуатации



ККП – комплекс компьютерных программ; **НДС** – совмещенное пространственное напряженно-деформированное состояние; V_{ij}, ω_{Σ} – состояния объемной поврежденности; Λ – функции взаимодействия; ПЭ, ОЭ – прямой, обратный эффекты;

ПС – многокритериальное предельное состояние; **R** – управляемый ресурс; ρ/S_{ρ} – состояние риск / безопасность; C_{Σ} – совокупные затраты в сферах производства и эксплуатации; $\Pi(X)$ – интегральное качество.

Цели: обеспечить импортозамещение, энергосбережение, снижение затрат труда, средств и материалов в сферах производства и эксплуатации, и, в конечном счете повысить конкурентоспособность изделий (Hi-Tech)

Рис. 17. Алгоритм расчета и проектирования изделий ответственного назначения

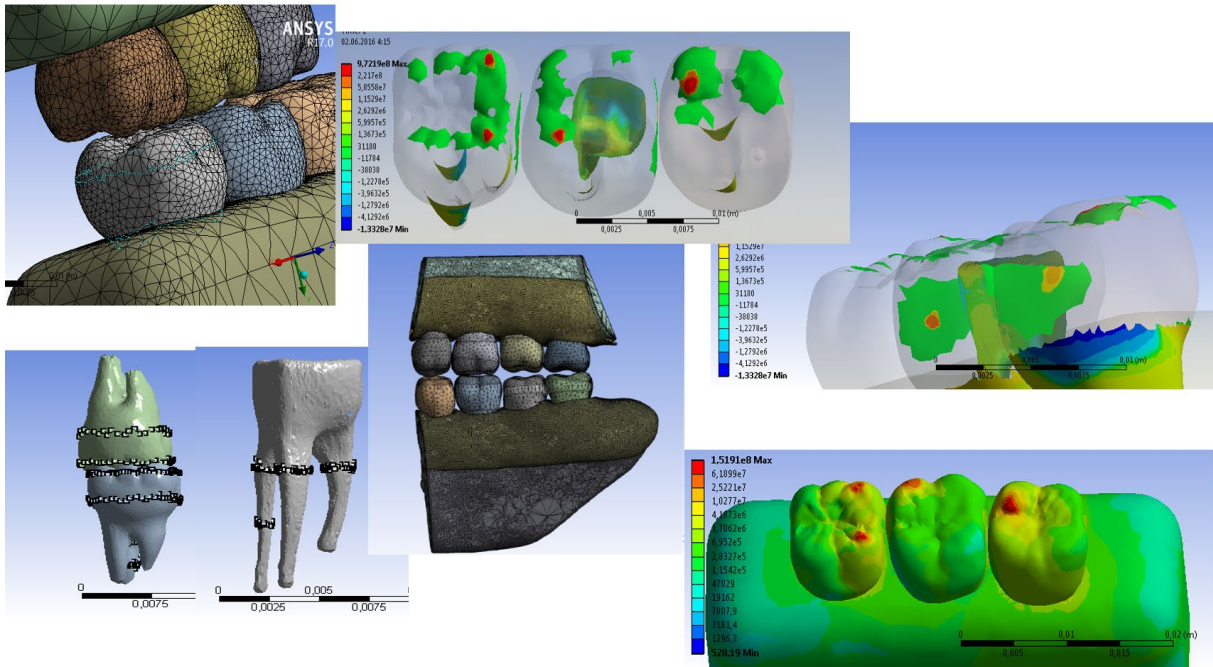


Рис. 18. К моделированию зубочелюстного аппарата человека

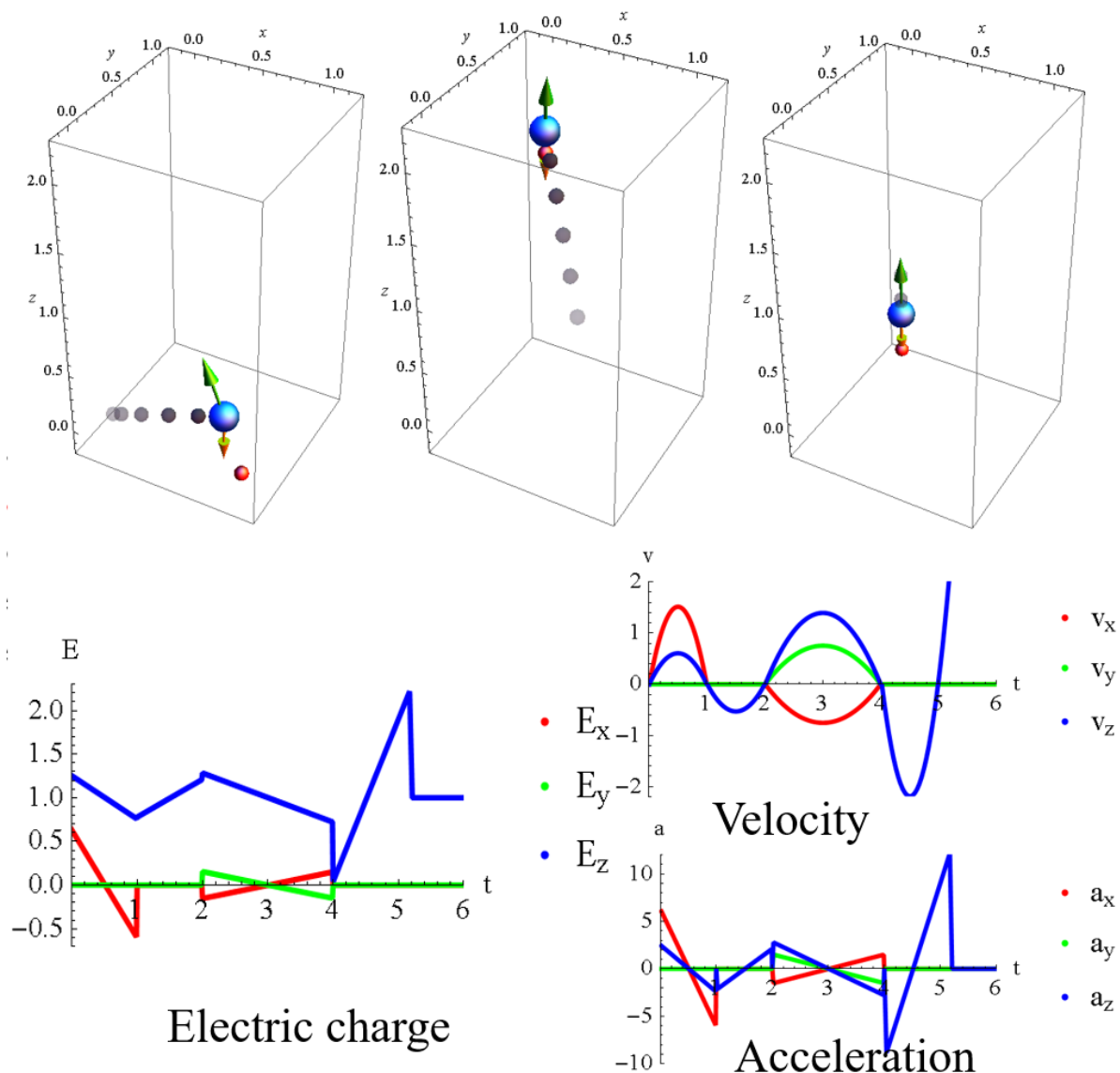


Рис. 19. К реализации метода посредника перемещения нанообъектов

Разработан алгоритм расчета и проектирования изделий ответственного назначения, в котором указанные модели дополняются системами управления и оптимизации по повреждаемости (см. рис. 17) [4].

Среди дальнейших перспективных направлений исследований можно выделить, например, систему зубочелюстного аппарата человека (см. рис. 18) [4]. К настоящему времени есть много исследований напряженно-деформированного состояния отдельных зубов, челюсти, зубов, жестко закрепленных в челюсти, контактного взаимодействия двух зубов.

Нами ставится задача создания платформы для изучения зубочелюстного аппарата человека, в которой присутствуют все зубы двух челюстей, реализуется контактное взаимодействие между ними, учитывается влияние периодонта, а также сложная структура каждого зуба. Такая система может оказать большую помощь стоматологам и хирургам при планировании ле-

чебных и хирургических вмешательств на основе анализа не только геометрии зубочелюстного аппарата, но и его напряженно-деформированного состояния.

Также интересным направлением дальнейшей работы является реализация метода посредника доставки нанообъектов с помощью электромагнитного и силового воздействия (см. рис. 19) [4]. Суть метода заключается в том, что электропроводящий макропосредник управляется электромагнитным полем, захватывает с помощью сил Ван-дер-Ваальса нанообъект и сбрасывает его затем в точке доставки. Решение этой задачи весьма затруднительно и потребует, в том числе, применения лазерных технологий для определения положения макропосредника.

К прикладному определению искусственного интеллекта

Вернемся к прикладному определению искусственного интеллекта.

Оно отличается от традиционных отсутствием воспроизведения человеческих возможностей. Выше было показано, что человеческие возможности могут быть заменены на возможности математического моделирования. И как техническое зрение воспроизводит возможности человеческого зрения, так и искусственные нейронные сети могут в качестве основы для прогнозирования использовать данные численных экспериментов, основанных на применении физически обоснованных математических моделей.

Но все-таки здесь надо посоветоваться с экспертом.

ChatGPT согласился с представленной аргументацией и предложил ряд направлений, объединяющих усилия технологии искусственного интеллекта и математического моделирования: оптимизация, симуляция, анализ данных и системы управления:

«Оптимизация. Техники искусственного интеллекта, такие как эволюционные алгоритмы, нейронные сети и обучение с подкреплением, могут использоваться для оптимизации математических моделей. Это включает в себя поиск лучшего набора параметров модели, которые соответствуют заданному набору данных или минимизируют некоторую целевую функцию.

Симуляция. Математические модели могут использоваться для моделирования поведения сложных систем, таких как погодные условия, потоки жидкости и электрические цепи. Техники искусственного интеллекта могут использоваться для улучшения точности и эффективности этих симуляций путем оптимизации моделей, уменьшения вычислительной сложности или управления неопределенностью во входных данных.

Анализ данных. Математические модели могут использоваться для анализа и интерпретации данных из физических систем, таких как данные сенсоров или экспериментальные измерения. Техники искусственного интеллекта могут применяться для извлечения закономерностей и идей из

больших наборов данных с использованием алгоритмов машинного обучения, техник кластеризации или обнаружения аномалий.

Системы управления. Математические модели могут использоваться для проектирования и оптимизации систем управления, таких как роботизированные манипуляторы, автономные транспортные средства или промышленные процессы. Техники искусственного интеллекта могут применяться для улучшения устойчивости и адаптивности этих систем с применением обучения с подкреплением, нечеткой логики или экспертных систем».

Из всего рассмотренного выше, похоже, следует, что искусственный интеллект – это скорее задача, а не объект или конкретные (нейросетевые) модели и технологии.

К введению

Вернемся к цитате Илона Маска во введении: «Но, по-моему, это одна из экзистенциальных угроз, с которыми мы сталкиваемся, и, возможно, самая насущная, если рассматривать временной масштаб и темп развития».

Действительно, риски применения систем искусственного интеллекта во многом связаны с возможностью их влияния на общественное мнение относительно важнейших вопросов жизни общества. Один из ярких примеров – продукты компании Cambridge Analytica, использованные на выборах в США в 2016 г.

Также не столько опасной, сколько обескураживающей может стать высокая компетентность систем искусственного интеллекта в областях человеческой деятельности, которые традиционно считались творческими и недоступными для воспроизводства «машиной»: изобразительное искусство, литература.

Расстраиваться, впрочем, не стоит, поскольку мы сами в некотором смысле являемся продуктом очень долгого «эволюционного обучения». И похоже, не скоро появится единая комплексная система ИИ, которая сможет и картину нарисовать, и стих сочинить, и рыбку поймать, и дифференциальное уравнение решить, и дом построить, и котлетку съесть, что несколько снижает страх «восстания машин».

Несомненно, системы искусственного интеллекта могут резко ускорить научно-технический прогресс и позволить быстрее эволюционировать обществу, учитывая его истинные чаяния (нейронные сети на основе физических моделей, «умные» экосистемы, «госуслуги», «одно окно», ведомственные информационно-аналитические системы).

Суть волнения Маска, похоже, раскрывает продолжение его цитаты «Неясно, сможем ли мы контролировать это...». Если под «мы контролировать» имеется в виду контроль (в т.ч. посредством закрытого проприетарного кода) со стороны крупнейших транснациональных корпораций и представляющих их «визионеров» в интересах собственных и курирующих

их отдельных государств, то, конечно, такого контроля необходимо всячески избегать.

Поэтому выбор направления и способа использования ИИ, например, при построении электронного государства – сложная задача, решение которой должно базироваться на достижении консенсуса с привлечением всех заинтересованных сторон и на основе как можно более объективной оценки баланса последствий их применения.

Гипотезы

Последствия применения технологий искусственного интеллекта – это актуальная и важная тема для всесторонней дискуссии, в которой пока не выработаны окончательные суждения относительно того, какими и для кого будут эти последствия, не приняты соответствующие решения. Поэтому вместо заключения в настоящей работе предложены некоторые гипотезы, которые могут как подтвердиться, так и быть опровергнуты.

Искусственный интеллект – это, скорее, постановка задачи, широкое направление исследований и разработок, а не объект или конкретные (нейросетевые) модели и технологии.

Нейросетевые модели за счет своей многослойной структуры, способной учесть существенно нелинейный характер искомой модели, могут обеспечить значительно лучшую чем традиционные подходы (например, полиномиальная аппроксимация) экстраполяцию экспериментальных данных, сохраняя соизмеримые с ними результаты при интерполяции.

Контроль за системами искусственного интеллекта должен осуществляться в интересах общества в целом, а не отдельных индивидов или групп (финансово-промышленных), на основе консенсуса с привлечением всех заинтересованных сторон и как можно более объективной оценки баланса последствий его применения.

Литература

1. *Абламейко С.В., Журавков М.А.* Технологии искусственного интеллекта: текущее состояние и направления развития // Наука и инновации. 2023, №2, 56-61.
2. *Абламейко С.В., Недзьведь А.М., Богуш Р.П.* Технологии искусственного интеллекта: компьютерное зрение // Наука и инновации. 2023, №3, 48-58.
3. *Журавков М.А., Босяков С.М., Щербаков С.С.* Технологии искусственного интеллекта: системы компьютерного моделирования в прикладных исследованиях // Наука и инновации. 2023, №1(4), 43-51.
4. *Щербаков С.С.* Математическое моделирование и вычислительная механика: потенциал для роста наукоемкой экономики // Наука и инновации. 2019, №2, 45-53.

5. *Сосновский Л.А.* Основы трибофатики. – Гомель: БелГУТ, 2003. Т.1. – 246 с.; Т.2. – 234 с.
6. *Sosnovskiy L.A.* Tribo-fatigue. Wear-fatigue damage and its prediction // Foundations of Engineering Mechanics, Springer, 2005. – 424 p.
7. *Сосновский Л.А.* Механика износоусталостного повреждения. – Гомель: БелГУТ, 2007. – 434 с.
8. *Щербаков С.С., Сосновский Л.А.* Механика трибофатических систем. – Минск: БГУ, 2011. – 407 с.
9. *Sherbakov S.S., Basaran C.* On the development of tribo-fatigue as the new section of mechanics // Int. J. Materials and Structural Integrity. 2021, 14(2/3/4), 142-163.
10. *Щербаков С.С., Мармыш Д.Е., Полещук М.М.* Ускорение расчета распределения потенциала в полуплоскости методом Галеркина при реализации метода граничных элементов с нелинейными функциями формы // Актуальные вопросы машиноведения. 2022, №11, 12-25.
11. *Sosnovskiy L.A., Sherbakov S.S.* New cast iron Monica loses its brittleness with increasing strength // Int. J. Materials and Structural Integrity. 2024, 15(1), 24-41.