

# Проблемы становления российской цифровой экономики и способы исключения ошибок при их решении

Александр Гордеев (gordeev.gai@mail.ru)

После ряда инициатив Президента РФ Правительством РФ была утверждена «Программа цифровой экономики» (распоряжение № 1632-Р от 28 июля 2017 г.). Программа рассчитана на 6 лет (2019–2024 гг.), её параметры уточнялись на заседании Правительства РФ 17 сентября 2018 г., где ожидалось принятие решения по выделению средств из бюджета на цифровизацию экономики России.

В программе цифровой экономики РФ намечены следующие проектные направления:

- информационная инфраструктура;
- кадры и образование;
- информационная безопасность;
- цифровые технологии;
- цифровое государственное управление.

В целом можно понять, что на 6 лет на указанную программу выделяется около 3,5 трлн рублей, или около \$54 млрд.

Бюджет неплохой, как в целом и сама программа, – пожалуй, одна из лучших госпрограмм в текущем десятилетии, – с одной оговоркой: в части понимания конечных целей и решаемых задач, но не методов решения в целом.

Вопрос в инструментах, на которых будет создаваться цифровая экономика. Если с ИТ – математикой Касперского – всё достаточно очевидно (и это наше достояние), то «оцифрованность» телевидения в Башкирии или Тверской области основана отнюдь не на отечественной цифровой технике. То же самое касается и техники, применяемой такими гигантами, как «Ростелеком», «МТС», «Мегафон», или рядом дата-центров в РФ. Где же отечественные компьютеры, ноутбуки, планшеты, смартфоны, при том что во времена СССР страна занимала 28% рынка микроэлектроники?

Вопрос состоит в том, на чём будет выстраиваться инструментально-цифровая база: на российских мощностях (3–5 Гбит/с) или на западных (3–5 Тбит/с в 2020 г.). Это в том числе вопрос национальной безопасности – начиная с управления реактором на быстрых нейтронах и заканчивая гиперзвуковыми системами в страто-

сфере или информационными системами на высшем государственном уровне.

Следует напомнить, что в мире есть как минимум четыре фирмы: TSMC (Тайвань), Samsung (Корея), Intel, IBM (США), которые в первом квартале 2019 г. планируют освоить производство микропроцессоров с проектными нормами в 5 нм (50 Å), а в 2021 г. – 3 нм. При этом (в совокупности) указанные компании планируют тратить только в 2019 г. на цели создания современных цифровых систем, работающих в терадиапазоне, не менее \$40–45 млрд/год. Конечно, в ВВП нашей страны (~\$1,25 трлн) возможно найти \$10–15 млрд/год на планарную наноэлектронику, т.е. на литографию (и остальное) размерностью от 10 до 1 нм, но при этом остаётся открытым вопрос обеспечения оборудованием. В Беларуси даже «Интеграл» не может выйти за рамки 500–800 нм, а в AMD и другие западные компании дорога для России закрыта.

Вторая «больная» тема – обеспеченность электронными материалами.

Необходимо также подчеркнуть, что Программа импортозамещения в области микроэлектроники/субмикроэлектроники (Приказ Минпромторга № 662 от 31 марта 2015 г.), которая была исключительно полезна на начальном этапе, к настоящему моменту неэффективна (в 2018 г. планировалось освоить проектные нормы в 22 нм). Уместно напомнить цитату сотрудников компании IBM (2015 г.): «...Нынешние прогрессивные 14-нм чипы будут казаться рядом с 7-нм устаревшими, медленными и горячими “динозаврами”». В этой связи несложно составить представление о россий-

ском технологическом уровне в области цифровых систем-на-кристалле на фоне разработок в 3 нм. И главная причина этого состоит в экономических и политических возможностях страны.

Какие проблемы и вызовы стоят перед российской электроникой и какие подходы было бы целесообразно применить для их решения в рамках национальной программы отечественной цифровой экономики?

Прежде чем перечислить важнейшие технологические элементы, необходимые в качестве фундамента для построения цифровой экономики, следует понять, что ориентировочно с 2022 года применительно к странам G7 нужно вести речь о «терагерцовой», а начиная с 2030 года – о «петагерцовой цифровой экономике» (>10<sup>15</sup> Гц) (в первых технологических сообщениях [1] это первоначально «ридберговские квантовые компьютеры» и затем «атомно-ямные» компьютеры [2], хотя в недалёком будущем, вероятно, как за рубежом, так и в России будет использоваться сверхпроводимость при комнатной температуре на моноатомных сверхрешётках, а также «комнатная» динамическая сверхпроводимость).

Важнейшие технологические платформы терагерцовой экономики:

1. Терагерцовые микропроцессоры или на «кулоновских» проектно-дрейфовых нормах 3–5 нм, или на основе вышеупомянутой сверхпроводимости при комнатной температуре.
2. Источники энергии (электроэнергии) с флюенсом «успевающей» импульсной мощности – за терагерцовыми микропроцессорами.
3. Мегагерцовые и сверхвысокочастотные источники вторичного электропитания (СВЧ ВИП), т.е. преобразователи «сети» в AC/DC-электропитание для терагерцовых микропроцессоров.
4. Терагерцовые устройства беспроводной связи, по крайней мере, эквивалентные по «эфирной мощности» тем же гигагерцовым GSM или GPS.

Конечно, возникнет ещё ряд фундаментальных и технологических проблем, хотя и прикладных, но также наукоёмких и исключительно сложных: например, «приёмные» терагерцовые АЦП для беспроводных устройств или создание площадок по технологии новых электронных материалов.

Далее будет немного подробнее рассмотрена ситуация по каждому вышеприведённому разделу или платформе.

### ТГц-МИКРОПРОЦЕССОРЫ

В силу внешних и внутренних причин пока невозможно говорить о серийном производстве в России в 2019 году даже 65-нм микропроцессоров. Для 3-нм производства (реальный рынок в странах G7 в 2022 г.) необходимо как минимум \$20 млрд на одну технологическую площадку по производству чипов и как минимум ещё столько же на производство оборудования (по аналогии с компанией AMD). Конечно, в этой ситуации необходимо, как и призывает Президент РФ, «включать мозги». Это возможно – хотя бы на примере проекта [3, 4], а также разработок РАН в области сверхпроводимости при ком-

натной температуре. Здесь речь идёт об «одноатомной электронике» и «диэлектрической» [3], т.е. фононной электронике (1 мкм даст тактовую частоту на 14–15 ТГц, что стратегически важно).

### ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Это исключительно серьёзный вопрос, что связано с прогнозируемым в условиях цифровой экономики огромным дефицитом электроэнергии как в странах G7, так и в России. Эта стратегическая задача является одной из самых важных, что подчёркивается необходимостью энергообеспечения терагерцовых цифровых систем.

К примеру, для поддержания дата-центра в Саранске необходимо 2 МВт, а каждый из 4 суперкомпьютеров (США, Япония, Китай, Россия) требует энергопотребности, сопоставимой с мощностью одного энергоблока Балаковской АЭС на «тяжёлой» воде. Ни для кого не секрет, как разряжается литиевая батарея в смартфоне или планшете при пользовании интернетом. Разработчикам СВЧ-систем известно, что даже в X-диапазоне (~10 ТГц) КПД отбора электрической мощности от источ-

ника электропитания в лучшем случае ≈50%, не говоря уже о 10 ТГц (частотах, в 1000 раз больших). Несложно представить, что произойдёт, когда в РФ, например, к 2025 г. заработают одновременно десятки миллионов терагерцовых компьютеров (в офисах, организациях, госучреждениях, научной сфере, в быту), – существующих 216 ГВт установленной мощности будет катастрофически не хватать. Это огромная проблема, и её нужно решать не откладывая.

Будут ли это ториевые АЭС или «нейтронные» (на магнитных ловушках) источники электропитания, или магнитодинамические электростанции (на явлении сверхпроводимости при комнатной температуре) – это задача не только физиков-ядерщиков, РАН и «Росатома», но и корпуса инженеров-разработчиков, глубоко и комплексно понимающих зонную теорию, физику твёрдого тела, ядерную физику, физику плазмы и др.

Следует добавить, что «зонно-кулоновская» цифра уже в прошлом – пора переходить к «релятивистской аналоговой» цифре, т.е. к скоростям как мини-

**anadigm**

**Программируемые аналоговые микросхемы:**

**весь спектр электроники на одном кристалле!**

**ProChip**  
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА  
(495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU

ПРОЧИТАЙТЕ

мум на полтора-два порядка выше, чем в дрейфово-электронных системах. Решение данной проблемы возможно на базе уже упоминавшегося проекта [3, 4]. Необходимо подчеркнуть, что необходимые финансовые вложения при этом на порядок ниже, чем у ведущих «цифровых» фирм мира. Это, вероятно, и есть новый технологический выход, прорыв для РФ.

### ВИП для ТЕРАГЕРЦОВЫХ ЦИФРОВЫХ И БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Вряд ли стоит рассчитывать на то, что на ШИМ-модуляции будут созданы современные энергоплотные источники вторичного электропитания для СВЧ или терагерцового применения. Переход на СВЧ резонансно-контурные источники вторичного электропитания могут в перспективе обеспечить новые униполярно-инжекционные гипербыстрые силовые приборы (аналогов в мире нет), которые сейчас патентуются.

В рамках проекта в ближайшей перспективе (2–3 года) планируется поставить на отечественный и зарубежный рынки (при условии финансирования) СВЧ-силовую ЭКБ для новейшего поколения резонансно-контурных преобразователей (СВЧ ВИП) – пока на принципах мультizonной теории [4], а затем на принципах резонансно-контурной аккумуляции энергии в диэлектрике (на электронно-фононных поляроидах) [3], т.е. «диэлектрические» электро-ВИП на терагерцовых частотах. Будущее, как видится, именно за этим, поскольку максвелловская энергия генерируется и транспортируется в твёрдом теле как минимум на три порядка быстрее, чем в «электронной» силовой ЭКБ, да и максвелловская контурная накачка не является проблемной.

### ТЕРАГЕРЦОВЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ

Решения, которые пытаются выполнить в зоне терагерцовой связи на принципах зонной проводимости (FinFET, SBD, SSD, MDM и др. приборы), обеспечивают милливаттную мощность, и этим всё сказано. Лампа бегущей волны (ЛБВ) или лампа обратной волны (ЛОВ) – это стекло/керамика/вакуум/габариты/шум (ЛОВ – на второй гармонике). Есть, конечно, и другие пути. Один из них изложен в [3], где предлагается разработать «терагерцовую» беспроводную систему (связь, локация, навигация – три в одном) на полностью диэлектрическом тракте (без «железа»).

В итоге нужно констатировать, что терагерцовые системы (миллиметровые, субмиллиметровые, а в перспективе ИК-волны) придётся создавать на основе твёрдовакуумной, т.е. диэлектрической электронно-фононной атомно-орбитальной электроники, как, впрочем, и «аналоговую цифру». Всё достаточно детально изложено в [3], фактически это программа создания терагерцовой электроники (включая терагерцовые ФАР).

Материалы для этой цели в [3] обозначены – это не только  $i\text{-GaAs}_{\text{Si}}$  (уже созданный),  $i\text{-GaAs}_{\text{Ge}}$  ( $T_{\text{раб.}} = +300^\circ\text{C}$ ) (гетерофазные диэлектрические монокристаллы), но и  $i\text{-GaP}_{\text{Si}}/i\text{-GaP}_{\text{Ge}}$  ( $T_{\text{раб. чипа}}$  до  $+500^\circ\text{C}$ ). Это и  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ( $T_{\text{раб. чипа}}$  до  $+800^\circ\text{C}$ ), и  $\text{AlN}$  ( $T_{\text{раб. чипа}}$  до  $+800^\circ\text{C}$ ), и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $T_{\text{раб. чипа}}$  до  $+1200^\circ\text{C}$ ). Всё это необходимо как российским оборонительным системам, например для гиперзвуковых аппаратов на стыке страто- и тропосфер или, в будущем, от МИГ-41 до межпланетных станций на орбитах, приближенных к Солнцу (возможно создание радиолокационной обсерватории на Меркурии).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ


Как следует из сказанного, программа импортозамещения в отечественной электронике на данном этапе – это национальный тупик, что необходимо учитывать при создании программы цифровой экономики.

Необходимо вернуть национальное самосознание и достоинство, прекратить копирование западных образцов и разработать программы (технологические платформы) с опережением мирового уровня.

В России хватает идей, фундаментальных и прикладных разработок, проектов, которые смогли бы вывести страну на передовые позиции в мировой электронике (сейчас – отставание как минимум на 18 лет с 0,3% долей на мировом рынке).

Автор предлагает часть своего труда в виде комплексного проекта для разработки национальной программы цифровой, а точнее «терагерцовой» экономики, и создания предпосылок для «петагерцовой» экономики.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В России создан самый мощный квантовый компьютер в мире: <https://newsland.com/community/88/content/v-rossii-sozdan-samyi-moshchnyi-kvantovyi-kompiuter-v-mire/5922965>
2. Первое приближение к петагерцовой электронике: [http://ko.com.ua/pervoe\\_priblizhenie\\_k\\_petagercevoj\\_jelektronike\\_123835](http://ko.com.ua/pervoe_priblizhenie_k_petagercevoj_jelektronike_123835)
3. Гордеев А. Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы. Современная электроника. 2016. № 6, 7.
4. Гордеев А.И., Войтович В.Е., Звонарев А.В. Новая физическая твердотельная электроника на основе терагерцового расщепления и деформации запрещенной зоны  $\text{LPE}_{\text{Si}}\text{GaAs}_{\text{Si}}$ -кристаллов. Часть 1. Радиотехника. 2017. № 10. 

### НОВОСТИ МИРА

#### В Росстандарте испытано оборудование для сетей 5G

ВНИИФТРИ Росстандарта провёл комплексные измерения характеристик оборудования для использования в составе сетей связи нового поколения. В уникальном испытательном комплексе были измерены ключевые радиотехнические параметры антенных систем, предназначенных для использования в инфраструктуре сетей 5G.

Для измерения характеристик антенных модулей в большой безэховой камере ВНИИФТРИ был развёрнут аппаратный измерительный комплекс, позволяющий работать с широкополосными сигналами в частотном диапазоне 0,5...50 ГГц, предназначенными для высокоскоростной передачи больших объёмов информации. Были измерены объёмные диаграммы направленности антенн, достижимые уровни их эффективной изотропно-излучаемой мощности, проведена оценка спектраль-

ных характеристик формируемых сигналов, а также побочного и внеполосного радиоизлучения. Кроме этого, оценивалась помехоустойчивость оборудования, включая устойчивость к сложным видам радиопомех, имитирующих работу радиолокационной станции.

Во ВНИИФТРИ продолжается разработка средств и методов измерений радиотехнических характеристик антенн с цифровыми интерфейсами.

Пресс-служба ВНИИФТРИ





ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

ОТВЕТСТВЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА  
ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

100% РОССИЙСКАЯ КОМПАНИЯ



### ЗАКАЗНЫЕ РАЗРАБОТКИ

**Разработка электронного оборудования по ТЗ заказчика в кратчайшие сроки**

- Модификация КД существующего изделия
- Разработка спецвычислителя на базе СОМ-модуля
- Конфигурирование модульного корпусированного изделия
- Сборка магистрально-модульной системы по спецификации заказчика
- Разработка изделия с нуля



### КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

**Контрактная сборка электроники уровней: модуль / узел / блок / шкаф / комплекс**

- ОКР, технологические консультации и согласования
- Макеты, установочные партии, постановка в серию
- Полное комплектование производства импортными и отечественными компонентами и материалами
- Поддержание складов, своевременное анонсирование снятия с производства, подбор аналогов
- Серийное плановое производство
- Тестирование и испытания по методикам и ТУ
- Гарантийный и постгарантийный сервис