

© Кирьянова М.Н., Маркова О.Л., Иванова Е.В., 2020
УДК 613.6.027:613.65

Условия труда работающих в основных профессиях производства электронных изделий и компонентов

М.Н. Кирьянова, О.Л. Маркова, Е.В. Иванова

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора,
2-я Советская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Резюме: *Введение.* Развитие цифровой экономики невозможно без широкого применения изделий микроэлектронной промышленности. В производстве электронных компонентов занят большой контингент высококвалифицированных специалистов. Целью исследования являлась гигиеническая оценка условий труда работников, обеспечивающих получение электронных изделий и компонентов. *Материалы, методы.* В статье приведены результаты изучения условий и характера труда основных профессий в современном производстве полупроводниковых резисторов, конденсаторов, микросхем на всех этапах технологического процесса. Оценивались уровни звука, искусственной освещенности, микроклимата, загрязнение воздушной среды на рабочих местах; на основании хронометражных наблюдений оценены тяжесть и напряженность труда основных профессий. Всего выполнено более 1250 исследований факторов производственной среды и показателей трудового процесса. *Результаты исследований.* В формировании условий труда работников, осуществляющих приготовление и обработку керамических композиций, определяющая роль принадлежит загрязнению воздушной среды соединениями свинца, повышенным уровням шума, нагревающему микроклимату. При выполнении прецизионных сборочных операций и контроле качества изделий с использованием оптических приборов ведущими вредными факторами являются тяжесть и напряженность трудового процесса. Сенсорная нагрузка при выполнении этих операций в течение 55–75 % смены оценивается как 3 класс 1 степени. *Выводы.* На основании изучения условий труда выявлены приоритетные вредные факторы для оценки риска здоровью работающих, обоснованы направления комплексной профилактики профессиональных и производственно-обусловленных заболеваний работающих в производстве компонентов радиоэлектронной аппаратуры.

Ключевые слова: производство электронных компонентов, условия труда, факторы профессионального риска.
Для цитирования: Кирьянова М.Н., Маркова О.Л., Иванова Е.В. Условия труда работающих в основных профессиях производства электронных изделий и компонентов // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 11 (332). С. 67–71. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-332-11-67-71>

Working Conditions of Employees of Main Occupations in the Production of Electronic Devices and Components

M.N. Kir'yanova, O.L. Markova, E.V. Ivanova

North-West Public Health Research Center of Rospotrebnadzor,
4 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary. *Introduction:* The development of digital economy is impossible without a widespread use of microelectronic products. Many highly qualified specialists are employed in the production of electronic components. The objective of our study was to conduct a hygienic assessment of working conditions in electronics production. *Materials and methods:* We studied the conditions and nature of work in employees of the main occupations in the modern production of semiconductor resistors, capacitors, and microcircuits at all stages of the technological process. We measured noise, illuminance, and air pollution at workplaces and assessed labor severity and intensity based on work time observations. In total, over 1,250 tests of factors of occupational environment and indices of labor processes were made. *Results:* We established that air pollution with lead compounds, increased levels of noise, and hot microclimate mostly determined working conditions of employees engaged in preparation and processing of ceramic compositions. Occupational risk factors for those performing precision assembling operations and quality control using optical devices included severity and intensity of the labor process. Sensory load when performing these operations during 55–75 % of the work shift was assessed as Grade 3.1. *Conclusions:* Our findings helped identify priority adverse occupational factors for electronics workers' health risk assessment and substantiate comprehensive measures for prevention of occupational and production-related diseases.

Keywords: production of electronic components, working conditions, occupational risk factors.

For citation: Kir'yanova MN, Markova OL, Ivanova EV. Working conditions of employees of main occupations in the production of electronic devices and components. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020; (11(332)):67–71. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-332-11-67-71>

Author information: Kir'yanova M.N., <http://orcid.org/0000-0001-9037-0301>; Markova O.L., <http://orcid.org/0000-0002-4727-7950>; Ivanova E.V., <http://orcid.org/0000-0001-9461-9979>.

Введение. Стратегией развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной в 2020 году, определены основные направления реализации национальных проектов: создание высокотехнологичной электронной продукции, критически значимой для обеспечения национальной безопасности, технологического и экономического развития, которая должна быть доминирующей на внутреннем рынке¹.

Национальной программой «Цифровая экономика Российской Федерации» на основе

преимущественно отечественных разработок, включая электронную компонентную базу (ЭКБ), предусмотрено создание конкурентоспособной инфраструктуры передачи, обработки и хранения данных².

Основные направления микроэлектроники – СВЧ электроника, радиационно стойкие компоненты и оптоэлектроника, средства радиоэлектронной борьбы в основном ориентированы на оборонно-промышленный комплекс, атомную энергетику, космическую промышленность и ряд технологических направлений

¹ Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 января 2020 г. № 20-р.

² Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>.

в гражданской электронике³ [1–3]. Повышение функциональных возможностей электронной аппаратуры сопровождается микроминиатюризацией электронных компонентов, увеличением числа элементов, контактов, сложностью их тестирования^{4,5,6,7} [4–12].

В производстве резисторов, диодов, микросхем, конденсаторов и других электронных изделий и компонентов заняты около 300 тысяч работников. К сожалению, исследования условий труда этих высококвалифицированных специалистов за последние 20 лет немногочисленны [13–16]. Однако в связи с происшедшими за последние десятилетия организационными изменениями в отрасли, обновлением оборудования, технологических процессов приобретают актуальность вопросы оценки профессионального риска здоровью работающих на современном этапе развития производства.

Цель исследования. Определение приоритетных факторов профессионального риска в соответствии с результатами гигиенических исследований условий труда работающих в основных профессиях современного производства деталей радиоэлектронной аппаратуры

Материалы и методы. Условия и характер труда работников восьми профессиональных групп изучались на основных участках производства полупроводниковых резисторов, конденсаторов, микросхем: приготовительных, печных и сборочных. Гигиенические исследования выполнены на трех предприятиях электронной промышленности.

Уровни физических факторов (искусственной освещенности, шума, микроклимата – температуры, влажности, скорости движения воздуха) измерялись с использованием утвержденных методов на 48 рабочих местах при выполнении основных технологических операций (более 700 измерений).

При выборе перечня контролируемых веществ в воздушной среде учитывалась массовая доля компонентов в материале обработки с учетом физико-химических свойств вредных веществ, выделяющихся в воздух при технологическом процессе. На рабочих местах измерены концентрации аэрозолей и химических веществ в зоне дыхания и нейтральных точках помещений (218 анализов). Исследование загрязнения воздушной среды аэрозолями металлов выполнено методом пламенной атомной абсорбционной спектроскопии. Измерения концентраций выделяющихся в воздушную среду компонентов флюсов и эпоксидных смол, ряда органических растворителей проводили фотометрическими методами и методом фотоионизационного детектирования, для неорганических кислот – спектрофотометрическими методами, при выполнении рабочих операций с применением органических соединений использовался

газохроматографический метод анализа. Для измерения концентрации газов и паров неорганических кислот применялись селективные электрохимические датчики газоанализатора АНТ-3М. Результаты исследований обработаны с помощью программы IBM SPSS Statistics, v. 22.

При исследованиях распределения рабочего времени, оценке показателей трудового процесса по критериям «Руководства по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»⁸ основное внимание уделялось продолжительности выполнения немеханизированных и прецизионных трудовых операций.

Результаты исследования. Для получения полупроводниковых резисторов, конденсаторов, микросхем и других деталей электронных устройств на изучаемых предприятиях применяются усовершенствованные технологические процессы, используются токсичные химические вещества.

При приготовлении керамических композиций, включающих соединения свинца, кремния и соли редких металлов, производят измельчение и смешивание исходных материалов на шаровой мельнице, просеивание через механическое сито. Керамическая масса проходит термическую обработку в камерных печах, после чего подвергается дроблению. Таким методом получают высокую степень измельчения, что позволяет снизить толщину керамических диэлектриков. Из полученного порошка, добавляя спирты и пластификаторы, приготавливают шликер, который поступает на литьевые машины для изготовления керамической пленки. Методом резки получают заготовки, на них наносят контакты при помощи трафаретной печати с использованием серебросодержащих паст и после термической обработки в туннельных печах припаивают выводы. Затем на изделие наносится влагозащитный слой, проводится испытание электрических параметров, визуальный контроль конденсаторов и маркировка.

В соответствии с технологической последовательностью нами оценивались условия труда при приготовлении керамических материалов (дробильщики-размольщики) и при их термической обработке (обжигальщики).

При обслуживании оборудования массо-заготовительного участка значительная часть операций – многократно повторяющиеся загрузка и выгрузка материалов, взвешивание, просеивание – выполняется дробильщиком-размольщиком вручную и сопровождается периодическим выделением в воздушную среду аэрозолей различных сырьевых материалов и полуфабрикатов, содержание свободного диоксида кремния в которых колеблется от 75 % (кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли более 70 %, ПДК 1 мг/м³) до 4 % (кремний диоксид кристаллический при

³ Обзорное исследование отрасли «Портрет российской радиоэлектроники», АО «ЦНИИ «Электроника», опубликовано 20.12.2017.

⁴ The International Technology Roadmap for Semiconductors, 2001 ed. – Semiconductor Industry Association, San Jose, CA.

⁵ Boosting Electronics Value Chains in Europe. A report to Commissioner Gabriel, 2018.

⁶ National IOT Strategy Dialogue. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itic.org/dotAsset/bdce6de4-8a00-49c5-a7a9-4dfb95609a76.pdf>.

⁷ 1.9 Интегральные микросхемы – Научная библиотека. Доступно по: http://scask.ru/b_book_re.php?id=11 Дата обращения 03.09.2020.

⁸ Р 2.2.2006–05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда». СПб.: ЦОТПБСППО, 2005. 144 с.

содержании в пыли от 2 до 10 %, ПДК 4 мг/м³); обнаруженные концентрации находились в диапазоне 0,3–4,4 мг/м³ и 1,1–7,9 мг/м³ соответственно. Рассчитанные среднесменные концентрации составляли 0,27 мг/м³ (ПДК 1 мг/м³) и 1,59 мг/м³ (ПДК 4 мг/м³).

Обращает на себя внимание уровень загрязнения воздушной среды соединениями свинца: его среднесменная концентрация составляет 0,065 мг/м³, что в 1,3 раза выше нормируемой (0,05 мг/м³) и соответствует 3 классу 1 степени. Максимальный уровень свинца в зоне дыхания обнаружен при взвешивании материалов — $0,560 \pm 0,140$ мг/м³, при просеивании и измельчении — $0,092 \pm 0,023$ мг/м³.

Эквивалентный уровень непостоянного шума при работе оборудования массозаготовительного участка составил 84 дБА, оценивается как 3 класс 1 степени. Максимальные уровни звука (89–90 дБА) генерируют шаровые мельницы и вибромельницы. По совокупности перечисленных показателей условия труда дробильщика-размольщика оценены как вредные — 3 класс 1 степени.

На участке обжига для перемещения партий материалов и изделий в камерные, туннельные, муфельные и сушильные печи, а также для контроля режима термической обработки обжигальщики находятся непосредственно у оборудования, где измеренная в холодный период года температура воздуха составляла 26,0 °С, относительная влажность — 36 %, подвижность воздуха — не более 0,1 м/с. Процесс термической обработки каждой партии материалов и деталей при температуре 980–1380 °С продолжается от 10 минут до 24 часов в зависимости от типа изделий. Уровни теплового облучения на рабочих местах у печей находились в пределах 400–480 Вт/м², превышая нормируемый (140 Вт/м²), экспозиционная доза — 515 Вт · ч, ТНС-индекс не превышал нормируемого уровня. Условия труда обжигальщика относятся к вредным — 3 класс 1 степени, наиболее выраженным показателем является тепловое облучение.

При получении керамической пленки, металлизации, нанесении на изделия герметизирующих и заливочных эпоксидных компаундов и маркировке в зоне дыхания работников определялись такие применяемые для данных операций вещества, как бутилацетат, скипидар, ацетон (пропан-2-он), циклогексанон, метилбензол (толуол), (хлорметил)оксидан (эпихлоргидрин). С учетом больших объемов удаляемого средствами механической вентиляции воздуха, а также миниатюрных размеров деталей, обнаруженные концентрации были ниже нормируемых значений.

Среди сборочно-монтажных операций наибольший удельный вес принадлежит процессам пайки. Для соединения металлических контактов и других элементов с такими материалами, как керамика, стекломаль, применяются низкотемпературные припои: свинцово-оловянные ПОС 61, ПОС 40, и ПСр2 — серебряный. Высокое качество пайки обеспечивается использованием флюсов в виде паст или канифольно-спиртовых составов. Проведенные в производственных и опытных условиях исследования позволили дать свинцово-оловянным припоям гигиеническую оценку и в качестве основного неблагоприятного

фактора при этих процессах выделить загрязнение аэрозолями припоев воздушной среды [17, 18]. На изучаемых предприятиях гигиеническая оценка была дана процессам пайки, выполняемым преимущественно вручную и, в отдельных случаях, на автоматизированном оборудовании. На всех исследованных рабочих местах паяльщиц в воздухе был обнаружен аэрозоль свинцово-оловянного припоя ПОС-61, концентрации свинца в большей части проб находились в пределах 0,006–0,019 мг/м³ (ПДК — 0,05 мг/м³).

В помещениях сборочных участков и участков литья источником шума является работа технологического и вспомогательного оборудования, уровни шума на рабочих местах не превышали 65 дБА (эквивалентный). Измеренные значения температуры, относительной влажности и скорость движения воздуха соответствовали нормируемому диапазону для категорий работ I а, I б, за исключением низкого уровня относительной влажности, достигающей в холодный период года 19 %.

Выполненные измерения параметров световой среды свидетельствуют о том, что система искусственного освещения обеспечивает уровни освещенности рабочих поверхностей, достаточные для зрительных работ высокой и очень высокой точности: при литье керамической пленки и заливке 1200–2080 лк, при металлизации, сборке, окраске — 3250–4150 лк, коэффициент пульсации не превышал 10 %.

В результате проведенных исследований факторы производственной среды на рабочих местах основных профессий сборочных участков характеризуются как допустимые, однако оценка показателей трудового процесса различается в зависимости от наличия процессов, выполняемых с оптическим увеличением: сборка, пайка, герметизация, контроль качества (входной, межоперационный). Элементы изделий электроники имеют размеры, точность манипуляций с которыми обеспечивается в большинстве случаев исключительно с помощью оптических приборов (бинокулярные микроскопы, лупы). Данные, полученные в результате хронометражных наблюдений, свидетельствуют о значительной продолжительности прецизионных трудовых операций: работа с микроскопом занимает от 60 до 70 % времени смены при пайке и до 75 % при выполнении контрольных операций, которые в данном производстве являются неотъемлемой частью технологического процесса. Сенсорная нагрузка на этих рабочих местах оценивается как 3 класс 1 степени. При выполнении прецизионных зрительных работ в условиях длительного (более 50 % смены) нахождения в фиксированном положении сидя тяжесть трудового процесса и, следовательно, условия труда данной группы сборщиц и контролеров качества по совокупности всех показателей оцениваются как 3 класс — вредные 2 степени.

Высокое зрительное напряжение, необходимость четкой зрительно-моторной координации, дефицит общей двигательной активности при длительном использовании оптических приборов, по мнению авторов многих исследований, связано с риском нарушений зрения, заболеваний опорно-двигательного аппарата,

сердечно-сосудистых заболеваний, гормональных и иммунных нарушений [19–22].

На основании выполненных гигиенических исследований определены ведущие факторы риска здоровью работающих в основных профессиях производства полупроводниковых резисторов, конденсаторов, микросхем. Приготовление керамических материалов сопровождается воздействием шума и свинецсодержащих аэрозолей, термическая обработка – повышенными уровнями температуры воздуха и теплового излучения. При сборке и контроле качества деталей и изделий с использованием оптических приборов определяющими неблагоприятными факторами являются тяжесть и напряженность трудового процесса.

Сохранение существующих технологий и организации производственных процессов на изучаемых предприятиях приводит к формированию неблагоприятных условий труда в ряде профессий. Для минимизации профессионального риска и сохранения здоровья работающих профилактические мероприятия должны быть направлены на защиту дробильщиков-размольщиков, обжигальщиков от воздействия аэрозолей, производственного шума, нагревающего микроклимата. Для работников, использующих оптические приборы в процессе сборки, пайки, контроля качества, первостепенное значение имеет разработка рациональных режимов работы и другие меры, позволяющие снизить нагрузку на зрение и опорно-двигательный аппарат [23–25].

Выводы

1. В современном производстве деталей электронной аппаратуры сохранение значительной доли трудовых операций, выполняемых вручную, в сочетании с применением прецизионного технологического оборудования обуславливает формирование факторов профессионального риска здоровью работников, занятых в основных профессиях. По результатам гигиенических исследований приоритетными вредными факторами являются: при приготовлении и обработке полупроводниковых материалов – шум, высокие концентрации соединений свинца в воздушной среде, нагревающий микроклимат; при сборочно-монтажных и контрольных операциях, выполняемых с оптическим увеличением, – нагрузка на зрительный анализатор и опорно-двигательный аппарат.

2. Для минимизации профессионального риска на начальных этапах технологического процесса необходима защита от воздействия аэрозолей, производственного шума, нагревающего микроклимата. В условиях невозможности полной автоматизации сборочных и контрольно-измерительных операций снижение нагрузки на зрение и опорно-двигательный аппарат могут обеспечить организационные мероприятия, использование специальных комплексов упражнений для глаз и др., а также применение цифровых микроскопов с выводом изображения на дисплей.

Информация о вкладе авторов: Кирьянова М.Н. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, анализ и интерпретацию данных, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Маркова О.Л. участвовала в сборе, анализе и интерпретации данных, внесла существенный

вклад в доработку статьи; Иванова Е.В. участвовала в анализе данных, внесла существенный вклад в получение данных и доработку статьи.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы (пп. 6, 10–12, 22, 23 см. References)

1. Белоус А.И., Лабунов В.А., Солодуха В.А. Современная микроэлектроника: тенденции развития, проблемы и угрозы // Материалы 5-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Международный форум «Микроэлектроника-2019». Республика Крым, г. Алушта, 30 сентября – 05 октября 2019 г. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. С. 18–23.
2. Шпак В.В. Микроэлектронная промышленность – основа суверенитета России // Материалы 4-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Международный форум «Микроэлектроника-2018» Республика Крым, г. Алушта, 1-6 октября 2018 г. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. С. 24–28.
3. Елесин В.В., Усачев Н.А., Никифоров А.Ю. и др. Электронная компонентная база твердотельной СВЧ-электроники: тенденции развития, современное состояние и проблемы // Материалы 4-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Международный форум «Микроэлектроника-2018» Республика Крым, г. Алушта, 1-6 октября 2018 г. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. С. 35–39.
4. Назаркин М. Ю. Микроэлектроника в медицине // Материалы 5-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Международный форум «Микроэлектроника-2019». Республика Крым, г. Алушта, 30 сентября–05 октября 2019 г. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. С. 169.
5. Засемков В.С. Разработка новой электронной компонентной базы для нейроморфных интегральных схем // Материалы 5-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Международный форум «Микроэлектроника-2019». Республика Крым, г. Алушта, 30 сентября–05 октября 2019 г. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. С. 533–537.
7. Киреев В. Технологии и оборудование для производства интегральных микросхем. Состояние и основные тенденции развития. Электроника НТБ. 2004. № 7 (57). С. 72–77.
8. Макушин М. Производственная база мировой электроники. Тенденции развития. Электроника НТБ. 2014. № 5 (136). С. 116–131.
12. Хисамов А.Х. СТО нового формата для малых полупроводниковых производств как путь конкурентоспособного развития микроэлектроники в РФ // Материалы 5-й Международной научной конференции «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Международный форум «Микроэлектроника-2019». Республика Крым, г. Алушта, 30 сентября–05 октября 2019 г. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. С. 519–524.
13. Патутин В.Н., Артамонова В.Г., Костючек Д.Ф. Труд и здоровье женщин репродуктивного возраста приборостроительной промышленности. Пути профилактики. СПб., 2001. 156 с.
14. Дубейковская Л.С., Фролова Н.М., Салангина Л.И. Кирьянова М.Н., Сладкова Ю.Н. Гигиена труда и здоровье работающих в приборостроении // Медицина труда и промышленная экология. 2001. № 10. С. 3–8.
15. Кирьянова М.Н., Маркова О.Л., Иванова Е.В. Гигиеническая оценка условий труда при производстве радиоэлектронных компонентов // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 12. С. 1235–1238.
16. Кирьянова М.Н., Маркова О.Л., Иванова Е.В. Особенности формирования условий труда работников основных профессий в производстве интегральных микросхем. Медицина труда и промышленная экология. 2019. № 8. С. 508–512.
17. Салангина Л.И., Дубейковская Л.С., Сладкова Ю.Н. и др. Гигиеническая оценка условий труда и состояние

- здоровья женщин, занятых процессами пайки // Медицина труда и промышленная экология. 2001. № 10. С. 8–13.
18. Фролова Н.М. Оценка профессионального риска работающих женщин в радиоэлектронном приборостроении // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2013. № 3. С. 17–19.
 19. Плеханов В.П. Оценка риска хронического перенапряжения пользователей компьютеров в зависимости от возраста и стажа работы // Медицина труда и промышленная экология. 2018. № 5. С. 58–61.
 20. Сорокин Г.А. Утомление и профессиональный риск. СПб.: Издательство СПб Политехнического университета, 2008. 368 с.
 23. Никонов В.А., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б. Научное обоснование разработки профилактических мероприятий при напряженных зрительных работах // Здоровье населения и среда обитания. 2014. № 3 (252). С. 14–15.
 24. Ушкова И.Н., Малькова Н.Ю., Чернушевич Н.И. и др. Низкоинтенсивное лазерное излучение в профилактических мероприятиях // Медицина труда и промышленная экология. 2013. № 8. С. 34–37.
 25. Ушкова И.Н., Малькова Н.Ю., Чистяков Н.Д. и др. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения в практике профпатологии // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 2. С. 16–18.

References

1. Belous AI, Labunov VA, Solodukha VA. [Modern microelectronics: development trends, challenges and hazards.] In: *Electronic Component Base and Microelectronic Modules: Proceedings of the 5th International Scientific Conference "Microelectronics-2019"*, Alushta, 30 Sept – 5 Oct 2019. Moscow: TEKHNOSSFERA Publ., 2019. P. 18-23. (In Russian).
2. Shpak VV. [Microelectronic industry as the basis of Russia's sovereignty.] In: *Electronic Component Base and Microelectronic Modules: Proceedings of the 4th International Scientific Conference. International Forum "Microelectronics-2018"*, Alushta, 1-6 October 2018. Moscow: TEKHNOSSFERA Publ., 2018. P. 24-28. (In Russian).
3. Elesin VV, Usachev NA, Nikiforov AYU, et al. [Electronic component base of solid state microwave electronics: development trends, current state and challenges.] In: *Electronic Component Base and Microelectronic Modules: Proceedings of the 4th International Scientific Conference. International Forum "Microelectronics-2018"*, Alushta, 1-6 October 2018. Moscow: TEKHNOSSFERA Publ., 2018. P. 35-39. (In Russian).
4. Nazarkin MYU. [Microelectronics in medicine.] In: *Electronic Component Base and Microelectronic Modules: Proceedings of the 5th International Scientific Conference "Microelectronics-2019"*, Alushta, 30 Sept – 5 Oct 2019. Moscow: TEKHNOSSFERA Publ., 2019. P. 169. (In Russian).
5. Zasemkov VS. [Development of a new electronic component base for neuromorphic integral circuits.] In: *Electronic Component Base and Microelectronic Modules: Proceedings of the 5th International Scientific Conference "Microelectronics-2019"*, Alushta, 30 Sept – 5 Oct 2019. Moscow: TEKHNOSSFERA Publ., 2019. P. 533-537. (In Russian).
6. Amano H, Baines Y, Beam E, et al. The 2018 GaN power electronics roadmap. *J Phys D: Appl Phys*. 2018; 51(16):163001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aaaf9d>
7. Kireev V. [Technologies and equipment for integrated microcircuit production. State of the art and major development trends.] *Elektronika NTB*. 2004; (7(57)):72-77. (In Russian).
8. Makushin M. [Production base of world electronics: Development trends.] *Elektronika NTB*. 2014; (5(136)):116-131. (In Russian).
9. Allan J, Buist H, Chapman A, et al. *NanoData landscape compilation. Information and communication technologies*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. 203 p. DOI: <https://doi.org/10.2777/088881>
10. Hara S, Khumpuang S, Yajima T, et al. Minimal fab with a complete isolation between man and product. *Eurozoru Kenkyu*. 2016; 31(2):81-88. (In Japanese). DOI: <https://doi.org/10.11203/jar.31.81>
11. Pinyen Lin. Industrial Transition to 450mm Notchless Wafers. Semiconductor Technology Symposium SEMICON West, 2014. Available at: <https://semiengineering.com/this-is-what-450mm-wafers-look-like>. Accessed: 7 Sept 2020.
12. Khisamov AKh. [A new format of special technological equipment for small-scale semiconductor production plants as a way of competitive development of microelectronics in RF.] In: *Electronic Component Base and Microelectronic Modules: Proceedings of the 5th International Scientific Conference "Microelectronics-2019"*, Alushta, 30 Sept – 5 Oct 2019. Moscow: TEKHNOSSFERA Publ., 2019. P. 519-524. (In Russian).
13. Patutin VN, Artamonova VG, Kostyuchek DF. [Labour and health of reproductive age women employed in instrument-engineering industry. Prevention ways.] Saint Petersburg, 2001. 156 p. (In Russian).
14. Dubejkovskaya LS, Frolova NM, Salangina LI, et al. Occupational hygiene and health state of workers engaged into instrumentation. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2001; (10):3-8. (In Russian).
15. Kiryanova MN, Markova OL, Ivanova EV. Hygienic assessment of working conditions in radio-electronic component production. *Gigiena i Sanitariya*. 2018; 97(12):1235-1238. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-12-1235-1238>
16. Kiryanova MN, Markova OL, Ivanova EV. Features of formation of working conditions of workers of the major professions in the production of integrated circuits. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2019; (8):508-512. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-8-508-512>
17. Salangina LI, Dubejkovskaya LS, Sladkova YuN, et al. Hygienic evaluation of work conditions and health state of women engaged into soldering. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2001; (10):8-13. (In Russian).
18. Frolova NM. Assessment of occupational risk among women working in the field of radioelectronic instrument making. *Okhрана Truda i Tekhnika Bezopasnosti na Promyshlennykh Predpriyatiyakh*. 2013; (3):17-19. (In Russian).
19. Plekhanov VP. Assessing the risk of chronic overstrain in computer users, depending on age and length of service. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2018; (5):58-61. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-5-58-61>
20. Sorokin G.A. [Fatigue and occupational risk.] Saint Petersburg: Polytechnical University Publ., 2008. 368 p. (In Russian).
21. Ekberg K, Björkqvist B, Malm P, et al. Case-control study of risk factors for disease in the neck and shoulder area. *Occup Environ Med*. 1994; 51(4):262-6. DOI: <https://doi.org/10.1136/oem.51.4.262>
22. Buckley JP, Hedge A, Yates T, et al. The sedentary office: an expert statement on the growing case for change towards better health and productivity. *Br J Sports Med*. 2015; 49(21):1357-62. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094618>
23. Nikonov VA, Mozhukhina NA, Yerebin GB. Scientific foundation for developing preventive measures in intensive visual work. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2014; (3(252)):14-15. (In Russian).
24. Ushkova IN, Malkova NYu, Chernushevich NI, et al. Low-intensity laser radiation in preventive measures. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2013; (8):34-37. (In Russian).
25. Ushkova IN, Mal'kova NYu, Chistiakov ND, et al. Low-intensity laser radiation applied in occupational pathology. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2015; (2):16-18. (In Russian).

Контактная информация:

Кирьянова Марина Николаевна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела анализа рисков здоровью населения, ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора
e-mail: mrm@ro.ru

Corresponding author:

Marina N. Kir'yanova, Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Department for Population Health Risk Analysis, North-West Public Health Research Center of Rosпотребнадзор
e-mail: mrm@ro.ru