

Работы США в области микроэлектроники для ядерного оружия

Стреналюк Юрий Вениаминович,
Доктор технических наук, профессор
ФГБУ 4 ЦНИИ Минобороны России
141090, г. Королев, мкр. Юбилейный, ул. Тихонравова, 29

Микроэлектроника составляет основу практически всех электронных продуктов, включая ядерное оружие. Ядерное оружие (ЯО) США использует уникальный комплекс продуктов микроэлектроники, которые должны функционировать должным образом при воздействии высоких уровней радиации. Объекты Национального управления ядерной безопасности (National Nuclear Security Administration, NNSA) в Сандии являются единственным источником уникальной микроэлектроники, однако значительный возраст этих объектов может представлять значительный риск для возможностей NNSA после 2025 года.

Оценка современной ситуации

За последнее десятилетие Национальное управление ядерной безопасности (NNSA) Министерства энергетики (МЭ) США завершило оценку состояния существующих объектов микроэлектроники в Национальных лабораториях Сандии (Sandia), которые являются единственным источником производства стратегической радиационной микроэлектроники, которая может работать в условиях экстремального воздействия радиации. В частности, в период с 2012 по 2019 финансовый год NNSA осуществила в Сандии многолетние усилия на сумму 150 млн. долл. США по замене и реконструкции инфраструктуры и оборудования на предприятии по производству микроэлектроники для обеспечения дальнейшей работы до 2025 года. Агентство также начало выявление и оценку вариантов производства микроэлектроники после 2025 года, включая строительство нового многомиллиардного производственного объекта в Сандии. Однако из-за изменений в ключевых предположениях, включая долгосрочную жизнеспособность существующих объектов, NNSA решила в ноябре 2018 года не искать ни одной из выявленных альтернатив и вместо этого заявила, что собирается оценить варианты поддержания своего текущего потенциала в Сандии.

Текущий подход NNSA к управлению своей стратегической деятельностью в области радиационностойкой микроэлектроники включает в себя два ключевых усилия. Во-первых, в октябре 2019 г. Агентство решило инвестировать около \$1 млрд в течение следующих 20 лет в модернизацию и поддержание своих возможностей в области микроэлектроники в Sandia до 2040 года. В частности, NNSA планирует модернизировать свой производственный процесс, а также инфраструктуру и оборудование. Во-вторых, в ноябре 2019 года NNSA создала и заполнила новую штатную должность координатора по микроэлектронике, которая, среди прочего, будет отвечать за некоторые аспекты деятельности агентства в области микроэлектроники.

Предыстория

Микроэлектроника, именуемая интегрированными схемами (полупроводниками), составляет основу почти всех электронных изделий, включая компоненты ядерного оружия. Долгосрочная жизнеспособность ядерного сдерживания зависит от надежных поставок уникальной микроэлектроники. Эти уникальные электронные компоненты называются "стратегической радиационностойкой" микроэлектроникой, что отражает их способность нормально функционировать в средах с чрезвычайно высоким уровнем радиации (например, гамма- или рентгеновские лучи). Стратегическая стойкая микроэлектроника является важнейшим компонентом системы вооружения, которая обеспечивает сигналы, инициируемые ядерной взрывной цепью.

Производство такой микроэлектроники является технически сложной задачей, требующей специализированных средств, оборудования и материалов. Это также влечет за собой выполнение и интеграцию мероприятий, связанных с исследованиями, дизайном, изготовлением, упаковкой и

тестированием. Основным источником микроэлектроники для компонентов ядерного оружия являются микросистемы Инженерно-технического комплекса (Microsystems Engineering, Sciences and Applications, MESA) в Сандии комплекса Национальной лаборатории (Сандия) в Нью-Мексико, которые управляют и работают по контракту для NNSA.

NNSA выявила множество проблем, связанных с обеспечением ее способности продолжать работать в области микроэлектроники, например:

- Основным предприятием по производству микроэлектроники Sandia в комплексе MESA является завод по производству кремния (Complex is the Silicon Fabrication, SiFab), который был введен в эксплуатацию в 1988 г. с 25-летним сроком эксплуатации. Согласно документации агентства, возраст объекта и физическая планировка приводит к увеличению эксплуатационных расходов и значительному простоему производства, создают риски для возможностей NNSA в области микроэлектроники после 2025 года.

- Возможности NNSA в области микроэлектроники в Sandia используют те же материалы, оборудование и процессы, что и коммерческие производители микроэлектроники. Тем не менее, тенденции в мировой индустрии коммерческой микроэлектроники все больше ограничивают способность NNSA сотрудничать с промышленностью для удовлетворения своих потребностей в микроэлектронике. Например, коммерческая отрасль ориентирована на производство микроэлектроники для потребителей и «умных» устройств с использованием новейших технологий с большим объемом производства, а это значит, что технологии быстро заменяются, а коммерческая микроэлектроника имеет относительно ограниченный срок службы. В отличие от этого, NNSA требует гораздо меньшего количества микроэлектроники с уникальными требованиями (например, радиационная стойкость), для которых нет коммерческого спроса. Кроме того, поскольку Соединенные Штаты должны сохранять свое ЯО в течение десятилетий, NNSA требует, чтобы их микроэлектроника оставалась функциональной в течение более долгого времени, чем потребительские устройства.

Согласно документации NNSA, цепочке поставок ядерного оружия, среди прочего, необходимо обеспечить защиту от потенциальных диверсий. Однако производство коммерческой микроэлектроники все чаще перемещается за границу, прежде всего в Азию, в то время как ряд американских производителей приобретаются иностранными компаниями. При этом использование иностранных поставщиков может увеличить возможности для коррумпированных технологий, внесение вредоносного кода и похищение интеллектуальной собственности, связанной с национальной безопасностью.

Согласно Обзору ядерной состояния на 2018 год Соединенные Штаты будут осуществлять инициативы по обеспечению дальнейшего потенциала по развитию и производству микроэлектроники после 2025 года. В настоящее время NNSA планирует после 2025 года начать производство по трем программам модернизации ядерного оружия, и для этих программ потребуются микроэлектроника. Исторически сложилось так, что программы модернизации оружия NNSA были программами продления жизни (life extension programs - LEPs), которые модернизируют или заменяют компоненты ядерного оружия, чтобы, среди прочего, продлить срок службы этого оружия и повысить безопасность. Тем не менее, NNSA переходит в эпоху, в которой его программы модернизации оружия будут также включать программы модификации оружия и потенциально новые приобретения.

В докладе сенатского комитета к Закону на национальную оборону на 2019 ф.г., содержится положение о пересмотре деятельности NNSA по стойкой микроэлектронике, нужной для ЯО. Известны действия NNSA за последнее десятилетие по поддержанию существующих объектов микроэлектроники и выявлению будущих альтернатив ее микроэлектронике и рассматривается текущий подход NNSA к управлению своей деятельностью в области микроэлектроники и степень, в которой этот подход включает в себя ключевые элементы управления.

Для решения обеих задач США провели аудит объектов в комплексе MESA NNSA в Сандии для рассмотрения и оценки возможностей микроэлектроники и опроса представителей подрядчиков, которые отвечают за управление и эксплуатацию объектов микроэлектроники Sandia. В частности, аудит был сосредоточен на SiFab Facility MESA, потому что, согласно документации NNSA, (1) объект является основным источником микроэлектроники агентства, которые интегрированы в

ЯО, (2) планировка объекта и стареющая инфраструктура могут ограничить будущие варианты производства, и (3) оборудование и инфраструктура объекта представляют текущие риски для миссии NNSA по производству ядерного оружия. Была также проверены компании, которые управляют производственным объектом микроэлектроники, расположенного в штате Мэриленд, так как этот объект производит микроэлектронику для систем национальной безопасности, а дата его строительства и планировка здания аналогичны siFab Сандии.

Для определения мер, принятых NNSA для поддержания существующих объектов, рассмотрены документы NNSA и документацию подрядчика с 2010 г. (когда Сандия представила свое первоначальное предложение по поддержанию) до 2018 г. (когда NNSA завершила свое последнее исследование по поддержанию). Для изучения будущих альтернатив NNSA, выявленных для его потенциала микроэлектроники, была рассмотрена документация NNSA с 2011 г. (начало оценки NNSA) до 2018 г. (когда NNSA прекратила свою оценку).

В настоящее время микроэлектроника NNSA адаптируется к меняющимся условиям, меняющимся требованиям и новым приоритетам, отчасти из-за принятого агентством в 2018 году решения о прекращении оценки будущей альтернативы микроэлектронике.

Обзор

Производство микроэлектроники в Сандии. Комплекс MESA в Сандии включает в себя несколько производственных мощностей и зданий общей площадью около 40 000 м² (см. рис. 1). В частности, объект SiFab, заверченный в 1988 г., является основным производственным предприятием для микроэлектроники, интегрированной в ЯО. SiFab Facility производит специальные интегральные схемы (ASIC), которые специально разработаны для управления определенными функциями вооружения, подрыва и стрельбы. Комплекс MESA также включает в себя другие здания, такие как Micro Fabrication Facility, который был завершен в 2006 году и производит стратегические стойкие к радиации устройства для управления электронными сигналами и электроэнергией. Эти два производственных объекта расположены вокруг ряда чистых помещений, которые предназначены для поддержания крайне низкого уровня пыли и других частиц, что может нанести ущерб микроэлектронной функциональности. Эти два предприятия содержат около 375 единиц специализированного производственного оборудования, некоторые из которых стоят миллионы долларов, и имеют кислотные выхлопные газы и системы управления жидкими отходами для обработки побочных продуктов производственных процессов.



Рисунок 1: Вид с воздуха на Комплекс национальных лабораторий Сандия

Завод SiFab производит все стратегические стойкие к радиации ASIC (application-specific integrated circuits - специализированные интегральные схемы), используемые в настоящее время в ЯО. ASICs производятся на пластинах – тонком ломтике полупроводникового материала кремний, используя так называемый дополнительный полупроводниковый металлооксид (CMOS). Производство ASICs требует сотни этапов обработки, которые проводятся в течение нескольких недель. Например, согласно документации Sandia, для производства определенного типа ASIC требуется более 600 этапов обработки в течение примерно 26-недельного периода.

Микроэлектроника производится с характерными размерами, измеряемыми в нанометрах (нм), или 10^{-6} м. Технология процесса вместе со связанным с ним размером известна как технологическая норма. Как правило, меньшие узлы представляют собой более передовые технологии. Завод SiFab производит микроэлектронику по норме в 350 нм и называет ее «CMOS7». В настоящее время передовая микроэлектроника производится по норме 5-7 нм. Однако, такие мелкие узлы являются более сложными в производстве и не доказали свою эффективность на радиационно-стойком уровне. На рисунке 2 показана микроэлектроника коммерческого производства на пластине (слева на фото) и нарезанные кубиками на отдельные части микроэлектроника Sandia рядом с американским центом (справа на фото).

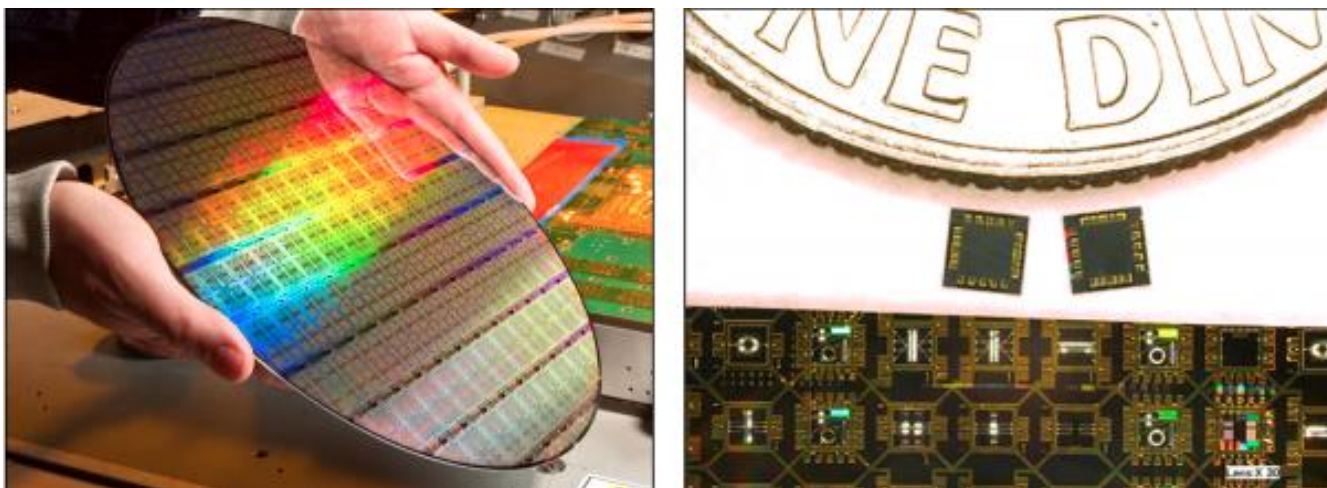


Рисунок 2: Фотографии микроэлектроники на кремниевой вафельной пластине и нарезанные кубиками в отдельные части электроники Сандия

Текущие и планируемые программы модернизации ЯО и другие планы модернизации, связанные с микроэлектроникой

Как показано в таблице 1, NNSA предпринимает значительные усилия по модернизации LEPs оружия, в которых принимает участие Сандия. Кроме того, в Обзоре ядерной позиции на 2018 год содержится призыв к NNSA рассмотреть дополнительные программы вооружений, в частности, программу разработки современной крылатой ракеты морского базирования с ядерным оснащением и другую - разработки новой боеголовки баллистической ракеты подводного базирования (именуемую W93). Для разработки и производства микроэлектроники для этих задач, Sandia должна (1) проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторскую деятельность, (2) завершить проектирование микроэлектроники для удовлетворения военных требований, специфических для программы вооружений, в которую будет интегрирована микроэлектроника, и (3) производить микроэлектронику. Сандия должна провести все эти мероприятия за время, прежде чем NNSA поставит первое производственное подразделение программы оружия в Минобороны США.

Согласно документам Сандии и представителей подрядчика микроэлектроники научно-исследовательские и опытно-исследовательские работы начинаются от 10 до 15 лет до первой даты программы производства единиц оружия, в то время как производство микроэлектроники начинается за 3-5 лет до даты первого производства.

Таблица 1: Текущие программы модернизации оружия NNSA, предполагаемые даты и производственные графики первого произведенного блока и микроэлектроники

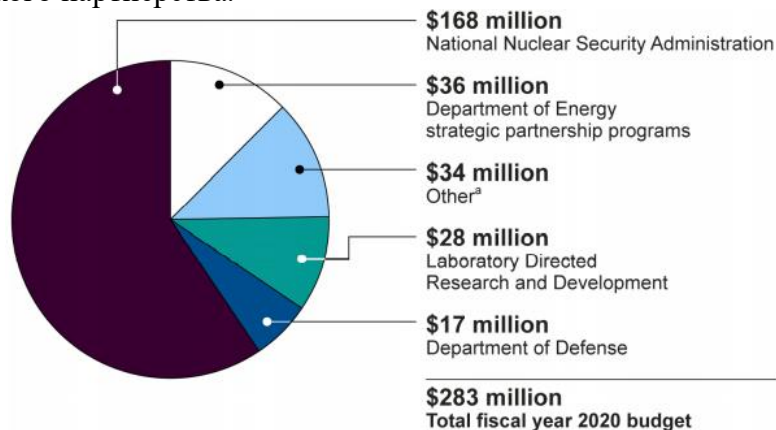
Программа	Описание	Дата первого произведенного блока (ф.г.)	График производства микроэлектроники
Программа продления жизни W61-12 (LEP)	W61-12 LEP должен консолидировать и заменить несколько модификаций гравитационной бомбы W61. ^a	2022	Производство завершено.
Программа изменений 370 для W88	Программа W88 Alteration 370 должна заменить вооружение, подрыв и стрельбу подсистемой и фугасным основным зарядом для боеголовки W88, которая развернута на подводной ракете Trident II D5 ВМС.	2022	Производство завершено.
W80-4 LEP	W80-4 LEP предназначен для обеспечения БГ для будущей КР дальнего действия, чтобы заменить нынешнюю крылатую ракету ВВС.	2025	Производство продолжается.
Программа модификации W87-1	Программа модификации W87-1 предназначена для замены БГ W78 для ВВС и повышения безопасности БГ. Нынешняя БГМБР Минитмен III. Когда W87-1 заменит W78, он будет на ракете ВВС в замену Минитмен III	2030	Производство планируется начать в 2026 ф.г.

Источник: GAO анализ национальной ядерной безопасности администрации (NNSA) документации. GAO-20-357

Кроме того, МО предпринимает усилия по модернизации платформ доставки ядерного оружия, и Сандия производит микроэлектронику для поддержки этих усилий. В частности, Министерство энергетики отвечает за разработку и производство компонентов вооружения и подрыва на платформах доставки для определенных видов ядерного оружия, и Sandia производит некоторые из этих компонентов для DOD в комплексе MESA. Например, согласно документации ВВС и Sandia, ВВС заключили контракт для разработки и производства микроэлектроники для своей межконтинентальной баллистической ракеты модернизацию подрыва, которая обеспечит новый взрыватель для использования как на текущей ракете Minuteman III и его замены, наземной основе стратегического сдерживания ракеты.

Финансирование на 2020 ф.г. для микроэлектроники в Sandia

Бюджет комплекса MESA по оценкам 2020 ф.г. в соответствии с документацией Sandia составляет \$ 283 млн. Как показано на рисунке 3, это происходит из различных источников, потому что Сандия использует комплекс MESA для удовлетворения как миссий NNSA и Министерства энергетики, так и для научных исследований и разработок для тех и других субъектов через программы стратегического партнерства.



Source: GAO analysis of Sandia National Laboratories (Sandia) documentation. | GAO-20-357

Рисунок 3: Бюджет Национальных лабораторий Sandia по комплексу MESA на 2020 ф.г. по источникам

Завершенные действия NNSA за последнее десятилетие для поддержания возможностей микроэлектроники в Sandia

За последнее десятилетие NNSA завершила ряд действий по поддержанию существующих стратегических объектов микроэлектроники в Сандии до 2025 г., одновременно определив будущие альтернативы своему потенциалу микроэлектроники после 2025 г. В частности, в период с 2012 по 2019 ф.г. NNSA привлекла в Сандии усилия на сумму 150 млн. долл. для поддержания деятельности фонда SiFab до 2025 г. Усилия NNSA по поддержанию сосредоточены на следующих двух областях:

Инфраструктура. NNSA потратило около 27 млн. долл. на завершение 25 инфраструктурных проектов, поддерживающих производство микроэлектроники. Например, NNSA установило два новых бака емкостью 20 000 галлонов для улучшения системы хранения деионизированной воды на объекте, который обеспечивает воду сверхвысокой чистоты для использования в определенных процессах, а также заменила часть кислотной выхлопной системы объекта.

Оборудование. NNSA потратила около \$123 млн. долл. на производственное оборудование для двух основных целей: (1) для замены стареющего оборудования, которое Sandia классифицировала как высокого риска отказа; и (2) для ремонта существующего оборудования и закупки оборудования, которое будет использоваться для производства микроэлектроники, как только Sandia завершит свои текущие усилия по преобразованию производственного процесса с использованием 6-дюймовых кремниевых пластин в 8-дюймовые.

В 2018 ф.г. Sandia отремонтировала существующее оборудование и закупила новое оборудование, которое является более автоматизированным и предназначено для повышения надежности процессов. Кроме того Sandia необходимо преобразовать свой производственный процесс для использования 8-дюймовых пластин кремния, потому что коммерческий сектор все более ограничивает техническую поддержку и обслуживание оборудования обработки 6-дюймовых пластин.

В то время как NNSA работала с Sandia над поддержанием SiFab Facility до 2025 г., агентство также начало выявлять и оценивать варианты производства микроэлектроники после 2025 г., такие как строительство нового многомиллиардного производственного объекта в Сандии. Однако из-за изменений в ключевых предположениях, NNSA решила в ноябре 2018 г. не проводить ни одной из выявленных альтернатив и вместо этого заявила, что агентство собирается оценить варианты поддержания своего нынешнего потенциала в Сандии после 2025 г.

В качестве наилучшего удовлетворения потребностей NNSA были определены две предпочтительные альтернативы:

- (1) партнерство с существующим государственным подрядчиком кроме Сандии;
- (2) вступление в межведомственное соглашение с Министерством обороны и по крайней мере одним членом разведывательного сообщества, а также коммерческим предприятием о проектировании, строительстве и эксплуатации современного производственного объекта.

В конечном счете, NNSA решила не искать ни предпочтительной альтернативы из-за изменения предположений. Например, одно из ключевых предположений NNSA для анализа альтернатив ТМК заключалось в том, что фонд SiFab не может оставаться в рабочем состоянии после 2025 года. Тем не менее, NNSA поручила Аэрокосмической корпорации подтвердить это предположение, и в январе 2018 года Аэрокосмическая корпорация завершила исследование, в результате которого был сделан вывод о том, что SiFab Facility может оставаться жизнеспособным до 2040 г. с приоритетными и хорошо спланированными ремонтами инфраструктуры и заменой оборудования. Другой пример изменения предположений касался предпочтительной альтернативы, в соответствии с которой NNSA будет заключать межведомственное соглашение с Министерством обороны и по крайней мере с одним членом разведывательного сообщества о проектировании, строительстве и эксплуатации современного производственного объекта. Эта предпочтительная альтернатива предполагала, что Министерство обороны, разведывательное сообщество, или оба, будут платить за разработку и строительство производственного объекта (по оценкам, стоимостью от \$ 350 млн до \$ 1,2 млрд), в то время как NNSA будет платить за оснащение своей части производственного процесса. В докладе ТМК об альтернативных вариантах говорится, что приверженность со стороны Министерство обороны и разведывательного сообщества будет иметь жизненно важное значение и что эта альтерна-

тива создает значительные риски для исполнения. В январе 2018 года в документации NNSA говорилось, что эта межведомственная альтернатива более не является жизнеспособной, поскольку другие ведомства заявили, что они больше не заинтересованы в потенциальном партнерстве.

Отчасти в результате этих изменений в ключевых предположениях, в ноябре 2018 года, NNSA написал в письме Конгрессу, что он больше не запрашивает финансирование для ТМК и оценивает, какие инвестиции необходимы для продления срока эксплуатации фонда SiFab до 2040 года.

Л20 NNSA решило обновить и поддерживать возможности в Sandia по микроэлектронике до 2040 г., но его Управление подход не полностью включило ключевое управление

В рамках постоянного подхода NNSA к управлению своей стратегической деятельностью в области радиационно-стойкой микроэлектроники агентство планирует модернизировать и поддерживать свои возможности микроэлектроники в Sandia до 2040 года, что по оценкам, в следующие 20 лет будет стоить около 1 млрд. долл. NNSA также на предварительных этапах выявления и оценки вариантов возможности микроэлектроники после 2040 года. Кроме того, NNSA начинает внедрить пересмотренный подход к управлению, в том числе назначить координатора для руководства определенными аспектами его деятельности в области микроэлектроники.

Л20 NNSA планирует обновление и поддерживать возможности микроэлектроники в Sandia до 2040 г. и начинает определить варианты после 2040 г.

В 2019 г. NNSA приняла три ключевых решения, связанных с модернизацией и поддержанием своего потенциала в области микроэлектроники в Сандии до 2040 года.

Во-первых, NNSA утвердила планы дальнейшего обновления своего процесса производства микроэлектроники. Этот модернизированный процесс, называемый CMOS8, содержит некоторые особенности используемого в настоящее время процесса CMOS7, но является более продвинутым технологическим и также включает в себя много новых функций.

Во-вторых, NNSA одобрила планы по производству и интеграции в будущее ЯО более продвинутого типа компонента микроэлектроники, называемого программируемой вентиляционной матрицей (полевым программируемым массивом ворот, field programmable gate array, FPGA). Согласно документации Sandia, стратегические радиационные FPGAs могут быть произведены с использованием процесса CMOS8, а не процессом CMOS7.

В-третьих, Sandia разработала и NNSA утвердила план определения приоритетов и предоставления бюджетных смет для поддержания микроэлектроники и оборудования Sandia в комплексе MESA в течение следующих 20 лет. Этот план включает в себя решения NNSA по разработке процесса CMOS8 и производству FPGAs.

Согласно документам NNSA и Sandia, обоснование и ожидаемые выгоды от этих трех ключевых решений следующие:

- Процесс CMOS8 позволит Sandia производить микроэлектронику на меньшем, более продвинутом технологическом процессе по норме 180 нм по сравнению с существующим процессом в 350 нм (в CMOS7). В документации NNSA говорится, что, среди прочего, ожидается, что процесс CMOS8 будет производить микроэлектронику, которая в два раза превышает скорость обработки по сравнению с процессом CMOS7. Такие достижения необходимы для обеспечения того, чтобы будущее ЯО оставалось безопасным и надежным, действуя во все более враждебных условиях угрозы, и чтобы оружие соответствовало повышенным требованиям к производительности. NNSA согласилось с оценкой Сандии по внедрению производственного процесса CMOS8, основанной, в т.ч., на выводах и рекомендациях, содержащихся в независимом исследовании, проведенном по заказу NNSA и завершено несколькими организациями, включая Аэрокосмическую корпорацию.

- Согласно документации Сандии, хотя FPGAs никогда ранее не применялись в ЯО, они могут значительно сократить время цикла исследований, разработок и производства микроэлектроники по сравнению с временем цикла для ASICs, используемых в ЯО сейчас. Такое сокращение может быть возможным, поскольку ASICs, используемые в настоящее время в ЯО, имеют уникальный дизайн и производятся для выполнения конкретных функций, в то время как FPGAs могут производиться с использованием общей конструкции, а затем быть запрограммированы после производства (но до введения в ЯО) для выполнения различных функций. Сокращение времени цикла при FPGAs может облегчить давление графика на будущие программы модернизации ЯО, потому что время

цикла для проектирования и производства ASICs для LEPs исторически было около 10 лет до производства первого образца ЯО.

- План Сандии обеспечит NNSA основу для инвестиционного профиля, необходимого для поддержания инфраструктуры и оборудования комплекса MESA до 2040 г. Поскольку усилия по поддержанию будут длиться не менее 20 лет, должностные лица NNSA заявили о наличии долгосрочного документа планирования, который обеспечивает текущий базовый уровень состояния микроэлектроники инфраструктуры и оборудования Sandia, определяет проблемы, и рекомендует конкретные мероприятия по поддержанию будет полезным инструментом управления.

План продления срока службы комплекса MESA в Сандии предусматривает смету затрат и графиков, связанных с поддержанием существующих объектов и оборудования, а также установкой нового оборудования для CMOS8 с разработкой и созреванием технологии FPGA. В целом, план предусматривает расходы около \$ 1 млрд в течение ближайших 20 лет. В частности, план определяет расходы на следующие мероприятия:

- **Поддержка существующих объектов и оборудования.** План предусматривает около \$900 млн расходов в 2020-2040 ф.г., или около \$ 45 млн в год в течение следующих 20 лет, для завершения принятых проектов в области инфраструктуры и оборудования. План предусматривает расходование примерно половины из 900 млн. долл. на проекты по модернизации существующей инфраструктуры в рамках комплекса MESA. В частности, Sandia планирует потратить около \$ 120 млн в 2020-2024 ф.г. на проекты по улучшению или модернизации инфраструктуры в рамках фонда SiFab, который считается в "плохом состоянии". Объект SiFab должен быть физическим местом для большинства производственных инструментов для CMOS8. Два из этих проектов заменят электротехническое и распределительное оборудование по оценочной стоимости около 50 млн. долл., а другой проект заменит химическую распределительную систему объекта по оценочной стоимости около 5 млн. долл. Sandia планирует потратить другую половину на проекты, связанные с оборудованием. Например, Sandia планирует потратить около \$85 млн. долл. в 2021-2026 ф.г. на проекты по поддержке существующих, не связанных с CMOS8 производственных процессов, таких как производство транзисторов в Micro Fabrication Facility, а также на мероприятия, которые поддерживают производство микроэлектроники, такие как лабораторный анализ, тестирование и упаковка. Например, Sandia планирует потратить \$1,5 млн. долл. на компьютеризированную томографию для поддержки тестирования микроэлектроники.

- **Развитие CMOS8 и производство FPGAs.** Комплекс MESA продлил срок службы и предусматривает около 170 млн. долл. расходов в период с 2020 по 2027 ф.г., связанных с разработкой, созреванием, установкой и внедрением процесса CMOS8 и технологии FPGA. Представители подрядчика Sandia определили, что процесс CMOS8 опирается на новое и более современное оборудование для завершения критических индивидуальных этапов обработки по сравнению с текущим процессом CMOS7. В результате, план определяет около \$70 млн (из \$170 млн в общей сложности) приобрести около 30 единиц оборудования, которое Sandia будет необходимо установить, а затем квалифицировать их производительность. Кроме того, план предусматривает почти \$90 млн (из \$170 млн) для разработки и созревания производственного процесса CMOS8 и технологии FPGA. Согласно документации Sandia, планирует начать использовать процесс CMOS8 для производства FPGAs для интеграции в будущую программу ядерного оружия в конце 2027 ф.г.

В дополнение к модернизации и поддержанию потенциала Sandia в области микроэлектроники до 2040 г., NNSA находится на предварительных стадиях выявления и оценки вариантов для обеспечения дальнейшего потенциала микроэлектроники после 2040 г., в соответствии с NNSA должностных лиц и документации.

В частности, NNSA определила следующие два ключевых варианта:

- NNSA находится на начальных стадиях определения и оценки вариантов строительства нового предприятия по производству микроэлектроники к 2040 г. и позднее. В декабре 2019 г. представители NNSA предоставили документацию о том, что ведомство планирует начать оценку вариантов строительства нового объекта микроэлектроники в 2021 г. с целью завершения строительства в 2030г., установки необходимого оборудования на завершеном объекте к 2033 г., а также квалифицировать производственный процесс и начать производство микроэлектроники для интеграции в

ЯО не позднее 2035 г. В бюджетном запросе NNSA на 2021 ф.г., который был опубликован в феврале 2020 г., агентство запросило средства для начала оценочных и ранних мероприятий по планированию этого нового объекта микроэлектроники.

● NNSA также оценивает, сможет ли агентство использовать недавние инвестиции МО США в производство коммерческой микроэлектроники, чтобы помочь удовлетворить потребности NNSA в производстве микроэлектроники после 2040 г. В частности, в октябре 2019 г. МО объявило о том, что оно заключило контракт с американским предприятием по производству микроэлектроники, в частности, на процесс производства микроэлектроники, устойчивой к радиации, для удовлетворения потребностей МО в системах (таких, как спутники), которые работают в условиях с повышенным уровнем радиации. В течение следующих двух лет производство коммерческой микроэлектроники в США планируется адаптировать текущий производственный процесс и разработать новый процесс, который производит микроэлектронику на меньшей норме. По словам представителей NNSA от Февраля 2020 г., NNSA и МО ведут предварительные переговоры чтобы определить, может ли NNSA сделать дополнительные инвестиции в тот же объект по производству стратегической радиационно-стойкой микроэлектроники для ЯО. Должностные лица NNSA отметили, что четких сроков для решения об инвестировании не было, потому что такое решение должно быть принято после того, как завод начинает производство микроэлектроники на меньшую норму.

NNSA начинает реализацию уточненного подхода к управлению микроэлектроникой

NNSA начинает внедрять уточненный подход к управлению своей деятельностью в области микроэлектроники. Во время заявлений должностных лиц NNSA в начале 2019 г. было заявлено, что NNSA не установила формальную структуру управления по надзору за микроэлектроникой агентства. Вместо этого NNSA делегировало первичную ответственность за надзор за такой деятельностью двум должностным лицам NNSA по управлению программами обороны, которые оба занимали разные должности и имели другие обязанности. По словам этих официальных лиц руководство усилиями были сосредоточены на принятии первоначального определения действий и сметы бюджета, необходимой для поддержания существующего потенциала микроэлектроники NNSA в Sandia до 2040 г. Эти усилия включали координацию с несколько офисов NNSA, таких как Управление безопасности, инфраструктуры и Операций - чтобы понять свои будущие потребности в микроэлектронике и требований и рассмотреть проект поддержки MESA Complex.

Однако официальные лица из Управления программ обороны NNSA сообщили, что в конце 2019 было определено, что подход более скоординированного управления лучше позиционирует NNSA для наблюдения за микроэлектроникой деятельности и позволяет принимать обоснованные бюджетные и программные решения.

В частности, NNSA заявила, что в ноябре 2019 г. создана и заполнена новая штатная должность координатора микроэлектронике в подотделе, исследовательского офиса разработки, тестирования и оценки. Этот координатор будет в первую очередь отвечать за разработку процесса CMOS8, технологии FPGA, интеграцию исследований и разработок Управления исследований, разработок, испытаний и оценки подофиса Управления модернизации производства.

Выводы

Способность NNSA производить уникальную микроэлектронику для ядерного оружия необходима для обеспечения надежного ядерного сдерживания США. Производство такой микроэлектроника - сложная задача, а возможности NNSA ограничены партнерством с коммерческим сектором для такого производства.

В течение следующих двух десятилетиями NNSA предпримет дорогостоящий и амбициозный подход к модернизации и поддержке существующих производственных мощностей по производству микроэлектроники и возможности. В частности, NNSA планирует потратить около 1 млрд. долл. на следующие 20 лет, чтобы, среди прочего, модернизировать процесс, чтобы произвести новый тип микроэлектронных компонентов, которые никогда не были интегрированы в ЯО. Кроме того, представители NNSA заявили, что агентство потребует определить и проанализировать варианты продолжения работы после 2040 г., и эти усилия могут начаться уже в 2021 г.

Список литературы

National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2019

Nuclear Posture Review, Washington, D.C.: Feb. 2018.

Department of Energy, Program and Project Management for the Acquisition of Capital Assets, DOE Order 413.3B (Change 5) (Washington, D.C.: April 12, 2018).

Department of Energy (DOE), Order 413.3B.

Stockpile Stewardship and Management Plan, NNSA

Sandia National Laboratories, Microsystems Engineering, Science, and Applications Complex Extended Life Plan, SAND2019-13264 (Albuquerque, N. Mex.: October 2019)

Microsystems Engineering, Science, and Applications FY20 Integrated Program Plan, SAND2019-13383 (Albuquerque, N. Mex.: October 2019).

National Nuclear Security Administration, Program Management Policy, NAP-413.2 (Washington, D.C.: Feb. 2019) and Defense Programs Execution Instruction, (Washington, D.C.: June 2019).

GAO, Standards for Internal Control in the Federal Government, GAO-14-704G (Washington, D.C.: Sept. 10, 2014).

GAO, Trusted Defense Microelectronics: Future Access and Capabilities Are Uncertain, GAO-16-185T (Washington D.C.: Oct. 28, 2015).

GAO, Nuclear Weapons: NNSA Should Adopt Additional Best Practices to Better Manage Risk for Life Extension Programs, GAO-18-129 (Washington, D.C.: Jan. 30, 2018).

GAO, NUCLEAR WEAPONS. NNSA Needs to Incorporate Additional Management Controls Over Its Microelectronics Activities. GAO-20-357. (Washington D.C.: June 9, 2020).