

РЕВОЛЮЦИЯ В ЭЛЕКТРОНИКЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Борисов Василий Петрович

Институт истории естествознания и техники
им. С. И. Вавилова РАН, Москва, Россия
borisov7391@yandex.ru

DOI: 10.19181/sntp.2020.2.2.6

АННОТАЦИЯ

Изобретение транзистора в середине XX века произвело революцию в электронике, означавшую кардинальное изменение конструкций и технологии изготовления электронных приборов, предъявление новых требований к чистоте и однородности применяемых материалов, качеству технологического и контрольно-измерительного оборудования и т. д. Освоение производства полупроводниковых приборов в нашей стране проходило в условиях холодной войны и фактической блокады от научных и технологических достижений стран Запада. Проведению единой стратегии производства новых изделий электроники на первых порах мешало подчинение промышленных предприятий руководству различных совнархозов. Период с середины 1960-х до конца 1980-х гг. характеризовался интенсивным развитием полупроводниковых приборов и ростом объёма их производства в стране. После распада СССР и проведения социально-экономических реформ отечественная электроника утратила к концу 1990-х годов значение одного из основных факторов развития экономики, а Россия попала в большую зависимость от импорта изделий электронной техники. В настоящее время, несмотря на имеющееся отставание по техническому уровню ряда видов изделий электронной техники, темпы роста производства электронных приборов и оборудования в целом выше общих темпов роста производства в России.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

электроника; транзистор; полупроводниковые приборы; интегральные схемы; электронная промышленность; Шокин А. И.; Научный центр микроэлектроники; импортозамещение; диверсификация.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Борисов В. П. Революция в электронике и формирование отечественной высокотехнологичной отрасли промышленности // *Управление наукой: теория и практика.* 2020. Т. 2. № 2. С. 129–149.

DOI: 10.19181/smtp.2020.2.2.6

НАУЧНЫЕ ИСТОКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Изобретение транзистора и создание полупроводниковых приборов ознаменовало революцию в электронике, связанную с формированием области научно-технических знаний, которая принципиально отличалась от научных основ прежней электроники, находившей практическое воплощение главным образом в создании электровакуумных приборов. Предыстория новой, твердотельной электроники брала своё начало в другой области знаний, основанной в первую очередь на изучении явлений в полупроводниковых материалах.

Создание транзистора, произошедшее в конце 1940-х – начале 1950-х годов и отмеченное присуждением Нобелевской премии по физике 1956 г. американцам Д. Бардину, У. Браттейну и У. Шокли, ознаменовало начало научно-технического прогресса, изменившего в дальнейшем мир. По существу, появление транзисторов стало результатом многолетней работы целого ряда выдающихся учёных и деятелей техники, занимавшихся исследованием полупроводников в предшествующие годы. Большой вклад в развитие этой области знаний был сделан в 1930-х годах отечественной школой физики полупроводников Ленинградского физико-технического института (ЛФТИ). Директора ЛФТИ академика А. Ф. Иоффе по праву называют пионером исследований мирового значения в этой области. Уже в 1931 г. А. Ф. Иоффе опубликовал статью с пророческим названием «Полупроводники – новые материалы электроники». Спустя два года советский физик Я. И. Френкель создал теорию возбуждения в полупроводниках парных носителей заряда: электронов и «дырок». Именно он внёс в мировой обиход термин «дырка».

В 1938 г. Н. Мотт в Англии, Б. И. Давыдов в СССР, В. Шоттки в Германии, независимо друг от друга, сформулировали теорию выпрямляющего действия контакта металл-полупроводник. В том же году немецкие физики Р. Поль и Р. Хильш создали действующий образец кристаллического усилителя на нагретом кристалле бромида калия. Прибор позволял усиливать сигналы с частотой менее 1 Гц, чем доказал возможность создания кристаллических полупроводниковых усилителей. Однако добиться устойчивой работы этого прибора, как и изделий других изобретателей прообразов транзисторов, было невозможно, поскольку материалов необходимой чистоты и технологий их получения к тому времени ещё не было.

В 1941 г. советский исследователь В. Е. Лашкарев экспериментально установил контакт полупроводников разного типа в меднозакисном выпрямителе. Обнаруженное им явление получило впоследствии название *p-n* переход. Значительный вклад в исследование свойств полупроводников внесли Б. В. Курчатov, Ю. М. Кушнир, Л. Д. Ландау, В. М. Тучкевич и др.

По существу, теоретическая база для создания транзисторов была в значительной степени разработана уже в 1940-х годах. Большое количество исследований, выполненных учёными разных стран, послужило основой для экспериментального создания точечного и плоскостного транзисторов [1, с. 282–285].

Решающий шаг был сделан в 1947 г. исследовательской группой “Bell telephone laboratories” в составе Д. Бардина, У. Браттейна и У. Шокли, использовавшей для получения «транзисторного эффекта» игольчатые электроды, помещённые на поверхности германия. Дату 16 декабря 1947 г., когда такой твердотельный усилитель показал устойчивую работу, считают датой рождения первого транзистора.

Первые точечные транзисторы были несовершенными устройствами, технология их изготовления не позволяла получать достаточно надёжные приборы. Но уже эти приборы продемонстрировали несомненные преимущества транзистора перед лампами: отсутствие вакуумной полости и накаливаемого катода, безынерционность действия, минимальное потребление энергии и др. В 1951 г. У. Шокли создал и запатентовал более технологичную конструкцию плоскостного биполярного транзистора, которая живёт и сегодня. В последующее десятилетие тот же У. Шокли и другие изобретатели, преимущественно из США, получили ряд патентов на полевые транзисторы разных типов.

Одновременно с научной и изобретательской деятельностью в США начала бурное развитие новая высокотехнологичная отрасль техники: к 1960 г. разработкой и производством полупроводниковых приборов занимались уже более 60 фирм. В 1961 г. объём производства полупроводниковых приборов в этой стране уже значительно превышал объём производства электронных ламп.

В СССР первыми транзисторный эффект в опытном образце точечного транзистора получили в 1949 г. А. В. Красилов и С. Г. Мадоян, работавшие в НИИ «Исток» (г. Фрязино Моск. обл.). В последующие три года А. В. Красиловым совместно с Ф. А. Щиголем была разработана серия образцов точечных германиевых транзисторов, которая из-за присущих им недостатков не послужила основой для серийного производства полупроводниковых приборов.

С начала 1950-х годов опытами с целью создания образцов германиевых транзисторов занимались также представители академической и вузовской науки: в ФИАН (Б. В. Вул, А. В. Ржанов и др.), ЛФТИ (В. М. Тучкевич, Д. Н. Наследов и др.), ИРЭ АН СССР (С. Г. Калашников, Н. А. Пенин и др.). Для того, чтобы работы по созданию и производству полупроводниковых приборов получили дальнейшее развитие как одно из важнейших для государства направлений развития науки и техники, требовалось соответствующее решение на уровне руководства страны.

РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ – ПРАВИТЕЛЬСТВЕННУЮ ПОДДЕРЖКУ

Важную миссию – обосновать значение развития полупроводниковой техники перед руководством страны – взял на себя инженер-вице-адмирал, академик АН СССР А. И. Берг. Ещё в трудные военные годы А. И. Бергу приходилось обращаться в ЦК ВКП(б) и Наркомат электропромышленности с обоснованием необходимости принятия энергичных мер по развитию радиолокации. Тогда, в 1943 г., Берг сделал всё возможное, чтобы убедить в важности предлагавшихся мероприятий не только руководителей отраслей промышленности и командования армии, но и самого И. В. Сталина. Теперь, спустя 10 лет, академик А. И. Берг, назначенный в начале 1953 г. заместителем министра обороны СССР по радиовооружению, сразу после своего назначения направил в ЦК КПСС письмо, обосновывающее необходимость развития работ в области полупроводниковой техники.

В мае 1953 г. министр электростанций и электропромышленности (МЭСЭП) СССР М. Г. Первухин провёл в Кремле совещание с участием академиков А. И. Берга и А. Ф. Иоффе, на котором были обсуждены основные задачи развития работ по полупроводникам и сформулированы предложения по подготовке необходимого постановления. Последующим решением постановления Совета Министров СССР от 4 июня 1953 г. предусматривалось:

- – создание межведомственного совета по полупроводникам под председательством заместителя министра В. И. Сифорова;
- – создание отраслевого НИИ электронной промышленности, на который возлагались разработка промышленных образцов полупроводниковых приборов, а также проведение единой технической политики по разработке и внедрению полупроводниковых приборов, в первую очередь транзисторов, в производство;
- – организация подготовки специалистов по полупроводникам.

В соответствии с этим постановлением в июне 1953 г. был создан и начал работу первый в СССР отраслевой институт электронной промышленности (НИИ № 35, впоследствии НИИ полупроводниковой электроники, НИИ «Пульсар»). Вновь созданный институт, имевший в своём подчинении опытный завод, разработал в дальнейшем первые отечественные промышленные образцы транзисторов, первые интегральные схемы и стал ведущим базовым предприятием полупроводниковой отрасли электронной промышленности СССР.

Одновременно со становлением первого отраслевого НИИ электронной промышленности переориентирование на новые направления научной работы, связанные с полупроводниками, в 1950-60-е гг. имело место во многих лабораториях академических институтов. В 1955 г. по инициативе А. Ф. Иоффе Ленинградский физико-технический институт организовал проведение в городе на Неве первой Всесоюзной конференции по физике

полупроводников. В Москве роль своего рода научного центра по физике полупроводников принял на себя семинар, регулярно проводившийся в Институте радиотехники и электроники АН СССР.

Первая НИР по созданию советских плоскостных триодов была проведена в 1951–1953 гг. объединённым коллективом, в который входили как отраслевые институты – НИИ «Исток» (Фрязино) и НИИ радиолокации (Москва), так и институты Академии наук – ФИАН и ЛФТИ. По результатам этой работы НИИ «Пульсар» выполнил разработку серии германиевых транзисторов, производством которых затем занимались заводы в Ленинграде, Новгороде, Брянске и др.

В 1957–1958 гг. были разработаны первые в СССР кремниевые усилительные транзисторы. В последующие годы были разработаны более 1000 типов кремниевых приборов. Выпуск этих приборов, зачастую многомиллионными тиражами, осуществляли предприятия электронной отрасли. После тщательной отработки конструкции и технологии изготовления кремниевого планарного транзистора – в эту работу большой вклад внёс Ф. А. Щиголь (НПП «Пульсар») – кремний окончательно вытеснил германий из сферы производства транзисторов. В целях расширения производственной базы заводы полупроводниковых приборов были созданы в конце 1950-х – начале 1960-х гг. в Александрове, Риге, Воронеже и других городах.

Общую атмосферу, в которой проходили в этот период работы по развитию полупроводниковой техники в нашей стране, охарактеризовал в своих воспоминаниях один из ведущих специалистов в этой области, доктор технических наук Ю. Р. Носов: «Главная, определяющая особенность истории рождения нашей полупроводниковой электроники связана с тем, что она разворачивалась на фоне *острейшего противостояния США* в период холодной войны, и основной, по сути единственной, задачей являлось своевременное обеспечение комплектующими оборонных систем. В угоду срокам жертвовали оптимальностью технических решений и технологичностью, лишь бы обеспечивались функциональное соответствие американскому аналогу и *немедленное начало производства*. Не жертвовали только надёжностью, что обеспечивалось исключительной дееспособностью военного представительства на предприятиях электроники» [2, с. 553].

В январе 1961 г. было принято Постановление ЦК КПСС и СМ СССР «О развитии полупроводниковой промышленности», в котором предусматривалось строительство заводов и НИИ в Киеве, Минске, Ереване, Нальчике и других городах. При отсутствии специальных помещений базой для создания новых предприятий полупроводниковой промышленности иногда становились даже не приспособленные для этих целей здания (например, коммерческого техникума в Риге, совпартшколы в Новгороде, швейной фабрики в Воронеже и т. д.) [3, с. 191].

Организация производства полупроводниковых приборов оказалась связанной с необходимостью формирования новых технологических направлений, а также выполнения чрезвычайно высоких требований к чистоте и однородности применяемых материалов, точности работы технологического

и измерительного оборудования и др. Задача поддержки «прорывного» направления развития электронной техники потребовала, кроме того, принятия важного организационного решения руководством государства.

Сложившаяся к тому времени в нашей стране практика развития электроники как составной части многих видов и типов конечной продукции различного назначения препятствовала проведению единой технической политики. Изготовление электронной техники на предприятиях разных ведомств не способствовало интеграции результатов исследований и производства, приводило к дублированию разработок, распылению материальных и финансовых ресурсов. Для организации работы по созданию нового полупроводникового производства был необходим единый центр стратегии развития электроники.

В 1961 г. Постановлением правительства был образован Государственный комитет электронной техники (ГКЭТ) СССР, в подчинение которого перешли ряд НИИ, КБ и организаций, главным образом оборонной промышленности. С этой даты начался отсчёт развития отечественной электроники как самостоятельной отрасли промышленности.

К решению непростых научных и технологических задач вновь созданный Государственный комитет электронной техники СССР должен был приступить в условиях целого ряда организационных сложностей. По существу, в ведении Комитета находилась только отраслевая наука – НИИ и КБ, где должны были проводиться необходимые исследования, выполняться опытные разработки новых изделий. В то же время промышленные предприятия находились в тот период в подчинении совнархозов, что создавало административный барьер между наукой и производством.

На момент создания ГКЭТ в состав электронной промышленности СССР вошли 110 промышленных и научно-исследовательских организаций, в том числе 86 промышленных предприятий, 15 НИИ, 7 КБ и 2 проектные организации. Из 110 предприятий 91 были расположены на территории РСФСР, 12 – Украинской ССР, 2 – Узбекской ССР, по одному предприятию – в Белорусской ССР, Литовской ССР, Латвийской ССР и Эстонской ССР. На территории РСФСР электронные предприятия располагались в 17 совнархозах (Московском городском, Московском, Ленинградском, Верхне-Волжском, Западно-Сибирском и др.), на территории Украинской ССР в 6 совнархозах (Киевском, Львовском, Донецком и др.).

Работу предприятий электронной промышленности, находившихся в ведении десятков совнархозов, в целом нельзя было назвать успешной. Отчётные данные за 1961 г. показали, что удельный вес предприятий, не выполнивших план по объёму валовой продукции, составил 17,6%, по основной номенклатуре – 51%, по производительности труда – 28,6%. К концу пятилетки существенно замедлились темпы роста объёмов валовой продукции, что свидетельствовало о несовершенной структуре управления [4, с. 371].

Назначенный на должность председателя Государственного комитета электронной техники (ГКЭТ) и министра СССР А. И. Шокин имел более чем двадцатилетний опыт работы в структурах управления научными разработ-

ками и производством, что помогло ему активно включиться в решение задач, стоящих перед вновь сформированной отраслью промышленности. Эти задачи были совсем не простыми: на развитие микроэлектроники в США Советский Союз должен был ответить соответствующим расширением научных разработок и производства в данной области. При этом электронные фирмы США активно сотрудничали с фирмами Англии, Франции и других стран, а СССР должен был поднимать электронику в условиях жёсткой изоляции от мировых научных и технологических достижений.

Одним из следствий холодной войны стало прекращение научных связей и обмена информацией между противоборствующими сторонами в стратегически важных областях. По инициативе США был создан специальный международный комитет CoCom, который контролировал научно-технические и торгово-экономические связи с СССР и его союзниками. Важные открытия, изобретения и разработки, которые могли быть использованы в военной технике или способствовать экономическому развитию, засекречивались. В первую очередь это касалось микроэлектроники, вычислительной техники, технологического и измерительного оборудования, материалов и т. п. В результате советская электронная наука и промышленность развивалась в условиях фактической блокады от того, что делалось в этой области в США, Западной Европе, а затем и Японии.

Как руководитель ГКЭТ СССР А. И. Шокин должен был уделять внимание всем научно-техническим направлениям электронной техники. На первом месте по важности оставались приборы для генерации и усиления СВЧ-колебаний, в значительной степени определявшие технический уровень оружия и связи. Сфера деятельности ГКЭТ включала также развитие полупроводниковых, электровакуумных, газоразрядных приборов, резисторов, конденсаторов и других электронных компонентов.

Возглавляя ГКЭТ СССР, А. И. Шокин постоянно содействовал увеличению количества НИОКР и расширению производства изделий электронной техники. В этом проявлялась его твёрдая позиция, основанная на том, что наукоёмкая, постоянно совершенствующаяся техника необходима не только для военно-промышленного комплекса, но и для других отраслей народного хозяйства.

Особое внимание при этом А. И. Шокин уделял развитию полупроводниковой электроники. В число первоочередных проблем была включена задача создания электронного материаловедения и специального машиностроения, отвечающих требованиям времени. Эта работа способствовала осуществлению полных технологических циклов в производстве изделий микроэлектроники.

С начала 1960-х годов предприятия СССР ежегодно увеличивали производство основных видов изделий электронной техники. В 1964 г. в стране было выпущено: электровакуумных изделий – 177,0 млн, полупроводниковых приборов – 200,0 млн, в том числе транзисторов 51,8 млн, интегральных схем – 0,42 млн, резисторов – 1024,0 млн, конденсаторов – 860,6 млн.

Вместе с тем, по объёмам производства, а частично и по техническому уровню изделий, отечественная промышленность значительно усту-

пала промышленности США: в том же 1964 г. в США было произведено электровакуумных изделий примерно вдвое больше, чем в нашей стране (348348,7 тыс.), а полупроводниковых приборов – почти в семь раз (1360091,0 тыс.) [5, с. 74–75].

«БУМ» ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ТЕХНИКИ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Проблема серийного производства полупроводниковых приборов была, однако, не столько в переоборудовании малопригодных помещений фабрик и школ, сколько в отсутствии квалифицированных кадров в промышленности и, кроме того, недостаточном понимании специфики полупроводникового производства многими руководителями. В 1962 г. по указанию председателя ГКЭТ А. И. Шокина было составлено руководство «Типовые технологические процессы производства полупроводниковых приборов». Текст этого руководства за подписью А. И. Шокина был направлен лично руководителям совнархозов, на территории которых создавались заводы по производству полупроводниковых приборов и директорам этих заводов. Предпринимаемые ГКЭТ усилия принесли эффект: все производственные мощности запускались в сжатые сроки, в период существования совнархозов объём выпуска полупроводниковых приборов в стране возрастал ежегодно примерно на 30%.

Начало широкого применения полупроводников в различной аппаратуре оказалось связанным ещё с одной проблемой: специалисты из других областей, недостаточно знакомые со спецификой полупроводниковых приборов, не всегда полностью соблюдали требования, предъявляемые при их эксплуатации. Случавшиеся отказы приборов могли приводить к конфликтам, иногда носившим межведомственный характер. Острая ситуация возникла в 1964 г., после обращения к Н. С. Хрущёву главного конструктора ракетной техники С. П. Королева, квалифицировавшего причину неудачного запуска ракеты Р-7 отказом транзисторов в системе управления ракетой.

Причину отказа системы управления ракетой Р-7 установили после обследования аппаратуры, в которой были использованы транзисторы. Она заключалась в значительном превышении силы тока, который можно было подавать на транзистор. Конфликт между С. П. Королёвым и А. И. Шокиным был улажен [3, с. 22]. В период, когда Н. С. Хрущёв возглавлял Совет Министров СССР, он относился к проблемам развития электроники с пониманием, его содействие помогло осуществить важное мероприятие, связанное с развитием микроэлектроники.

Ещё в марте 1958 г. правительством было принято решение о строительстве под Москвой, в районе станции Крюково, города-спутника. Первоначально предполагалось разместить в этом городе предприятия лёгкой промышленности. Лишь спустя четыре с лишним года после нескольких встреч

Н. С. Хрущёва со специалистами в области электронной техники было принято окончательное решение, что город-спутник Зеленоград станет Научным центром микроэлектроники. Состав предприятий Научного центра должен был охватывать все аспекты микроэлектроники, полный цикл «исследование – разработка – производство». Деятельность НИИ и КБ должна была тесно увязываться с производством на опытных и серийных заводах.

Первыми в Зеленограде в 1962 г. были созданы предприятия НИИ микроприборов с заводом «Компонент» и НИИ точного машиностроения с заводом электронного машиностроения «Элион». В 1963 г. были организованы НИИ точной технологии с заводом «Ангстрем» и НИИ материаловедения с заводом «Элма». В 1965 г. на предприятиях Центра микроэлектроники уже было введено в строй 60 тыс. кв. м производственных площадей, работали несколько тысяч человек.

Институты и заводы нового города-спутника без задержки приступали к проведению исследований, опытно-конструкторских разработок и производству продукции. Усилиями НИИ точной технологии в 1964 г. была разработана технология прогрессивных для того периода гибридных интегральных схем (ГИС) и начато их производство заводом «Ангстрем» – первым в стране специализированным предприятием по производству микросхем. Уровень новой технологии был весьма высоким, с применением ряда оригинальных решений. В августе 1969 г. ГИС «Тропа» стала первой микросхемой, облетевшей в составе аппаратуры космического аппарата «Зонд-7» Луну и вернувшейся на Землю.

1960-е годы стали временем бурного развития микроэлектроники, большое внимание в этот период уделялось совершенствованию твердотельных интегральных схем. В 1964 г. для решения задач создания таких приборов в Научном центре был создан НИИ молекулярной электроники. В 1965 г. здание НИИМЭ было сдано в эксплуатацию, начался выпуск разработанных в институте серий отечественных полупроводниковых интегральных схем.

В 1965 г. ГКЭТ был преобразован в Министерство электронной промышленности (МЭП) СССР, что было необходимо для дальнейшего совершенствования системы производства изделий электронной техники в стране. При образовании Министерства электронной промышленности перед ним была поставлена задача в короткие сроки ликвидировать дефицит изделий электронной техники (ИЭТ), обеспечить разработку и выпуск новых ИЭТ в приоритетных направлениях (микроэлектроника, квантовая электроника и др.) и провести технологическое перевооружение предприятий отрасли. Планы исследований, разработок и производства МЭП было необходимо формировать с учётом требований большого числа потребителей и заказчиков продукции, ориентируясь на выпуск изделий электронной техники в достаточном количестве и на научно-техническом уровне, не уступающем мировому.

Годы следующей пятилетки (1966–1970) стали периодом быстрого развития отечественной электронной промышленности. Свидетельством этого являются данные о темпах роста промышленности СССР и электронной промышленности (табл. 1):

Таблица 1

Темпы роста промышленности СССР и электронной промышленности

Годы	Темпы роста, %			
	Объём производства		Численность ППП	
	в промышленности СССР	в электронной промышленности	в промышленности СССР	в электронной промышленности
1960	100	100	100	100
1970	227	751	140	346

Необходимо отметить, что в течение пяти лет (1966–1970) количество предприятий электронной промышленности СССР практически удвоилось. Такого роста ни в одну из последующих пятилеток не наблюдалось. При этом значительно расширилась география расположения предприятий электронной промышленности СССР. Интенсивно развивалась электроника в Украинской, Белорусской и Армянской республиках. Предприятия электронной промышленности не были созданы к тому времени только в Казахской и Туркменской ССР.

Становление электронной промышленности совпало с периодом промышленного подъёма в СССР. Интенсивное развитие оборонно-промышленного комплекса СССР и электронизация военной техники содействовали развитию ряда направлений электроники (квантовая электроника, твердотельная СВЧ-техника, интегральная микроэлектроника и др.).

Интенсивно развивалась электронная промышленность и в последующие пять лет (1976–1980), обеспечивая потребности страны в электронной компонентной базе. При этом на территории РСФСР в 1980 г. производилось 63,9% всей продукции МЭП, Украинской ССР – 19,1%, Белорусской ССР – 7,5%, Армянской ССР – 1,9%, Узбекской ССР и Литовской ССР по 1,8%.

При общем наращивании объёма производства предприятиями электронной промышленности наиболее высокие темпы развития в эти годы были характерны для направлений «полупроводниковые приборы» и «интегральные микросхемы».

Задача развития полупроводниковой электроники на продолжительный период стала приоритетной. К её решению, наряду с предприятиями Зеленограда, были привлечены московские НИИ «Пульсар» и «Сатурн», научные коллективы институтов полупроводниковой электроники Воронежа, Киева, Новосибирска, Томска. При каждом заводе полупроводниковой отрасли были организованы конструкторские бюро, в профильных вузах – отраслевые лаборатории. Ряд НИИ и КБ проводили работу в тесном сотрудничестве с институтами Академии наук СССР [6].

О значительном росте объёмов производства полупроводниковых приборов к середине 1970-х годов свидетельствуют данные, приведённые в табл. 2.

Таблица 2

Производство изделий полупроводниковой техники, млн шт.

Номенклатурные группы	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.
Микросхемы интегральные	22,08	58,37	95,75	148,06	215,87
Полупроводниковые приборы	1176,6	1509,5	1777,9	1922,75	2116,52

Высокие темпы роста объёма производства полупроводниковой техники сохранялись вплоть до конца 1980-х годов. В общем объёме выпуска изделий электронной техники в годы двенадцатой пятилетки (1986–1990), составившем 10671,3 млн руб., доминировали интегральные микросхемы – 3643,0 млн руб. (34,1%).

Развитие микроэлектроники предоставляло возможность размещать на кристалле микросхем всё большее количество функциональных элементов и узлов. При разработке интегральных схем предприятиям электронной промышленности, по существу, приходилось обращаться к решению задач в области системотехники, связанных с проектированием узлов радиоаппаратуры и другого оборудования заказчиков. С начала 1970-х годов между представителями электронной промышленности и радиопромышленности всё чаще стали возникать споры: должны ли этими задачами заниматься предприятия МЭП, или же заказчики должны освоить разработку и производство требуемых микроэлектронных схем на своих предприятиях. Как правило, предприятия, создающие аппаратуру, не располагали конструкторско-технологической базой интегральной электроники; разработка необходимых электронных компонентов становилась для них непростой проблемой. По существу, возник системный кризис, грозящий технологическим отставанием предприятий – разработчиков аппаратуры [7, с. 9–12].

После проведения в 1974 г. в Научном центре в Зеленограде совещания, в котором участвовали представители МЭП, Минрадиопрома и Минобороны, решение пришлось принимать на правительственном уровне. Было признано необходимым осуществлять изготовление специализированной электроники в каждой отрасли оборонной промышленности. В последующие годы на многих предприятиях, не входящих в МЭП, стали появляться участки, цеха и центры по производству специализированных изделий

электронной техники, в основном, по изготовлению микросборок¹. Это позволило наладить частичное производство микросборок и микросхем, главным образом с невысоким уровнем интеграции, за пределами МЭП.

Вторая половина 1970-х – 1980-е гг. стали периодом бурного развития производства персональных компьютеров в США и ряде других стран. Министерство радиопромышленности, ответственное в нашей стране за производство ЭВМ, постаралось в короткие сроки подготовить конструкторскую документацию и производственные мощности для освоения выпуска отечественных персональных ЭВМ. Тем не менее, поставленная задача, по существу, не была решена, прежде всего из-за отсутствия необходимой элементной базы [7, с. 120–122].

Принятие ряда административных решений содействовало своевременному выпуску изделий радиотехнической промышленности, необходимых в первую очередь для обеспечения обороноспособности страны. В то же время административное «разруливание» ситуации привело к уменьшению капитальных вложений в электронную промышленность. Следствием этого стало, в частности, то, что в 1990-е гг. не был введён в действие ни один из 20 запланированных объектов микроэлектроники со сверхчистыми помещениями [5, с. 124]. В стране в этот период уже ощущалась острая нехватка интегральных схем и полупроводниковых приборов, отвечающих по своим характеристикам требованиям времени.

Распад СССР и проведение в стране социально-экономических реформ привели к существенным изменениям в структуре электронной промышленности России и масштабах производства продукции входящими в неё предприятиями.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ РОССИИ НА РУБЕЖЕ XX И XXI ВЕКОВ

События расформирования СССР негативно сказались на дальнейшей судьбе предприятий электронной промышленности. В советский период своего функционирования электронная промышленность СССР развивалась опережающими темпами, одновременно поддерживая высокие темпы развития страны и укрепляя её экономическую мощь и оборонную безопасность. К моменту распада СССР в электронной промышленности насчитывалось 816 предприятий, НИИ, КБ, в том числе 584 промышленных предприятия, и 232 НИИ и КБ с филиалами. Предприятия и организации электронной отрасли в большем или меньшем количестве имелись во всех союзных республиках. Положенный в основу формирования электронной промышлен-

¹ На совещании в Научном центре микроэлектроники (г. Зеленоград) в 1974 г. было принято решение квалифицировать микросхемы частного применения (специализированные) как новый класс изделий микроэлектроники – микросборки, предназначенные для целей комплексной миниатюризации конкретной аппаратуры.

ности региональный подход определил к 1990 г. следующее распределение производства продукции электроники по союзным республикам:

Таблица 3

Объём выпуска изделий электронной техники по союзным республикам СССР в 1990 году, %

	Интегр. схемы	Полупров. приборы	Резисторы	Конденсаторы	ЭВП	СВЧ-приборы	Кинескопы		Соединители электр.
							Всего	Из них цвет-ные	
Россия	39.0	52.0	65.0	51.7	96.0	98.1	71.1	56.0	30.0
Украина	16.6	16.7	30.3	20.1	4.0	1.9	13.9	17.8	19.6
Белоруссия	20.7	20.7	0.4	23.0	-	-	-	6.6	-
Азербайджан	3.3	-	-	1.4	-	-	-	-	-
Армения	-	0.3	2.1	3.7	-	-	-	-	4.9
Казахстан	0.1	0.5	-	-	-	-	-	-	0.1
Узбекистан	0.9	7.7	2.0	0.1	-	-	-	-	-
Киргизия	-	-	-	-	-	-	-	-	44.0
Туркмения	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-
Молдавия	6.3	-	-	-	-	-	-	-	-
Литва	2.3	-	-	-	-	-	11.3	19.6	-
Латвия	4.5	2.0	-	-	-	-	-	-	-
Эстония	2.8	0.1	-	-	-	-	-	-	-
Грузия	3.4	-	-	-	-	-	-	-	1.4

Отделение союзных республик нарушило целостность научно-промышленного комплекса. Россия сохранила основную часть производства вакуумной электроники (96,1%), кинескопов (71%), в то время как большая часть производства полупроводниковых приборов и интегральных схем оказалась за пределами России (Белоруссия – 21%, Украина – 17%, другие страны – 24%). Такая же ситуация имела место с производством электрических соединителей, где доля России составляла 30%, а основное производство было сосредоточено в Киргизии (44%) и на Украине (20%) [8, с. 88–94].

В России располагалась большая часть ведущих предприятий по всем направлениям электронной техники как гражданского, так и оборонного

назначения. Это были крупные предприятия с современным на тот период оборудованием, сложившимися штатами высококвалифицированных рабочих, инженерно-технических и научных сотрудников. Электронные предприятия во многом определяли облик и социально-экономическое развитие многих населённых пунктов, в том числе отдельных районов таких крупных городов, как Москва, Санкт-Петербург, Саратов, Воронеж, Новосибирск и др. Уникальные научно-технические центры, формировавшие научно-техническую базу отрасли по профильным проблемам, были созданы в подмосковных городах Зеленоград и Фрязино.

Распад СССР и переход от плановой системы к рыночным условиям совпал по времени с начавшимся этапом глубоких технических и технологических преобразований в электронике, связанным с прогрессом микроэлектроники, оптоэлектроники и др. и необходимостью развития принципиально новых технологий. Преобразования в электронике требовали больших затрат; характерным для мировой практики в этот период стало значительное участие доли государства (от 30 до 50% затрат) в реализации проектов развития электроники в США, Японии, КНР, странах Европейского сообщества.

К сожалению, декларируемый с момента суверенизации России курс на ускоренное развитие высокотехнологичных отраслей, к которым относится в первую очередь электроника, не нашёл должной реализации. В условиях развивавшегося в стране кризиса, резкого снижения Госзаказа и экспансии импорта товаров иностранного производства, удельный вес отечественной бытовой электроники в общем объёме производства страны уменьшился с 2,6% до 0,25%, т. е. почти в 10 раз. На внутреннем рынке доля отечественных изделий электронной техники и продукции на их основе, занимавших прежде доминирующее положение, снизилась до 10–12%, тогда как для индустриально развитых стран этот показатель составляет обычно 70–80%.

В результате отечественная электроника к концу 1990-х годов фактически утратила своё значение одного из основных факторов развития экономики, а Россия попала в большую зависимость от импорта изделий электронной техники. Число предприятий уменьшилось почти на 40%. Например, построенный в конце 1980-х годов в Москве завод «Хроматрон», выпускавший цветные кинескопы, был закрыт по причине отсутствия спроса на продукцию, а здание завода переоборудовано под оптовую ярмарку. В Зеленограде было заморожено строительство синхротрона, предназначенного для освоения нанотехнологий интегральной микроэлектроники.

Электронная промышленность сохранила чуть больше пятой части персонала. Наиболее ощутимы были потери высококвалифицированных кадров в НИИ и научных подразделениях. Средний возраст работающих приблизился к 60 годам, хотя в период развития отрасли он составлял 30–35 лет, и работа в электронике считалась престижной среди молодёжи [9, с. 17–22].

Не дала существенного эффекта реализация государственной программы конверсии военного производства, осуществление которой началось в 1992 г. В ней участвовали более 100 предприятий, на которых предполагалось в течение 1–1,5 лет создать мощности, ориентированные на выпуск гражданской продукции. Недостаточное выделение льготных государ-

ственных кредитов вместе с нестабильным спросом на изделия электронной техники со стороны заказчиков стали причиной того, что лишь небольшая часть предприятий смогла создать запланированные мощности.

Основополагающей задачей реформ являлось внедрение рыночного хозяйственного механизма, что означало кардинальную перестройку управления бывшими отраслями и экономикой страны в целом. В новых условиях хозяйственная самостоятельность предприятий резко расширялась; вместе с тем внезапно обретенная свобода принесла с собой массу проблем. Сформировавшиеся в советский период предприятия таких отраслей, как электронная промышленность, не были ориентированы прежде на деятельность в рамках рыночной экономики, не имели требуемых организационных навыков хозяйствования в новых условиях. Для того чтобы выходить на рынок с конкурентоспособной продукцией или становиться партнёрами зарубежных производителей, большинству отечественных предприятий, как правило, требовалось серьёзное технологическое перевооружение производственных мощностей.

Начиная с 1991 г. отечественная электронная промышленность оказалась в состоянии глубокого структурно-технологического кризиса. Основными причинами кризиса стали падение спроса и, соответственно, объёмов производства радиоэлектронной продукции, моральное и техническое старение технологического оборудования и основных фондов, нарушение сложившейся кооперации с партнёрами, экспансия поставок зарубежной продукции и импортных комплектующих изделий. К концу 1990-х гг. доля России на мировом рынке изделий электронной техники составляла лишь 0,5%, тогда как этот показатель для отечественной продукции в целом составлял 3,1%. Снижение вклада электроники в общий объём отечественного экспорта происходило на фоне бурного развития мирового рынка электронной продукции, имевшего место в 1990-х – начале 2000-х годов. Темпы роста электронной промышленности в развитых странах в этот период в 5–10 раз превышали темпы роста валового национального продукта. Во многом такие темпы развития определялись увеличением объёма инвестиций в развитие производства электронной техники.

Положение с производством в стране электронной техники требовало от руководства страны принятия решений, направленных на изменение сложившейся ситуации. Электроника является важным фактором развития экономики, социальной сферы и во многом определяет технологическую и политическую независимость страны. Помимо необходимости обеспечения населения товарами бытовой электроники, важной является задача развития специальной электроники для комплектации особо значимых видов техники, таких, как оборонные системы стратегического назначения и т. п. [10, с. 243–246].

В 2005 г. была разработана «Стратегия развития электронной промышленности на период до 2025 года». В число главных задач стратегии входило:

- – предложить оптимальный путь развития отечественной электронной промышленности, исходя из анализа существующего состояния российской и мировой электроники, с целью ликвидации

отставания России от развитых стран в области микроэлектроники и удовлетворения потребности населения России в электронной продукции;

- – сконцентрировать финансовые усилия государства, в том числе частного сектора экономики, на ключевых направлениях этого развития, включая задачи и цели, сформулированные в «Основах политики Российской Федерации в области развития оборонно-промышленного комплекса на период до 2012 года и на перспективу» [5, с. 161–170].

В порядке реализации задач разработанной стратегии в 2007 г. Правительством РФ была утверждена Федеральная целевая программа «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 гг. с общим объёмом финансирования 187 млрд руб., из них 110 млрд руб. – за счёт средств федерального бюджета. В своём Послании Федеральному собранию 2007 г. Президент России В. В. Путин обратил особое внимание на необходимость развития *нанотехнологий*, подняв таким образом данную проблему на государственный уровень: «Перед нами стоит задача формирования научно-технологического потенциала, адекватного современным вызовам мирового технологического развития, – сказал В. В. Путин в своём Послании. – И в этой связи хочу особо подчеркнуть необходимость создания эффективной системы исследований и разработок в области нанотехнологий, основанных на атомном и молекулярном конструировании. <...> Государством должны быть выделены необходимые средства на материально-техническое, кадровое и организационное обеспечение соответствующих работ. Эти средства будут переданы в управление специально создаваемой российской корпорации нанотехнологий. Объём этих ресурсов составит не менее 130 миллиардов рублей» [11].

После опубликования Президентского послания 2007 г. можно было ожидать широкого привлечения к реализации задач развития нанотехнологий академического и университетского сообщества учёных. Исторический опыт нашей страны свидетельствует о том, что наиболее крупные достижения, в частности, в области электроники, были достигнуты с участием учёных Академии наук и ведущих университетов. В создание первого в нашей стране плоскостного транзистора, первой солнечной батареи, первого в мире гетеролазера большой вклад внесли сотрудники Физико-технического института; в Физическом институте АН СССР разрабатывались первый туннельный диод, первый в мире полупроводниковый лазер; в Институте радиотехники и электроники РАН – первые линии задержки на поверхностных акустических волнах.

Тем не менее, основная роль в реализации программ, составленных в 2000-х гг., принадлежала созданным уже в российский период корпорациям и инновационным центрам. Поставленные при формировании программ цели, такие, как «произвести к 2010 году нанопродукции на 1 млрд руб.», многократно перекрытая в последующие годы, или «трансфер передовых технологий», по существу, не привели к достижению крупных, общественно значимых результатов. То, о чём говорилось при создании этих компаний, то есть, последующий переход от исследований и разработок к промышлен-

ному производству и затем – к потребительскому рынку, не было реализовано прежде всего в части создания современной отечественной электронной компонентной базы.

В 2012 г. Россия вступила во Всемирную торговую организацию (ВТО), что позволяло надеяться на развитие международной торговли и улучшение инвестиционного климата в Российской Федерации, в том числе для электронной промышленности. Россия получала доступ к международным технологиям на равных правах с остальными государствами, что являлось положительным фактором для расширения научно-технической и экономической деятельности.

Однако на эффект от вступления России в ВТО в скором времени повлияли события мировой политики, в частности, введение в 2014 г. санкций по поводу «присоединения Крыма к России и конфликтов в восточной части Украины». Действие санкций в значительной степени нивелировало положительные результаты вступления в ВТО. Ожидаемого расширения доступа к передовым технологиям и возможностей получения финансовых кредитов, связанного с вступлением в ВТО, не произошло.

Такое развитие событий во многом подтвердило опасения, высказанные экспертами Российского института глобализации и социальных движений накануне вступления в ВТО в докладе от 23 мая 2011 г.: «ВТО лишь формально предоставляет государствам равные условия развития. Либерализация внешней торговли работает в интересах более развитых экономик, прежде всего, США и стран Западной Европы. Нормы ВТО призваны подрывать положение конкурентов западных корпораций. <...> Недостаточно развитое производство электроники в России, вероятно, не выдержит конкуренции в числе первых» [5, с. 178].

Несмотря на продолжающееся отставание по техническому уровню ряда видов изделий электронной техники, в настоящее время темпы роста производства электронных приборов и оборудования превосходят общие темпы роста производства в России.

Начиная с 2014 г. объём выпуска продукции радиоэлектронной промышленности возрастал ежегодно более, чем на 29%, в первую очередь за счёт увеличения объёмов государственного оборонного заказа и экспортных контрактов в рамках военно-технического сотрудничества. Объём экспорта в 2015 г. составил 1864 млн долл. (или около 20% общего выпуска продукции радиоэлектронной промышленности). В 2017 г. объём закупок радиоэлектроники военного назначения (системы ПВО, защищённой связи и управления, СВЧ-электроники и др.) стабилизировался и, согласно принятой в конце 2017 г. Программе вооружения, значительное увеличение данных поставок в последующие годы не предполагается [12, с. 20–24].

Предприятия радиоэлектронной промышленности проводят работу по импортозамещению применяемых электронных компонентов и приборов и снижению зависимости от поставок зарубежной продукции, используемой при разработке и производстве вооружения и военной техники. Важной частью этой деятельности является работа по созданию необходимой элементной базы отечественного производства.

Большая работа в настоящее время проводится предприятиями военно-промышленного комплекса в рамках гражданской диверсификации производства – увеличения выпуска гражданской продукции этими предприятиями и выхода на общие рынки. В 2016 г. в Послании Президента РФ В. В. Путина Федеральному Собранию поставлена задача увеличения выпуска высокотехнологичной продукции гражданского и двойного назначения предприятиями военно-промышленного комплекса. Его доля в общем объёме производства этих предприятий должна составить 17% – к 2020 году, до 30% – к 2025 году и до 50% – к 2030 году.

В 2018 году в России начался активный этап программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (утверждена Распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р). Ряд направлений внедрения цифровой экономики актуален для предприятий электронной промышленности; финансирование по данной программе позволит компенсировать потери, связанные с сокращением инвестиций в рамках государственного оборонного заказа.

Диверсификация существующего производства, освоение выпуска новых гражданских товаров и технологий, экспорт гражданской электронной продукции должны стать дополнительным стимулом развития электронной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Формирование радиоэлектроники (середина 20-х – середина 50-х гг.). Под ред. В. М. Родионова. М.: «Наука». 1988. 381 с.
2. Замечательные страницы жизни профессора Ю. Р. Носова. М.: Типография Сити Принт, 2016. 904 с.
3. Очерки истории российской электроники. Вып. 1. 60 лет отечественному транзистору / Под ред. В. М. Пролейко. М.: Техносфера, 2009. 335 с.
4. Борисов В. П. Отечественная электронная промышленность: истоки достижений и перепадов в развитии // Вихревая динамика развития науки и техники. СССР / Россия. Т. III. Самоорганизация, турбулентный переход и диссипация / отв. ред. чл.-корр. РАН Ю. М. Батулин. М.: ИИЕТ РАН; Саратов: Амирит, 2019. С. 370–384.
5. Авдонин Б. Н., Мартынов В. В. Отечественная электроника. Этапы создания и развития. М.: Креативная экономика, 2012. 198 с.
6. Шокин А. А. Министр невероятной промышленности СССР. М.: Техносфера, 2007. 456 с.
7. Динамика радиоэлектроники / Под ред. Ю. И. Борисова. М.: Техносфера, 2007. 374 с.
8. Борисов В. П. Электроника СССР и России до и после проведения социально-экономических реформ // Отношение общества и государства к науке в условиях современных экономических кризисов. Материалы Международного симпозиума (Киев, 2–5 июня 2013 года). Киев, 2013. С. 88–94.
9. Электроника России. М.: Столичная энциклопедия, 2009. 702 с.
10. Борисов В. П. Российская электроника в XXI веке: глобализация и национальные интересы // Материалы IX Международной научно-практической конференции «История техники и музейное дело» (Москва, 1–3 декабря 2015 года). М.: ИИЕТ РАН, 2016. С. 243–246.

11. *Путин В. В.* Послание Президента РФ Федеральному собранию от 26.04.2007 [Электронный ресурс] // Официальные сетевые ресурсы Президента России. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/25522> (дата обращения: 08.05.2020).

12. *Хохлов С.* Радиоэлектронная промышленность: достижения проблемы, задачи и перспективы развития // *Электроника: наука, технология, бизнес.* 2018. № 5. С. 20–24.

Статья поступила в редакцию 29.03.2020.

REVOLUTION IN ELECTRONICS AND FORMATION OF THE DOMESTIC HIGH-TECH INDUSTRY

Vasily P. Borisov

S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the RAS,
Moscow, Russian Federation

borisov7391@yandex.ru

DOI: 10.19181/sntp.2020.2.2.6

Abstract. The use of a transistor in the middle of the twentieth century led to a revolutionary change in the design and manufacturing technology of electronic devices, which impose new requirements on the purity and uniformity of the materials used, high-quality technological and control equipment, etc. Mastering the production of semiconductor devices in the country took place within context of the Cold War and such conditions blocked our country from scientific and technological achievements of Western countries. The implementation of a unified strategy for the production of new electronics products at first was hindered by the subordination of industrial enterprises to the leadership of various economic agencies. The period from the mid-1960s to the end of the 1980s. characterized by the intensive development of semiconductor devices and the growth of their production in the country. After the collapse of the USSR and the implementation of socio-economic reforms, domestic electronics lost the value of one of the main factors in the development of the economy by the end of the 1990s, and Russia became heavily dependent on imports of electronic products. At present times, despite the lag in the technical level of a number of types of electronic products, the growth rate of production of electronic devices and equipment as a whole is higher than the general growth production rates in Russia.

Keywords: electronics; transistor; semiconductor devices; integrated circuits; electronic industry; Shokin A.I; Microelectronics Research Center; import substitution; diversification.

For citation: Borisov, V. P. (2020). Revolution in electronics and formation of the domestic high-tech industry. *Science management: theory and practice*. Vol. 2. No. 2. Pp. 129–149.

DOI: 10.19181/smtp.2020.2.2.6

REFERENCES

1. *Formirovanie radioelektroniki (seredina 20-h – sredina 50-h gg.)* [Formation of radio electronics (mid-20s – mid-50s)]. (1988). Ed. by V. M. Rodionov. Moscow: Nauka publ. 381 p. (In Russ.).
2. *Zamechatel'nye stranitsy zhizni professora Yu. R. Nosova* [Remarkable pages of the life of Professor Yu. R. Nosov]. (2016). Moscow: Printing House Sity Print. 904 p. (In Russ.).
3. *Ocherki istorii rossiiskoi ehlektroniki. Vyp. 1. 60 let otechestvennomu tranzistoru* [Essays on the history of Russian electronics. Vol. 1. 60 years of domestic transistor]. (2009). Ed. by V. M. Prolejko. Moscow: Technosphaera publ. 335 p. (In Russ.).
4. Borisov, V. P. (2019). Otechestvennaya ehlektronnaya promyshlennost': istoki dostizhenii i perepadov v razvitiy [Domestic electronic industry: the origins of achievements and differences in development]. In: *Vikhrevaya dinamika razvitiya nauki i tekhniki. SSSR/Rossiya. Vtoraya polovina XX veka*. Ed. by Yu. M. Baturin. Vol. 3. Moscow: IHST RAS, Saratov, Amirit publ. (In Russ.).
5. Avdonin, B. N. and Martynov V. V. (2012). *Otechestvennaya ehlektronika. Ehtapy sozdaniya i razvitiya* [Domestic electronics. Stages of creation and development]. Moscow: Creative economy publ. 198 p. (In Russ.).
6. Shokin, A. A. (2007). *Ministr neveroyatnoi promyshlennosti SSSR* [Minister of incredible industry of the USSR]. Moscow: Technosphaera publ. 456 p. (In Russ.).
7. *Dinamika radioelektroniki* [Dynamics of radio electronics]. (2007). Ed. by Ju. I. Borisov. Moscow: Technosphaera. 374 p. (In Russ.).
8. Borisov, V. P. (2013). Ehlektronika SSSR i Rossii do i posle provedeniya sotsial'no-ehkonomicheskikh reform [Electronics of the USSR and Russia before and after socio-economic reforms]. In: *Otnoshenie obshchestva i gosudarstva k nauke v usloviyakh sovremennykh ehkonomicheskikh krizisov. Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma (Kiev, 2013, June 2–5)*. Kiev, 2013. Pp. 88–94.
9. *Ehlektronika Rossii* [Electronics of Russia]. (2009). Moscow: Stolichnaya ehntsiklopediya publ. 702 p. (In Russ.).
10. Borisov, V. P. (2016). Rossiiskaya ehlektronika v XXI veke: globalizatsiya i natsional'nye interesy [Russian electronics in the XXI century: globalization and national interests]. In: *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Istoriya tekhniki i muzeinoe delo»* (Moscow, 2015, Dec. 1–3). Moscow: IHST RAS publ. Pp. 243–346. (In Russ.).
11. Putin, V. V. *Presidential Address to the Federal Assembly from 26.04.2007*. Official Internet Resources of the President of Russia. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/25522> (accessed 08.05.2020).
12. Chochlov, S. (2018). Radioelektronnaya promyshlennost': dostizheniya problemy, zadachi i perspektivy razvitiya [Radio-electronic industry: achievements problems, tasks and prospects of development]. *Electronics: Science, Technology, Business*. Vol. 5. Pp. 20–24. (In Russ.).

The article was submitted on 29.03.2020.