

**СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ЭКСАФЛОПНОГО КЛАССА -  
КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ РУССКОЙ  
ИНЖЕНЕРНОЙ ШКОЛЫ В XXI ВЕКЕ**

**В.Б. БЕТЕЛИН**

**24 НОЯБРЯ  
2012 г**

# ДВЕ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

## ➤ ПРИРОДНАЯ СРЕДА ОБИТАНИЯ

### ✓ ПРИРОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

– ВЕТЕР

– ВОДА

– МУСКУЛЫ ЖИВЫХ СУЩЕСТВ

### ✓ НАТУРФИЛОСОФИЯ

### ✓ РЕМЕСЛА

## ➤ ТЕХНИЧЕСКАЯ РУКОТВОРНАЯ СРЕДА ОБИТАНИЯ (XIX-XX вв.)

### ✓ СЕРИЙНАЯ ПАРОВАЯ МАШИНА (УАТТ, БАЛТОН-17775г.)

### ✓ СЛОЖНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

### ✓ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ✓ ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

# РУССКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА XIX-XX вв. (1)

- ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛИДЕРСТВА/ПАРИТЕТА **С ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТЫМИ СТРАНАМИ** В КЛЮЧЕВЫХ ВОЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ОБЛАСТЯХ
  - ✓ ЕДИНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ **ДЛЯ ТРИАДЫ - НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**
  - ✓ МАСШТАБНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ **ПРОЕКТЫ**
  - ✓ «КУЛЬТ ЗНАНИЙ» **В ОБЛАСТИ ТОЧНЫХ НАУК – ВЫСОКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ И ОБЩЕСТВЕННЫЙ АВТОРИТЕТ И ПРЕСТИЖ ИНЖЕНЕРА, УЧЕНОГО, ПРОФЕССОРА**
  - ✓ **ОБЪЕКТИВНЫЙ КРИТЕРИЙ УСПЕХА ТРИАДЫ - СЛОЖНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (СТС)**

# РУССКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА XIX-XX вв. (2)

✓ ЛИЧНЫЙ УСПЕХ ИНЖЕНЕРА, УЧЕНОГО, ПРОФЕССОРА – УСПЕХ  
ГОСУДАРСТВА И ОБЩЕСТВА

✓ ТЕХНИЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО

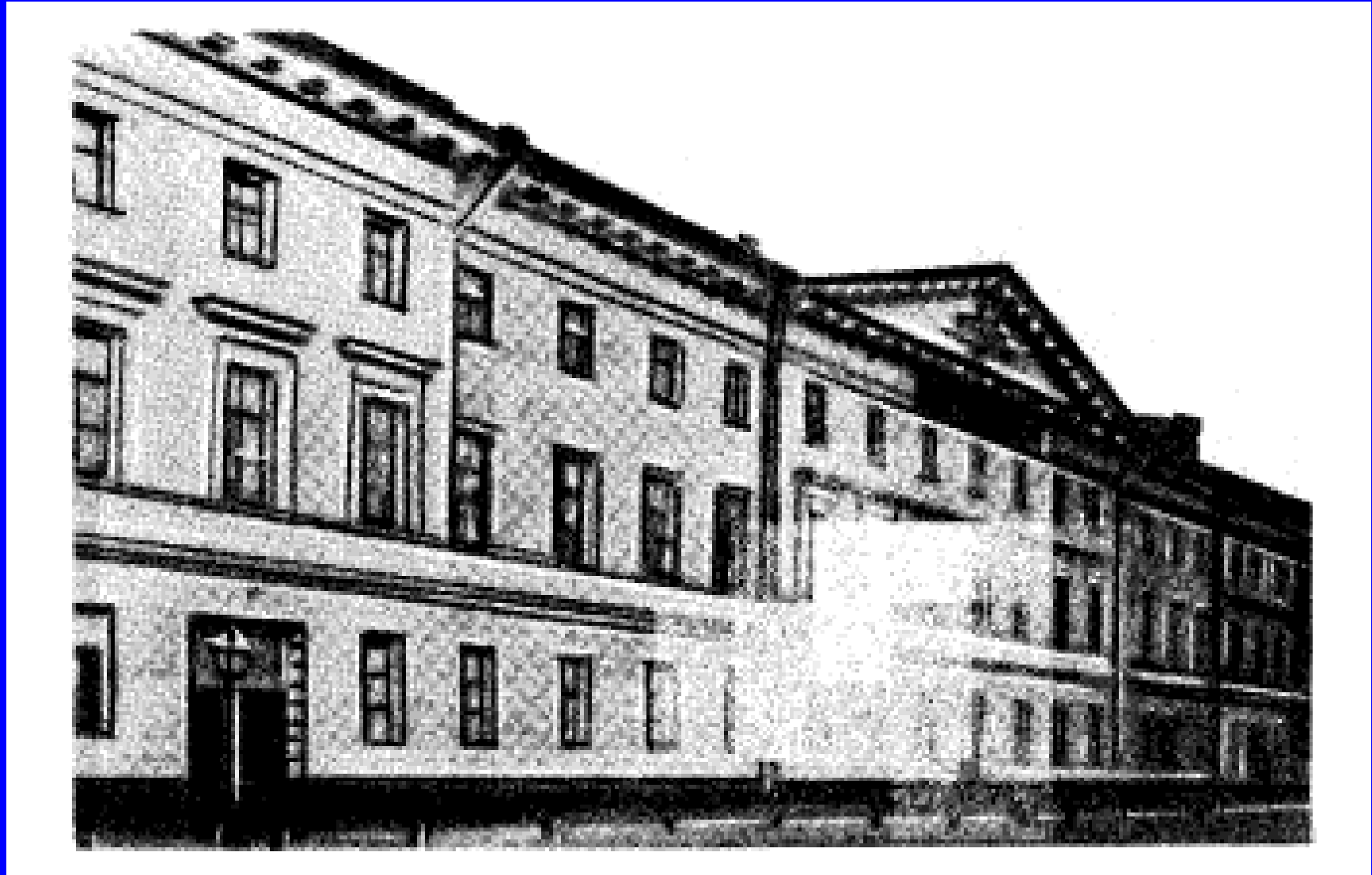
## ➤ ДВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОРЫВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

✓ «ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ ОТРАСЛЬ»  
– 19 ВЕК

✓ «АТОМНАЯ, АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ» ОТРАСЛИ  
– 20 ВЕК

➤ «ЭКСАФЛОПНЫЙ ПРОЕКТ» - 21 ВЕК

# ФОРМИРОВАНИЕ РУССКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ШКОЛЫ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ 19 ВЕКА



ИНСТИТУТ КОРПУСА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (1809 г.)

# ИНСТИТУТ КОРПУСА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

- **ВОЕНИЗИРОВАННОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ (ОБУЧЕНИЕ 8 ЛЕТ)**
  - ✓ **ВЫПУСКНИК - ИНЖЕНЕР-ПОРУЧИК**
- **ЕДИНСТВО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ, НАУЧНОЙ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЕЙ:**
  - ✓ **ПРОФЕССОР МОГ ПРОЛОЖИТЬ ДОРОГУ, ПОСТРОИТЬ МОСТ, ПРИЧАЛ ПОРТА, ШЛЮЗ КАНАЛА**
  - ✓ **ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ (ОСТРОГРАДСКИЙ, БУНЯКОВСКИЙ)**
- **1809 – 1830 г.г.: ФОРМИРОВАНИЕ КОРПУСА РОССИЙСКИХ ПРОФЕССОРОВ ИНСТИТУТА**

## ФОРМИРОВАНИЕ КОРПУСА РОССИЙСКИХ ИНЖЕНЕРОВ-ПУТЕЙЦЕВ (1830-1841 г.г.)

- П. МЕЛЬНИКОВ, С. КЕРБЕДЗ – ЕВРОПА (1837г.)
- П. МЕЛЬНИКОВ, А. КРАФТ – США (1939 г.)
- М.С. ВОЛКОВ «ПОСТРОЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ» (1835 г.)
- М.С. ВОЛКОВ, Н.И. ЛИПИН, Н.Ф. ЯСТРЖЕМСКИЙ «КУРС СТРОИТЕЛЬНОГО ИСКУССТВА» (1842 г.)
- ЦАРСКОСЕЛЬСКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА 1837г.
  - ✓ ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРОВ-ПУТЕЙЦЕВ
  - ✓ ПОЛИГОН ДЛЯ ОТРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

**ПЕРВАЯ В РОССИИ  
ЦАРСКОСЕЛЬСКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА  
(1836 – 1838 г.г.)**





# НИКОЛАЕВСКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА ПЕТЕРБУРГ- МОСКВА (1842 - 1851г.г.)

## ➤ ФОРМИРОВАНИЕ «КУЛЬТА ЗНАНИЙ» - НИКОЛАЙ I: «МЫ - ИНЖЕНЕРЫ»

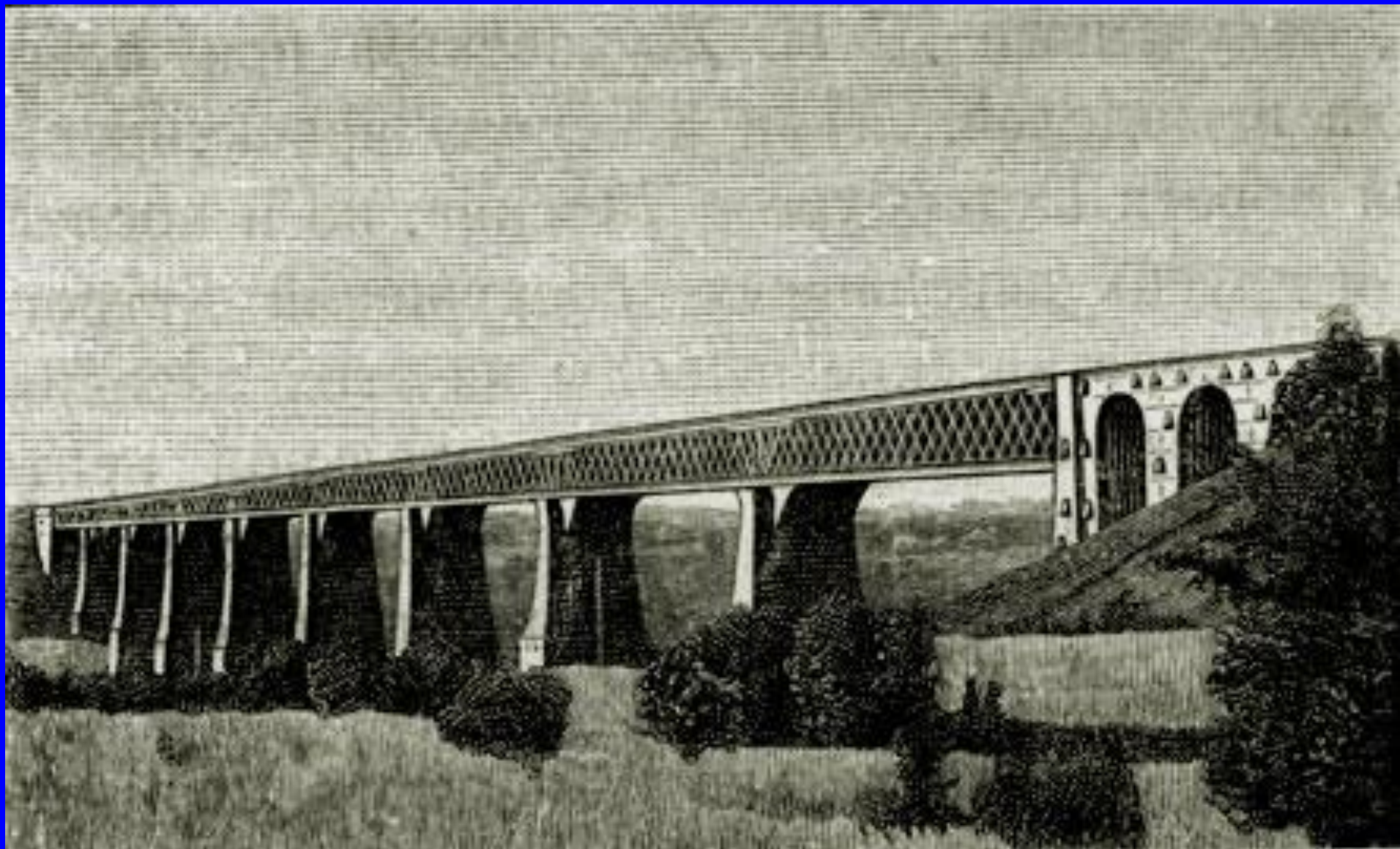
- ✓ АВТОР ПРОЕКТА ДОРОГИ – ПРОФЕССОР П. МЕЛЬНИКОВ
- ✓ УКАЗ ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ I (1 ФЕВРАЛЯ 1842 г.)
  - ВОЗГЛАВИТЬ СТРОИТЕЛЬСТВО ПРОФЕССОРАМ МЕЛЬНИКОВУ (СЕВЕРНАЯ ДИРЕКЦИЯ) КРАФТУ (ЮЖНАЯ ДИРЕКЦИЯ)
  - НАХОДИТЬСЯ ПРИ ОСОБЕ ГОСУДАРЯ
- ✓ ПАНАЕВ В.А.: *«ВСЕ РАБОТАЛИ ВОСТОРЖЕННО! – ГОРДИЛИСЬ ПОРУЧЕННОЙ МИССИЕЙ»*
- ✓ ТЕОРИЯ РАСКОСНЫХ ФЕРМ ПОРУЧИКА Д.И. ЖУРАВСКОГО
  - ОСНОВЫ СОПРОМАТА И СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ
  - ВОСЕМЬ БОЛЬШИХ МОСТОВ – ОТ ДВУХ ДО ДЕВЯТИ ПРОЛЕТОВ
  - ВЕРЕБЬИНСКИЙ МОСТ

# ЖУРАВСКИЙ Д.И.



ИНЖЕНЕР-ПОРУЧИК, ВЫПУСКНИК 1842 Г. ИНСТИТУТА КОРПУСА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

**ВЕРЕБЬИНСКИЙ МОСТ В ПЕРВОНАЧАЛЬНОМ ВИДЕ  
ПОСТРОЕН Д. И. ЖУРАВСКИМ**





# ПАМЯТНИК ИМПЕРАТОРУ НИКОЛАЮ I НА ИСААКИЕВСКОЙ ПЛОЩАДИ В С.-ПЕТЕРБУРГЕ



St. Pétersbourg.

С.-Петербургъ.

# ГОД 1851 – ГОД ОТКРЫТИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ИЗ ПЕТЕРБУРГА В МОСКВУ



**ВЕРЕБЬИНСКИЙ МОСТ – 590 метров в длину, 53 метра в высоту**



# ТРАНССИБИРСКАЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ МАГИСТРАЛЬ (1903 г.)



## ОСНОВНЫЕ ИТОГИ к 1917 г.

- **ЗА 40 ЛЕТ (1837 – 1877 г.г.) ПОСТРОЕНО 20 ТЫС. ВЕРСТ Ж/Д**
- **ЗА 15 ЛЕТ (1891 – 1905 г.г.) ПОСТРОЕНА ТРАНССИБИРСКАЯ МАГИСТРАЛЬ**  
*«РУССКИМИ МАТЕРИАЛАМИ, НА РУССКИЕ ДЕНЬГИ И РУССКИМИ РУКАМИ»*
- **ПАРОВОЗЫ (ДО 1500 в год) - ДЕСЯТЬ КРУПНЫХ ЗАВОДОВ (КОЛОМЕНСКИЙ, НЕВСКИЙ, ХАРЬКОВСКИЙ, СОРМОВСКИЙ, ПУТИЛОВСКИЙ и т.д.)**
- **РЕЛЬСЫ – ШЕСТНАДЦАТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ**
- **ЗА 20 лет (с 1897 г.) В СИБИРЬ ПЕРЕСЕЛИЛИСЬ БОЛЕЕ 10 МЛН. ЧЕЛОВЕК**

# РУССКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА В США В КОНЦЕ 19 ВЕКА

- ✓ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ВЫСШЕГО ИМПЕРАТОРСКОГО УЧИЛИЩА  
(МГТУ им. БАУМАНА)
  - БОСТОНСКИЙ (МАССАЧУСЕТСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ
  - ДРУГИЕ ВУЗЫ АМЕРИКИ
  
- ✓ 250 АВАРИЙ МОСТОВ В США ЗА ДЕСЯТЬ ЛЕТ С 1878 по 1887 г.г.



# «УСТНЫЙ СЧЕТ» БОГДАНОВ-БЕЛЬСКИЙ (1896 г.) ТРЕТЬЯКОВСКАЯ ГАЛЕРЕЯ



АРИФМЕТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА  
С КАРТИНЫ БОГДАНОВА-БЕЛЬСКОГО «УСТНЫЙ СЧЕТ»

$$\frac{10^2 + 11^2 + 12^2 + 13^2 + 14^2}{365}$$

**ТИМОШЕНКО СТЕПАН ПРОКОФЬЕВИЧ (1878 -1972 г.г.)**



# СТЕПАН ПРОКОФЬЕВИЧ ТИМОШЕНКО (1) (1878-1972 г.г.)

*«...КОРИФЕЙ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ ,  
... ФИГУРА МИРОВОГО МАСШТАБА. РУССКИЙ ТИМОШЕНКО НАУЧИЛ  
АМЕРИКАНЦЕВ ПРОЧНОСТНЫМ РАСЧЕТАМ»*  
(ЧЛЕН ФРАНЦУЗСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПОЛЬ ЖЕРМЕН)

- ✓ ОКОНЧИЛ РЕАЛЬНОЕ УЧИЛИЩЕ ГОРОДА РОМНЫ
- ✓ ОДНОКЛАССНИК БУДУЩЕГО ОСНОВАТЕЛЯ СОВЕТСКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ АКАДЕМИКА А.И. ИОФФЕ
- ✓ В 1901 г. ОКОНЧИЛ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
- ✓ В 1906 г. ПРОФЕССОР КИЕВСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
- ✓ В 1911 г. ПРОФЕССОР ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
- ✓ ПОСЛЕ 1917 г. ЭМИГРИРОВАЛ В ЕВРОПУ; В 1922 г. ПЕРЕЕХАЛ В США

## СТЕПАН ПРОКОФЬЕВИЧ ТИМОШЕНКО (2)

### ➤ ПЕРВЫЕ ВПЕЧАТЛЕНИЯ В США

- ✓ НИЗКИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ
- ✓ ИНЖЕНЕРНАЯ БЕЗГРАМОТНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ Ж/Д НЬЮ-ЙОРКА
- ✓ «АМЕРИКА МНЕ ОПРЕДЕЛЕННО НЕ НРАВИЛАСЬ...  
ЗДЕСЬ ИНЖЕНЕРНОЙ НАУКОЙ НИКТО НЕ ИНТЕРЕСОВАЛСЯ...»

### ➤ НАИБОЛЕЕ АВТОРИТЕТНЫЙ СПЕЦИАЛИСТ «ВЕСТИНГАУЗ»

«... ОСНОВНАЯ ПОДГОТОВКА В МАТЕМАТИКЕ И ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТАХ ДАВАЛА НАМ ОГРОМНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО ПЕРЕД АМЕРИКАНЦАМИ, ОСОБЕННО ПРИ РЕШЕНИИ НОВЫХ НЕШАБЛОННЫХ ЗАДАЧ»

### ➤ 30-Е ГОДЫ: ШКОЛЫ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ В АНН-АРБОРЕ, СТЭНДФОРДСКОМ И КАЛИФОРНИЙСКОМ УНИВЕРСИТЕТАХ

## СТЕПАН ПРОКОФЬЕВИЧ ТИМОШЕНКО (3)

### ➤ ВТОРАЯ МИРОВАЯ ВОЙНА

**«ВОЙНА ЯСНО ПОКАЗАЛА ВСЮ ОТСТАЛОСТЬ АМЕРИКИ В ДЕЛЕ ОРГАНИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ, ...ПРАВИТЕЛЬСТВО ПОНЯЛО ЭТО И РЕШИЛО ДЕЙСТВОВАТЬ ЭНЕРГИЧНО. БЫЛИ АССИГНОВАНЫ СРЕДСТВА ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ДОКТОРОВ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК»**

### ➤ НА СКЛОНЕ ЛЕТ, ПОДВОДЯ ИТОГИ

**«ТЕПЕРЬ ЧЕРЕЗ СОРОК ЛЕТ, ОБДУМЫВАЯ ПРИЧИНУ НАШИХ ДОСТИЖЕНИЙ В АМЕРИКЕ, Я ПРИХОЖУ К ЗАКЛЮЧЕНИЮ, ЧТО НЕМАЛУЮ РОЛЬ В ЭТОМ ДЕЛЕ СЫГРАЛО ОБРАЗОВАНИЕ, КОТОРОЕ НАМ ДАЛИ РУССКИЕ ВЫСШИЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ШКОЛЫ»**

# **РУССКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА В РОССИИ ПОСЛЕ 1917 г.**

***ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ЛИДЕРСТВА / ПАРИТЕТА  
С ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТЫМИ СТРАНАМИ  
В КЛЮЧЕВЫХ ВОЕННЫХ  
И ГРАЖДАНСКИХ ОБЛАСТЯХ***

# АТОМНОЕ ОРУЖИЕ



# ЮЛИЙ БОРИСОВИЧ ХАРИТОН





# АТОМНЫЕ ПОДВОДНЫЕ ЛОДКИ

# КОВАЛЕВ СЕРГЕЙ НИКИТИЧ





# ПЕРВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АТОМНАЯ ПОДВОДНАЯ ЛОДКА (ПРОЕКТ 627)



**ЗАКЛАДКА - 24.09.1955; СПУСК - 09.10.1957; ВСТУПЛЕНИЕ В СТРОЙ - 12.03.1959**

# ТЯЖЕЛЫЙ АТОМНЫЙ ПОДВОДНЫЙ РАКЕТНЫЙ КРЕЙСЕР (ПРОЕКТ 941 «АКУЛА»)



Водоизмещение - 50 тыс. т.; длина - 172 м.; ширина - 23 м.;  
глубина погружения - до 500 м.



# МНОГОЦЕЛЕВАЯ АТОМНАЯ ПОДВОДНАЯ ЛОДКА (ПРОЕКТ 705)



# АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА



# НИКОЛАЙ АНТОНОВИЧ ДОЛЛЕЖАЛЬ



# ПЕРВАЯ В МИРЕ АЭС (27 ИЮНЯ 1954 г.)



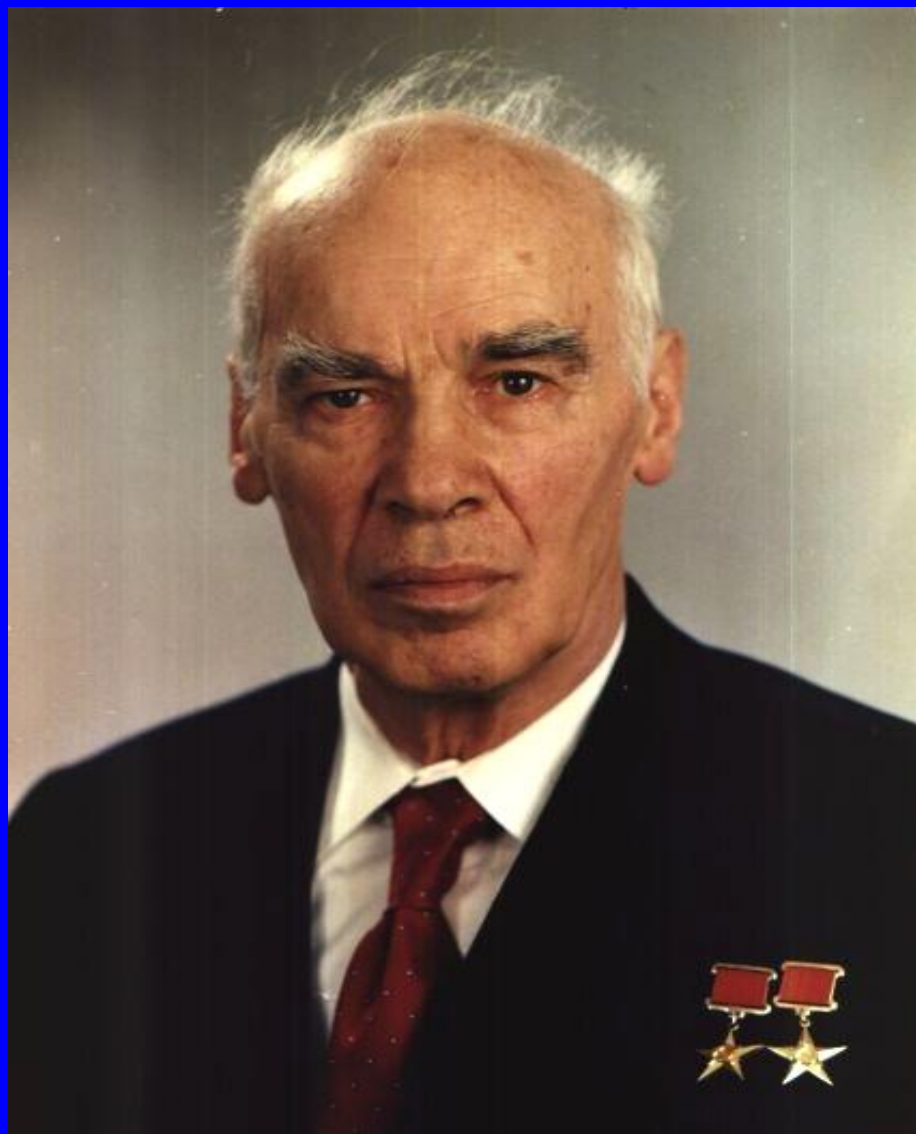
# ПЕРВАЯ В МИРЕ АЭС



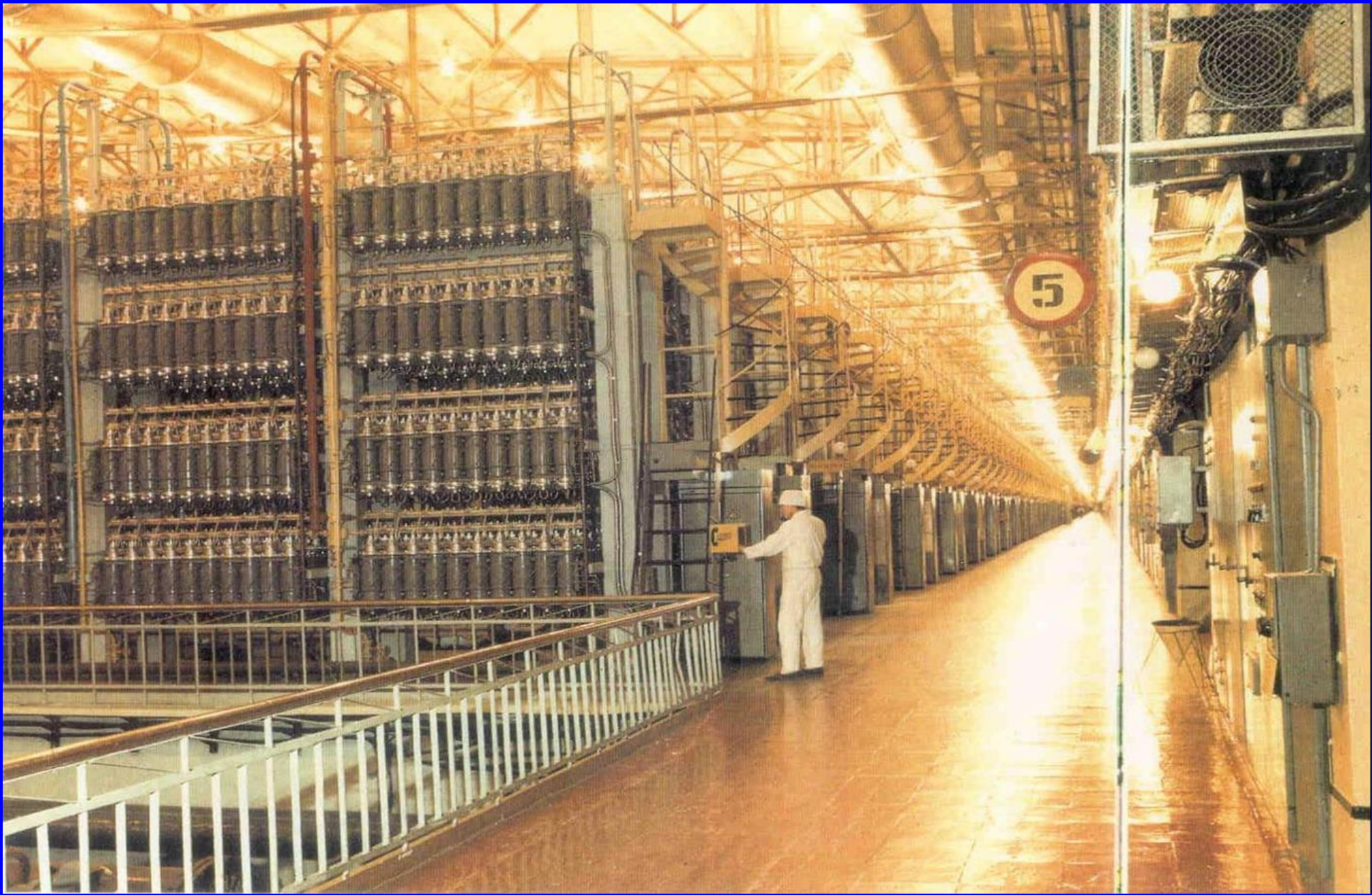
РЕАКТОР АМ-1 «АТОМ МИРНЫЙ» МОЩНОСТЬ 5 МВт

# **ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА**

# ИСААК КОНСТАНТИНОВИЧ КИКОИН (1908 - 1984 г.г.)







# АВИАЦІЯ

# ТУПОЛЕВ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ





**ТУПОЛЕВ ТУ-16 (1954-1993, ОБЪЕМ ВЫПУСКА: 1 507 ШТ.)**



**ВЗЛЕТНАЯ МАССА: 79 т., МАКС. СКОРОСТЬ: 1 050 км/час, ДАЛЬНОСТЬ: 6 000 км.  
БОЕВАЯ НАГРУЗКА: 12 т.**

**ТУПОЛЕВ ТУ-95 (1956 - ПО НАСТ. ВРЕМЯ, ОБЪЕМ ВЫПУСКА: 500 ШТ.)**



**ВЗЛЕТНАЯ МАССА: 185 т., ДВИГАТЕЛИ: 4x15 000 л.с., МАКС. СКОРОСТЬ: 900км/час,  
БОЕВАЯ НАГРУЗКА: 12 т., ДАЛЬНОСТЬ: 12 000 км.**



**ТУПОЛЕВ ТУ-114 (1957 - 1991, ОБЪЕМ ВЫПУСКА: 31 ШТ.)**



**ВЗЛЕТНАЯ МАССА: 170 т., ДВИГАТЕЛИ: 4x15 000 л.с., МАКС. СКОРОСТЬ: 880 км/час.,  
ДАЛЬНОСТЬ: 10 000 км., ЧИСЛО МЕСТ: 170-220.**

**ТУПОЛЕВ ТУ-160 (1987 ПО НАСТ. ВРЕМЯ, ОБЪЕМ ВЫПУСКА: 35 ШТ.)**



**ВЗЛЕТНАЯ МАССА: 275 т., МАКС. СКОРОСТЬ: 2 230 км/час., ДАЛЬНОСТЬ: 14 000 км.,  
БОЕВАЯ НАГРУЗКА: 40 т.**

# РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

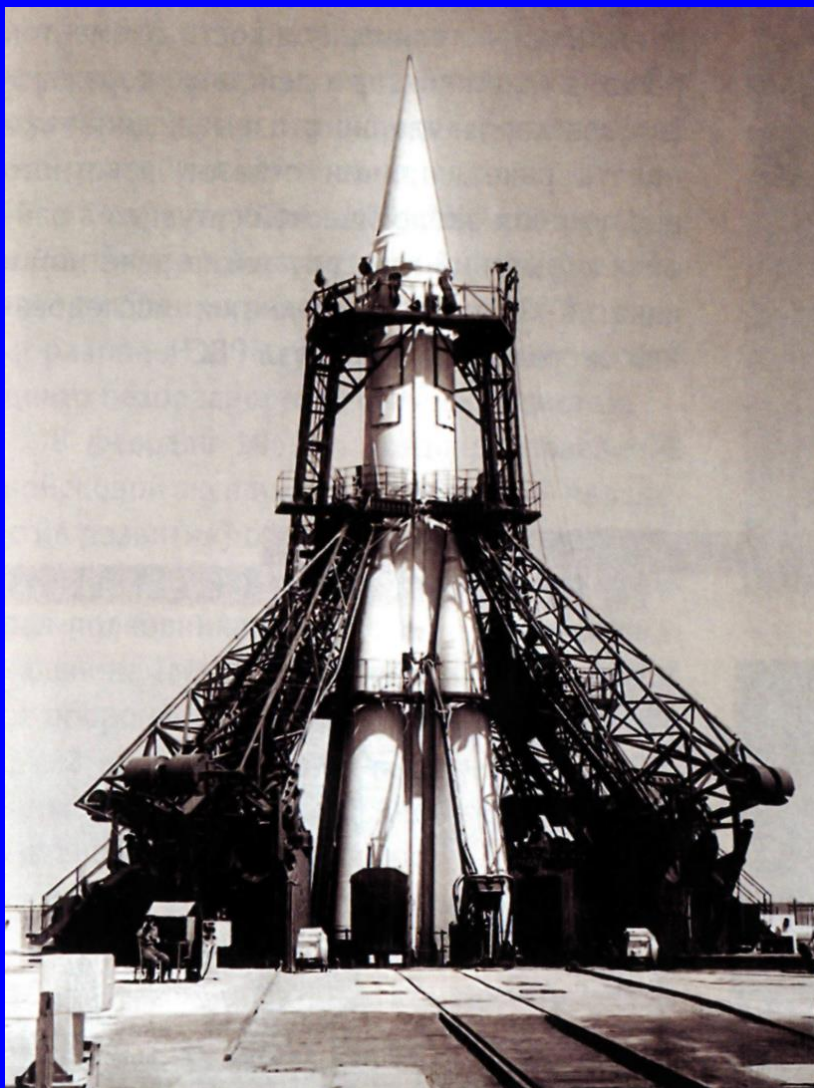


# СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ КОРОЛЁВ



# R-7

## ПЕРВАЯ В МИРЕ МЕЖКОНТИНЕНТАЛЬНАЯ БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ РАКЕТА (ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ)



ДАЛЬНОСТЬ – 8000 км. (11000 км.); ОТДЕЛЯЮЩАЯСЯ ГОЛОВНАЯ ЧАСТЬ — 3000 кг.

**С.П. ТИМОШЕНКО - 1958 г.**

**ОБРАЗОВАНИЕ В СССР**

**С. П. ТИМОШЕНКО  
В КИЕВСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**



# С.П. ТИМОШЕНКО

## «ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ»

### ➤ О РОССИИ

«...РОССИЯ ПОЧТИ ПОЛНОСТЬЮ ВЕРНУЛАСЬ К ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ, КОТОРАЯ СУЩЕСТВОВАЛА ПЕРЕД КОММУНИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИЕЙ...»

*«ТРАДИЦИИ СТАРОЙ ШКОЛЫ ОКАЗАЛИСЬ ОЧЕНЬ СИЛЬНЫМИ, А С ПОМОЩЬЮ ОСТАТКОВ СТАРЫХ ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКИХ КАДРОВ БЫЛО ВОЗМОЖНЫМ ПРИВЕСТИ В ПОРЯДОК ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ, РАЗРУШЕННОЕ ВО ВРЕМЯ РЕВОЛЮЦИИ»*

«...РОССИЯ ЗАНИМАЕТ ВЕДУЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК...»

### ➤ О США

«... В НАШЕЙ СТРАНЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ-ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ ДЕЛАЕТСЯ ОЧЕНЬ МАЛО, ....ЛУЧШИЕ МОЛОДЫЕ ТАЛАНТЫ ОБЫЧНО НЕ ВЫБИРАЮТ ДЛЯ СЕБЯ НАУЧНОЙ КАРЬЕРЫ...»



# ЯНГЕЛЬ МИХАИЛ КУЗЬМИЧ



# УТКИН СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ



# САМАЯ МОЩНАЯ – МБР РС -20В (ВОЕВОДА) ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПУСКА В УСЛОВИЯХ ОТВЕТНО-ВСТРЕЧНОГО УДАРА



НАЧАЛО РАЗРАБОТКИ -1983г.; БОЕВОЕ ДЕЖУРСТВО - 1988г.; ДАЛЬНОСТЬ –БОЛЕЕ 10 000 км;  
СТАРТОВАЯ МАССА -211т.; МАССА ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ - 8.8 т.;  
БОЕВЫХ БЛОКОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО НАВЕДЕНИЯ (10Х0,75Мт.);  
ПОРАЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ПЛОЩАДИ 500кв. км.

# ВАЛЕНТИН ПЕТРОВИЧ ГЛУШКО









# ОРБИТАЛЬНЫЙ КОРАБЛЬ «БУРАН»

## НПО «МОЛНИЯ» 1976-1988гг. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОСАДКА



**СТАРТОВАЯ МАССА -105т.; ДЛИНА - 36.4м.; РАЗМАХ КРЫЛА - 24м.; ВЫСОТА - 16м.;**  
**ПОЛЕЗНЫЙ ГРУЗ - 30 т. (ВЗЛЕТ); - 20т. (ПОСАДКА).**



# РД-170 (1987Г. ПЕРВАЯ СТУПЕНЬ РКС «ЭНЕРГИЯ»)



**САМЫЙ МОЩНЫЙ ЖИДКОСТНЫЙ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ (20млн. л.с.)  
МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (10 кратное)**

масса 9,7 т., топливо- керосин; окислитель - жидкий кислород; тяга в вакууме -800 тс.

**С.П. ТИМОШЕНКО**  
**«ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ»**

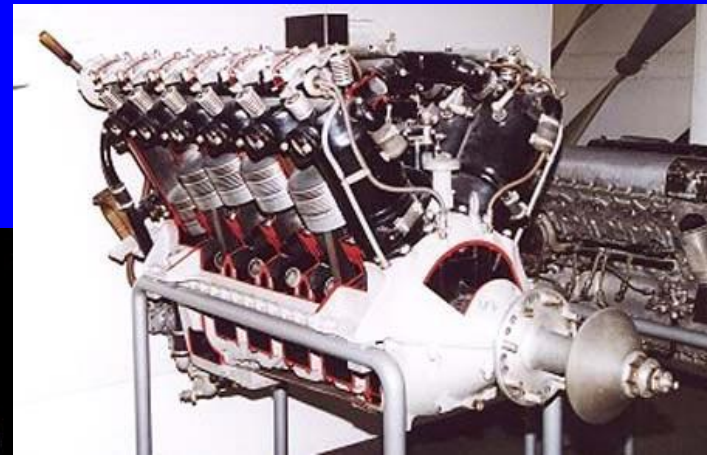
**«...БУДУЩЕЕ ИНЖЕНЕРНОГО ДЕЛА НЕИЗБЕЖНО СТАНЕТ  
ВСЕ БОЛЕЕ И БОЛЕЕ ТЕСНО СВЯЗАНО С РАЗВИТИЕМ  
ЧИСТОЙ НАУКИ...»**

# ДВЕ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

- **ПРИРОДНАЯ СРЕДА - ЖИВАЯ И НЕЖИВАЯ ПРИРОДА**
  - ✓ ОБЪЕКТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ
  - ✓ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
    - ФИЗИЧЕСКИХ
    - БИОЛОГИЧЕСКИХ
    - КЛИМАТИЧЕСКИХ
    - ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И Т.Д.
  - ✓ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ТЕХНИЧЕСКУЮ СРЕДУ
  - ✓ **СЛОЖНОСТЬ И СТОИМОСТЬ**
  
- **ТЕХНИЧЕСКАЯ СРЕДА - СЛОЖНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (СТС)**
  - ✓ ОБЪЕКТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
  - ✓ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТС
  - ✓ СТОИМОСТЬ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СТС
  - ✓ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ
  - ✓ **СЛОЖНОСТЬ И СТОИМОСТЬ**

# ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ (1)

- **ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**
  - ✓ **ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ ОБРАБОТКИ: СТЕНДОВЫЕ И НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ**
  - ✓ **ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ; ИХ УТОЧНЕНИЕ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СТЕНДОВЫХ И НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**





# ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ (2)

- **ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ НЕВОЗМОЖНОСТЬ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СВЕРХВЫСОКИХ СКОРОСТЕЙ, ДАВЛЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУР ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НОВОГО ИЗДЕЛИЯ (ЯО)**
  - ✓ НАТУРНЫЕ И СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ
  - ✓ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ – РАСЧЕТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АПРИОРНОГО ЧИСЛЕННОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВО ВРЕМЕНИ
- **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ- ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ ОТРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ (ЯО)**
  - ✓ СТЕНДОВЫЕ (ЗАЧЕТНЫЕ) ИСПЫТАНИЯ – ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
  - ✓ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭВМ НЕ БОЛЕЕ  $10^{12}$  оп/сек



**ТЕРА И ПЕТАФЛОПСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**ЦЕЛЬ СОЗДАНИЯ –**  
**ВОЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ США (ПРОГРАММА ASCI)**  
**1997-2010гг.**

- **ЦЕЛЬ СОЗДАНИЯ (НА 90%) –**  
**ЗАМЕНА НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНЫХ БОЕЗАРЯДОВ**  
**ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ НА СУПЕР-ЭВМ,**  
**(СЕТЬ ИЗ ДЕСЯТКОВ И СОТЕН ТЫСЯЧ**  
**ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ)**  
**И ПОЛУНАТУРНЫМИ ЭКСПЕРЕМЕНТАМИ**  
**(ГРАЖДАНСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ – 10%)**
- **ASCI: СУПЕР-ЭВМ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ –**  
**ЕДИНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ**  
**ТЕРАФЛОПНОГО КЛАССА**

# ПРЕДПОСЫЛКИ МАССОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СУПЕР-ЭВМ 1996 г. – 2012 г.

➤ СЕТЬ ИЗ ДЕСЯТКОВ, СОТЕН ТЫСЯЧ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ  
КОММЕРЧЕСКИХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

➤ СТОИМОСТЬ 1 ТФлопс: СНИЗИЛАСЬ В 1000 РАЗ

➤ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ: ВЫРОСЛА В 20000 РАЗ

✓ ОДИН ТЕРАФЛОПС (Тфлопс) – ТРИЛЛИОН ( $10^{12}$ ) ОПЕРАЦИЙ В СЕКУНДУ

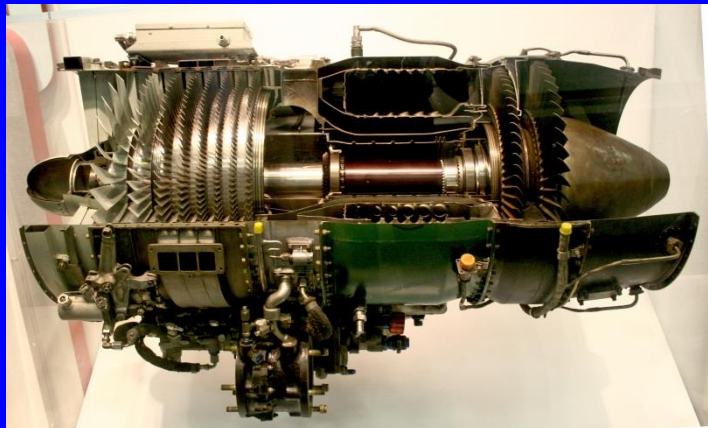
- В ТЫСЯЧУ РАЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЕЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА (ПК)
- ОДНА ТЫСЯЧА ПК ≠ СУПЕР-ЭВМ ОДИН Тфлопс
- ЭВМ ASCI RED – 1996 г. - \$ 60 млн.
- КС – ЭВМ - 2011 г. - \$ 60 тыс.

✓ ОДИН ПЕТАФЛОПС (Пфлопс) - ТЫСЯЧА ТРИЛЛИОНОВ ( $10^{15}$ ) ОПЕРАЦИЙ В СЕКУНДУ

- В МИЛЛИОН РАЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЕЕ ПК
- ЭВМ SEQUOIA – 2012 г. - 20 ПФлопс

# ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ И ЗАЧЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- **ДОЛЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ОБЩЕМ ОБЪЕМЕ ИСПЫТАНИЙ**
  - ✓ **СТОИМОСТЬ И СРОКИ РАЗРАБОТКИ**
  - ✓ **ПРЕДЕЛЬНО ДОСТИЖИМЫЙ УРОВЕНЬ ТТХ**
- **ДОЛЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ВОЗРАСТАЕТ С РОСТОМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СУПЕР-ЭВМ**
- **СУПЕР-ЭВМ ЭКЗАФЛОПНОГО КЛАССА – ПОЛНОМАСШТАБНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ + ЗАЧЕТНЫЕ СТЕНДОВЫЕ ( И ВОЗМОЖНО НАТУРНЫЕ )**
- **ОБЪЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ – АДЕКВАТЕН ОБЪЕМУ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ АНАЛОГИЧНЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ**



# **ЭКСАФЛОПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**ЦЕЛЬ СОЗДАНИЯ - ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ США  
в 2010 – 2020 – 2030 г.г. (1)**

**(МАТЕРИАЛЫ МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ США 2009 г.)**

- **«ЭКСАФЛОПНЫЙ СКАЧЕК»: «ПЕРЕХОД ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОТ ЭМПИРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ, ОПИРАЮЩИХСЯ НА НАТУРНЫЕ ТЕСТЫ, К НАУЧНЫМ МЕТОДИКАМ, ОПИРАЮЩИМСЯ НА ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»**
- **НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ДВАДЦАТИЛЕТНЕГО «ЭКСАФЛОПНОГО СКАЧКА»:**
  - ✓ **НЕСКОЛЬКО СВЕРХКРУПНЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ И ЭНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ**
  - ✓ **МОНОПОЛИЗАЦИЯ МИРОВЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ РЫНКОВ ЭТИМИ КОМПАНИЯМИ**
  - ✓ **BOEING и AIRBUS – МИРОВОЙ РЫНОК МАГИСТРАЛЬНЫХ АВИАЛАЙНЕРОВ**



# **ЭКЗАФЛОПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**ЦЕЛЬ СОЗДАНИЯ - ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ США  
В 2010 – 2020 – 2030 г.г. (2)**

**(МАТЕРИАЛЫ МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ США 2009 г.)**

**I. ДОМИНИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ  
(США-85%) В БЛИЖАЙШИЕ 30-50 ЛЕТ ВСЛЕДСТВИЕ ОГРОМНОЙ  
СТОИМОСТИ УЖЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ (РОССИЯ-88%)**

**➤ ТРАНСПОРТ США – ДВЕ ТРЕТИ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ НЕФТИ**

**✓ СНИЖЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ НА 15% (С 20 ДО 17 МЛН. БАРР/ДЕНЬ)**

**✓ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВА ИЗ НЕФТЯНЫХ ПЕСКОВ, СЛАНЦЕВ**

**➤ МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭКЗАФЛОПНЫХ СУПЕР-  
ЭВМ ПРОЦЕССОВ СГОРАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЯХ  
НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ (ОТ ТЕЧЕНИЯ РЕАКЦИЙ НА УРОВНЕ ОТДЕЛЬНЫХ  
МОЛЕКУЛ, ДО ОБРАЗОВАНИЯ ВИХРЕЙ ПРИ ПОДАЧЕ ТОПЛИВА В  
КАМЕРУ СГОРАНИЯ)**

# ЭКСАФЛОПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЦЕЛЬ СОЗДАНИЯ - ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ США  
В 2010 – 2020 – 2030 г.г. (5)

(МАТЕРИАЛЫ МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ США 2009 г.)

## II. АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА (8%)

### ➤ ОБЩИЕ ЦЕЛИ

- ✓ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСЕЙ АЭС (от ТВЭЛ до УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ)
- ✓ ТРЕБУЕМАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ – 10-20 ЭФЛОПС
- ✓ МОДЕЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС – 2024 г. (15 ЛЕТ)
- ✓ СНИЖЕНИЕ СТОИМОСТИ АЭС с \$15 млрд. до \$12 млрд. (20%)

### ➤ OAKRIDGE NATIONAL LAB - ЦЕНТР ИННОВАЦИЙ

В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ (МАЙ, 2010 год)

- ✓ ЛИДЕРСТВО США В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
- ✓ ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УЖЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЯР (ЛЕГКОВОДНЫХ)
- ✓ ОТКАЗ ОТ АДАПТАЦИИ СТАРОГО ПО К СУПЕР-ЭВМ

## **ЭКЗАФЛОПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**ЦЕЛЬ СОЗДАНИЯ - ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ США  
в 2010 – 2020 – 2030 г.г. (6)**

### **III. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

- **К 2020 г. ЗА СЧЕТ БИОТОПЛИВА СОКРАТИТЬ НА 20% ПОТРЕБЛЕНИЕ БЕНЗИНА**
  - ✓ **МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОСТРУКТУР ИЗ МИЛЛИОНОВ АТОМОВ НА ЭКЗАФЛОПНОЙ СУПЕР-ЭВМ**
  
- **К 2030 г. ДОЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ до 20%**
  - ✓ **МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ЭКЗАФЛОПНОЙ СУПЕР-ЭВМ**
    - **ВИХРЕЙ МЕТРОВОГО ДИАМЕТРА ВБЛИЗИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ**
    - **ВИХРЕЙ КИЛОМЕТРОВОГО ДИАМЕТРА В РАДИУСЕ до 50 КМ**

**РЕАЛИЗАЦИЯ  
ЭКСАФЛОПНЫХ ПРОЕКТОВ ЗА РУБЕЖОМ,  
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ  
ИМПОРТНОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ  
ЭЛЕКТРОННО-КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ**

# ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЭКСАФЛОПНОЙ СУПЕР-ЭВМ ( $10^{18}$ операций в секунду)

## СУММА НЕКОММЕРЧЕСКИХ (ТРУДНОДОСТУПНЫХ) ТЕХНОЛОГИЙ

- **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИЕМЛЕМЫХ (ЭКОНОМИЧЕСКИ И ИНЖЕНЕРНО) ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ, СТОИМОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СУПЕР-ЭВМ С МИЛЛИАРДОМ АППАРАТНО ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ ПРОЦЕССОВ**
- **ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ СУПЕР-ЭВМ С МИЛЛИАРДОМ АППАРАТНО ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ ПРОЦЕССОВ**
- **ПАРИРОВАНИЕ ОШИБОК ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ РАБОТЕ МИЛЛИАРДОВ АППАРАТНО ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ ПРОЦЕССОВ**
- **СОВМЕСТНОЕ (В ЕДИНОМ ЦИКЛЕ) ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА**



**Ключевая проблема:  
ошибка – ординарное,  
а не исключительное событие.**

- **МИЛЛИАРДЫ ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ АППАРАТНО ПРОЦЕССОВ  
(ПОТОКОВ УПРАВЛЕНИЯ)**
  - ✓ **ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ НА НЕБОЛЬШОМ ВРЕМЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ – 1**
- **ГЛОБАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ И КОНТРОЛЬНЫХ  
ТОЧЕК В ТАКОЙ СИТУАЦИИ СЛИШКОМ ДОРОГИ**
- **ЛОКАЛЬНЫЕ АСИНХРОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПАРИРОВАНИЯ  
АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ ОШИБОК**
  - ✓ **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ**
  - ✓ **ПРИКЛАДНОЕ И БАЗОВОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**
  - ✓ **АППАРАТУРА СУПЕРКОМПЬЮТЕРА**
  - ✓ **ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА**

# Механизм контрольных точек на уровне ядра микропроцессора

## ➤ Системы контроля микропроцессора

- ✓ Внешних интерфейсов (память, В/В, коммуникации и т.д.)
- ✓ Внутренних каналов
- ✓ Вычислительных устройств
- ✓ Состояние важных блоков

## ➤ Система восстановления при сбое

- ✓ Повторение контрольной точки (не суперск., не конвейер)
- ✓ Передача контрольной точки другому ядру /микропроцессору

## Самосинхронные узлы микропроцессора

### ➤ Дерево синхронизации (30-40% общей мощности)

### ➤ Самосинхронные вычислительные узлы:

- ✓ Снижение мощности в 5 раз
- ✓ Увеличение надежности в 10 раз

# Синхронная простая итерация для решения блочной СЛАУ

$H : E \rightarrow E; x = (x_1, \dots, x_m) \rightarrow ((Hx)_1, \dots, (Hx)_m);$

```
until convergence do {  
    Sync_Parallel.for any i {  
        read x from common memory;  
        compute  $x_i^k = H(x^{k-1})_i;$   
    }  
    Sync_Parallel.for any i {  
        overwrite  $x_i$  in common memory  
        with  $x_i^k;$   
    }  
}
```

# Асинхронная хаотическая итерация для решения блочной СЛАУ

D.Chazan,W.Miranker, Chaotic relaxation, LinearAlgebra Appl. 2(1969) 199–222.

$$H : E \rightarrow E; x = (x_1, \dots, x_m) \rightarrow ((Hx)_1, \dots, (Hx)_m);$$

```
Async_Parallel.for any i {  
    until convergencei do {  
        read x from common memory;  
        compute xnewi = H(x)i;  
        overwrite xi in common memory  
        with xnewi ;  
    }  
    donei ;  
}
```

# СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРА И ПЕТАФЛОПНОГО КЛАССА В РОССИИ (1997-2011г.г.)

- **АППАРАТНАЯ ОСНОВА** - ДОСТУПНЫЕ НА МИРОВОМ КОММЕРЧЕСКОМ РЫНКЕ КОМПЛЕКТУЮЩИЕ КОМПАНИИ INTEL, AMD (ГРАФИЧЕСКИЕ УСКОРИТЕЛИ nVidia)
- **ПРОГРАММНЫЕ МОДЕЛИ** – Open MP и MPI, ОРИЕНТИРОВАННЫЕ НА УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МАССОВЫЕ КОММЕРЧЕСКИЕ МИКРОПРОЦЕССОРЫ КОМПАНИЙ INTEL, AMD (ПОТОКОВЫЕ МОДЕЛИ OpenCL, CUDA)
- **НАИБОЛЕЕ ЦЕННЫЙ РЕЗУЛЬТАТ** – ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СУПЕР-ЭВМ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ И ПРОГРАММНЫХ МОДЕЛЕЙ Open MP и MPI (РАЗРАБОТКА от 5 до 7 лет)



# СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСАФЛОПНОГО КЛАССА В РОССИИ (2013-2020 г.г.)

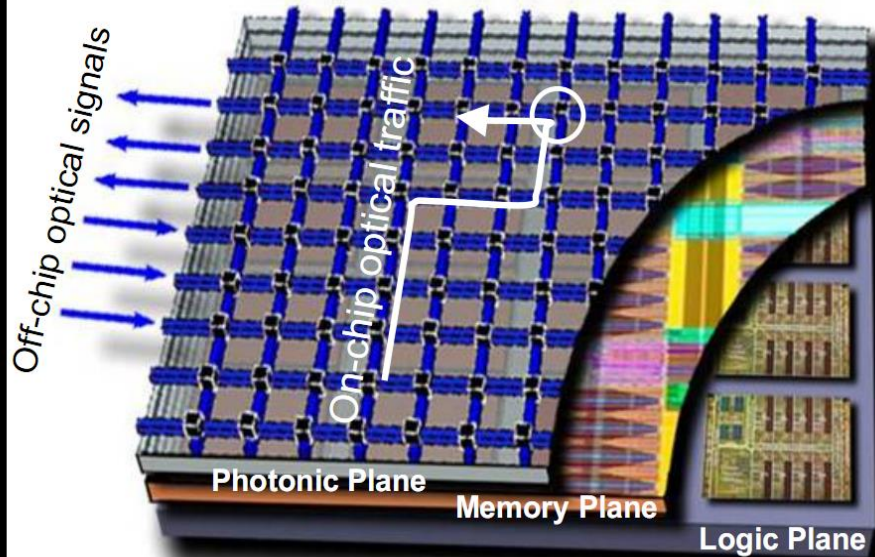
## ➤ ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ:

- ✓ ВОЗМОЖНО ЛИ СОЗДАНИЕ к 2018 г. ЭКСАФЛОПНОЙ СУПЕР-ЭВМ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ И ПРОГРАММНОЙ МОДЕЛИ OPEN MP и MPI ?
- ✓ БУДУТ ЛИ ДОСТУПНЫ КОМПЛЕКТУЮЩИЕ ТАКОЙ СУПЕР-ЭВМ НА МАССОВОМ КОММЕРЧЕСКОМ РЫНКЕ к 2018 г.?
- ✓ ВОЗМОЖНО ЛИ СОЗДАНИЕ в 2018 г. ЭКСАФЛОПНОЙ СУПЕР-ЭВМ НА ОСНОВЕ МАССОВЫХ КОММЕРЧЕСКИХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ?
- ✓ КАКОВЫ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАССОВЫХ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТОКОВЫХ ГРАФИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ И ПОТОКОВЫХ МОДЕЛЕЙ OPENCL, CUDA для СОЗДАНИЯ СУПЕР-ЭВМ ЭКСАФЛОПНОГО КЛАССА ?
- ✓ ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ НЕОБХОДИМЫМ УСЛОВИЕМ СОЗДАНИЯ РОССИЙСКОЙ ЭКСАФЛОПНОЙ СУПЕР-ЭВМ РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО В РОССИИ СОБСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ?

## СУПЕР-ЭВМ КОМПАНИИ IBM С АРХИТЕКТУРОЙ BLUE GENE/Q

- НА КОММЕРЧЕСКОМ РЫНКЕ ДОСТУПНЫ ТОЛЬКО СУПЕР-ЭВМ И СЕРВЕРЫ IBM (КОМПЛЕКТУЮЩИЕ УЗЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НЕДОСТУПНЫ)
- УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРЫ, ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ MPI
- СУПЕР-ЭВМ «СЕКВОЙЯ»: 20 ПФЛОПС, 9 МВт (ЛИВЕРМОР, 2012 г.)
  - ✓ 16-ти ЯДЕРНЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРЫ IBM (45 нм)
  - ✓ 98 ТЫСЯЧ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ
- К 2015 г. ПЛАНИРУЕТСЯ ДОВЕСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДО 50 ПФЛОПС
- НЕТ ПУБЛИКАЦИЙ О ПЛАНАХ СОЗДАНИЯ IBM 200 ПФЛОПС СУПЕР-ЭВМ
- ОДНАКО...

## Vision for 22nm CMOS (circa 2018) - 10 TFLOPs on a 3D chip



36 “Cell” chip (~300 cores)

System level study:  
IBM, Columbia, Cornell, UCSB

Co-PIs:  
Jeff Kash (IBM)  
Keren Bergman (Columbia)  
Yurii Vlasov (IBM)

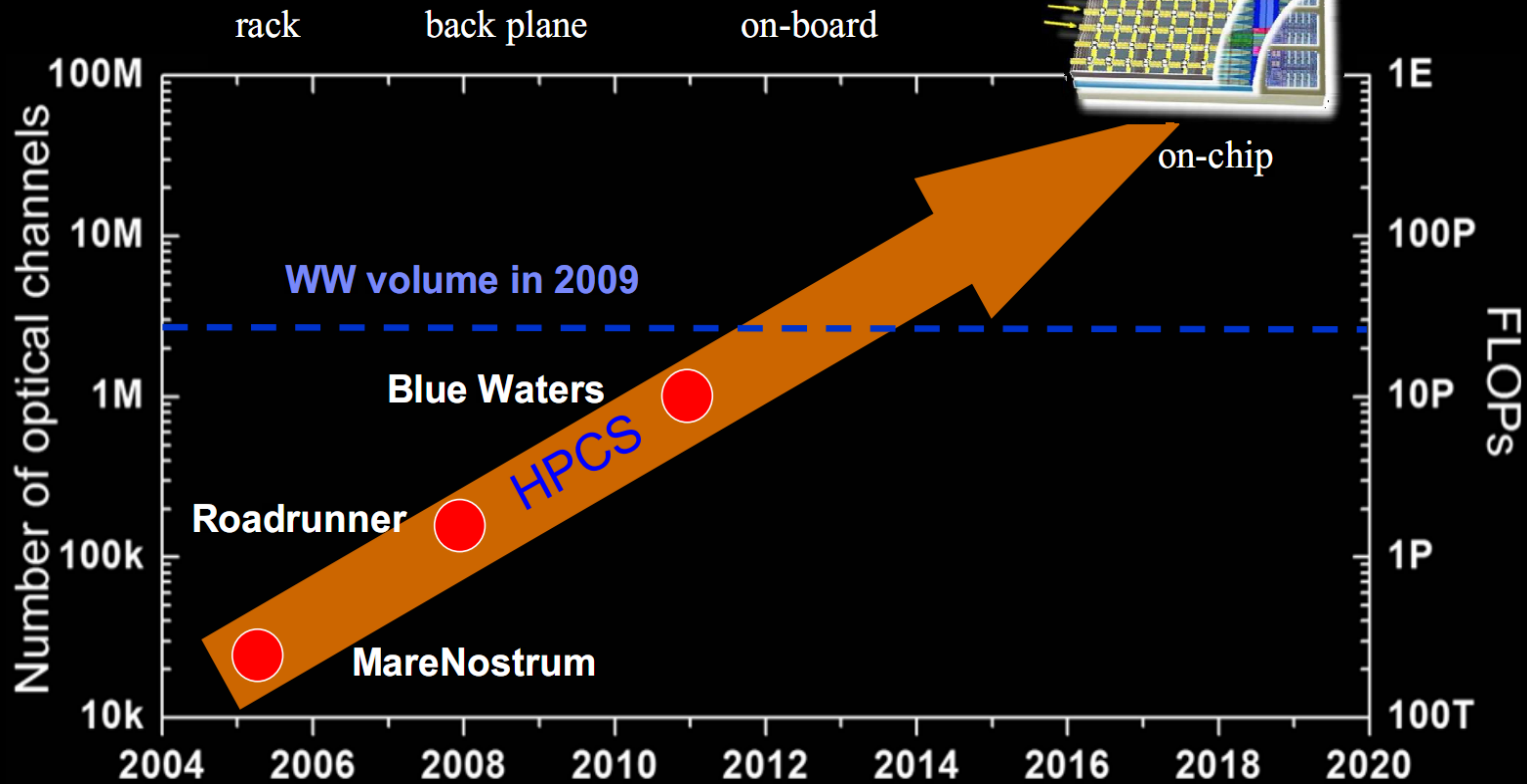
Logic plane	~300 cores
Memory plane	~30GB eDRAM
Photonic plane	<b>On-Chip Optical Network</b> >70Tbps optical on-chip >70Tbps optical off-chip

Photonic layer is not only connecting various cores, but also routes the traffic

All future dates and specifications are estimations only. Subject to change without notice.



## Penetration of optics into HPCS



Single HPC machine will contain a similar number of optical channels as currently exist today in all parallel optical links worldwide

Courtesy of M. Taubenblatt

<http://www.research.ibm.com/photronics>

© 2010 IBM Corporation

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ УЗЛЫ  
ДЛЯ СУПЕР-ЭВМ,  
ДОСТУПНЫЕ НА КОММЕРЧЕСКОМ РЫНКЕ 2015-2018 г.г. (1)  
(ОШИБКА – ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ СОБЫТИЕ)**

- **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ  
МИКРОПРОЦЕССОРОВ X86 С ВЕКТОРНЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ  
УСТРОЙСТВАМИ В СТАНДАРТЕ AVX**
  - ✓ **INTEL: HASWELL (22 нм, 2013 г.) И ROCKWELL (16 нм, 2014 г.)**
  - ✓ **AMD: INTELAGOS (32 нм, 2012 г.)**
  - ✓ **КОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ INFINIBAND,**
- **ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СУПЕР-ЭВМ НА ЭТОЙ ОСНОВЕ**
  - ✓ **БЕЗ ВЕКТОРНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ  
(СОВМЕСТИМОСТЬ ПО) – единицы ПФЛОПС**
  - ✓ **С ВЕКТОРНЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ – до 20 ПФЛОПС**



# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ УЗЛЫ ДЛЯ СУПЕР-ЭВМ, ДОСТУПНЫЕ НА КОММЕРЧЕСКОМ РЫНКЕ 2015-2018 г.г. (2)

## ➤ ГРАФИЧЕСКИЕ СОПРОЦЕССОРЫ-УСКОРИТЕЛИ КОМПАНИЙ NVIDIA И AMD С ИНТЕРФЕСОМ PCI-EXPRESS

### ✓ AMD:

2012 г. RADEON 7000 1.1 ТФЛОПС

2013 г. RADEON 8000 1.4 ТФЛОПС

### ✓ NVIDIA:

2012 г. KEPLER 1.3 ТФЛОПС

2013 г. MAXWELL нет данных

✓ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГЕТЕРОГЕННОЙ СУПЕР-ЭВМ НА ЭТОЙ ОСНОВЕ -  
ДЕСЯТКИ ПФЛОПС

✓ ПОТОКОВЫЕ МОДЕЛИ – ПЕРЕРАБОТКА ПРИКЛАДНОГО ПО

✓ МАЛАЯ ЕМКОСТЬ РЫНКА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

## ➤ НА ОСНОВЕ КОММЕРЧЕСКИХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ В РОССИИ МОЖЕТ БЫТЬ СОБРАНА ГИБРИДНАЯ СУПЕР-ЭВМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

✓ к 2015 г. – 10-20 ПФЛОПС

✓ к 2018 г. – 50-100 ПФЛОПС

# РЕШЕНИЯ С НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ РЫНОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВОЙ до 2018-2020 г.г.

- **INTEL: 50 ЯДЕРНЫЙ МИКРОПРОЦЕССОР С АРХИТЕКТУРОЙ MIC (MANY INTEGRATED CORES) (22 нм, 2012 г.)**
  - ✓ **ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ 1.2 ТФЛОПС (ЧАСТОТА 1.2 ГГц)**
  - ✓ **ИНТЕРФЕЙС PCI-EXPRESS v3.0**
  - ✓ **В КАЖДОМ ЯДРЕ:**
    - **512-РАЗРЯДНОЕ ВЕКТОРНОЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО**
    - **8 Мб КЭШ - ПАМЯТИ**
- **NVIDIA: ГЕТЕРОГЕННЫЙ МИКРОПРОЦЕССОР DENVER НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО (ARM) И GPU КОМПАНИИ NVIDIA**
- **ГИБРИДНЫЕ КРИСТАЛЛЫ ОТ ARM, SAMSUNG, TI и др.**
- **INTEL И SGI: РАЗРАБОТКА к 2018 г. ПРОТОТИПА С ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ В 100 - 1000 РАЗ ВЫШЕ, ЧЕМ У СЕГОДНЯШНИХ СУПЕР-ЭВМ**

## ПЛАНЫ ДЕПАРТАМЕНТА ЭНЕРГЕТИКИ США

- В 2018 г. ЗАВЕРШИТЬ РАЗРАБОТКУ, а в 2020 г. НАЧАТЬ ПОЛНОМАСШТАБНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСАФЛОПНОЙ СУПЕР-ЭВМ (20 МВт)
  - ✓ РАЗРАБОТКА НОВОГО МИКРОПРОЦЕССОРА: 5 ЛЕТ
  - ✓ СОЗДАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ: 5-7 ЛЕТ
- К 2013г. ФИКСИРОВАТЬ ПРОГРАММНУЮ МОДЕЛЬ, к 2015 г. РАЗРАБОТАТЬ ПРИМЕРЫ ОТДЕЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ (НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ) ДЛЯ СУПЕР-ЭВМ 100 ПФЛОПС
- К 2013г. ФИКСИРОВАТЬ АРХИТЕКТУРУ МИКРОПРОЦЕССОРА 2018г. И ОПРОБОВАТЬ ЭТИ РЕШЕНИЯ НА СУПЕР-ЭВМ 2015 г.
- К 2013г. НЕ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ ФИКСИРОВАТЬ ТЕХНОЛОГИЮ СОЗДАНИЯ СУПЕР-ЭВМ 2018г.
- ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ В 2015 г.: 200 ПФЛОПС (15 МВт)

# СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РОССИИ: НЕФТЕГАЗОВЫЙ СЕКТОР И УГЛЕВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

## ➤ ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГИЯ СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

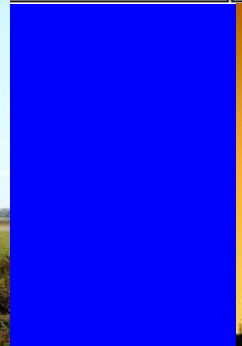
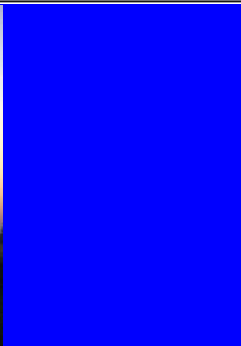
✓ РОССИЯ – 88%

✓ США – 85%

## ➤ ЛИДЕРСТВО СТРАНЫ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЫНКАХ – ГАРАНТИЯ УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ВОЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В БЛИЖАЙШИЕ 30-50 ЛЕТ

## ➤ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – «ИННОВАЦИОННЫЙ КАТАЛИЗАТОР» ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА И УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Решаемые задачи для средних и крупных нефтяных месторождений	Детальность описания объекта	Время расчёта	Производительность СуперЭВМ
Решение научных задач при традиционных способах разработки. Построение гидродинамических моделей объектов.	10 <sup>7</sup> ячеек	3 мес.	50 Гигафлопс
Оперативное управление традиционными способами разработки на основе периодически обновляемых данных	10 <sup>7</sup> ячеек	1 сут	200 Терафлопс
Определение трёхмерного распределения целиков нефти на макро- и мезоуровнях; решение научных задач инновационных способов разработки	10 <sup>9</sup> ячеек	1 час	200 Петафлопс
Оперативное управление инновационными способами разработки месторождений с трудноизвлекаемыми, в т. ч. нетрадиционными, запасами	10 <sup>9</sup> ячеек	1 час	2 Эксафлопс
Моделирование гидродинамических процессов на уровне пор горной породы. («Ядерно-симулятор»)	10 <sup>13</sup> - 10 <sup>14</sup> ячеек	5 - 10 сут	2 Эксафлопс





# КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СУПЕР-ЭВМ ЭКСАФЛОПНОГО КЛАССА (1)

- **ЭКСАФЛОПНАЯ ЭВМ ДЕПАРТАМЕНТА ЭНЕРГЕТИКИ США 2018 ГОДА**
  - ✓ **ОСНОВНЫЕ КОМПЛЕКТУЮЩИЕ НЕДОСТУПНЫ НА КОММЕРЧЕСКОМ РЫНКЕ**
    - **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ**
    - **КОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ**
- **ФИКСИРОВАННЫЙ НАБОР** МНОГОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ
  - **СГОРАНИЕ ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЯХ**
  - **ВНУТРИПЛАСТОВОЕ ГОРЕНИЕ**
  - **ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОДИНАМИКА**
  - ...
- **ЭКСАФЛОПНАЯ ЭВМ – СОВОКУПНОСТЬ СЕГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ, ОПТИМИЗИРОВАННЫХ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБОВ**
- **НА ДАННОМ КЛАССЕ ЗАДАЧ – СПЕЦИАЛЬНЫЙ МИКРОПРОЦЕССОР КОММЕРЧЕСКИЙ ИЛИ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ В 5-10 РАЗ ЭФФЕКТИВНЕЕ КОММЕРЧЕСКОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО**

# КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СУПЕР-ЭВМ ЭКСАФЛОПНОГО КЛАССА (2)

- **ПРИНЦИП «ВСТРЕЧНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ»: ВЗАИМОСОГЛАСОВАННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ, АЛГОРИТМОВ, ПРОГРАММ И АРХИТЕКТУРЫ МИКРОПРОЦЕССОРА И КОММУНИКАЦИЙ (ПРОГРАММА № 13 ПРЕЗИДИУМА РАН)**
  - ✓ **ГИБРИДНЫЙ МИКРОПРОЦЕССОР К-128**
    - 64-х РАЗРЯДНЫЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МИКРОПРОЦЕССОР
    - 4 ПОТОВОКОВЫХ ЯДРА
  - ✓ **СИСТЕМА МЕЖПРОЦЕССОРНОГО ОБМЕНА**
- **ПРОГРАММА № 17 ПРЕЗИДИУМА РАН**
  - ✓ **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АРХИТЕКТУР СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОММЕРЧЕСКИХ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ НА КЛАССАХ ЗАДАЧ ГОРЕНИЯ И ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ**
  - ✓ **КОМПЛЕКС ТРЕБОВАНИЙ К АРХИТЕКТУРЕ ПОТОВОКОВЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ ОПТИМАЛЬНЫХ НА КЛАССАХ ЗАДАЧ ГОРЕНИЯ И ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ**
- **ПРОГРАММА ОРИЕНТИРОВАННЫХ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РФФИ**