РАЗДЕЛ XXX. РАДИОТЕХНИКА

Нуйкин А.В., Васильев Е.С., Лосевской А.Ю., Жукалин Д.А., Поликарпова Л.В.,
Забодаева Н.Н.

**Особенности разработки и применения профессионального стандарта
«Специалист в области проектирования и сопровождения интегральных схем и
систем на кристалле»**

АО «НИИМЭ»

doi: 10.18411/lj-04-2021-300

Аннотация

В работе рассматривается область применения профессионального стандарта для разработчиков систем на кристалле 6 и 7 уровней квалификации, описываются обобщенные трудовые функции разработчиков в соответствии с видом их специализации. Представлены разработанные функциональные карты видов профессиональной деятельности инженеров в области разработки и логического синтеза цифровых схем, разработки и верификации систем на кристалле, разработки функционального описания и технического задания на системы на кристалле, а также физической имплементации. Рассмотрены характеристики обобщенных трудовых функций для каждого из указанных видов профессиональной деятельности, включая трудовые действия, необходимые умения и необходимые знания.

Ключевые слова: трудовая функция, квалификационный уровень, карта вида профессиональной деятельности, инженер, система на кристалле.

Abstract

The paper discusses the scope of the professional standard for system on a chip design engineers of 6 and 7 skill levels, describes the generalized labor functions of engineers in accordance with the type of their specialization. The developed functional maps of the types of professional activities of engineers in the field of design and logical synthesis of digital circuits, development and verification of systems on a chip, development of a functional description and technical specifications for systems on a chip, as well as physical implementation are presented. The characteristics of generalized labor functions for each of the specified types of professional activity are considered, including labor actions, necessary skills and necessary knowledge.

Keywords: labor function, qualification level, kind of operation card, engineer, system on a chip.

Введение

Микроэлектронная отрасль в России и в мире базируется не только на передовых технологиях производства интегральных микросхем, но и на всей совокупности микроэлектронных изделий, производимых на современных микроэлектронных фабриках. Производимые микроэлектронные изделия используются в самых различных сферах деятельности государства, способствуют его экономическому развитию и обладают высокой важностью для сфер информационной безопасности и оборонной промышленности. Ежегодно возникает потребность в разработке и массовом производстве новых типов интегральных микросхем и систем на кристалле, которые отличаются от уже выпускаемых новыми функциональными особенностями и улучшенными характеристиками. Данную потребность должны покрывать центры разработки, занимающиеся проектированием и сопровождением

интегральных схем и систем на кристалле, которые ежегодно нуждаются в специалистах, обладающих достаточно высокой квалификацией, требуемой для осуществления данного вида деятельности.

По итогам 2019 г. в рейтинг организаций радиоэлектронной промышленности России вошло 69 организаций радиоэлектронной промышленности [1]. Суммарная выручка этих организаций составила 149,7 млрд руб., суммарная численность сотрудников - 62,5 тыс. человек. При этом суммарная численность сотрудников в зарубежных компаниях, входящих в десятку лидеров микроэлектронной отрасли, по состоянию на 2020 г. составляла около 2,5 млн. человек [2] (в среднем по 250 тыс. человек на одну компанию). Это говорит о необходимости расширения микроэлектронной отрасли в России и привлечения как можно большего количества сотрудников, обладающих высокой квалификацией.

Правительство РФ, учитывая необходимость расширения электронной отрасли в стране, утвердило распоряжение от 17 января 2020 г. № 20-р «О Стратегии развития электронной промышленности РФ на период до 2030 г. и плане мероприятий по ее реализации» [3]. В данном распоряжении, в частности, запланированы следующие меры, направленные на создание новых типов интегральных схем и систем на кристалле:

- создание фабрики на базе технологии SiGe для МИС, сложнофункциональных систем на кристалле для систем радиоэлектроники в диапазонах 100 ГГц и выше;
- создание фабрики с технологией создания нанометровой ЭКБ, МИС, сложнофункциональных систем на кристалле и систем радиоэлектроники в субмиллиметровом диапазоне до 1 ТГц на базе технологий GaN-on-SC, InP и алмаза;
- создание программных и технических средств систем автоматизированного проектирования, библиотек сложнофункциональных блоков и технологии проектирования интегральных схем различных уровней интеграции, систем на кристалле и модулей типа "система в корпусе на кремнии", КНИ (кремний на изоляторе), кремний-германий и карбид кремния, сверхвысокочастотных монолитных интегральных схем и полупроводниковых приборов на A3B5 и A2B6, радиофотонной и оптоэлектронной компонентной базы и электронных модулей оптоэлектронных приемников и средств отображения информации, интегральных полупроводниковых, магниторезистивных, тензорезистивных МЭМС и МОЭМС.

Среди социальных рисков, которые могут привести к срыву сроков реализации стратегии развития электронной промышленности РФ, назван острый дефицит квалифицированных кадров. Среди мер, направленных на решение кадрового вопроса, стратегия развития предполагает:

- привлечение в отрасль сотрудников, обладающих необходимыми технологическими компетенциями;
- обеспечение подготовки, развития и управления кадрового ресурса отрасли с приоритетом перспективных для будущих изделий и рынков специальностей.

Важно отметить, что для решения данных задач отсутствует актуальная на сегодняшний день информационная база, описывающая трудовые функции и требования к уровню квалификации, знаний и умений, которыми должны обладать специалисты в области проектирования интегральных схем и систем на кристалле.

Стратегия развития электронной промышленности РФ обозначает перспективные рынки сбыта, среди которых выделяет рынок электроники для

телекоммуникационной техники, вычислительной техники, средств автоматизации и интеллектуального управления, систем безопасности. В то же время заявлено, что темпы создания и освоения промышленного производства гражданской электроники не в полной мере соответствуют емкости внутреннего рынка, в первую очередь емкости таких секторов промышленной продукции, как телекоммуникационное и медицинское оборудование, бытовая техника, энергетические сети и системы безопасности. Важно отметить, что названные типы продукции в их современном виде как правило не обходятся без систем на кристалле в качестве одного из основных электронных компонентов их структуры.

На начало 2020 г. общее количество сотрудников организаций электронной отрасли в РФ составило 290 тыс. человек. Наблюдается рост общей численности сотрудников отрасли в целом и научного персонала в частности. Уровень оплаты труда сотрудников организаций отрасли ежегодно растет.

Несмотря на хорошие для электронной отрасли показатели в РФ, следует обозначить две важных проблемы:

- недостаточное количество сотрудников электронной отрасли в целом, если сравнивать их суммарную численность с численностью сотрудников в мировых микроэлектронных компаниях;
- недостаточное соответствие профессиональных компетенций сотрудников отрасли требованиям, которые к ним предъявляются.

Для решения названных проблем необходимо осуществлять привлечение новых специалистов в отрасль, занимаясь повышением их квалификации и приведением их совокупности знаний и умений в соответствие требованиям профессиональных стандартов [4].

Согласно стратегии развития электронной промышленности РФ, запланирован ряд мер, направленных на повышение численности сотрудников электронной отрасли, таких как повышение привлекательности отрасли для профессиональных кадров и молодежного кадрового резерва, обеспечение подготовки, развития и управления кадрового ресурса отрасли с приоритетом перспективных для будущих изделий и рынков специальностей, внедрение средне- и долгосрочного планирования, ежегодного мониторинга кадровых потребностей отрасли, обеспечение актуализации, разработки и дальнейшего развития системы профессиональных и образовательных стандартов, обеспечение внедрения российских разработок в процессы подготовки и переподготовки специалистов. Среди названных мер следует отметить особую важность разработки и дальнейшего развития системы профессиональных стандартов. Для достижения компетенций сотрудников требованиям отрасли важно обеспечивать как разработку новых профессиональных стандартов, так и актуализацию уже существующих, которые представлены на сайте Минтруда России [5]. Уже сделаны шаги, направленные на повсеместное внедрение профессиональных стандартов работодателями: структура профессионального стандарта установлена в приказе Минтруда России № 147н «Об утверждении Макета профессионального стандарта» от 12.04.2013 (в ред. от 29.09.2014) [6] и внесены изменения в Трудовой кодекс РФ, отраженные в ст. 195.3 ФЗ № 122 от 02.05.2015 г. [7], согласно которым профессиональные стандарты, начиная с 01.07.2016 г., объявлены обязательными для применения работодателем.

Основываясь на всем вышесказанном, можно заключить, что задача создания актуального профессионального стандарта «Специалист в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле» обладает чрезвычайно высокой важностью. В результате решения данной задачи можно ожидать повышения уровня квалификации существующих сотрудников и привлечения в отрасль новых за счет сформированных механизмов оценки квалификации и установления критериев, делающих ясным требуемый уровень знаний и навыков.

Вид профессиональной деятельности, описание входящих в него обобщенных трудовых функций с обоснованием их выбора в качестве основообразующих для профессионального стандарта

В разработке проекта профессионального стандарта «Специалист в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле» участвовали следующие научно-производственные организации: Фонд инфраструктурных и образовательных программ (РОСНАНО) - ответственная организация-разработчик, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», НП «Межотраслевое объединение nanoиндустрии», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» и ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», ПАО «Микрон», АО «НПП «Цифровые решения», ООО «Дизайн центр КМ211», АО «ПКК Миландр». Также к разработке профессионального стандарта были привлечены образовательные организации: Московский физико-технический институт, Национальный исследовательский университет МИЭТ. Разнообразие привлеченных организаций и видов их деятельности говорит о глубине и качестве проработки проекта профессионального стандарта и о всестороннем рассмотрении всех его аспектов.

Представителями организаций, привлеченных к разработке профессионального стандарта давались рекомендации, основанные на том, какие обязанности имеются у инженеров данных организаций, занимающихся разработкой интегральных схем и СнК и какие требования к ним предъявляются. Требования к специалистам исследуемого профиля у привлеченных организаций отличались. Кроме того, у предприятий отличались требования к уровню образования и стажа для найма сотрудников на определенные должности, связанные с проектированием СнК. Формирование набора обобщенных трудовых функций (ОТФ) и их отнесение к уровням квалификации выполнены в результате систематизации полученных данных. При разработке профессионального стандарта решалась задача формулировки единых требований, которые могут быть установлены в любых организациях, работающих в области проектирования и сопровождения СнК.

В ходе разработки проект профессионального стандарта был предоставлен на профессиональную экспертизу представителям научно-производственных и образовательных организаций. Экспертизу производили специалисты, занимающиеся исследованием и разработкой интегральных схем и систем на кристалле, а также ведущие обучение по образовательным программам, относящимся к данной тематике. После проведения анализа экспертных заключений, поступивших по результатам профессиональной экспертизы, проект профессионального стандарта был доработан. Доработанный проект профессионального стандарта был рекомендован экспертами к утверждению и включению в реестр профессиональных стандартов.

Проект профессионального стандарта «Специалист в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле», в котором были устранены замечания, полученные в ходе профессиональной экспертизы, содержит два уровня квалификации, 6 и 7, выбранные в соответствии с пунктом 6 «Правил разработки, утверждения и применения профессиональных стандартов» и утверждённых постановлением Правительства Российской Федерации от 22 января 2013 г. № 23 [8]. Уровни квалификации характеризуются полномочиями и ответственностью специалистов, характером знаний и умений, которыми они должны обладать, а также основными путями достижения уровня квалификации. Полномочия специалистов 6 уровня квалификации сводятся к осуществлению деятельности, предполагающей определение задач собственной работы и/или подчиненных по достижению цели, и обеспечению взаимодействия сотрудников и смежных подразделений. Полномочия специалистов 7 уровня квалификации сводятся к определению стратегии, управлению

процессами и деятельностью, в том числе, инновационной, с принятием решения на уровне крупных организаций или подразделений. К умениям специалистов 6 уровня квалификации относятся разработка, внедрение, контроль, оценка и корректировка направлений профессиональной деятельности, технологических или методических решений. К умениям специалистов 7 уровня квалификации - решение задач развития области профессиональной деятельности и (или) организации с использованием разнообразных методов и технологий, в том числе, инновационных, разработка новых методов, технологий. Специалисты 6 уровня квалификации должны уметь применять профессиональные знания технологического или методического характера, в том числе инновационные, и выполнять самостоятельный поиск, анализ и оценку профессиональной информации. Специалисты 7 уровня квалификации должны понимать методологические основы профессиональной деятельности и создавать новые знания прикладного характера в определенной области. Также они должны самостоятельно выполнять поиск источников информации, необходимой для развития области профессиональной деятельности и/или организации.

В проекте профессионального стандарта «Специалист в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле» 6 уровень квалификации представлен одной ОТФ, «Разработка и верификация синтезируемого описания цифровой схемы», а 7 уровень квалификации представлен четырьмя ОТФ, выполняемыми при разработке СнК в целом. Для поднимания такого распределения функций по уровням квалификации важно понимать значения терминов «цифровая схема» и «система на кристалле». Цифровое устройство (англ. Digital device) - техническое устройство или приспособление, предназначенное для получения и обработки информации в цифровой форме, используя цифровые технологии. Система на кристалле - электронная схема, выполняющая функции целого устройства (например, компьютера) и размещённая на одной интегральной схеме. Из различия данных терминов вытекает различие в требованиях к уровню полномочий, знаний и умений к специалистам, занимающимся разработкой таких устройств. В разработке СнК из-за их высокой сложности и количества этапов и подэтапов, входящих в маршрут их проектирования [9], как правило, задействовано несколько подразделений компании, из-за чего требуется наделение специалистов полномочиями, позволяющими им принимать решения на уровне крупных организаций или подразделений. Кроме того, специалистам зачастую приходится искать инновационные решения как для реализации самих СнК и их составных частей, так и для выбора подходов к их проектированию. В ходе разработки новой СнК, как правило, происходит формирование новых знаний прикладного характера, т.к. новая СнК отличается от уже существующих новыми функциями и/или улучшенными параметрами и решения, которые будут в нее внедрены, еще не описаны в открытых источниках и не являются широко известными. Например, разработка СнК для беспроводной связи нового стандарта 5G [10] требует создания новых знаний, дающих представление о том, какое аппаратно-программное решение позволит достичь наилучшую совокупность параметров по энергопотреблению, занимаемой площади и возможности бесбойной работы беспроводного устройства в условиях слабого сигнала или среды с высоким уровнем помех. Созданные в процессе разработки такой СнК знания могут служить материалом для научных публикаций и диссертационных работ.

В профессиональном стандарте вид профессиональной деятельности «Проектирование и сопровождение интегральных схем и систем на кристалле» был декомпозирован на пять ОТФ. Описания ОТФ и уровни квалификации, к которым они отнесены, представлены в таблице 1. Уровень квалификации присваивался ОТФ с учётом квалификационных характеристик, содержащихся в Едином квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и других служащих.

Таблица 1

Описание ОТФ, входящих в вид профессиональной деятельности

№ п/п	Наименование ОТФ	Уровень квалификации
А	Разработка и верификация синтезируемого описания цифровой схемы	6
В	Разработка и верификация синтезируемого описания СнК	7
С	Логический синтез схемы в базисе выбранной технологической библиотеки с учетом временных ограничений	7
Д	Разработка функционального описания и технического задания на СнК	7
Е	Физическая имплементация на основе полученной логической модели в базисе библиотеки техпроцесса с учетом набора ограничений с использованием средств автоматизированного проектирования	7

Формирование перечня ОТФ производилось с учетом специфики видов деятельности, осуществляемой на разных этапах проектирования СнК. Одновременно с этим ОТФ в целом соответствуют специализациям уже трудоустроенных и находящихся в поиске сотрудников, что должно облегчить подбор сотрудников при их приеме на работу и сертификацию трудоустроенных сотрудников. При формировании перечня ОТФ также предусматривалась возможность обучения одной ОТФ в отдельности без обучения остальным, что будет использоваться образовательными учреждениями при создании программ обучения.

ОТФ «А» - Разработка и верификация синтезируемого описания цифровой схемы. Данная обобщенная трудовая функция описывает квалификационные требования, которые предъявляются к инженеру-проектировщику (инженеру-электронике), занимающемуся разработкой цифровых схем. Важно отметить, что навыки и знания, которыми обладают специалисты, выполняющие эту ОТФ, используются как в проектировании СнК, так и других, как правило более простых, устройств. Зачастую специалисты 7-го уровня квалификации обладают всеми или частью навыков и знаний специалистов ОТФ «А», а уровень знаний и навыков, образование и трудовой стаж последних недостаточен для выполнения функций 7-го уровня квалификации. Специалисты ОТФ «А» играют важную роль в маршруте проектирования интегральных схем и систем на кристалле, выполняя разработку и верификацию составных цифровых блоков интегральных схем и СнК. Разрабатываемые цифровые блоки часто обладают высокой сложностью, что делает необходимым постоянное взаимодействие между сотрудниками собственного и смежных подразделений (например, при разработке высокопроизводительных процессоров для доверенных систем [11]) в их разработке, предполагающей определение задач собственной работы и/или подчиненных по достижению цели, или применение профессиональных знаний методического характера, в том числе инновационных, например при выборе подходов к тестированию и верификации цифровых схем [12]. Сформулированные требования характерны для шестого уровня квалификации, что позволило отнести ОТФ «А» к данному уровню.

ОТФ «В» - Разработка и верификация синтезируемого описания СнК. Данная ОТФ описывает квалификационные требования, предъявляемые к инженеру-проектировщику, занимающемуся разработкой, симуляцией, составлением верификационных планов, окружений и выполнением верификации СнК. Специалисты, выполняющие данную ОТФ, должны уметь анализировать технические требования к СнК с целью определения оптимальной структурной схемы, наиболее оптимальной структуры деревьев сигналов сброса и тактовых сигналов, быть знакомы с методологиями верификации и кристального тестирования СнК. В своей деятельности специалисты, выполняющие данную ОТФ, должны принимать сложные решения, которые могут оказывать влияние на уровне организаций, например определяя сроки проектирования СнК. В частности, данные специалисты могут принимать решения о

том, какие системы автоматизированного проектирования (САПР) должны использоваться в работе и как именно; о том, какие компоненты верификационного окружения должны использоваться, готовые или вновь разработанные; должны планировать процесс проектирования, учитывая возможные риски, которые могут возникнуть из-за неисправностей, требующих длительного времени на выявление и устранение.

ОТФ «С» - Логический синтез схемы в базе выбранной технологической библиотеки с учетом временных ограничений. Инженеры-проектировщики, выполняющие данную ОТФ, занимаются разработкой файлов с временными ограничениями, выполнением логического синтеза схем средствами САПР, проверками логической эквивалентности, встраиванием средств тестирования при производстве, моделированием синтезированной схемы. Данные специалисты должны обладать знаниями об особенностях САПР, предназначенных для логического синтеза, учитывать особенности технологических библиотек, выражающиеся в функциональном назначении отдельных библиотечных ячеек, их задержек, статическом и динамическом энергопотреблении. Исполнители данной ОТФ также должны обладать знаниями об особенностях производственного тестирования, направленного на выявление дефектов в полупроводниковых схемах, выявляемых при помощи специальных встраиваемых на этапе логического синтеза средств тестирования. Из-за постоянно расширяющихся возможностей САПР и с появлением новых технологических процессов специалистам необходимо применять инновационные решения и планировать работы, учитывая взаимодействие с другими разработчиками и структурными подразделениями в организации.

ОТФ «D» - Разработка функционального описания и технического задания на СнК. Данная ОТФ описывает квалификационные требования, предъявляемые к главному конструктору проекта, в обязанности которого входит инициирование постановки работ по проектированию СнК, определение области применения СнК и выбор технологического базиса для СнК (технологии изготовления), разработка архитектуры всей СнК на основе СФ-блоков, разработка общей концепции тестирования СнК, включая разработку тестовых векторов и стратегию тестирования в кремнии. Специалисты, исполняющие данную ОТФ, являясь главными конструкторами, принимают ключевые решения, определяющие все дальнейшие шаги при проектировании, влияющие и на параметры разрабатываемой микросхемы и на сроки ее разработки и на качественный и количественный состав команды разработчиков, привлекаемой к проекту.

ОТФ «Е» - Физическая имплементация на основе полученной логической модели в базе библиотеки техпроцесса с учетом набора ограничений с использованием средств автоматизированного проектирования. Данная ОТФ описывает квалификационные требования, предъявляемые к инженерам проектировщикам, которые отвечают за конечную реализацию СнК в виде топологии, образованной физическими представлениями блоков, являющихся составными частями системы. Исполнители данной ОТФ должны обладать глубокими знаниями о функциональных возможностях специализированных САПР для физической имплементации и обладать достаточным опытом и навыками их применения. Данная ОТФ предполагает не только физическую имплементацию саму по себе, но и связанные с ней задачи по статическому временному анализу схемы, учету требуемого уровня энергопотребления, электромиграции и требований по защите от статического электричества. Специалисты, выполняющие данную ОТФ, должны планировать размещение электрических контактов на топологии таким образом, чтобы в дальнейшем кремниевый чип мог быть корректно смонтирован в корпус или на печатную плату, учитывая тепловые эффекты, эффекты помехи между выводами, всплесков напряжения и пр. Выполнение ОТФ зачастую требует от инженеров решения нестандартных и инновационных задач из-за

перехода на новые технологические процессы, появления новых высокоскоростных интерфейсов, требующих учета большого набора требований к физической реализации.

Особенности выбора трудовых действий, необходимых умений и знаний для обобщенных трудовых функций

Проект профессионального стандарта «Специалист в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле» в качестве описания обобщенных трудовых функций содержит перечни трудовых функций, выполняемых специалистами, занимающимися разработкой в данной сфере деятельности.

В ходе разработки профессионального стандарта производилась оценка значимости трудовых функций, выполняемых сотрудниками российских и зарубежных компаний. В результате анализа требований к разработчикам, предъявляемым в российских и зарубежных компаниях и анализа литературы, описывающей маршруты и особенности разработки СнК [13, 14], список трудовых функций сформирован таким образом, чтобы при их выполнении как части обобщенных трудовых функций, в компании выполнялись все требуемые стадии стандартного маршрута проектирования интегральных схем и СнК. Перечни трудовых функций для 6 и 7 квалификационных уровней представлены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 2.

Трудовые функции на 6 квалификационном уровне функциональной карты вида профессиональной деятельности

№ п/п	Наименование ТФ	Уровень (подуровень) квалификации
ОТФ А. Разработка и верификация синтезируемого описания цифровой схемы		
А/01.6	Разработка графического представления и проведение декомпозиции цифровой схемы	6
А/02.6	Разработка цифровой схемы на уровне регистровых передач	6
А/03.6	Отладка синтезируемого описания цифровой схемы в процессе моделирования	6
А/04.6	Разработка детального плана верификации цифровой схемы	6
А/05.6	Разработка верификационного окружения цифровой схемы	6
А/06.6	Разработка тестов для верификации цифровой схемы	6

Таблица 3

Трудовые функции на 7 квалификационном уровне функциональной карты вида профессиональной деятельности

№ п/п	Наименование ТФ	Уровень (подуровень) квалификации
ОТФ В. Разработка и верификация синтезируемого описания СнК		
В/01.7	Конфигурирование СФ-блоков и макроблоков памяти для встраивания в СнК	7
В/02.7	Разработка подсистемы управления питанием и режимами энергопотребления СнК с определением и описанием доменов питания	7
В/03.7	Разработка схемы подключения тактовых сигналов и сигналов сброса в СнК	7
В/04.7	Разработка верхнего уровня СнК на базе сложно-функциональных цифровых и аналоговых блоков и макроблоков памяти	7
В/05.7	Разработка детального плана верификации функционального описания СнК	7
В/06.7	Разработка верификационного окружения СнК	7
В/07.7	Разработка тестов для верификации интерфейсов СнК	7
В/08.7	Разработка программного обеспечения для верификации СФ-блоков и макроблоков памяти в составе СнК	7

ОТФ С. Логический синтез схемы в базе выбранной технологической библиотеки с учетом временных ограничений		
C/01.7	Моделирование логической модели схемы в базе библиотеки техпроцесса	7
C/02.7	Разработка временных ограничений на синтезируемую схему	7
C/03.7	Проведение логического синтеза схемы в базе выбранной технологической библиотеки средствами системы автоматизированного проектирования (САПР)	7
C/04.7	Проведение формальной проверки логической эквивалентности на соответствие исходного описания цифровой схемы ее логической модели в базе библиотеки техпроцесса	7
C/05.7	Разработка и интеграция средств встроенного тестирования для отбраковки при производстве кристаллов	7
ОТФ Д. Разработка функционального описания и технического задания на СнК		
D/01.7	Инициирование постановки работ по проектированию СнК, определение области применения СнК и выбор технологического базиса для СнК (технологии изготовления)	7
D/02.7	Разработка алгоритма функционирования системы на основе первичного технического задания	7
D/03.7	Разработка набора тестов системного уровня и проведение верификации поведенческой модели всей СнК	7
D/04.7	Определение набора блоков, реализуемых в виде аппаратной части, и набора блоков, реализуемых в виде программной части	7
D/05.7	Разработка архитектуры всей СнК на основе СФ-блоков	7
D/06.7	Проведение верификации разработанного архитектурного решения	7
D/07.7	Разработка общей концепции тестирования СнК, включая разработку тестовых векторов и стратегию тестирования в кремнии	7
D/08.7	Разработка технического задания на программную и аппаратную части СнК	7
ОТФ Е. Физическая имплементация на основе полученной логической модели в базе библиотеки техпроцесса с учетом набора ограничений с использованием средств автоматизированного проектирования		
E/01.7	Подготовка окружения физической имплементации цифровой схемы и СнК	7
E/02.7	Разработка плана размещения контактов кристалла к корпусу	7
E/03.7	Разработка плана размещения макроблоков в составе топологии СнК	7
E/04.7	Размещение стандартных ячеек цифровой части СнК	7
E/05.7	Проведение синтеза дерева синхросигналов СнК	7
E/06.7	Проведение детальной трассировки СнК и статический временной анализ полученной топологии	7
E/07.7	Финальная верификация топологии СнК	7

Для каждой трудовой функции составлены перечни трудовых действий, необходимых знаний и умений. Перечни трудовых действий составлены таким образом, чтобы их объем был достаточен для выполнения трудовых функций и чтобы они учитывали современные достижения в области проектирования интегральных схем и систем на кристалле. В особенности, важным является учет новых требований, которые возникают в связи с внедрением новых технологий микроэлектронного производства и с появлением новых функций САПР. В частности учтено, что в последние годы стала повсеместно использоваться универсальная методология верификации цифровых схем. Также учтено, что на сегодняшний день является актуальным использование готовых СФ-блоков, как цифровых, так и аналоговых (так называемых «жестких СФ-блоков», Hard IP) для ускорения проектирования СнК.

Учтено, что получают распространение узкоспециализированные САПР, автоматизирующие отдельные этапы физической имплементации, такие как САПР для проверки соответствия физическим ограничениям и моделирования негативных эффектов после упаковки в корпус и распайки.

Перечни необходимых умений, составленные для всех трудовых функций, определены таким образом, чтобы совокупность умений была достаточной для выполнения трудовых действий, относящихся к трудовой функции. Типовыми умениями, необходимыми для выполнения трудовых функций, относящихся к ОТФ А, «Разработка и верификация синтезируемого описания цифровой схемы», являются умения разрабатывать исходный синтезируемый код цифровых схем, разрабатывать тестовое окружение и тестовые процедуры для цифровых схем, разрабатывать код верификационных компонентов и верификационных тестов. Большинство умений, относящихся к ОТФ А, также являются требуемыми для ОТФ В, «Разработка и верификация синтезируемого описания СнК», но кроме них требуются и дополнительные, такие как умение анализировать технические требования к СнК с целью определения требуемых режимов энергопотребления, умение анализировать результаты моделирования режимов тактовых сигналов и сигналов сброса и отчеты статического временного анализа СнК и умение разрабатывать верификационный код для СнК на универсальном языке программирования. Перечни необходимых умений для остальных ОТФ составлялись в соответствии с выполняемыми трудовыми функциями таким образом, чтобы каждого набора умений было достаточно для эффективного и качественного выполнения всех представленных трудовых функций. В частности, для проведения логического синтеза схемы в базе выбранной технологической библиотеки недостаточно просто уметь выполнять логический синтез, но также необходимо уметь интерпретировать результаты статического временного анализа для оценки качества результата синтеза. При выполнении финальной верификации топологии СнК специалисты должны уметь использовать САПР для выполнения анализа динамического падения напряжения и для анализа распределения тепла по кристаллу, чтобы учесть данные физические эффекты, возникающие в полупроводниковых устройствах. При составлении перечней необходимых умений использовался многолетний опыт разработки интегральных схем и СнК в ведущих российских компаниях рассматриваемой сферы, а также учитывались знания и опыт, полученные в ходе зарубежных стажировок российских специалистов.

Перечни необходимых знаний для каждой трудовой функции, выполняемой специалистами в области проектирования интегральных схем и СнК, как правило, включают в себя знание возможностей современных узкоспециализированных САПР, применяемых для решения определенной задачи и знание теоретических основ, относящихся к области, в которой выполняется трудовая функция. Для ОТФ А, «Разработка и верификация синтезируемого описания цифровой схемы», таким теоретическим базисом являются основы булевой алгебры и элементной базы цифровых интегральных схем, цифровая схемотехника, языки описания цифровой аппаратуры, универсальные методологии верификации цифровой схемы, маршрут проектирования цифровых схем. Для ОТФ В, «Разработка и верификация синтезируемого описания СнК», помимо знаний, которые также необходимы для выполнения ОТФ А, присутствуют и такие знания как «основные принципы сквозного проектирования, основы технологии производства интегральных схем», «проектирование цифровых устройств с двумя и более доменами тактового сигнала», «методы верификации СФ-блоков на этапе их разработки и при интеграции в СнК». Для ОТФ С-D необходимые знания установлены в зависимости от исполняемой специалистом функции, например для разработки временных ограничений на синтезируемую схему специалист должен знать формат представления ограничений для синтеза и имплементации цифровых схем, для разработки плана размещения

макроблоков в составе топологии СнК - маршрут физической имплементации цифровых схем и СнК с использованием средств САПР. При составлении данного перечня учитывался опыт, накопленный в ходе подбора персонала на специальности, связанные с разработкой интегральных схем и СнК. В перечне также нашли отражение существующие учебные курсы, преподаваемые в высших учебных заведениях.

Заключение

Проект профессионального стандарта, разработанный с учетом опыта ведущих российских научно-производственных и образовательных организаций, а также с учетом мирового опыта в разработке интегральных схем и систем на кристалле, может служить документальной основой для формирования требований к результатам освоения и условиям реализации образовательных программ профессионального образования и требований к процедурам сертификации и квалификации сотрудников предприятий.

Результаты разработки профессионального стандарта «Специалист в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле» будут направлены на устранение недостатка высококвалифицированных кадров в сфере проектирования интегральных схем. В разработанном проекте профессионального стандарта определены требования к специалистам в данной сфере, что позволит организациям, занимающимся разработкой, объективно оценить уровень квалификации специалистов и сформировать критерии отбора новых кадров, а образовательным учреждениям вести обучение специалистов, по совокупности знаний и навыков в наивысшей мере удовлетворяющих потребностям научно-производственных организаций.

1. <https://rostec.ru/content/files/documents/reiting-2019.pdf>
2. <https://finance.yahoo.com/news/15-biggest-semiconductor-companies-world-183721644.html>
3. Распоряжение Правительства РФ от 17 января 2020 г. № 20-р О Стратегии развития электронной промышленности РФ на период до 2030 г. и плане мероприятий по ее реализации.
4. Трудовой кодекс РФ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.
5. Web-сайт Минтруда России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/reestr-vedomleniy-o-razrabotke-peresmotre-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=79942
6. Приказ Минтруда России от 12.04.2013 № 147н «Об утверждении Макета профессионального стандарта» (в ред. от 29.09.2019). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>.
7. Федеральный закон № 122 «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» от 02.05. 2015 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
8. Постановление Правительства РФ от 22 января 2013 г. N 23 "О Правилах разработки и утверждения профессиональных стандартов" (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/226/>
9. Гречищев Д., Губин Я., Руткевич А., Строганов Д., Шишкин Г., Маршрут и методика проектирования микросхемы контроллера класса «системы на кристалле» для SD-карт стандарта SDHC // Компоненты и технологии – 2012. – № 11. – С. 154–158.
10. Huo Y., Dong X., Xu W., 5G Cellular User Equipment: From Theory to Practical Hardware Design // IEEE Access – 2017. – Vol. 5. – № 2. – P. 13992-14010.
11. Аряшев С.И., Бобков С.Г., Зубковский П.С., Морев С.А., Рогаткин Б.Ю., Высокопроизводительный микропроцессор 1890BM118 с архитектурой КОМДИВ для создания доверенных систем // Программные продукты и системы – 2017. – Т. 30. – № 3. – С. 345–352.
12. Слинкин Д.И. Анализ современных методов тестирования и верификации проектов сверхбольших интегральных схем // Программные продукты и системы – 2017. – № 3. – С. 401–408.
13. Chakravarthi V. A Practical Approach to VLSI System on Chip (SoC) Design: A Comprehensive Guide. - Cham: Springer Science Business Media, 2020. - 344 p.
14. Yiu, J. System-on-Chip Design with Arm Cortex-M Processors. - Cambridge: Arm Education Media, 2019. - 336 p.