

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого
Физико – Механический Институт
Институт Передовых Производственных Технологий



26 -27 сентября 2022
Москва

**Российские суперкомпьютерные
дни**



Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков

**О ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВАХ ЦИФРОВОЙ
ЭКОНОМИКИ**

(На примере материального производства)

Авторы доклада

Ю.Я. Болдырев – профессор.

Физико – Механический Институт,
Институт Передовых Производственных
Технологий.

А.И.Боровков – профессор, проректор
по цифровой трансформации.

.

**Этим докладом мы выносим на Ваше обсуждение
тематику того, что нами понимается под
фундаментальными основами Цифровой экономики**

План работы:

Раздел 1. Введение

**Раздел 2. Математические технологии как основы
человеческой деятельности**

Раздел 3. Ретроспектива развития компьютерных технологий

**Раздел 4. Становление и развитие системного подхода по
применению компьютерных технологий в промышленности**

**Раздел 5. Развитие компьютерных технологий в
промышленности от CALS – технологий к передовым PLM
средам разработки**

**Раздел 6. О подготовке инженерных кадров для Цифровой
экономики**

Раздел 7. Заключение

Введение

Этот доклад представляет нашу работу, в которой сделана попытка сжато описать основы знания, на базе которых формируются понятие Цифровой экономики и её современное содержание.

Экономика и цифра, конечно, глубинно, и поверхностно связаны друг с другом, хотя бы потому, что веками человечество вело учет (а это цифры) товаров, путей их доставки, да и что такое бухгалтерия, как не работа с «экономическими данными», то есть с цифрами.

Но **Цифровая экономика**, - это конечно совершенно иное понятие, которое указывает на качественно новое содержание, характеризующее экономику нового формата или экономической деятельности на основе новых инструментов.

Поясним это на примере материального производства. Рассматривая, например, при производстве станка мы видим то сам этот процесс, как известно, включает в себя множество этапов.

От идеи его разработки, то есть проектирования и на базе проекта, инженерного анализа, многоэтапного процесса собственно производства, процесса поддержки изделия при эксплуатации и, наконец, процедуры утилизации.

Во все времена все эти этапы создания сложных изделий требовали (каждый своей) расчетной поддержки. При этом непрерывно росли требования к точности расчетов при проектировании машин и механизмов. Пример - появление и совершенствование тепловых машин от паровой машины до дизеля (Т.Ньюкомен 1712 г., Р. Дизель конец XIX века). Рост точности расчетов приводил к росту качества технологий изготовления.

Успехи математики и других естественных наук в начале Нового времени породили вал математических технологий и подходов, которые могли быть использованы в различных сферах индустрии и этот вал нарастал и примерно с конца XVIII – начала XIX веков стал существенно опережать возможности их использования в промышленности.

К рубежу XIX - XX веков практически в современном виде оформились основы классической **математической физики**. Её аппарат, **в виде дифференциальных уравнений в частных производных**, позволял решать инженерные задачи из самых разных областей, это и механика твердого деформируемого тела, и аэрогидродинамика и теплообмен, задачи электромагнетизма. Но большие возможности математической физики использовались в очень ограниченном объеме по двум причинам. **Во-первых**, имелись серьезные проблемы с тем, как решать многие задачи математической физики, которые в подавляющем большинстве могли быть решены только численно, а методы таких численных решений появились много позже и, **во-вторых**, объемы вычислений необходимые для получения таких решений были непреодолимы.

Проблема разработки численных решений уравнений математической физики, в значительной мере была решена в первой половине XX века. Здесь выдающаяся роль сыграли В.Ритц и наши соотечественники И.Г.Бубнов и Б.Г.Галёркин.

Вторая проблема преодоления барьера ресурсоемких вычислений начала решаться примерно с середины XX века и тому, как она решалась и в каких направлениях применительно к сфере материального производства в большой мере и посвящена наша книга.

Цель настоящей работы – дать общие представления о тех основах, а конкретнее технологиях, которые базируются на естественных науках и составляют фундамент того, что называют Цифровой экономикой. При этом в **фокусе нашего внимания** будут находиться те **аспекты связи естественнонаучного знания и компьютерных технологий**, которые решающим образом влияли и влияют сегодня на развитие в первую очередь ключевого сегмента экономики, – сферы материального производства, оставляя в стороне, такие, например, отрасли, как финансовый сектор.

Раздел 2. Математические технологии как основы человеческой деятельности

2.1. Введение

2.2. О математическом моделировании

2.3. Ретроспектива развития математического фундамента инженерной деятельности

2.4. Заключение к разделу 2

2.1. Введение

Вопрос, а сколько способов – методов – подходов есть у человечества при **исследовании - изучении Природы?**

И именно изучение законов Природы положило начало простейшей производственной деятельности. И имена всех величайших ученых Древнего мира, Средних веков, эпохи Возрождения и начала Новейшего времени, прямо связаны с внедрением их идей в производственную и житейскую практику. Например, назовем только гениального Леонарда Эйлера (1707 – 1783). Где только не приложил свой гений математик – механик – кораблестроитель – картограф.

Мы начали наше повествование с математики, поскольку её роль в определении «количества» чего либо, - веса, скорости, силы и т.д., то есть в конечном итоге в нахождении характеризующей эти величины «цифры» является центральной при изучении того, что такое Цифровая экономика.

Возвращаясь к вопросу, который задали в самом начале, - какие же способы изучения природы мы имеем в нашем распоряжении и что это за способы? Размышления показывают, что **таких способов ровно два**. Это - физический эксперимент и эксперимент теоретический, т. е. математический. Больше нам ничего не дано!

При этом очевидно, что эти **два подхода находятся в связи** друг с другом, о чем мы говорим на протяжении всего нашего исследования.

Эта работа, по своей сути, посвящена применению математического эксперимента в сфере материального производства, и нам необходимо как-то формализовать то что нами понимается под самим математическим экспериментом. Говоря совсем просто нам нужно корректно описать то что, мы понимаем под этим фундаментальным понятием.

Уместно указать и на то, что, сегодня, как и в прошлом, многие понятия из области математического эксперимента часто используются без осмысления их существа. Например, существующие в обиходе, в том числе в высшей школе, и в инженерной среде, понятия **«компьютерное моделирование»** или **«суперкомпьютерное моделирование»** показывают, их полную бессмысленность, поскольку компьютер ничего не моделирует! Но отсутствие естественнонаучного (особенно в части математики) взгляда у многих выпускников вузов дает себя знать, что и порождает неточности и ошибки на уровне ключевых определений.

2.2. О математическом моделировании

Наиболее полным и точным ответом на вопрос о том, что современная наука понимает под математическим экспериментом является определение (понятие) математического моделирования. Единый и систематически выверенный взгляд на то, что же такое математическое моделирование был разработан выдающимся советским российским математиком Александром Андреевичем Самарским (1919 - 2008 гг.).

Итак, математическое моделирование включает в себя следующие блоки.

I блок. Составление математической модели явления, процесса, задачи и т.д.

II блок. Анализ математической корректности построенной математической модели, описывающей нашу задачу.

III блок. Переход от непрерывной математической модели к модели дискретной.

IV блок. Анализ математической корректности вновь полученной дискретной задачи (на основе исходной).

V блок. Написание алгоритма для дискретной задачи, то есть последовательности вычислительных шагов и его перенос на компьютер, - программирование.

VI блок. Отладка программы, то есть её тестирование, получение результатов и их анализ.

2.3. Ретроспектива развития математического фундамента инженерной деятельности

Обращаясь к этой неисчерпаемой для современного высокотехнологичного производства теме, выделим основополагающие знания, - ядра инженерного анализа. Это фундаментальное естественнонаучное знание в виде физико – механики и химии, то есть науки, которые позволяют построить некоторые соотношения, дающие нам инструменты для определения количественных характеристик разрабатываемых изделий. А математика!?

А она дает нам способы работы с этими соотношениями - математическими объектами. Это, по своей природе, I блок концепции математического моделирования. И здесь мы рассматриваем исторический путь развития Механики жидкости и

и газа, Механики твердого деформируемого тела, Тепломассообмена, Электродинамики. То есть всех тех дисциплин которые составляют основу аппарата инженерного анализа.

Все эти уравнения с конца XIX века относили к уравнениям математической физики.

Итак математический аппарат был, но использовать его, исключая редкие случаи было практически невозможно, поскольку

- 1) не было серьезных методов аппроксимации уравнений;
- 2) необходимый объем вычислений был непреодолим.

В решении первого класса задач многое сделали уже названные В. Ритц, И.Г. Бубнов и Б.Г. Галёркин. Методы, разработанные этими учеными, позволили с течением времени решать невероятно трудные задачи.

Решение второго класса проблем пришлось ждать до середины XX века.

3. Ретроспектива развития компьютерных технологий

3.1. Введение

3.2. О вычислительных машинах

3.3. О программировании

3.4. Становление и развитие программных средств массового пользования

3.5. От языков программирования к программным комплексам

3.1. Введение

Сегодня под компьютерными (суперкомпьютерными) технологиями понимают широчайший спектр технологий, объединяющих все что связано со всеми сторонами уже более чем восьмидесятилетнего сосуществования человеческого сообщества и разнообразных вычислителей, которые и очень полезны и в то же время будучи объединёнными в «сети» порождают и серьезные проблемы.

Отметим также следующее обстоятельство. Мы разделяем часто понимаемые как равносильные понятия Компьютерные технологии и

Информационные технологии. С нашей точки зрения понятие Компьютерные технологии более широкое чем Информационные технологии.

Параграфы:

3.2. О вычислительных машинах – пропускаем;

3.3. О программировании – пропускаем;

3.4. Становление и развитие программных средств массового пользования, где рассматриваются системы средств типа Microsoft Office и Visual Studio - пропускаем

3.5. От языков программирования к программным комплексам

Массовое использование языков программирования в науке и инженерном анализе показало огромные возможности использования компьютеров и дало привело старт их внедрению в медицине, культур и т.д. Примерно с начала 60 - х годов прошлого века начался буквально бум решения задач из самых разных отраслей науки и производства на основе применения компьютеров.

При этом, возрастающая сложность решаемых задач, приводила к трудностям в «отладке» программ. На этом пути сформировалось понимание необходимости выделения классов **типовых вычислительных задач**. Так в инструментарий исследователей вошли **пакеты стандартных прикладных программ**.

Уровень разрабатываемых стандартных программ непрерывно усложнялся; они стали приобретать все более широкий характер в направлении **решения задач по отраслям наук**, например, в области механики твердого и деформируемого тела, механики жидкости и газа, биохимии, электромагнетизма и так далее.

Последовательно происходил **переход от плоских, упрощенных постановок задач, к пространственным задачам, отвечающим реальным физическим процессам**.

Этот переход послужил началу принципиально нового этапа в человеческой деятельности, когда любые процессы в природе и в технике. **Человечество начало путь к тому времени, когда мы сможем описывать – моделировать любые процессы Природы!**

Технологии компьютерного инжиниринга мы начали развивать в нашем Политехническом университете с самого начала 2000 годов на Физико – Механическом факультете. Именно тогда в лексиконе отечественных исследователей и инженеров впервые стали появляться аббревиатуры **CAE** (Computer Aided Engineering) и **CAD** (Computer Aided Design), технологии.

Сформировалась целая отрасль по разработке CAE - программных комплексов в первую очередь для инженерного анализа и науки. Масштабы применения программных комплексов в практике исследовательских центров и предприятий приведем характерный пример. Возьмем программный комплекс ANSYS, для решения задач механики твердого и деформируемого тела.

О масштабах его использования ведущими научными центрами и фирмами США в 1998-2000 годах. **Этим данным более чем 20 лет:**

10 ведущих компаний опирались на его использование,
25 ведущих - 75% с динамикой роста, также опирались на него,
100 ведущих почти 70% использовали ANSYS с динамикой роста.

Сегодня на рынке программных продуктов распространяется множество программных комплексов, самого разного назначения.

Важно подчеркнуть, что развитие программных комплексов многие годы идет в направлении **мультидисциплинарности** (**междисциплинарности**), это означает, что они становятся все более и более адекватно описывающими окружающий нас мир, а это прямой путь к **предельно корректному описанию реального физического мира**.

Отсюда следует, что как проблемы познаваемости нашего мира, так и вопросы создания передовых изделий, систем и технологий, могут быть решены, главным образом, на основе методов математического моделирования, в которых не обойтись без огромных объёмов вычислений. Именно на этом пути мы приходим к необходимости использования **суперкомпьютерных технологий**, как в исследованиях, так и в промышленных разработках.

Но в описании природы и процессов производства присутствует и еще один очень важный фактор **многомасштабность** реальных физических процессов.

4. Становление и развитие системного подхода по применению компьютерных технологий в промышленности

4.1. Формирование системы программных комплексов в науке и промышленности

В 2020 году компании **ANSYS** исполнилось **50 лет**. Её основателем был доктор *Джон Свэнсон*. Можно утверждать, что прародительницей компании была фирма *Westinghouse*, где до создания работал *Д. Свэнсон*.

Первой публичной разработкой компании была система так называемого конечно-элементного анализа **ANSYS (1971 год)**.

Кратко говоря, это был достаточно универсальный программный комплекс, ориентированный на решение задач механики твердого деформируемого тела. В **1975 году** возможности комплекса были дополнены моделями для решения геометрически - нелинейных и термо - электрических задач.

В **1981-м** году на рынок вышла версия программного комплекса **ANSYS** для рабочих станций, - по сути дела, первая многопроцессорная версия комплекса, что, существенно повлияло на расширение круга рассматриваемых инженерных задач. В **1985-м** году впервые появляются функции для решения задач параметрической оптимизации конструкций, а к **1987-м** году **ANSYS** впервые же реализует цветную графику в расчетах, что существенно улучшает возможности визуализации результатов вычислений.

В **1991-м** году в **ANSYS** реализованы возможности расчетов в области вычислительной гидродинамики. В **1996-м** году, компания **ANSYS, Inc.** вышла на биржу NASDAQ и к **2010** году ее доход вырос более, чем в 10 раз (с 47,1 млн. до 516,9 млн. долларов), а к **2021** году он превысил 1906,71 млн. долларов.

2 выпускника Политехнического университета (И. Авдеев и С. Сидоров), выросшие на Физ–Мех факультете в лаборатории **CompMechLab** выигрывали стипендию **Д.Свэнсона** и успешно защитив диссертации, стали работать в **ANSYS, Inc.**

При этом о Российском большом потенциале и даже уникальном потенциале говорит, опять – таки, пример нашего родного Политехнического университета. Лаборатория CompMechLab (Вычислительная механика), за период 2002-2010 гг. одержала четыре (!) победы в престижнейших ANSYS-конкурсах (в 2003 -м, 2004 -м, 2008 -м и 2009 -м годах). Причем такого достижения нет ни у одной из 90 фирм, которые побеждали в ANSYS-конкурсах. А ведь среди этих 90 победителей представлены такие всемирно известные фирмы, как Airbus, Alstom, Ferrari, GE Oil & Gas, German Aerospace Center, NASA Glenn Research Center, Robert Bosch Kft., Siemens Power Generation и другие. Вывод, который отсюда может быть сделан – мы в России можем почти все, если вообще не все, при умелом и грамотном руководстве и отличной естественнонаучной (читай физико – математической) подготовке инженерного корпуса.

В чем причина успеха компании ANSYS.

Он достигнут на основании следующих важнейших качеств программных систем ANSYS, которые присущи этим разработкам с выходом на рынок первых продуктов компании.

- Программные системы ANSYS были **исходно единственными конечно - элементными системами** с широким охватом явлений различной физической природы: прочность, гидроаэродинамика. Это давало возможность решения связанных (междисциплинарных задач), объединяющих перечисленные выше области. **Высокий научный уровень руководства** обеспечивал привлечение самых передовых специалистов со всего мира, как в областях постановок задач, так и в областях численных методов решения этих задач.

- Программные системы ANSYS **обеспечивали интеграцию и со всеми CAD** системами проектирования.

- ANSYS **обеспечивала широкую открытость программных кодов модулей**, которая позволяла проводить модифицируемость и дополняемость её программных систем.

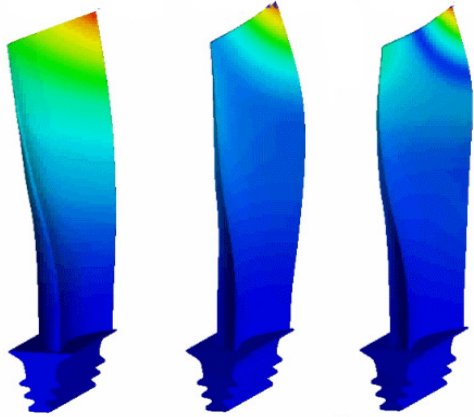
- Программные системы ANSYS всегда, с самых первых разработок, характеризовались **уникальной по полноте и обширности содержания современной системой гипертекстовой поддержки** . 22

4.2. Наукоемкая цепочка CAD-, CAE-, CAM технологий - как важнейшая мировая тенденция развития высоких технологий

Здесь мы попытаемся подробно остановиться прежде всего на развитии программных комплексов применительно к проектированию и инженерному анализу и по этой причине будем вынуждены рассмотреть ретроспективу их развития от первых простейших разработок в области проектирования до последних наиболее передовых CAE программных систем.

На рубеже тысячелетий и это символично в арсенал индустрии вошла наукоемкая цепочка CAD-, CAE-, CAM технологий, которая положила начало коренному перевороту в промышленных технологиях и этот процесс идет по нарастающей. Этой теме авторы уделяли внимание практически с первых лет развития компьютерных технологий поэтому рассмотрим её развитие РФ технологий. **Ключевым** в рассматриваемой триаде является блок CAE-технологий наиболее наукоемкое ядро триады. И именно CAE программные системы были в центре нашего внимания с 2000 года

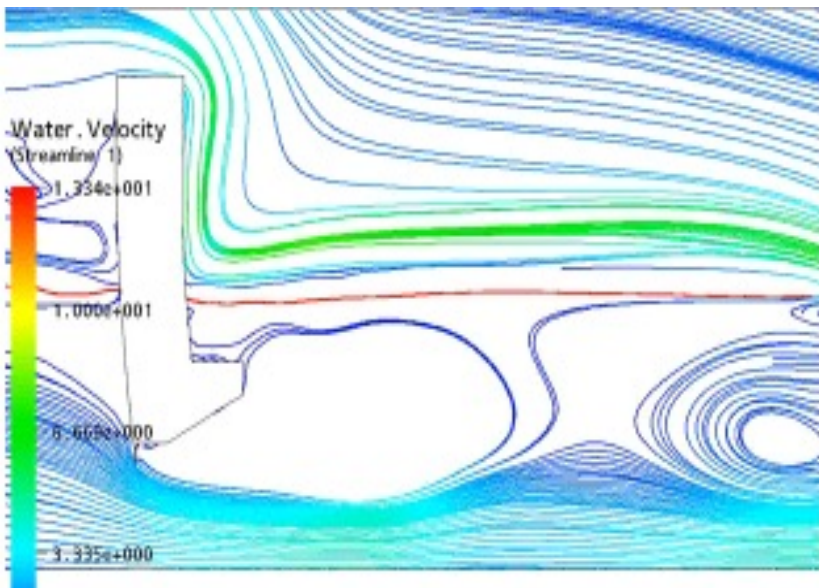
Мы впервые в России широко начали использовать комплекс *ANSYS Mechanical* для решения задач в области механики твердого и деформируемого тела.



Одной из первых характерных работ с которых, в лаборатории «Вычислительная механика», «все начиналось», была задача об определении амплитудно-частотных характеристик лопатки, закрепленной у основания по нижней поверхности хвостового соединения. Это был 1999 год. [<https://fea.ru/project/168>].

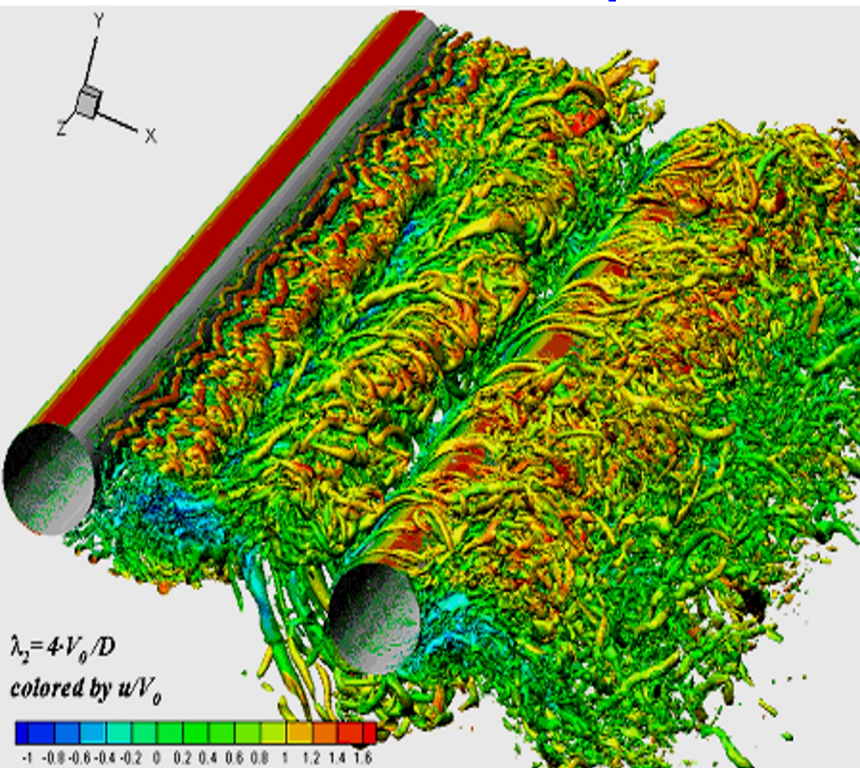
На рисунке приведены три первые собственные формы колебаний лопатки (слева – направо). Хотя, по словам разработчиков эта задача была относительно простая, в сравнении с сегодняшними работами, тем не менее она показала всю эффективность новых методологий, развиваемых на основе программных комплексов для решения задач механики деформируемого твердого тела.

Совершенно аналогичная ситуация складывалась и в решении задач механики жидкости и газа, где на первых порах, то есть около двадцати лет тому, назад доминировали программные комплексы Fluent, CFX, разработанные американскими компаниями и английская разработка комплекс *Star CD*. Первые работы были связаны с расчетом устойчивости судопропускных сооружений системы защиты Санкт – Петербурга от наводнений.



Было задействовано от 8 до 16 процессоров. Это был 2002 - 2003 год.

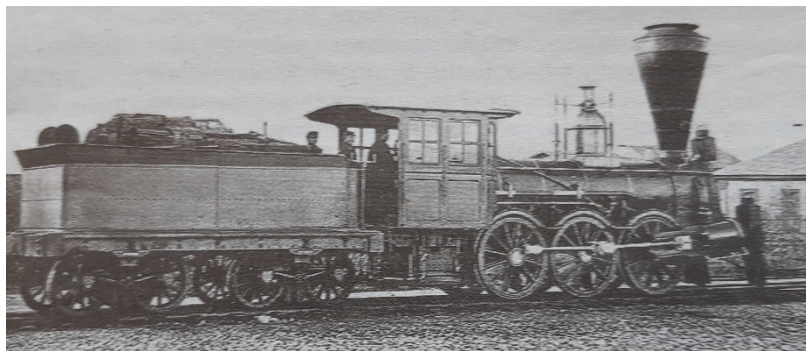
Сделаем одно замечание, которое представляется важным. Речь идет уже не о программных комплексах, а о разработках отдельных образцов уникального программного обеспечения для решения уникальных же задач. Приведем в связи с этим более чем характерный пример. В 2009 – 2010 году профессор М.Х. Стрелец рассказал о решении его группой задачи о турбулентном обтекании тандема двух цилиндров. И поинтересовался сколько у меня есть вычислительная ядер? Их было менее 1000 на всех 6 кластерах...



Этот расчет выполнен на сетке, содержащей около 60 миллионов узлов, на основе так называемого метода отсоединенных вихрей на 8160 узлах суперкомпьютера «Intrepid» с Blue Gene архитектурой. Каждый из этих узлов построен на процессоре IBM PowerPC 450 (850 MHz) и имеет 2 Gb оперативной памяти. Затраты машинного времени составили около 26 одиннадцати суток.

4.3. Триада CAD/CAE/CAM технологий, - наукоемкое ядро системы CALS – технологий

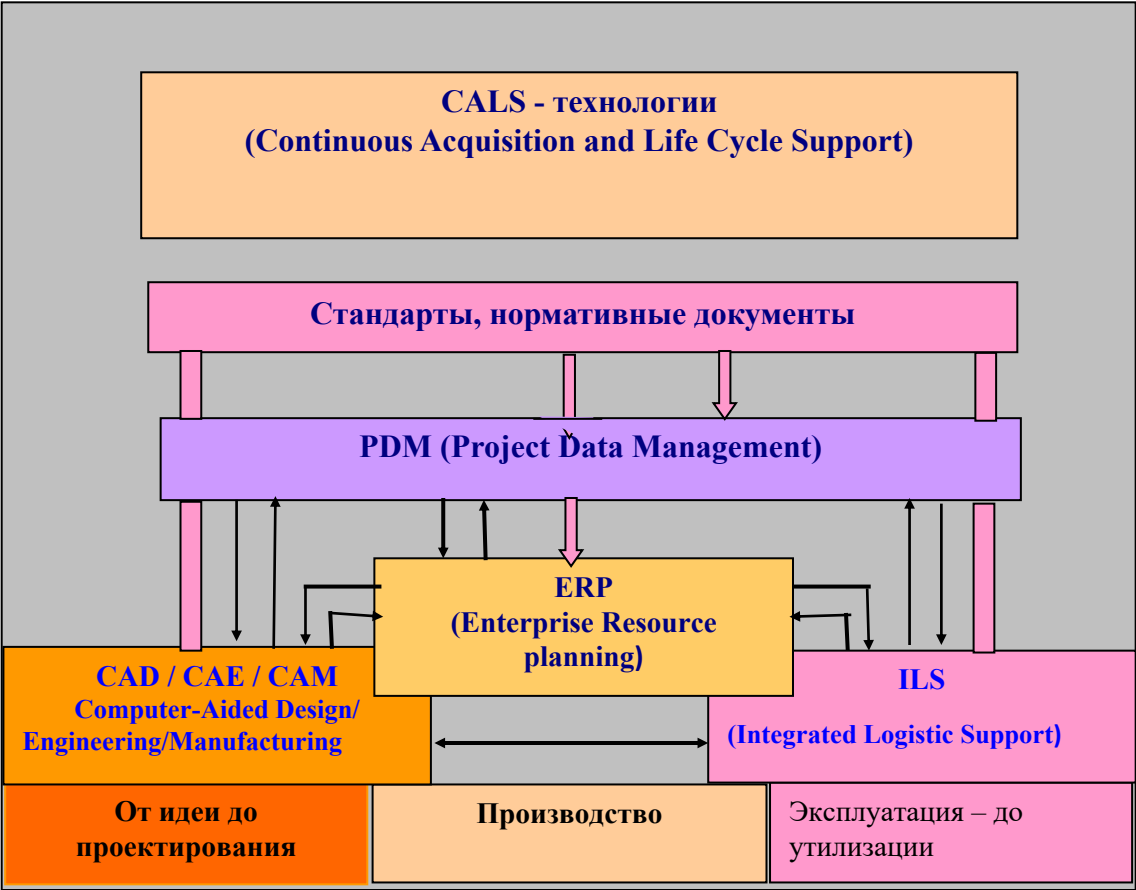
Классическая схема проектирования сложных инженерных изделий сложилась примерно к середине XIX века. Посмотрите на паровоз первой крупной российской железной дороги Санкт – Петербург - Москва, открытой в 1851 г., - это очень сложное изделие, этапы разработки которого практически ничем не отличались от этапов разработок локомотивов нашего времени.



Этапы - это и идея создания изделия, и его проектирование, воплощенное в не-которой итоговой проектно-конструкторской модели и, наконец, усложнявшиеся из века в век инженерные расчеты, - все эти этапы выполнялись последовательно шаг за шагом.

Внедрение компьютерных технологий привело к интеграции всех этапов, при которой оказалось возможным вносить изменения, корректировать разработку на всех этапах разработки вплоть до материального воплощения. Этот подход получил название «**параллельное проектирование**». Как нетрудно видеть в основе этого подхода лежит идея совмещенного во времени компьютерного проектирования изделия (**CAD**-design), выполнения системы инженерных расчетов (**CAE**-engineering) и, наконец, подготовки производства (**CAM**-manufacturing), что позволяет использовать компьютеризированные проектные данные, начиная с самых ранних стадий проектирования и инженерного анализа. И, безусловно, тотальное внедрение такого подхода явилось революционным шагом в развитии материального производства.

Таким образом формирование триады CAD-, CAE-, CAM технологий было решающим шагом в процессе перехода мировой индустрии к полностью автоматизированному производству. Но как не трудно видеть за пределами этой триады остались такие важнейшие сегменты производственного цикла как управление поставками, контроль процессов управления производством, обслуживание изделий при их эксплуатации и ряд других. На этом пути сформировалась идея полномасштабной компьютеризации производства, - система технологий поддержки жизненного цикла продукции.



5. Развитие компьютерных технологий в промышленности от CALS – технологий к передовым PLM средам разработки

5.1. Введение

Этот раздел аккумулирует в себе разработки примерно последних двух десятилетий, а также содержит попытки заглянуть в перспективу, притом достаточно близкую. От возможности же заглянуть даже в средне близкую перспективу, например, на 30-40 лет лучше отказаться, поскольку нас подвергнут критике за безудержную фантазию. К тому же, сегодня, повсеместно, скорее озвучивается, чем за редким исключением серьезно обсуждается, тема искусственного интеллекта. А она, впитывая в себя множество близких к рассматриваемой проблеме автоматизации материального производства тем, таких как вопросы управления системами разного уровня и масштаба, робототехника, распознавание образов и многие другие, и ее затрагивание может увести нас далеко.

5.2. От программных комплексов и сред разработки к Цифровой платформе по разработке и применению цифровых двойников CML-BENCH

Здесь рассматривается все более и более выходящая на первый план проблема автоматизированного создания **полномасштабных сложных объектов**.

Очевидно, что решение этой проблемы должно опираться на предварительное решение массы частных задач проектирования и инженерного анализа, а в дальнейшем на решение ряда других в том числе и интегрирующих все предыдущие результаты задач.

Первым отечественным инструментом реализующим эту идею является **Цифровая платформа CML-BENCH** (Compute Mechanic Laboratory), созданная в Политехническом университете и доступная для пользователей.

Детальное описание функций платформы и её возможностей Вы можете найти на сайте нашего вуза.

5.3. От Цифровых двойников к Цифровому производству

Масштабная цифровизация производств, начавшаяся в 90-е годы прошлого века в начале XX века переросла в тотальную, дополненную бумом множества новейших технологий, опиравшихся на идеи аддитивных подходов.

Уже сформировалась т.н. «**Цифровая индустрия**». Её ядрами являются «**Цифровые фабрики**», каждая из которых есть совокупность систем полных технологических решений по производству тех или иных продуктов - изделий (машин, агрегатов, приборов и т. д.).

Главными **характеристиками «Цифровых фабрик»**, являются:

- ориентация на **востребованную мировым рынком продукцию** предприятия;
- **создание, в её рамках, «цифровых» моделей продуктов** на основе математического моделирования;
- **обеспечение полного цикла изготовления изделий** на основе передовых и традиционных производственных технологий на базе полностью компьютеризированного цикла проектирования, изготовления, организации производства и т.д.
- и ряд других.

5.4. Национальный Стандарт ГОСТ Р 57700.37 – 2021.

16 сентября 2021 года приказом № 979-ст Росстандарта утвержден национальный стандарт РФ - ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения». Это событие трудно переоценить, и тому есть несколько обстоятельств.

Во – первых, этот стандарт является совершенно уникальным в мировой практике, ничего подобного до него не было разработано ни в одной стране мира, несмотря на безусловно передовой уровень в области компьютерных технологий во многих.

Во - вторых, и это особенно важно, разработанный стандарт является полностью отечественным, разработан отечественными специалистами, не есть копия зарубежного образца, вместе с тем, безусловно опирающимся на мировой опыт.

И нам особо приятно отметить что основную роль в его подготовке сыграл наш Политех наряду с Саратовским ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Именно многолетний, включая совместный опыт в областях применения математического моделирования с широким использованием компьютерных (суперкомпьютерных) технологий в сфере индустрии позволил в краткие сроки создать настоящий стандарт.

Отметим серьезную поддержку данного направления работы Минпромторгом России. Работа выполнялась в рамках деятельности технического комитета 700 «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии» (ТК 700). И здесь важно указать на то, что активное участие в деятельности рабочей группы приняли представители 25 высокотехнологичных предприятий и отраслевых институтов России, таких как: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», ФГУП «ВНИИ «Центр», Концерн ВКО «Алмаз-Антей», Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», ФГУП «ЦАГИ», Госкорпорация Роскосмос, Госкорпорация Росатом и другие.

Введение рассматриваемого национального стандарта принципиально важно, прежде всего, потому, что его введение позволяет **всему инженерному и научному сообществам говорить на одном языке**, поскольку стандарт **формализует** ключевую совокупность определений.

6. О подготовке инженерных кадров для Цифровой экономики

6.2. Исторический взгляд на развитие системы инженерного образования.

Исторический взгляд здесь принципиально необходим, поскольку, это позволяет определить изменения содержания высшего образования. Это, с некоторой долей условности, такие крупные этапы:

- начало XVII века - начало XVIII века;
- конец XVIII века – середина XIX века;
- середина XIX века – начало XX века;
- начало XX века - середина XX века;
- середина XX века – наше время.

На каждом из этих этапов определяющим было содержание фундаментального естественнонаучного базиса.

6.3. О подготовке инженерных кадров в эпоху становления Цифровой экономики.

Направления инженерной деятельности представляют собой широчайшую и почти необозримую область. И вопрос о видах инженерной деятельности важен и мы рассмотрим его на основе подхода, который исторически развивался в нашем Политехническом институте. Этот подход нацелен на такие основные направления подготовки инженерных кадров, определяемые характером их будущей деятельности:

- «**инженеры по эксплуатации**», характер их работы – обеспечение устойчивой работы по эксплуатации линий транспортировки машин, систем и технологических линий;
- «**инженеры-разработчики**», ориентированные на проектирование и конструирование новой техники и технологий и на вопросы обеспечения их эффективной эксплуатации и функционирования;
- «**инженеры – исследователи**», ориентированные на разработку становящихся все более высокотехнологичными машин, систем и технологий.

Оценка количества выпускников в каждой из названных групп составляет, примерно, - 15, 70 и 15 % от их общего количества, соответственно.

Говоря о исследовательском и творческом характере деятельности двух последних групп инженеров, мы можем утверждать, что уже не один год как существо различия между научно-исследовательской и инженерной деятельностью в сфере разработок и особенно в областях высоких технологий непрерывно стираются. И это стирание различий становится особенно актуальным при рассмотрении вопросов развития передовых производственных технологий.

Нелинейная механика, вязкопластические и вязко упругие среды, турбулентность в аэро – гидромеханике, междисциплинарность, мультимасштабность и мультитехнологичность – это все то, что лежит в основе названных передовых производственных технологий. Здесь особая роль принадлежит суперкомпьютерным технологиям!

РЕЗЮМЕ. С ростом роли компьютерных цифровых технологий в экономике роль фундаментального естественнонаучного образования в подготовке кадров высшей квалификации будет только возрастать!

БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ