

Концепция создания в России

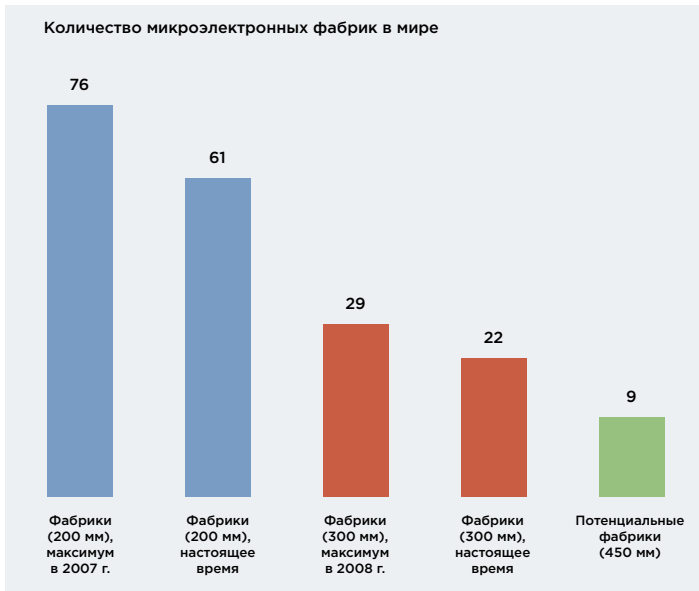
# МИНИФАБРИК

по производству  
современных  
интегральных  
микросхем



Текст: **Андрей Хохлун**

**В** современном мире экономическое и политическое положение любой страны определяется уровнем развития её электроники. Даже очень богатая природными ресурсами страна не может игнорировать этот факт, основываясь на собственной безопасности, так как влияние электронной составляющей в системах, обеспечивающих эту безопасность, растёт экспоненциально. Интересно, что за последние 30-40 лет развитие электронной отрасли опередило по качественным и количественным характеристикам общее развитие техники на несколько порядков. Интересная, на мой взгляд, иллюстрация этого факта приведена в **Т 1**.

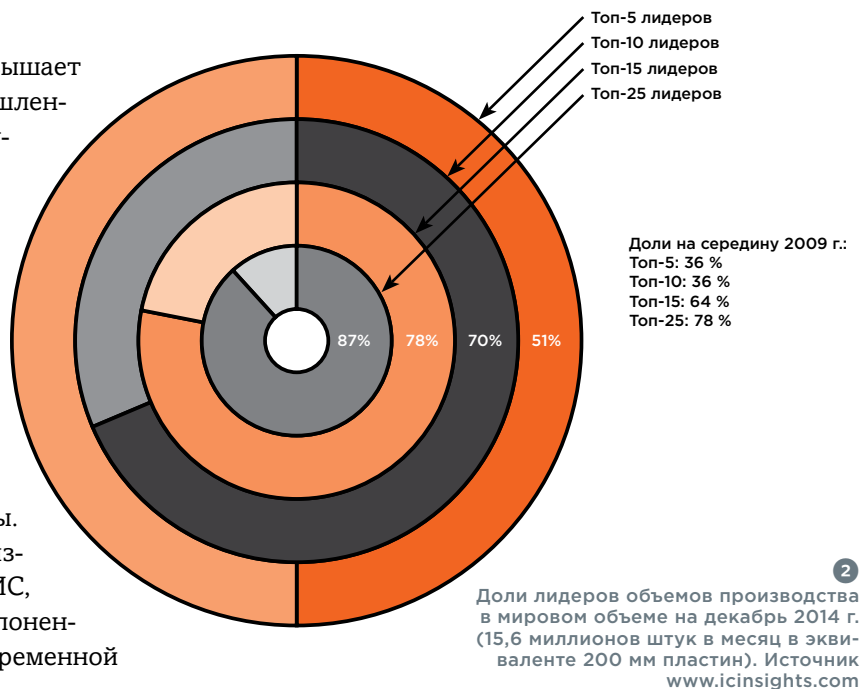


1 Количество микроэлектронных фабрик в мире по состоянию на декабрь 2014 г. Источник [www.icinsights.com](http://www.icinsights.com)

То есть рост эффективности электроники превышает рост эффективности в других отраслях промышленности на несколько порядков! Такой рост на рубеже XX–XXI веков по целому ряду критериев можно определить как последнюю научно-технологическую революцию, существенно изменившую качество жизни большей части населения Земли.

Технологические знания (ресурсы, необходимые для разработки и внедрения новых продуктов и управления их качеством) для производства электронных компонентов составляют львиную долю в технологической цепочке производства электронной аппаратуры. Значит владение базовыми технологиями производства современной компонентной базы (СБИС, МЭМС, СВЧ МИС, дисплеев и дискретных компонентов) определяет уровень развития и статус современной постиндустриальной державы.

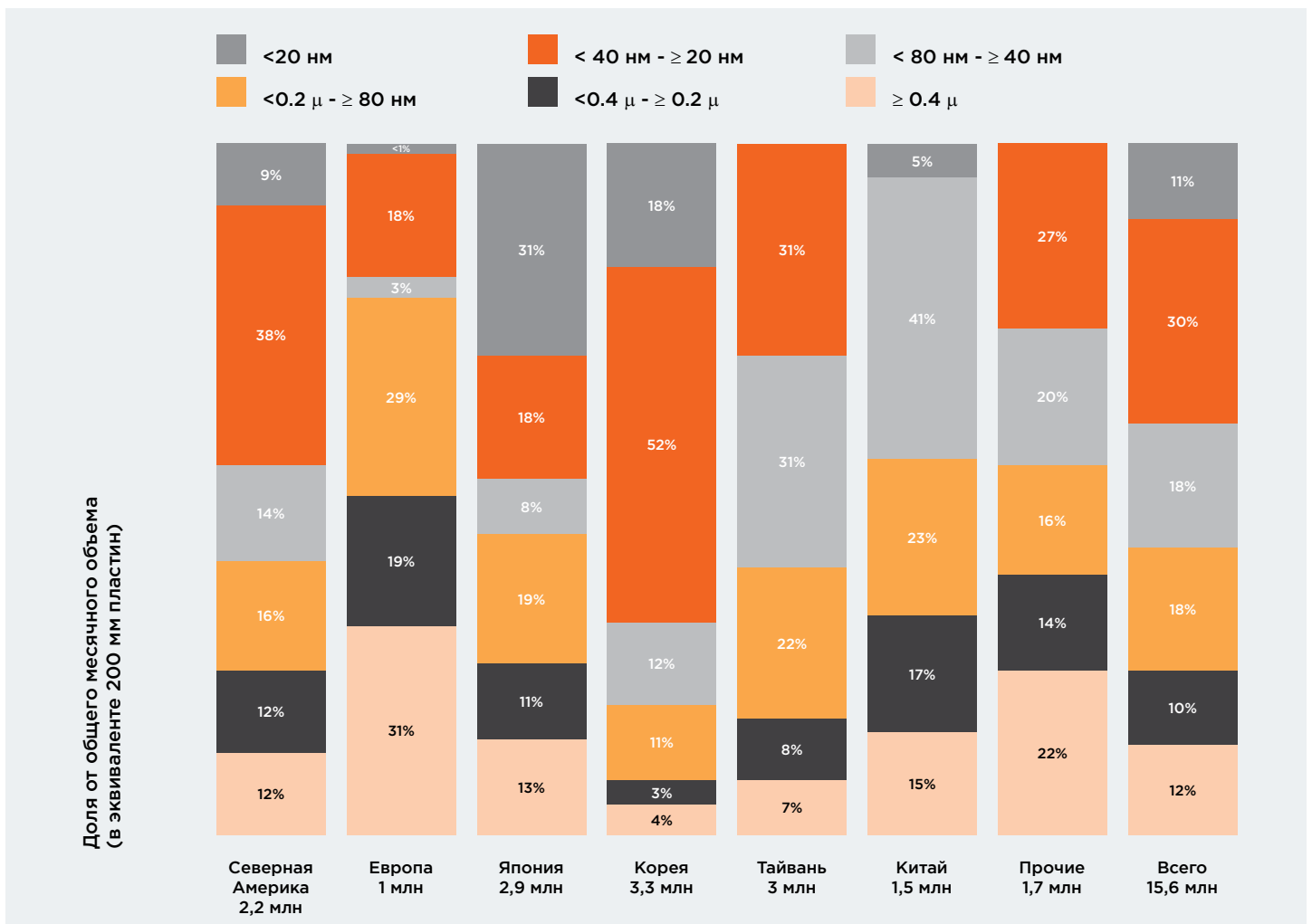
На мой взгляд, наблюдаемое в последнее время обострение международной обстановки и недоброжелательность ведущих мировых держав по отношению к России вызвано не какими-то субъективными краткосрочными и среднесрочными причинами, а целенаправленной борьбой за природные ресурсы. Наша страна является самой богатой по природным ресурсам (по их совокупности), борьба за эти ресурсы обостряется и будет обостряться и в дальнейшем в соответствии с англосаксонской философско-идеологической доктриной. То есть, у нас есть объективные потребности в укреплении обороноспособности и владении современным оружием. А ведь по имеющимся данным удельный вес (стоимость) электроники в современных вооружениях превышает в среднем 70 %, а в некоторых видах вооружений (высокоточное оружие, беспилотные летательные аппараты) достигает 90 % и более.



2 Доли лидеров объемов производства в мировом объеме на декабрь 2014 г. (15,6 миллионов штук в месяц в эквиваленте 200 мм пластин). Источник [www.icinsights.com](http://www.icinsights.com)

Т 1 Уровень роста энергоэффективности по различным отраслям промышленности за последние 30 лет

	1985	2015	Процент роста энергоэффективности
<b>Автотранспорт</b>	8,2 километра на 1 литр	40 километров на 1 литр	488 %
<b>Пассажирские авиаперевозки</b>	12,0 пассажирокилометров на литр	30,0 пассажирокилометров на литр	250 %
<b>Освещение</b>	Люминесцентная лампа — 70 Люменов на Ватт	Светодиодная лампа — 160 Люменов на Ватт	230 %
<b>Компьютеры</b>	2 500 операций в секунду на Ватт	60 000 000 операций в секунду на Ватт	2 400 000 %



3

Установленный месячный объем производства по регионам в зависимости от минимального критического размера топологии на декабрь 2014 г. Источник [www.icinsights.com](http://www.icinsights.com)

Характеристика состояния мировой микроэлектроники приведена на рисунках рис 1, 2, 3 и Т 2, где видно, что объем производства МОП-структур с проектными нормами менее 80 нм составляет уже около 60 %.

Таким образом, в мировой микроэлектронике продолжается укрупнение основных производителей и концентрация ресурсов, стоимость «входного билета» продолжает увеличиваться (например, последняя

новость о том, что SK Hynix планирует потратить около 26 миллиардов долларов на строительство двух новых заводов). Вместе с тем, в последние годы наблюдается устойчивая тенденция ускоренного развития направлений микроэлектроники, которые получили устойчивое название «больше чем Мур». Позвольте сделать вывод: классическое копирование мировых подходов по созданию микроэлектронных производств (а ля Intel,

Т 2

Объем производства пластин в месяц по регионам и группам (эквивалентно пластинам диаметром 200 мм)

Продукт	Северная Америка	Европа	Япония	Корея	Тайвань	Китай	Прочие	Всего
Аналоговые устройства	402	350	327	75	13	167	134	1 467
Память	277	155	609	385	1	76	66	1 570
Логика	469	13	1 468	2 424	838	406	421	6 039
МЭМС	640	79	271	23	3	11	132	1 158
Контрактное производство (фаундри)	419	271	78	285	2 163	774	60	4 599
Прочие	39	138	139	100	6	33	341	796
<b>Всего</b>	<b>2 246</b>	<b>1 006</b>	<b>2 892</b>	<b>3 292</b>	<b>3 024</b>	<b>1 467</b>	<b>1 154</b>	<b>15 629</b>

AMD, ST Microelectronics, Samsung, TSMC и так далее) в России невозможно. Причем, не потому, что нет денег, а потому, что не нужно, не эффективно и не отражает современного состояния и достижений мировой науки и промышленности.

Существуют конкретные объективные причины отставания российской микроэлектроники (мы не говорим сейчас о частных ошибках):

- Отсутствие чёткого понимания номенклатуры востребованной продукции внутреннего рынка, понимания специфики мелкосерийного многономенклатурного производства.
- Отсутствие комплексного подхода к переоснащению предприятий и постановке новой продукции на производство. Недостаточно уделяемое внимание всему комплексу вопросов, связанных с поставкой технологии, обслуживанием оборудования и обеспечением материалами и средами.
- Прямое копирование западных производств без учёта внутренних особенностей.
- Недостаточная поддержка государства в части создания режима наибольшего благоприятствования для бизнеса.

Вышеперечисленные факты (в комплексе или даже один из них) приводят к недостаточной эффективности реализованных (в различной степени) проектов создания или модернизации микроэлектронных производств в России.

Что же является основным тормозом в развитии (или воссоздании, если хотите) российской микроэлектроники? На мой взгляд, два очевидных для всех постулата (то есть утверждения, которые не требуют доказательств, или не имеют доказательства, или неверны — это как посмотреть), а именно:

- в России нет рынка микроэлектроники, все потребности внутреннего рынка могут быть тем или иным способом удовлетворены ведущими мировыми производителями; мизерность российского рынка в мировом масштабе делает неконкурентоспособным любое внутреннее производство;
- создание современного микроэлектронного производства стоит огромных денег; строительство фабрики по производству СБИС стоит несколько миллиардов долларов, которых у страны нет и которые не могут окупиться.

На основании постоянного общения со многими специалистами различного уровня микроэлектронной отрасли России могу сказать, что эти постулаты очень крепко вросли в сознание и заразительны, но в последнее время ситуация меняется. Чем больше разработчики ИС выполняют реальных ОКР, тем больше понимания, что заказывать пилотные партии специализированных ИС (ASIC) с проектными нормами 45 нм и меньше дорого, долго или просто невозможно. Принятая в России оценка рынка микроэлектроники и его сегментация, по

которой доля России составляет менее 1 % от мирового рынка, при определенном анализе показывают наличие скрытых резервов и белых пятен в расчётах.

Если посмотреть на сегмент специальной микроэлектроники и вспомнить, что доля электронных компонентов составляет более 70 % в цене, то цифра российского экспорта вооружений «не бьётся». Очевидно, что ёмкость закрытых рынков ИС (спецтехника, цифровое телевидение, навигационные системы, РЧИД, телекоммуникации и др.) может составлять несколько миллионов ИС в год. Это очень мало. Очень мало для стандартного микроэлектронного фаба стоимостью в несколько миллиардов долларов. Кроме того, производить такого рода продукцию (достаточно широкой номенклатуры и недостаточно большой серийности) очень часто невыгодно или просто невозможно при серийном производстве.

Так действительно ли мы отстали в области производств микроэлектронных приборов «навсегда» от развитых стран, как нас многие пытаются уверить? По моему глубокому убеждению ответ на этот вопрос отрицательный, то есть абсолютно положительный для России.

Факты, вселяющие такой оптимизм:

- Достижения в области технологии и оборудования наноимпринтной литографии позволяют на порядок снизить стоимость проекта для критических размеров 45 нм и менее по сравнению с решениями на основе оптических степперов. Развитие наноимпринтной технологии позволяет создавать высокорентабельные мелкосерийные многономенклатурные микроэлектронные производства, уйдя от классической компоновки серийной фабрики.
- Развитие кластерного технологического оборудования и систем автоматизации производства как на уровне отдельного кластера, так и на уровне участка, цеха, предприятия позволяет создавать высокотехнологичные эффективные мифабрики с полной прослеживаемостью изделий и параметров технологического процесса в каждый момент времени.
- Развитие электронного машиностроения в Юго-Восточной Азии (Южная Корея, Тайвань, Китай) позволяет избежать санкций, которые в области высокотехнологичной микроэлектроники никогда и не прекращались в отношении России со стороны Запада.
- В России за последние годы накоплен существенный опыт в комплексном подходе к созданию современного микроэлектронного производства. Критическая масса знаний и навыков специалистов в этой области позволяет сделать качественный скачок и реализовать серию успешных и высокоэффективных микроэлектронных проектов в России.



4  
Технологический кластер производства Южной Кореи

На рис 4 показан пример комплексного технологического кластера Южно-Корейского производства для ионно-плазменной очистки и напыления структур, приспособленного для многономенклатурного мелкосерийного производства.

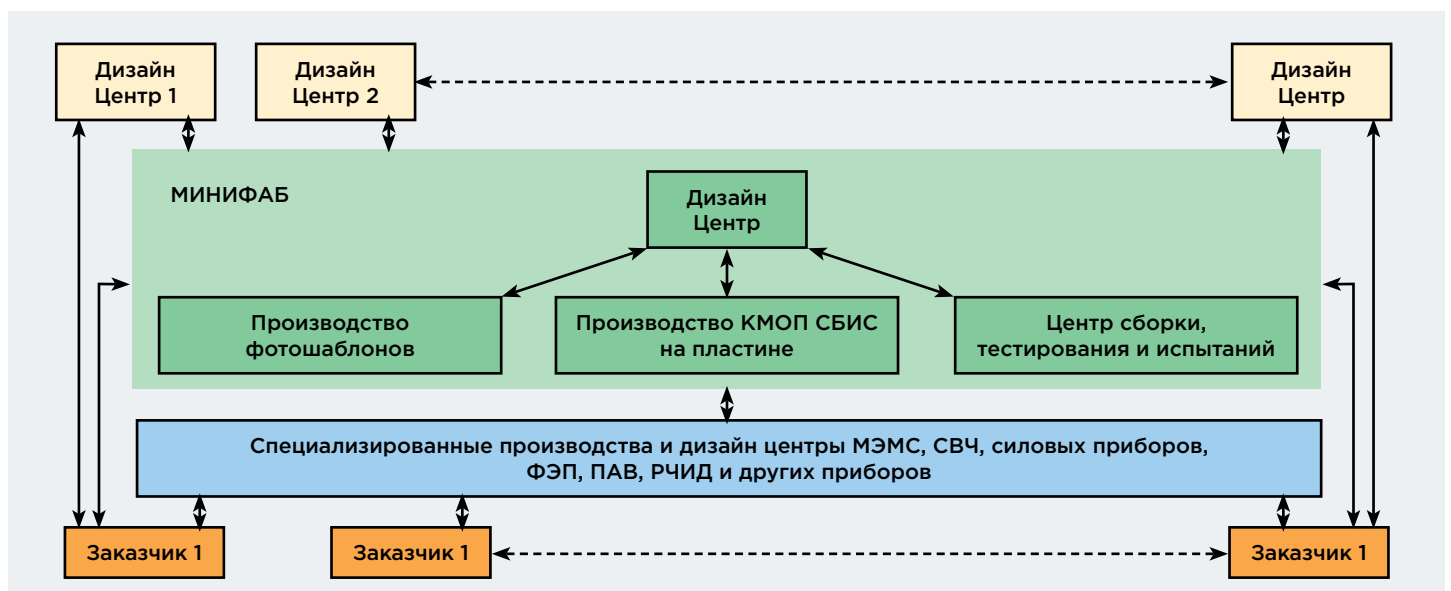
Как решается задача? Как и везде в мире — созданием минифабов, нацеленных на производство заказных специализированных ИС широкой номенклатуры и малой серийности. С развитием технологии наноимпринтной литографии, технологий SMIF и FOUP, кластерного оборудования появилась возможность существенно снизить эксплуатационные затраты такого производства, повысить гибкость и эффективность. Такой минифаб может либо взаимодействовать, либо частично или полностью включать в себя специализированные производства МЭМС, СВЧ, силовых приборов, фото-

электронных приборов и других устройств, которые требуют современной интеграции с КМОП процессором и памятью в системе на кристалле (SOC) или в системе в корпусе (SIP).

Этот минифаб позволяет производить КМОП СБИС с проектными нормами 90 нм и менее на общей пластине по замкнутому циклу, включая изготовление наноимпринтных фотошаблонов. При дооснащении минифаба участками электрического и оптического контроля, тестирования и испытаний, а также при интеграции специализированных технологических цепочек (МЭМС, МИС СВЧ, ФЭП и т. д.) такой комплекс сможет решить практически все задачи, стоящие перед специальной российской электронной компонентной базой.

Производительность современного минифаба составляет не десятки и сотни тысяч пластин в месяц, как у фабрики массового производства узкой номенклатуры продукции (независимо от того, является ли такой фаб по принадлежности ODM или Foundry), а порядка 500 пластин в месяц. По имеющимся оценкам потребности российского рынка микроэлектроники в его протекционистской части могут быть обеспечены 3-4 минифабами. При этом их продукция будет конкурентоспособна по сравнению с мировыми контрактными производствами. Кроме того, продукция будет (при соблюдении некоторых условий) востребована космическим приборостроением, авионикой, атомной промышленностью и другими применениями электроники высокой надёжности.

Ещё одной нишей использования универсальных минифабов могут стать нанотехнологические центры коллективного пользования, обеспечивая таким образом современную производственную базу для инновационных разработок и обучения и переподготовки высококлассных научных и производственных кадров.



5  
Блок-схема функционирования универсальной минифабрики с проектными нормами менее 45 нм

В **ТЭ** приведены основные технические характеристики универсального минифаба с проектными нормами 45 нм и менее.

Группы основных технологических операций остаются для минифаба такими же, как и для стандартной фабрики:

- фотолитография;
- химобработка;
- процессы нанесения/травления;
- имплантация;
- термические процессы;
- измерения и контроль.

При реализации современной минифабрики в России основная цель в том, что создаваемое уникальное производство с малой серийностью и высокой номенклатурой должно обладать и экстремальной гибкостью, и экстремально малыми эксплуатационными расходами.

Для этого необходимо выполнить определенные условия.

Использование наноимпринтной литографии вместо традиционной фотолитографии с экстремальным ультрафиолетом (EUV) позволит существенно снизить затраты на оборудование и эксплуатационные затраты (в разы), сделав проект рентабельным. Кроме того, в России уже существуют межотраслевые центры изготовления фотошаблонов, которые при небольшой модернизации обеспечат оперативное снабжение шаблонами для наноимпринтной литографии.

Технологический маршрут кристалльного производства или производства СБИС на общей пластине с использованием наноимпринтной литографии позволяет получать размеры топологии 45 нм и ниже с высоким коэффициентом выхода годных. В лабораторных условиях критический размер элемента, полученного методом наноимпринтной литографии, уже сейчас достигает 7-8 нм и менее.

Все остальное оборудование (кроме имплантера) должно быть объединено в технологические кластеры индивидуальной обработки пластин с целью минимизации стоимости, занимаемых площадей и обеспечения резервирования. Такое оборудование может собираться в России методом крупноузловой сборки из стандартных комплектующих для снижения импортозависимости и обеспечения безопасности. Большинство узлов — корейского, тайваньского и китайского производства.

Программное обеспечение при этом должно быть российского производства в обязательном порядке до машинных кодов.

Чистые помещения и инфраструктура — «под ключ», модульного типа. Межоперационная передача пластин должна осуществляться в FOUP контейнерах. Такая конфигурация обеспечивает снижение занимаемых площадей, капитальных затрат и стоимости эксплуатации.


Необходимо привлечь иностранных специалистов с опытом работы на производствах такого уровня интеграции для постановки технологии. Договоренности с командой из Юго-Восточной Азии имеются.

**ТЭ**

Основные технические характеристики универсального минифаба с проектными нормами 45 нм и менее

Характеристика	Значение
Технологический уровень, нм	28-45
Производительность, пластин в час	5
Диаметр обрабатываемых пластин, мм	200/300
Занимаемая площадь, кв.м	2 500
Площадь чистых производственных помещений, кв.м	750
Численность производственного персонала, человек	120
Энергопотребление, МВт	3

А что же насчёт стоимости современного минифаба и нашего второго постулата о том, что микроэлектроника — это очень дорого и что Россия таких денег не имеет?

**Стоимость минифаба «под ключ», включая чистые комнаты и инженерные системы обеспечения энергоносителями, составляет, в зависимости от состава и степени универсальности, от 350 до 500 миллионов долларов. Срок реализации проекта — 30-36 месяцев «с нуля» (если делать медленнее, то проект морально устареет до того, как начнёт приносить отдачу). Ещё одним важным (если не определяющим) фактором в пользу реализации подобных проектов считаю тот факт, что на настоящий момент в России накоплен достаточный уровень квалификации специалистов в данной области. Момент самый что ни на есть подходящий, важно его не упустить, так что за работу и удачи нам всем! **